

Restauración de minas superficiales en México

**Carolina Jimenez
Pilar Huante y Emmanuel Rincon**
(Instituto de Ecología UNAM)

**SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
SUBSECRETARIA DE GESTION PARA LA PROTECCION AMBIENTAL
DIRECCION GENERAL DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL**

OCTUBRE 2006

INDICE

Pag	Contenido
5	<i>Presentacion</i>
7	<i>Introduccion</i>
	<i>Capitulo I</i>
9	<i>Aspectos sociales y economicos de la mineria en Mexico</i>
9	La importancia y demanda de los minerales
10	La produccion minera en Mexico
12	El inventario de minas en Mexico
14	Las etapas de la mineria
18	El desarrollo sustentable en la mineria
	<i>Capitulo II</i>
21	<i>Los impactos ambientales de la mineria superficial</i>
21	La mineria superficial
24	Los impactos ambientales de la mineria superficial
32	Otros impactos
35	La mineria superficial y el deterioro en Mexico
37	Factores de diseno e impactos ambientales
	<i>Capitulo III</i>
41	<i>Aspectos legales de la restauracion de minas superficiales</i>
41	El ambito internacional
43	El ambito nacional
	<i>Capitulo IV</i>
49	<i>Un esquema de restauracion de minas superficiales</i>
49	La restauracion ecologica
50	Antecedentes de restauracion de minas en Mexico
52	Una planeacion integral
66	Un esquema para minas abandonadas
71	<i>Bibliografia</i>

DIRECTORIO

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

SUBSECRETARIA DE GESTION PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

DIRECCIÓN GENERAL DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

PRESIDENTE DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
LIC VICENTE FOX QUESADA

SECRETARIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
ING JOSE LUIS LUEGE TAMARGO

SUBSECRETARIO DE PLANEACIÓN Y POLITICA AMBIENTAL
DR FERNANDO TUDELA ABAD

SUBSECRETARIO DE FOMENTO Y NORMATIVIDAD AMBIENTAL
ING JOSE RAMON ARDAVIN ITUARTE

SUBSECRETARIO DE GESTION PARA LA PROTECCION AMBIENTAL
LIC JESUS BECERRA PEDROTE

DIRECTOR GENERAL DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL
BIOL JUAN RICARDO JUAREZ PALACIOS

AGRADECIMIENTOS

Al Biol J Ricardo Juarez Palacios Director de Impacto y Riesgo Ambiental de la Subsecretaria de Gestion para la Proteccion Ambiental de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales por su impulso y apoyo para la publicacion del presente libro

Al Ing Francisco Escandon Valle Director del Servicio Geologico Mexicano de la Secretaria de Economia por la informacion facilitada

A la Biol Irma Acosta Calixto por todo su apoyo

PRESENTACION

A nivel mundial Gobiernos organizaciones no gubernamentales (ONG) y algunas de las empresas mineras del mundo así como organismos ambientales internacionales están interesados en encontrar formas de mejorar el desempeño ambiental y atender las implicaciones socioeconómicas de la industria minera. En este sentido la restauración de las minas es un elemento importante para contrarrestar los impactos ambientales negativos de la actividad minera y las implicaciones socioeconómicas que se desprenden del deterioro ambiental.

En México existen pocos estudios sobre la problemática social y ambiental de la minería a pesar de una tradición minera que rebasa los 500 años además es uno de los principales productores de minerales y seguirá siendo un importante proveedor mundial dado el gran potencial de explotación minera de su territorio.

En la SEMARNAT igual que en el resto del mundo existe preocupación por reducir el deterioro ambiental que la minería ha acumulado pero también de conseguir que la explotación minera continúe proporcionando los satisfactores que demanda la población procurando al mismo tiempo el cuidado del ambiente. Así la obra que presentamos resulta una contribución orientada al análisis de la problemática que rodea a la restauración de minas abandonadas y al manejo integral de los impactos ambientales y sociales de los futuros proyectos.

INTRODUCCION

Aunque casi siempre pasa inadvertido la satisfaccion de las necesidades humanas conlleva al uso de los minerales. Ya sea como materia prima o como energeticos, los minerales estan presentes en los bienes y servicios que usamos diariamente. Asi, la explotacion minera es un proceso inevitable de nuestras civilizaciones.

Mexico es un destacado productor de minerales a nivel mundial y de amplia tradicion minera. Durante el desarrollo de la mineria en el pais se han generado beneficios sociales y economicos, sin embargo, poco sabemos acerca de los costos detras de la explotacion de los minerales. Aunque muchas veces imperceptibles, los problemas ambientales constituyen la consecuencia negativa de la demanda de minerales que usamos a diario.

Debido a la naturaleza de la mineria, esta tiene que buscar continuamente nuevos yacimientos que reemplacen a los ya agotados. Tras el abandono de las minas, existe un legado de problemas ambientales que afectan principalmente el ambito local. El deterioro imposibilita en el corto y mediano plazo aprovechar las tierras afectadas para desarrollar otras actividades productivas. Ademias, el detrimento en la funcionalidad de los ecosistemas supone el perjuicio de los bienes y servicios ambientales que tambien la sociedad requiere. Esto tiene mayor relevancia cuando se trata de minas superficiales, donde se retira todo aquello que esta por encima del yacimiento.

La demanda de minerales por un lado, y la necesidad de contar con ecosistemas funcionales por el otro, conducen hacia la adopcion de estrategias orientadas a reducir sus impactos ambientales negativos. En este sentido, la restauracion ecologica es un elemento necesario para contrarrestar el deterioro y favorecer la integracion de la funcionalidad y potencial biologico de los ecosistemas, es decir, para disminuir los costos de la explotacion minera.

Los alcances de la restauracion estan delimitados tanto por aspectos tecnicos y biologicos como por circunstancias historicas, culturales, politicas, legales, esteticas. La naturaleza dinamica de los ecosistemas impide reconstruir con exactitud las caracteristicas que presentaban estos antes del deterioro, aun cuando se cuente con toda la informacion necesaria. Pero ademias, los ecosistemas estan inscritos en diferentes contextos socioeconomicos y culturales. No hay que pasar por alto que la restauracion surge como una necesidad humana, y como tal, debe satisfacer los requerimientos sociales. De omitir la dimension socioeconomica y cultural, los proyectos de restauracion estan encaminados al fracaso.

De acuerdo con el sentido expuesto en el parrafo anterior, en este trabajo analizamos los impactos ambientales de la mineria superficial, los aspectos sociales, economicos y legales relacionados con la restauracion de minas superficiales en Mexico. A partir del analisis proponemos un esquema con los elementos a considerar para restaurar estas minas.

CAPITULO 1

ASPECTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LA MINERÍA

La importancia y demanda de minerales

Un sin fin de productos usados a diario provienen de la minería. Desde los complementos vitamínicos hasta la infraestructura y tecnología, tienen relación directa o indirecta con los minerales. Ya sea como substancias dentro del proceso de fabricación, como ingredientes de los productos de consumo o como energéticos, los minerales satisfacen las diversas necesidades humanas (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Cantidades e ingredientes minerales de algunos productos cotidianos.
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 sílice y trona.
Cemento	187'000 Ton	Calizas
Focos	3.6 millones piezas	Tungsteno, trona, arena sílice, cobre, aluminio
Pasta dental	236 Ton	Carbonato de calcio, zeolita, trona, arcillas, sílice
Pinturas	3 millones galones	Titanio, hierro, mica, sílice
Placas de rayos X	650'000 piezas	Plata, plomo
Vidrio	90 Ha	Sílice y trona

La minería es vital pues está presente en los distintos aspectos de la vida cotidiana. Su actividad como proveedora de materias primas, es básica para la alimentación, la salud, la vivienda, las telecomunicaciones, los transportes y el desarrollo tecnológico. Estas necesidades, motivan las demandas de minerales.

Con el crecimiento de la población mundial y el ingreso real *per capita*, es probable que aumente la demanda de minerales. Para el año 2050 se proyecta que la población mundial alcance

los 9.3 mil millones aproximadamente¹. Esto supone un incremento en la demanda de minerales, principalmente por parte de países en franco crecimiento económico, los cuales usan intensivamente los minerales. Basta mencionar los ejemplos de China y la India como los mayores consumidores de acero en el mundo.

Muchas sustancias minerales de importancia se extraen por lo general por métodos superficiales. 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 minado subterráneo por el superficial, debido a que con mayor frecuencia se encuentran yacimientos mineros en tales condiciones.

La minería superficial se emplea en buena medida para extraer energéticos. El promedio mundial de carbón mineral extraído por métodos de explotación a cielo abierto es del 40%, en Australia alcanza el 70% y en Estados Unidos es del 50%. En Latinoamérica, el carbón es extraído en gran proporción a través de métodos superficiales; por ejemplo, en Colombia y Venezuela el 100% del carbón se explota de esta manera (Whitworth, 1993).

La producción minera en México

México es un destacado productor de minerales a nivel mundial (Tabla 1.1). 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 1.1. 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	Estados productores más importantes
1	Plata	15.37	Zacatecas
	Celestita	32.69	Coahuila
2	Bismuto	27.90	Coahuila, Nuevo León
	Fluorita	16.19	Coahuila, San Luis Potosí, Durango
4	Arsénico	5.05	San Luis Potosí
	Cadmio	11.03	Zacatecas, Chihuahua
5	Plomo	5.07	Chihuahua, Zacatecas
	Zinc	4.92	Zacatecas, Chihuahua
	Barita	4.23	Coahuila, Nuevo León, Sonora
	Yeso	6.85	Baja California Sur, Coahuila, Jalisco, Nuevo León, San Luis Potosí
6	Antimonio	2.77	Coahuila, Nuevo León
	Diatomita	3.93	Jalisco
7	Molibdeno	0.31	Sonora
	Sal	3.60	Baja California Sur
8	Grafito	1.13	Sonora
	Manganeso	1.43	Hidalgo
9	Oro	0.84	Durango, Sonora
11	Feldespato	3.32	Puebla
12	Cobre	2.20	Sonora
13	Azufre	1.80	Chiapas, Tabasco
15	Fierro	0.60	Colima, Coahuila, Michoacán

¹ Proyección de la variante media de la División del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, ONU.

La importancia de México como productor mundial de minerales se refleja en el valor de su producción. En 2005, la producción minero-metalúrgica ascendió a 53,954 millones de pesos (Cámara minera de México, 2005). El cobre (27), la plata (15), y el zinc (12) suman poco más del 50% de valor total de la producción nacional. Por el valor de la producción, Sonora, Zacatecas, Coahuila, Durango, San Luis Potosí y Chihuahua destacan como los principales estados mineros del país.

La minería significa para el país en términos del Producto Interno Bruto (PIB), el 1.6%; además, las exportaciones minero-metalúrgicas representan alrededor del 60% del valor total del sector, por lo que la minería es una importante fuente de divisas para el país (Cámara Minera de México, 2005).

Después de una caída durante 6 años, la inversión minera en México comienza a recuperarse. En 2005 el crecimiento en la inversión se reflejó en los 912 millones de dólares destinados a éste sector. En el mismo año, se invirtieron para la exploración de yacimientos, 120 millones de dólares. Un elemento importante es que nuestro país se encuentra en la región del mundo de mayor atracción para la inversión minera (Cámara Minera de México, 2005), lo que puede ser detonante en el futuro de nuevos proyectos de exploración y explotación de yacimientos.

Los corporativos mineros nacionales mejor consolidados en nuestro país, son el Grupo México, Industrias Peñoles, Grupo Acerero del Norte (AHMSA) e HYLSA (Tabla 1.2). Las empresas consideradas dentro de la gran minería² 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.

Los ejidos, comunidades agrarias, organizaciones de 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). Esta 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.

Tabla 1.2. Ventas netas anuales de algunos de los principales consorcios mineros en México. Elaborado a partir de reporte anual HYLSA, reporte anual Peñoles, reporte anual Grupo México, Informe anual San Luis Corp.

Empresa	Ventas netas anuales (miles de pesos)			
	2001	2002	2003	2004
Grupo México	27,650,294	24,072,20	26,877,890	47,485,740
Peñoles	11,925,200	12,975,300	13,958,200	17,095,800
San Luis	4,001,882	4,364,837	5,11,005	6,934,805
HYLSA	9,113,000	14,017,000	16,806,000	26,760,000
AHMSA	11,385,000	12,084,000	13,327,000	20,447,000

² De acuerdo con la Ley Minera, la gran minería incluye a los productores cuya obtención de ingresos brutos por ventas de minerales o sustancias sujetas a esta ley, es mayor de veinte mil veces el salario mínimo, la extracción mensual del minera sea mayor a doce mil toneladas, y/o aporte más del 4% de la producción nacional anual. La mediana minería, incluye a productores con ingresos entre cinco y veinte mil veces el salario mínimo, y/o aporte entre el 1.0 y 4.0% de la producción nacional anual. La pequeña minería incluye a los productores con ventas anuales inferiores a cinco mil veces el salario mínimo y aporte hasta el 1% de la producción nacional anual.

El inventario de minas en México

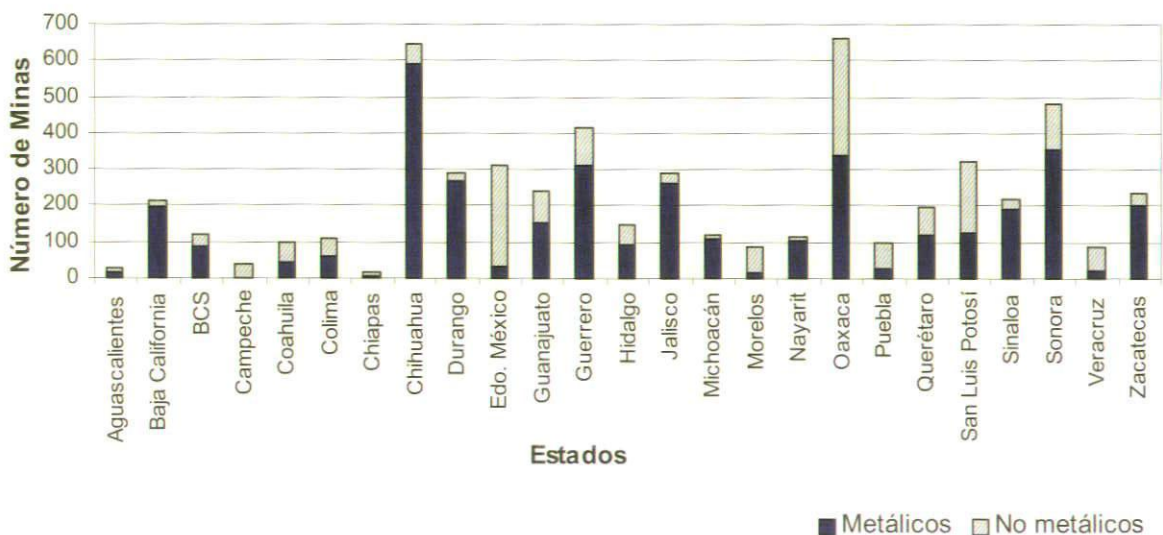
Aunque existe información sobre la producción minera en nuestro país, se conoce poco sobre sus minas. Durante la mayor parte de la historia minera de México se han abierto minas subterráneas. En el siglo XX, gracias a la tecnología y la maquinaria se abrieron las minas superficiales o a cielo abierto 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.

En el siglo XIX, Alexandro Von Humboldt visitó los caminos de plata mexicana y en 1811 publicó el libro de la geografía económica regional de la Nueva España en el que registró 3000 minas en 500 distritos mineros (García, 1999). El Consejo de Recursos Minerales (hoy Servicio Geológico Mexicano) 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 éstas, el consejo elaboró un mapa nacional que ubica geográficamente a todas las minas, sin embargo no distingue el tipo de minado empleado, los minerales que se explotan, la superficie que ocupen y se desconoce cuáles están abandonadas.

Si bien existe el registro público de la minería, no hay forma de conocer con claridad cuáles son las minas superficiales en México, porque este tipo de datos no se solicitan en el registro. Sin embargo, al conocer los minerales que explotan las minas, es posible esbozar el número y ubicación de las minas superficiales en México. Generalmente las sustancias no metálicas son las que en mayor medida se explotan superficialmente, aunque también algunos metales como el cobre o el hierro.

El análisis de los datos contenidos en las monografías del COREMI, muestra que 5595 minas se distribuyen en 24 entidades del país, y el 33% corresponde a minas superficiales. 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.1.1).

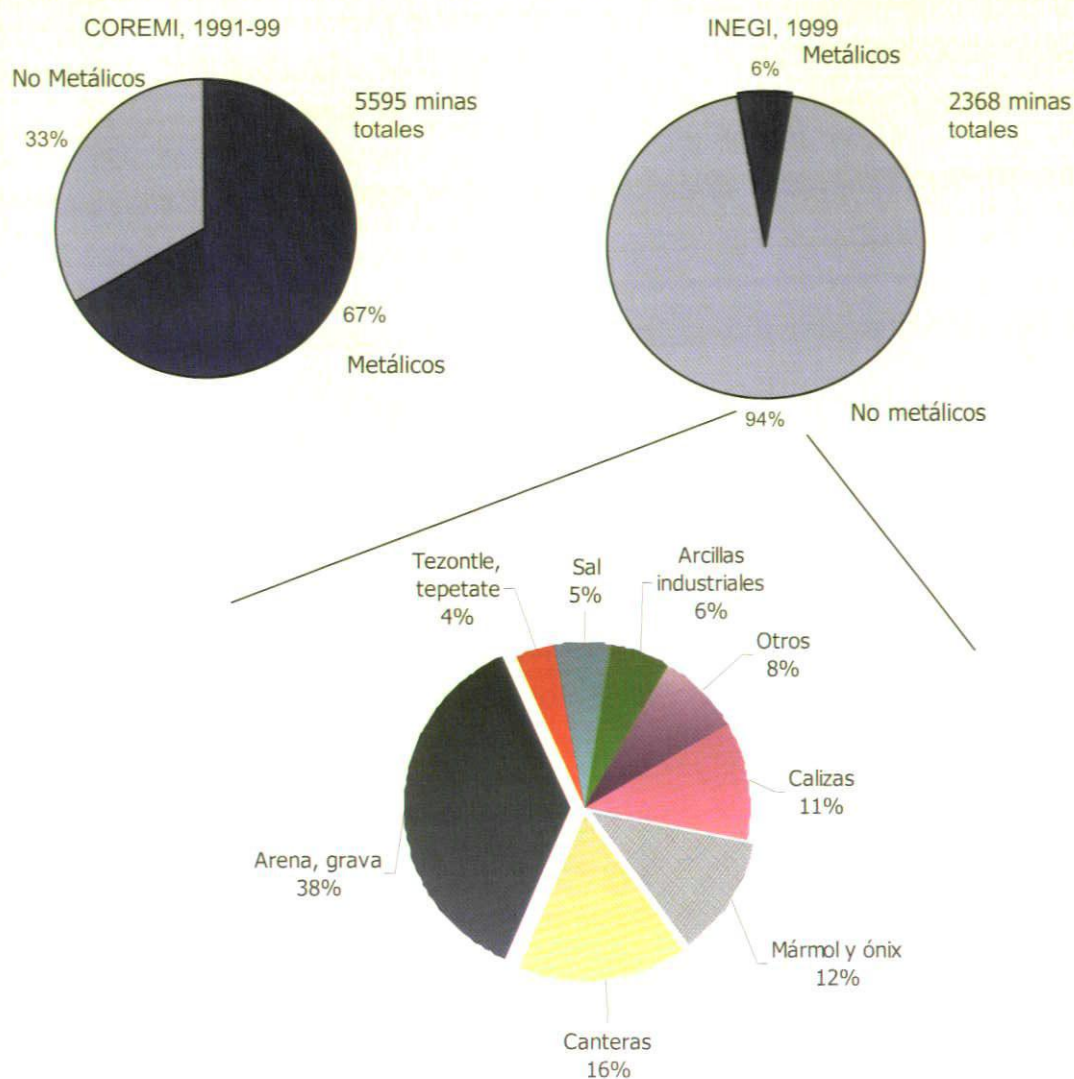
Fig. 1.1. Distribución del número de minas por sustancias en los Estados. Elaborado a partir de Monografías Geológico Mineras, COREMI 1991-99.



En comparación con lo anterior, el análisis de datos del INEGI (1999) muestra que existen 2368 minas activas en el país, de las cuales 2128 corresponden a sustancias no metálicas, es decir el 94% del total. Esto quiere decir que los registros del COREMI esbozan la acumulación y distribución de las minas en México a través del tiempo, y pueden servir como base para conocer los pasivos ambientales de la minería. En este sentido, 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. 1.2).

De acuerdo con los datos del INEGI (1999), las minas de arena y grava, mármol y ónix, calizas y las canteras constituyen tres cuartas partes (Fig. 1.2). Esto no sólo refleja su importancia económica sino que indica que la mayoría de las minas superficiales de México extraen en gran medida materiales usados en la industria de la construcción.

Fig. 1.2 Comparación del número de minas en México según información del COREMI y el INEGI, y porcentaje del número de minas de no metálicos. Elaborado a partir de INEGI, 1999. XV Censo industrial (Minería y extracción de petróleo), y Monografías Geológico Mineras (COREMI, 1991-99)



Los tajos son otra forma de minado superficial empleado con frecuencia para extraer metales. La información sobre la cantidad y distribución de éstos en el país es escasa. Sin embargo a través de memorias de seminarios y el apartado sobre minería del Atlas Nacional de México (1991), ha sido posible elaborar la Tabla 1.3. Cabe aclarar que el listado registra las localidades donde se localizan los tajos más importantes y conocidos en el país. Su distribución sirve como indicador de los lugares con mayor impacto por la minería superficial en México. Así, Sonora y Coahuila son los estados del norte que concentran a la mayoría de los tajos en el país, dónde se suponen impactos ambientales importantes.

Tabla 1.3 Algunos tajos en México. *Próximos a abrir.

Estado	Localidad	Sustancia mineral
Aguascalientes	Asientos	Plata
	Tepezalá	Plata
Chihuahua	La Perla	Hierro
Coahuila	Sierra Mojada	Hierro
	Nava	Carbón
	Sabinas	Carbón
	Múzquiz	Fluorita
Colima	Peña colorada, Minatitlán	Hierro
	Valle de Nahualapa	Hierro
Edo. México	Sultepec	Oro, Plata
Durango	Durango	Hierro
	Pánuco de Corondo	Oro, Plata, Plomo
Guerrero	Eduardo Neri	Oro, Plata
Hidalgo	Molango	Manganeso
Jalisco	Pihuamo	Hierro
	Guachinango	Oro, Plata
Michoacán	Lázaro Cárdenas	Hierro
	Coalcomán	Plomo, Zinc, Plata, cobre, Oro, barita
	Lahuacana	Cobre
San Luis Potosí	Cerro San Pedro*	Oro, Plata
Sinaloa	El Rosario	Oro
Sonora	Caborca	Oro
	Cananea	Cobre
	Cumpas	Molibdeno, Cobre
	Cumobabi	Cobre
	Nacozari de García	Cobre
Zacatecas	Real de Ángeles	Plata
	Concepción del oro	Cobre

Las etapas de la minería

Debido a que los minerales son recursos no renovables, la vida operativa de las minas es finita, y la búsqueda de nuevos yacimientos es una constante de la actividad minera. A través de sus etapas, se presentan diversas consecuencias económicas, sociales y ambientales que se diferencian a lo largo de la vida del proyecto y dependen del contexto particular de cada localidad (Tabla 1.4).

Tabla 1.4 Acontecimientos derivados de cada etapa en la actividad minera

Etapas	Eventos
Exploracion	Primer contacto de las empresas con las comunidades Construccion de percepciones
Construccion	Construccion de Infraestructura Creacion de un gran numero de empleos Fomento a la inmigracion Trastornos sociales Primeros impactos ambientales
Explotacion	Creacion de empleos especializados Conflictos sociales Ingresos a localidades Impactos ambientales Operacion de escuelas Operacion de Clinicas
Post-operatoria	Desmantelamiento de las instalaciones Donacion de instalaciones (clinicas escuelas) Perdida de empleos Emigracion Trastornos sociales Impactos ambientales

Exploracion

La actividad minera comienza con la exploracion del subsuelo para diferenciar a los territorios con posibilidades de contener recursos minerales de explotacion rentable. Aunque puede ser breve en esta etapa ocurren los primeros acercamientos de las empresas con las comunidades y segun ocurran puede derivar en percepciones positivas o negativas de las empresas por el resto del desarrollo de los proyectos mineros. No obstante la mayoría de las veces existe una pobre relacion entre empresa y comunidad.

Construccion

Una vez localizados los yacimientos sigue la preparacion de las tierras a ocupar. Durante esta etapa pueden surgir situaciones adversas con la comunidad. Una de las mas recurrentes es el conflicto entre los intereses de los propietarios de las concesiones mineras (subsuelo) y los intereses de los dueños de los terrenos (superficie). La mineria superficial retira todo aquello que esta por encima del yacimiento de tal forma que las tierras destinadas a las actividades agricolas desaparecen. Debido al arraigo de los campesinos por su tierra en ocasiones impiden la prospeccion y desarrollo de proyectos mineros como sucedio en el Ejido de Pilares Sonora donde se localiza la mina La Caridad (Grupo Mexico 2002).

En ocasiones la preparacion del terreno demanda la reubicacion de los habitantes de la zona a ser explotada. Las repercusiones sociologicas y culturales de lo anterior son especialmente acentuadas cuando la poblacion esta muy arraigada en un espacio vital reducido o afianzada a sitios sagrados de importancia religiosa o historica (Anonimo 1993). Ejemplo de lo anterior es el Cerro de San Pedro San Luis Potosi donde se ubican los templos de San Nicolas Tolentino y San Pedro considerados por el Instituto Nacional de Antropologia e Historia como monumentos historicos³.

Ademas el desplazamiento de comunidades puede constituir una causa significativa de rechazo y conflicto asociados con la explotacion de recursos mineros a gran escala. La posibilidad de perder sus tierras y medios de subsistencia es capaz de deteriorar las instituciones y relaciones de poder de la comunidad. La reubicacion obligada de los asentamientos en areas que carecen de los recursos adecuados puede ser especialmente adverso para las comunidades indigenas con fuertes vinculos culturales y espirituales con las tierras (Echavarria 2001).



El acceso a los yacimientos dentro de territorios que los indígenas reclaman como autonomos es otra area de conflicto (CAMIMEX 2001) Esto obedece en parte a que muchas de las diferencias existentes entre las culturas indigenas y el resto de la sociedad se conocen muy vagamente ademas los antecedentes de injusticia han engendrado una arraigada desconfianza hacia quienes son ajenos a la cultura indigena en este caso los gobiernos y las empresas mineras (Levano 2000)

Una situacion similar a la descrita arriba ocurre cuando los yacimientos de interes se localizan dentro de areas naturales protegidas (ANP s) El problema de las ANP s y la mineria radica en las diferencias de los objetivos que persiguen cada una pues la explotacion de los minerales se considera incompatible con el proposito de conservar la biodiversidad

Las restricciones de usos productivos dentro de las ANP s conllevan costos de oportunidad Para la mineria el costo es igual al valor economico de los yacimientos que a menudo es considerable En comparacion las ANP s carecen de recursos y no son autofinanciables aunque prestan servicios ambientales a la sociedad por los que nadie paga Por ello se utiliza como argumento para incluir a la mineria dentro de estas areas⁴ (Zaragoza y Perez 2001) Algunos ejemplos de zonas de conflicto en Mexico son las reservas de la Biosfera Mavavi en Sonora el Vizcaino en Baja California Sierra Gorda en Queretaro y Mariposa Monarca en Estado de Mexico y Michoacan (Kuntz 2003)

Cuando se consigue el acceso a las tierra es posible iniciar la construccion de la infraestructura (vias de acceso a la mina y de comunicacion local obras de dotacion de agua y energia electrica e instalaciones para la operacion de la unidad minera) y otras obras como unidades habitacionales centros comerciales y de recreo para los empleados y sus familias (Arvizu 1997) Las empresas mineras por lo comun generan y costean su propia infraestructura para la obtencion y comercializacion del recurso (Sanchez Salazar 1990)

Los efectos que se desprenden como consecuencia del establecimiento de la infraestructura son la creacion de empleos y enseguida el efecto multiplicador al promover una derrama economica en toda la region a traves del impulso del comercio y servicios que a su vez motiva la inmigracion (Arvizu 1997 Siguenza 1993) Con la apertura de una mina suele suceder la apertura de otras mas pues una vez detectado un yacimiento importante existe mas probabilidad de encontrar otros en la cercania

En la etapa de construccion ocurren cambios de mayor impacto en el corto plazo La introduccion de servicios la construccion de infraestructura y la preparacion del area a minar trae consigo los primeros impactos ambientales que se analizaran en el siguiente capitulo

Explotacion

La extraccion de los minerales se ha tecnificado El uso de maquinaria pesada de alta capacidad y el empleo de medios de transporte sofisticado ha provocado la demanda de mano de obra especializada para manejar el equipo nuevo Esto da como resultado una disminucion en la plantilla de empleados Asi la generacion de empleos como principal beneficio de los nuevos proyectos mineros puede verse disminuido debido a que las grandes empresas se inclinan por el uso de capital cada vez mas intensivo es decir se produce mas con menos empleados y en menor tiempo (MMSD 2002)

La cantidad de personas susceptibles de ser contratadas en las localidades puede ser baja durante la explotacion si estas no estan capacitadas para operar la maquinaria Dados los requerimientos de las empresas en ocasiones es necesario trasladar personal capacitado a las

⁴ El sector minero ha invertido 300 millones de dólares en el área de Ajos Bavispe con el fin de proteger la cuenca del Río San Pedro y además sus números muestran que la creación de una reserva de la biosfera o como término ecológico con la apertura de minas Según las autoridades ambientales federales la derrama por la creación de la reserva de Ajos Bavispe es de 10 millones de dólares anuales y los mismos calcula 1500 millones de dólares por la derrama económica local o generados por la minería

instalaciones mineras (Valdez 1984) La especializacion en el trabajo y la contratacion de personas ajenas a la comunidad puede incidir en el surgimiento de problemas laborales y sociales (Sigueza 1993) No obstante la creacion de empleos directos o indirectos es una fuente de ingresos para las localidades que dependera de la duracion de la explotacion del yacimiento y de la capacidad de integrar otras actividades economicas complementarias

Ademas del empleo la operacion de clinicas en zonas donde antes no existian es uno de los grandes beneficios de la mineria sobre todo cuando tienen acceso no solo los trabajadores y sus familias sino toda la poblacion que lo requiera Asi mismo la educacion es uno de los beneficios mas importantes y duraderos que una comunidad puede obtener de una mina a gran escala La reduccion del analfabetismo es una de las aportaciones mas significativas en las zonas rurales del pais donde por ejemplo el promedio de educacion de los trabajadores de las minas es en algunos lugares de 4 año de primaria (Sigueza 1993)

Contrario a los beneficios durante la etapa de explotacion tambien puede representar perjuicios Los accidentes laborales los impactos ambientales en el agua aire y suelo asi como las afectaciones en la salud de los trabajadores y pobladores locales pueden originar conflictos entre las comunidades y las empresas

Post operatoria

Tras la consuncion de los yacimientos las empresas inician el desmantelamiento de sus instalaciones aunque no siempre ha sido asi Los caminos de acceso y de comunicacion local asi como las escuelas y las clinicas son donados a las comunidades Sin embargo no se hereda el mantenimiento a los caminos ni el servicio medico y la asistencia de los profesores Su permanencia depende de la intervencion del gobierno y la participacion de la comunidad

Al disminuir la actividad minera y principalmente al concluirse aparece el desempleo y en consecuencia la caida de ingresos en la poblacion que anteceden a la migracion El grado de afectacion en esta etapa depende de la diversificacion economica lograda durante el desarrollo de la mineria en las comunidades (Roberts *et al* 2000) Cuando la mineria logra integrar otras actividades economicas (primarias secundarias o terciarias) es posible que al concluir la explotacion el espacio social sobreviva Por el contrario cuando la duracion de los proyectos es corta no existen posibilidades de integrar otras actividades economicas que soporten el desarrollo de una comunidad La dependencia hacia la mineria puede ser tal que el declive en la produccion de los minerales implica el declive de la comunidad

La etapa post operativa tambien tiene repercusiones ambientales que luego trastocan el ambito social Los impactos ambientales no se restringen al area que ocupan las minas y sus instalaciones sino que abarcan mas alla de sus limites y por tanto afectan a terceros La contaminacion por ejemplo de los rios y el deterioro de las poblaciones de peces o la apropiacion de tierras de pastoreo y recursos forestales pueden generar dificultades economicas Lo anterior a su vez puede exacerbar los problemas sociales presentes o crear nuevos conflictos

El interes de los habitantes locales sobre la tierra y agua en sus comunidades responde a la relacion directa que existe entre el estado del ambiente y la viabilidad de continuar las actividades economicas que les permiten sobrevivir (Levano 2000 Borges y Vercelli 2003) Esto es especialmente relevante para los pueblos indigenas pues existe una dependencia muy estrecha hacia sus territorios ancestrales y recursos naturales los cuales estan dirigidos hacia una produccion de subsistencia (Echavarría 2001) Algunos ejemplos en Mexico que relacionan las repercusiones del deterioro ambiental de la mineria con otras actividades productivas estan en Chihuahua⁵ y en Hidalgo (Huerta 2001)

Las consecuencias desfavorables durante la etapa post operativa senalan la importancia de su planificacion anticipada La prevencion de los impactos ambientales y la preparacion de

planes de emergencia ante accidentes puede evitar conflictos con las comunidades desde la exploración hasta el fin de las operaciones. Pero también la restauración de las áreas deterioradas es una tarea importante para legar un ambiente sano y adecuado para el desarrollo de actividades productivas que permitan sobrevivir a las localidades. Esto abona al mejoramiento de la imagen y la aceptación de la minería.

El desarrollo sustentable en la minería

El desarrollo sustentable es aquel que permite satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades (WCED 1987). Aunque se trata de una definición poco operativa, generalmente se entiende que la meta es conseguir sistemas que sobrevivan indefinidamente y en buenas condiciones, aunque la evaluación solo pueda hacerse en retrospectiva (Costanza *et al.* 1999).

Para la minería, el desarrollo sustentable significa por un lado asegurar la disponibilidad de minerales aun cuando se trata de recursos no renovables, cuya discusión no abordamos aquí. Y por otro lado, significa atender los problemas ambientales derivados de sus actividades, lo cual permitiera ofrecer alternativas de desarrollo económico y evitar problemas de salud. Lo anterior es importante porque muchos de los impactos generados por la demanda de materiales en el mundo se quedan en el nivel local, es decir, en los sitios de extracción. Por lo tanto, en estos lugares es donde se necesita adoptar las medidas que garanticen la preservación de los bienes y servicios ambientales.

Las empresas son un factor de gran importancia al momento de tomar decisiones sobre como 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).

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 externalidades⁶ que genera la industria minera pueden quedar en su mayoría ajenos de esta 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.
- 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

⁶ 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 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 o los relaciona 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.

salud se evitan costos por demandas de compensacion por parte de trabajadores y la comunidad

- 3) Reduccion de costos por metodos de produccion mas limpios
Los gastos en practicas ambientales se pagan por si solas con la reduccion de los costos y el aumento de la produccion que generan La innovacion y el desarrollo de la tecnologia permiten introducir una mayor eficiencia de productos y procesos por ejemplo los metodos de extraccion mas eficientes producen residuos con menos metales y disminuyen los problemas ambientales
- 4) Mayor facilidad de acceso a prestamos y seguros y tasas preferenciales
El desempeno ambiental deficiente de una empresa reduce sus posibilidades de acceso al credito y aumenta los costos de la operacion particularmente en paises donde la legislacion sigue el principio el que contamina paga
- 5) Menores costos de transaccion
La mayor transparencia y difusion de la informacion sobre un proyecto y los planes para evitar mitigar y reducir los impactos negativos y a la vez aumentar los impactos positivos generaran confianza entre los actores involucrados y disminuiran los costos de transaccion Conocer los problemas con anticipacion ser perceptivo a estos y ejecutar medidas preventivas apropiadas son acciones que rendiran frutos
- 6) Menores costos de cierre y post cierre
El desarrollo e implementacion claros de un plan a largo plazo incluyendo la etapa de post operatoria pueden bajar considerablemente los costos del cierre si los sistemas funcionan correctamente desde un comienzo Cuando la recuperacion de la mina y zonas afectadas se planifica desde el inicio el costo final es menor y se obtienen mejores resultados Con una planeacion deficiente se incurre en costos adicionales por la reubicacion de los materiales residuales y por la contaminacion de cuencas hidrograficas entre otras consecuencias

A mayor tiempo transcurrido entre la consumacion de los danos ambientales y su reparacion y a mayor desinteres ante los problemas sociales generados por el desarrollo de la mineria mayor cantidad de recursos humanos y financieros seran 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 disminucion de sus ingresos
- 7) Una mejor reputacion aumenta el valor comercial
Los antecedentes de desempeno de una empresa pueden atraer mejor personal capacitado y ante las comunidades puede significar una mejor recepcion en las naciones anfitrionas y en las comunidades locales si se presentan con una clara vision de si mismas como agentes del Desarrollo Sustentable Las buenas relaciones y la aceptacion en la comunidad local pueden reducir el tiempo requerido para obtener aprobacion gubernamental y disminuir la posibilidad de conflicto
- 8) Mejores practicas influyen en la regulacion
Las empresas que siguen las mejores practicas se encuentran en una posicion ventajosa con respecto a sus competidores para influir en la definicion de las normas y el rumbo de los cambios reguladores Las mejores practicas pueden servir para lograr credibilidad ante los organismos reguladores y pueden tambien ser de utilidad en la creacion de asociaciones para desarrollar regulaciones realistas y con base cientifica
- 9) Ventaja comercial
La reputacion 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 eticos

La rapida expansion en America del Norte y Europa del movimiento por la inversion etica y la inversion socialmente responsable (ISR) plantea un nuevo desafio a las empresas del sector de los minerales ya que los inversionistas en especial los administradores de fondos de pension y otras grandes instituciones dedicadas al manejo de fondos descartan los titulos asociados a desempenos ambientales y sociales inaceptables. En el Reino Unido 21 de los 25 fondos de pension mas importantes aplican actualmente criterios de responsabilidad social al menos a una parte de su cartera de inversiones.

Varias de las grandes empresas mineras del mundo han hecho publicos algunos ejemplos de mejor desempeno ambiental y social que van de la mano con mejores resultados financieros. Ademas de lo anterior existen ejemplos que demuestran los costos adicionales por la desatencion a problemas ambientales y sociales que pueden desembocar en conflictos (MMSD 2002). Es necesario contar con mas ejemplos empiricos que respalden la incorporacion de practicas sustentables en las politicas de las empresas mineras y demuestren su exito financiero.

El interes en el desarrollo sustentable de los grandes grupos mineros del mundo ha aumentado. Por ejemplo reconocen la importancia que tiene la interaccion empresa comunidad y la consulta con los actores locales de las comunidades donde operan. No obstante la gestion ambiental se encuentra mejor implementada que el manejo de los temas sociales y de los impactos economicos de mayor amplitud. Un ejemplo de lo anterior puede notarse en las manifestaciones de impacto ambiental en las cuales la integracion de la problematica social con los aspectos ambientales queda poco integrada.

La atencion a los problemas ambientales sin el interes 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 sera primordial al reconocer los impactos sociales que se produzcan durante el desarrollo del proyecto minero y mas aun 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 solo toca al Gobierno atender los problemas sociales que se puedan desarrollar a lo largo de la vida del proyecto minero sino que tambien es responsabilidad de las empresas, los trabajadores y la comunidad. Un ejemplo de como las empresas en otras partes del mundo estan enfrentando las consecuencias sociales del cierre de las minas es a traves de la capacitacion hacia actividades diferentes a la mineria con lo cual se amplian las posibilidades laborales de los trabajadores al concluir su trabajo. Recientemente en Mexico 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 tambien pueden responsabilizarse de dar a conocer a los trabajadores las opciones de transicion 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 reduccion de la fuerza laboral parte de la solucion deberia ser una planificacion integrada para tratar de asegurar la existencia de oportunidades a partir de las habilidades desarrolladas.

Con relacion al pasado la falta de prevision sobre los problemas sociales y de conocimiento sobre las consecuencias ambientales del ciclo de produccion minero genero situaciones que las empresas y gobiernos no previeron. Esta circunstancia refuerza aun mas la necesidad de prever los impactos ambientales y sociales para no incrementar los costos por concepto de restauracion que de por si son dificiles de cubrir.

CAPITULO 2

LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA MINERIA SUPERFICIAL

La minería superficial

Comunmente los minerales no se distribuyen de manera uniforme a través de las rocas sino que tienden a presentarse en concentraciones relativamente bajas y a menudo contienen impurezas además los yacimientos no son fácilmente reconocibles pues están localizados en el subsuelo. La exploración o identificación de los 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.

La forma y disposición de los yacimientos es determinante para establecer el tipo de minado. 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, Ramirez 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. La vasta mayoría de la producción minera actual de los principales metales proviene de operaciones de gran escala que explotan depósitos de baja ley, por lo cual la minería superficial ocupa un lugar importante en la producción mundial de minerales.

La minería superficial puede clasificarse con base en los métodos de minado en mecánico (o seco) y acuoso (o húmedo) (Tabla 2.1). 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 placer⁷ y en minado por solución. Los de placer se emplean para recuperar

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



metales pesados de depositos principalmente aluviales⁸ o de placer usando agua para excavar transportar y / o concentrar el mineral Por su parte los metodos de solucion se aplican a los minerales solubles usando agua o un liquido solvente (Hartman 1987) En este trabajo solo consideramos los metodos de minado seco

Los metodos mecanicos operan en un ambiente seco para extraer los minerales del subsuelo los metodos mas importantes son los tajos las canteras y *open cast mining*

Los tajos se utilizan principalmente para la extraccion de minerales metalicos los cuales en su mayoria se originaron a partir de la actividad de tipo volcanica que inyecta los fluidos mineralizados dentro de las rocas encajonantes y generalmente se distribuyen mas en sentido vertical (profundidad) que horizontalmente como sucede con el carbon (Hartman 1987)

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

CLASE	SUBCLASE	MÉTODO	MINERALES /ROCAS
Mecanica (Seca)		Tajos	Minerales metalicos (Al Cu Au Fe U)
		<i>Open cast</i>	Carbon principalmente antracita bauxita bentonita lignito
		Canteras	Granito marmol areniscas pizarra calizas (rocas dimensionables)
Acuosa (Humeda)	Placer	Hidraulica	Grava arena diamantes Au platino estano
		Dragado	
	Solucion	<i>Borehole mining</i>	Sal trona (evaporitas) caolin uranio
Lixiviado		Usado en la recuperacion secundaria de Cu Au Ag y en la recuperacion primaria de uranio	

Los depositos gruesos tipicos de menas⁹ metalicas son extraidos desde la superficie hasta el subsuelo generalmente en escanos aunque los depositos relativamente delgados pueden ser minados desde una sola cara La forma de explotacion en los tajos produce su distintivo aspecto una piramide circular invertida en la tierra de gran profundidad y extension

En las canteras se extraen rocas dimensionables como el granito y el marmol y otros bloques prismaticos de forma regular Aunque el termino se aplica en ocasiones para cualquier mina superficial que extrae minerales no metalicos el termino esta restringido para denotar la extraccion de rocas dimensionables y de materiales como grava o arenas En apariencia las canteras son minas de dimensiones mucho menores a los tajos y los escanos o caras de las canteras que son muy reducidas y casi verticales

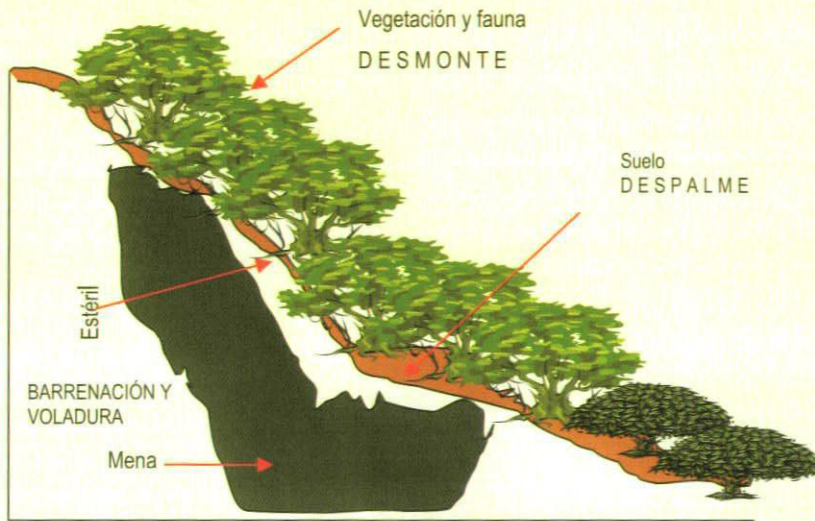
El metodo *open cast mining* (tambien conocido como *strip mining*) es usado al igual que los tajos y canteras para explotar depositos minerales cercanos a la superficie aunque este metodo se emplea particularmente para extraer carbon y otros minerales cuyos depositos son horizontales poco profundos y relativamente gruesos de considerable extension lateral La razon de su distribucion es el origen geologico pues se trata de depositos sedimentareos

En la mineria 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 metodo de minado seleccionado para la explotacion es determinado principalmente por las caracteristicas de la mena y los limites impuestos por la seguridad la tecnologia y la economia

Los depositos aluviales son materiales depositados por los rios

Mena el mineral de interese con el valor superficial que es abierta su explotacion este termino tiene un sentido economico pero en uno geologico puede considerarse como depósito o yacimiento mineral

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 las 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).

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. Despálme: en ocasiones se distingue como la operación de retirar el suelo, pero con frecuencia el suelo se retira junto con las rocas.
3. Barrenación: Es una operación de perforación de las rocas.

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

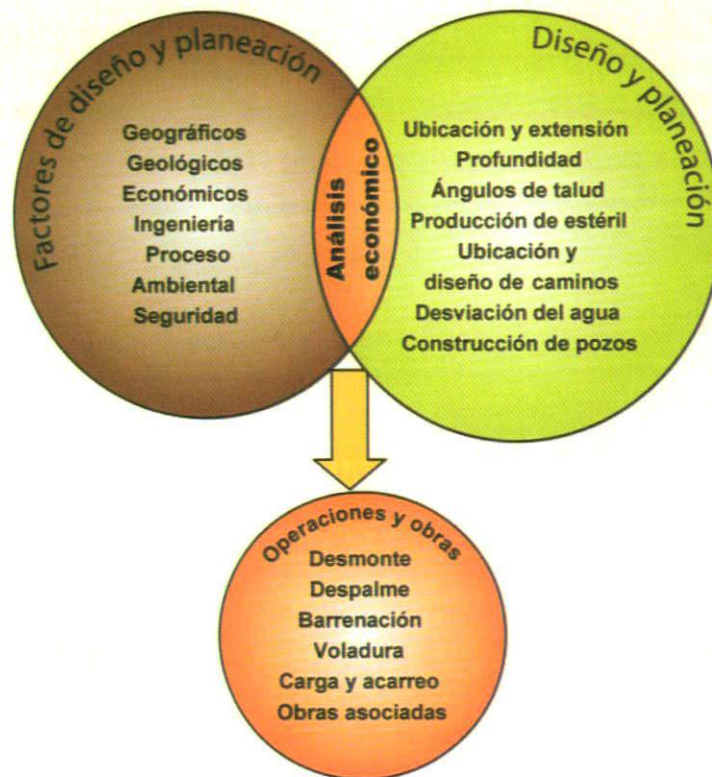
DESCAPOTE	Fragmentación de la roca	Desmonte	MINADO	Fragmentación de la roca	Barrenación
		Despálme			Voladura
		Barrenación			Rompimiento
		Voladura			
		Rompimiento			
Manejo de materiales		Carga o Excavación	Manejo de materiales		Carga o excavación
		Acarreo			Acarreo

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 terreros¹⁰

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).

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).

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



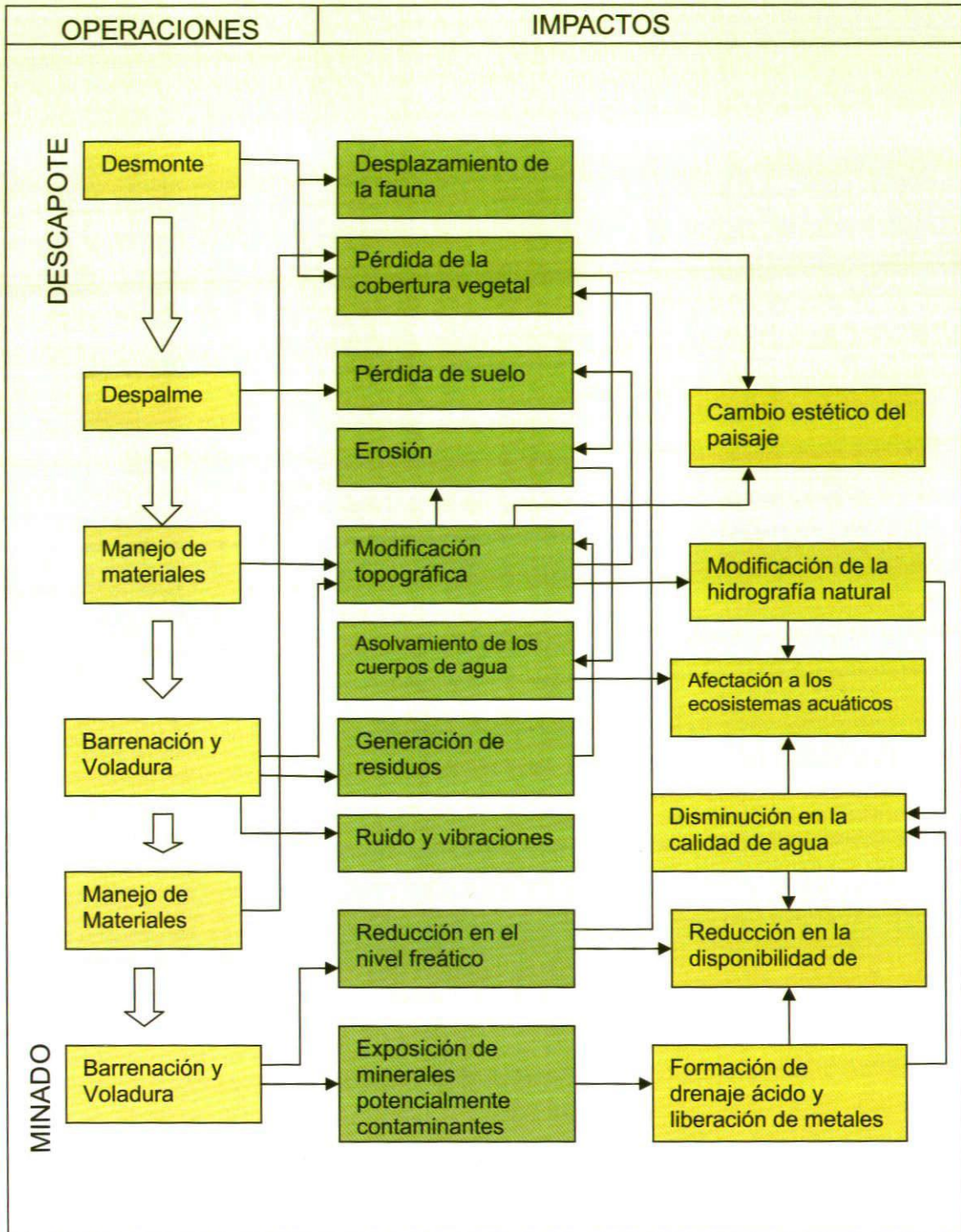
Los impactos ambientales de la minería superficial

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

¹⁰ Se conoce como terreros al sitio donde se dispone del suelo y roca estéril que resulta del descapote.

calidad del medio (Martín, 1999). Por tanto, la calidad ambiental es la medida del cambio de las variables ambientales que permite definir la existencia de impactos ambientales. La salud e integridad de los ecosistemas definen a la calidad del medio, e implica el uso de juicios de valor para establecer los criterios que definan qué debe considerarse como saludable e íntegro en un ecosistema. Los índices de calidad del agua y suelo, por ejemplo, son parámetros que permiten determinar los impactos producidos por la acción humana.

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



En este capítulo, se presentan y analizan los impactos ambientales que pueden originarse a partir de las actividades mineras superficiales, sin llegar a hacer una valoración de los impactos. A continuación se presentan las operaciones y los impactos ambientales que se derivan de éstas (Fig. 2.4).

Descapote y manejo de materiales

La primera operación necesaria para acceder a la mena es el descapote, el cual inicia con el desmonte y el despalme; es decir, con la eliminación de las capas más externas: la vegetación y el suelo.

La eliminación de la vegetación implica la pérdida de las áreas de alimentación, anidación y refugio de la fauna, lo que origina el desplazamiento de los animales hacia otras áreas donde puedan satisfacer sus necesidades. Dependiendo de la escala del proyecto, el desmonte también puede afectar la biodiversidad; por ejemplo, si éste se realiza en áreas donde se encuentran especies, o tipos de vegetación de distribución restringida.

A través de las operaciones de desmonte, despalme y hasta su disposición en los terreros, se pierde el suelo. La compactación (McRae, 1998; Bradshaw, 2000), el declive de la actividad microbiana (Haselwandter, 1997; Bradshaw, 2000), la pérdida de sus propiedades químicas y del banco de semillas (Rokich *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2001) dificultan la recuperación de la vegetación previa al desmonte. Las nuevas condiciones ambientales sólo permiten que las especies con las características adecuadas para enfrentar las condiciones adversas, se establezcan. El resultado es una vegetación distinta a la establecida antes del desmonte; este hecho ha conformado floras distintivas que llegan a ser poco comunes y hasta únicas (Bradshaw, 1983; Gómez *et al.*, 1998).

Fig. 2.5 Terreros de una mina superficial de carbón.



Los cambios en la composición de las especies no sólo obedecen a lo anterior, también influyen de manera importante las tofoformas 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). Aún cuando el suelo se preservara, el arribo de semillas viables provenientes de otros lugares, modifica la composición de la vegetación (Rokich *et al.*, 2000; Ghose, 2001).

A su vez la erosión 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 periodos de sequía en las regiones de lluvias periódicas o estacionales porque las partículas permanecen sueltas y son fácilmente transportadas por el viento (Anton 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.

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 estos 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), lo cual representa un incremento en la sedimentación y asolve de los sistemas de drenaje, así como la emisión de polvo. Además, las pendientes de los taludes de las minas superficiales generalmente son muy abruptas, lo que origina inestabilidad en la zona.

En el caso de los bancos de materiales abandonados además existen otras implicaciones. Con frecuencia estos 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 conurbada 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 estas 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: desecación 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 solo 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 2.2. 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 (el equivalente a Naucalpan) 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 2.2. Estimaciones del uso del agua en la industria minero metalúrgica. Tomado de López *et al.*, (2001).

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

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 retoma a un bien nacional o a la red de drenaje municipal.

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 microbológica (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 pública¹¹ (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

¹¹ 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, vómito), hepáticas (cirrosis), sanguíneas (anemia). El cáncer es el principal efecto a largo plazo de la exposición crónica al arsénico inorgánico. En otros seres vivos las afectaciones son diversas como osteoporosis, supresión de la puesta de huevos, disfunción renal etc.

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 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 varias técnicas como 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 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 (Fig.2.6). 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, u otras sustancias.

Fig.2.6. Mina de carbón. Como resultado de la extracción del mineral, se generan enormes cantidades de residuos (izquierda) y el manto acuífero esta expuesto al ambiente.



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 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 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 está 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) 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 1980 Sengupta 1993)

Manejo de materiales

El asentamiento de los terreros también provoca la eliminación del suelo y vegetación presentes en el área de disposición así como el desplazamiento de la fauna

Durante el manejo del material descapotado la maquinaria y las operaciones de carga y acarreo originan ruido así mismo los impactos en la atmósfera se deben al polvo y la contaminación del aire proveniente de las máquinas que operan

Conforme el minado avanza se generan grandes cantidades de residuos conformados por el material descapotado (suelo y estéril) Estos se disponen en los terreros los cuales se establecen en áreas cercanas a las minas para economizar los costos de transporte A menudo los terreros se forman en laderas y canadas cuando el relieve es montañoso en las planicies su establecimiento genera enormes montículos similares a las colinas y los cerros Los residuos suelen acomodarse en ángulos muy pronunciados lo cual provoca la inestabilidad y el peligro de derrumbes así mismo se facilita la erosión excesiva (Fig 2 7) y esta a su vez origina el asolve de cuerpos de agua (Grunwald *et al* 1995)

Con los cambios en la topografía natural derivados del establecimiento de los terreros también aparece la erosión tanto hídrica como eólica en los terreros La magnitud de estos depende de la longitud e inclinación de las pendientes de las laderas la frecuencia e intensidad de las lluvias y el viento así como la facilidad con que pueden erosionarse

También existe el riesgo de 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 también contienen minerales El intemperismo al que está expuesto el material estéril y la presencia de sulfuros son algunos de los requisitos para que se produzca el drenaje ácido

Fig. 2.7 Terreros de una mina superficial.



Minado: Barrenación y voladura

Después del descapote, la mena queda expuesta y lista para extraerla 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 (desmante, despalme, barrenación, voladura, manejo de residuos). Las operaciones realizadas para extraer directamente la mena magnifican y prolongan los impactos ya producidos en el descapote.

Las condiciones que presentan las minas superficiales y los terreros asociados a éstas son difíciles de revertir sin la intervención humana. Los rangos de tiempos estimados tanto de procesos físicos como biológicos necesarios para recuperar un ecosistema natural fuertemente perturbado, están en el orden de años a siglos como se muestra en la Tabla 2.3. (Bradshaw, 1997).

Tabla 2.3. Procesos físicos y biológicos involucrados en la sucesión (Bradshaw, 1997).

Tiempo (años)	Procesos físicos	Tiempo (años)	Procesos biológicos
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

Tiempo (años)	Procesos físicos	Tiempo (años)	Procesos biológicos
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 en una mina de carbón (Bradshaw y Chadwick, 1980).

La eliminación de la vegetación (y sus propágulos), el suelo, la contaminación, 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). En total, la minería superficial puede ocupar de 2 a 11 veces más área que las minas subterráneas (Miao, 2000). 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.

Otros impactos ambientales

Además de las minas y los terreros, se construyen obras relacionadas con la apertura de las minas que también generan impactos ambientales. Entre ellas, las de abastecimiento de agua y de energía, vías de comunicación, e infraestructura municipal (Sánchez-Salazar, 1990; Arvizu, 1997); unidades habitacionales, centros de recreo, de labores comerciales y de servicios para la población empleada y su familia; así como la construcción de plantas de beneficio (o procesamiento) y las presas de jales (Valdes, 1984).

Los impactos de la minería pueden ser de largo alcance cuando se desarrolla en áreas relativamente inalteradas. La construcción de infraestructura además de modificar la zona, puede crear grandes expectativas de posibles beneficios a gran escala, lo que a menudo provoca una rápida inmigración. A veces, nuevas personas y nuevas actividades en un área también pueden traer plagas y enfermedades que afecten los ecosistemas.

Las plantas de beneficio y las presas de jales también traen consecuencias ambientales importantes. Debido a que los minerales no se encuentran puros en la naturaleza, es necesario triturar la mena y utilizar técnicas físicas y/o químicas para separar los metales de interés de las rocas. Como resultado del proceso de beneficio, se generan enormes cantidades de residuos (o jales), los cuáles se disponen finalmente en presas.

La composición mineralógica de la mena y la técnica empleada, influyen en la cantidad de residuos generados y el grado de contaminación producida. Las plantas de beneficio emplean técnicas químicas como la lixiviación por cianuración o soluciones ácidas. Con frecuencia, estas sustancias acompañan a los residuos y permanecen en las presas de jales donde pueden reaccionar y formar otras sustancias tóxicas, o liberar metales al ambiente. El aire, el suelo y agua

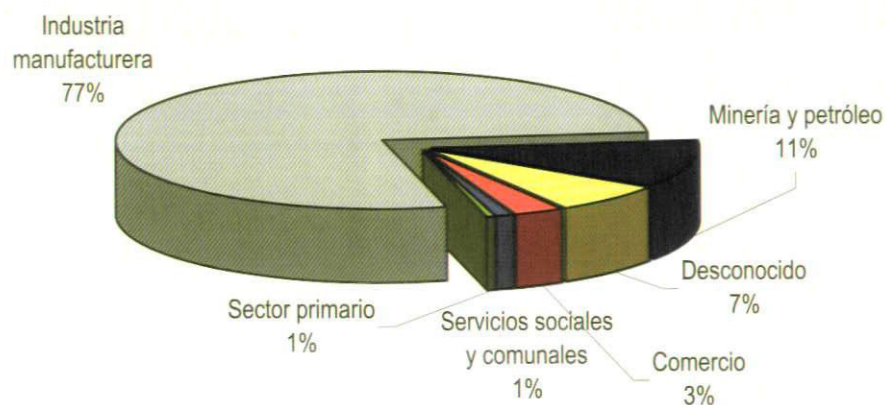
son vehículos por donde las sustancias pueden incorporarse a las cadenas tróficas y afectar a las plantas, los animales y las personas (Bradshaw y Chadwick, 1980; Sengupta, 1993; Wong, 2003).

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.

El volumen que ocupan los jales 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). 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 (Fig. 2.8).

No sólo los minerales metálicos son llevados a una planta de procesamiento, las rocas calizas por ejemplo, son conducidas a una planta para producir cemento. En éstas, también se presentan impactos ambientales. La producción de cal y mortero a partir de las rocas calizas demanda la quema de combustibles, lo cual contamina la atmósfera. Así mismo, 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: CaCO₃ → CaO + CO₂ (Brown *et al.*, 2004).

Fig. 2.8. 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. 2.9)

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 escaso¹². 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 agropecuarias debidas a la escasez (Tabla 2.4).

Fig. 2.9. Relaciones entre los recursos naturales, el medio social y los proyectos mineros.



Otro ejemplo es la afectación sobre la calidad del agua superficial y subterránea. Esta se puede alterar principalmente por la contaminación proveniente de las sustancias empleadas en la voladura (nitratos y amonio), por el uso de sustancias peligrosas durante el beneficio (mercurio, cianuro, ácidos orgánicos entre otros) o por la liberación del drenaje ácido. 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, principalmente para las localidades. El tratamiento del suelo y agua puede ser muy costoso o difícil de implementar.

Tabla 2.4. 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.

¹² 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
		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.
		Erosión	Pérdida de la productividad del suelo (agrícola o forestal) 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.
Vegetación		Pérdida de la cobertura e incremento en la sedimentación en cuerpos de agua.	Afectación en organismos acuáticos comestibles. Asolve de cuerpos de agua.

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/o 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.

La minería superficial y el deterioro en México

La falta de inventarios y registros con información completa sobre las minas en nuestro país, limita el conocimiento certero sobre el deterioro de la minería en México. Sin embargo, la información sobre la producción minera y la que está disponible sobre las minas, permite hacer una aproximación

Tomando al volumen de producción de los minerales no metálicos como indicador del área deteriorada por la minería superficial, 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 superficial que en el resto del país (Fig. 2.10).

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 casi todo el carbón, además de 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.

Los minerales metálicos también pueden explotarse a través de métodos superficiales aunque no es la regla. Sin embargo, existen tajos bien conocidos por su importancia y pueden servir como indicadores. Así, en Coahuila, Colima y Michoacán se localizan tajos donde se extraen grandes volúmenes de hierro; y en Sonora varios tajos extraen cobre.

Otro indicador del deterioro, es la distribución de las minas de minerales no metálicos registradas por el COREMI, aún cuando no proporciona un listado actualizado. La ventaja es que ubica geográficamente las minas en el país, lo cual permite conocer con más claridad las áreas probablemente deterioradas. Así, es posible identificar al matorral xerófilo, bosque de coníferas y encinos, y bosque tropical caducifolio, como los tipos de vegetación en los cuáles se desarrolla con mayor frecuencia la minería superficial, y por tanto, los más afectados por ésta (Fig. 2.11).

Fig. 2.10. 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)

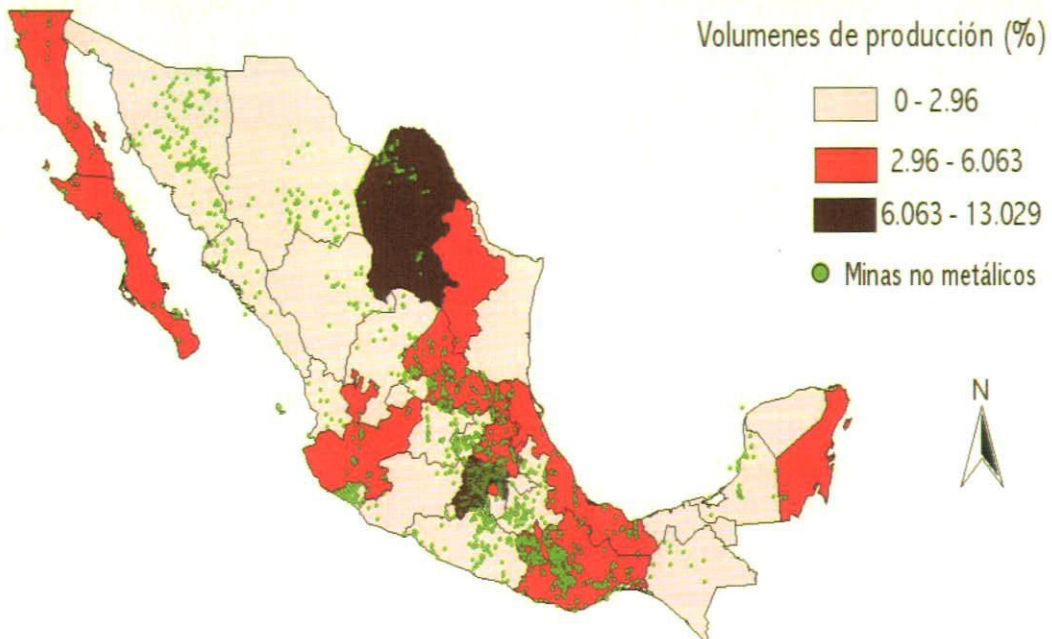
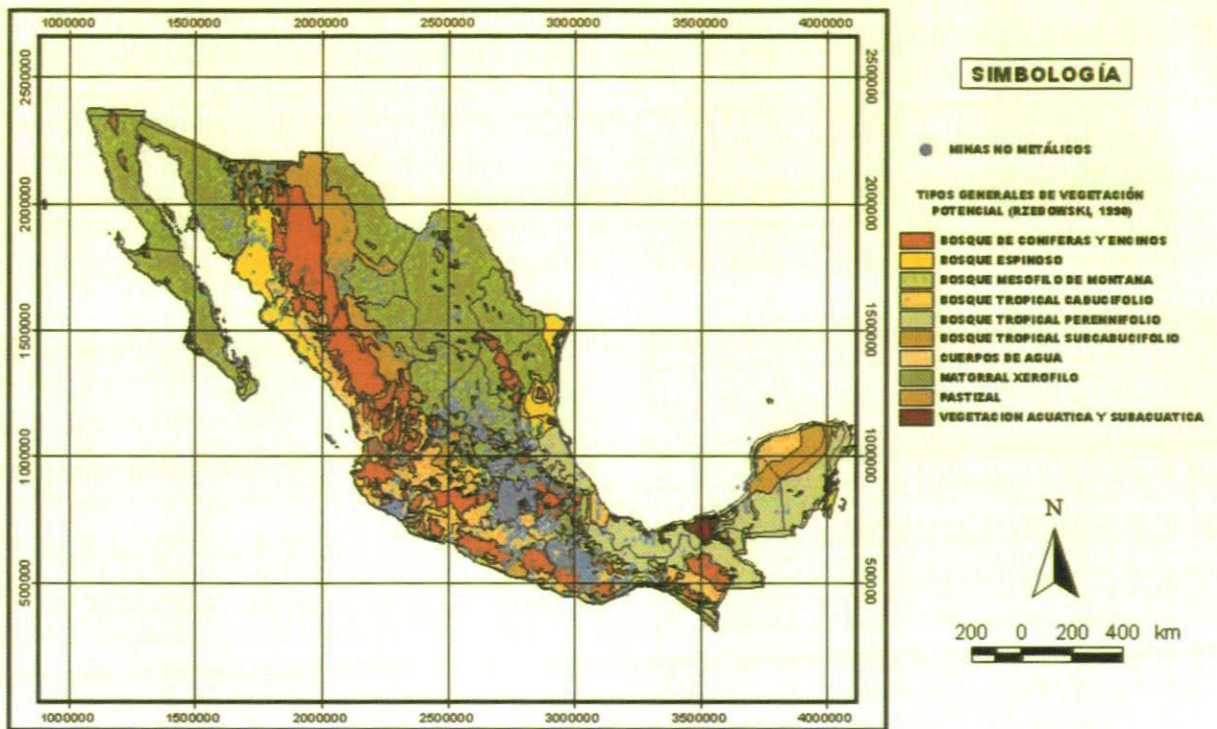


Fig. 2.11. Distribución de las minas de sustancias no metálicas en los tipos de vegetación potencial de México. (Elaborado a partir de Monografías Geológico Mineras, 1991-99)



Factores de diseño e impactos ambientales

La evaluación de los factores tanto geológicos, como técnicos, económicos y geográficos, es fundamental para decidir si un yacimiento es sometido al laboreo (Coll-Hurtado *et al.*, 2002). Aunque los estudios ambientales son muy importantes, se consideran pocos aspectos durante la planeación de las minas.

Los factores de diseño de una mina son de gran importancia ambiental porque se traducen en impactos ambientales (Fig. 2.12). 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 se originan impactos que afectan a cada uno de los elementos ambientales (topografía, atmósfera, suelo, agua y biota).

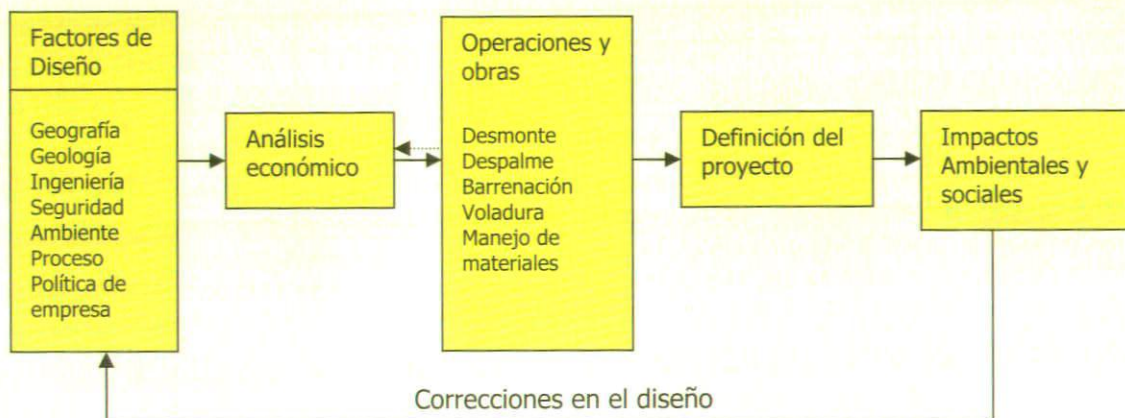
Si bien los factores de diseño son utilizados en última instancia para alcanzar el óptimo económico en la explotación, éstos, al mismo tiempo, pueden usarse para prevenir los impactos ambientales. Así, durante el diseño de una mina superficial es posible prevenir o minimizar los impactos cuando cada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

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).

Fig. 2.12. El diseño de las minas determina los impactos ambientales y sociales, y al mismo tiempo puede prevenirlos o mitigarlos.



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 2.5 muestra cada uno de los elementos ambientales, los impactos y los factores que los determinan.

Tabla 2.5. 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
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

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 los ecosistemas. 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.

CAPITULO 3 ASPECTOS LEGALES DE LA RESTAURACION DE MINAS

Ambito internacional

La evidencia del deterioro ambiental suele ignorarse hasta que este impacta de forma mas directa el bienestar de las personas. Los hechos como el envenenamiento de personas por mercurio en Minamata o los problemas de salud por la contaminacion del aire en Londres motivaron la preocupacion de la sociedad por la calidad del ambiente.

Durante el movimiento verde de los años 60s se manifestó el reconocimiento de que la conservación del ambiente y la preservación de los paisajes naturales y el hábitat de plantas y animales tenían un valor para la sociedad. Fue esta 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 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. La legislación ambiental de la minería en estos países es heterogénea en cuanto a competencias y contenidos, sin embargo en todas se contempla la restauración de las minas (Tabla 3.1).

La solicitud de planes de manejo ambiental y de restauración de las áreas afectadas, así como el cumplimiento de requerimientos detallados para la construcción, mantenimiento y la restauración del sitio de explotación conforman parte de las reglas que debe cumplir la industria minera para la aprobación de sus operaciones en los países arriba citados (Lee, 1999). Pero además existen mecanismos de financiamiento diseñados para asegurar el cumplimiento de sus compromisos, entre ellos el de restaurar. Así, los gobiernos pueden responder por los impactos ambientales ante el abandono de las minas o la quiebra de las empresas.

Las exigencias ambientales de los países desarrollados dio como resultado el incremento en los costos de operación para las empresas lo cual ha reducido su viabilidad económica dentro de su territorio. En consecuencia las empresas establecen sus proyectos en lugares apartados adentro de otros países por ejemplo en Reino Unido se plantea ubicar las grandes canteras en España o Noruega (Lee 1999) pero también las empresas pueden elegir a los países con leyes ambientales menos exigentes. Esto supone una presión ambiental adicional en los países en desarrollo como los latinoamericanos donde existe un gran interés por atraer inversiones y en los cuales las leyes ambientales son menos rigurosas.

Tabla 3.1 Legislación ambiental aplicable a la minería en países desarrollados. González 1999

País		Normas Jurídicas
Australia occidental		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
Canada	Columbia Británica	BC Environmental Assessment Act Mines Act Revised Statutes of British Columbia 1996 Health Safety and Reclamation Code for Mines 1997 Environmental Assessment Reviewable Projects Regulation
	Ontario	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
	Quebec	Mining Act (Revised Statutes of Quebec) 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	Colorado Mined Land Reclamation Act Colorado Land Reclamation Act for the Extraction of Construction Materials
	Nevada	Nevada Administrative Code
	Nuevo Mexico	New Mexico Mining Act New Mexico Mining Act Implementation
Sudafrica		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 America latina la regulacion ambiental en la mayoria de los paises es reciente y mas aun los lineamientos especificos para la mineria. La evaluacion de impacto ambiental es el comun denominador dentro de las legislaciones ambientales en Latinoamerica que puede aplicarse a la mineria (Gonzalez 1999). De hecho practicamente no existen instrumentos especificos para la mineria y en particular para la etapa post operativa en las minas. Las excepciones suceden en Argentina y Peru donde han desarrollado un sistema especial –aunque general para la mineria que incluye a todas las etapas incluso la post operativa. Bolivia es el unico que cuenta con un instrumento especifico para la regulacion de impactos ambientales post operacionales de la mineria aunque su legislacion se percibe compleja ambigua y muy costosa (Blacutt 1992).

Ademas de la escasa atencion que se pone en la ultima etapa de la explotacion de las minas en la normatividad ambiental latinoamericana es importante destacar la omision de sistemas que garanticen el cumplimiento de las obligaciones de cierre en cada uno de los paises mencionados.

Si bien la regulacion ambiental la determinan los gobiernos de los paises la firma de tratados y acuerdos internacionales pueden influir. Existen alrededor de 1000 tratados internacionales enfocados al ambiente la mayoria de ellos se desarrollaron desde 1970 (Pring 2003). A pesar de ello no existen leyes internacionales concretas para la mineria y solo se dispone de aquellas que regulan a la industria en general.

No obstante las Naciones Unidas convocaron en 1991 por primera vez a una mesa redonda de expertos internacionales sobre mineria en Berlin una decada despues hubo una nueva reunion. En las directrices de Berlin se apunta que las actividades de la mineria sustentable requieren una buena organizacion ambiental en todas sus actividades. En consecuencia recomiendan que los gobiernos y empresas mineras den alta prioridad al manejo ambiental. Al mismo tiempo las directrices sugieren la participacion de las comunidades afectadas y el establecimiento de mejores practicas aun cuando falten regulaciones ambientales especificas.

Los requerimientos ambientales de las instituciones financieras internacionales son estímulos para el desarrollo de estandares ambientales internacionales para la mineria (Walde 1992). El banco mundial por ejemplo ha desarrollado a traves del departamento de medio ambiente estandares internacionales para la mineria aunque estas son guias y raramente se incluyen como condiciones explicitas de prestamo (MMSD 2002).

La industria y las organizaciones no gubernamentales (ONG) estan produciendo y expandiendo directrices internacionales estandares mejores practicas codigos de conducta procedimientos tecnicos y de manejo asi como reglas dentro de las empresas tanto de aplicacion general como especificos para la industria minera. Un ejemplo es el Consejo Internacional sobre Metales y Ambiente (ICME) una ONG que agrupa a las empresas mas grandes del mundo que ha creado la carta ambiental del ICME cuyo contenido es similar a las directrices de Berlin.

Ambito Nacional

En Mexico la regulacion ambiental de la mineria queda establecida en la Ley General de Equilibrio Ecologico y Proteccion al ambiente (LGEEPA) aunque otras leyes como la de Aguas Nacionales de Gestion Integral de los Residuos y la ley General de Desarrollo Forestal Sustentable tambien tienen alcances ambientales para la industria minera (Fig 3.1). A partir de estas se establecen los reglamentos y normas oficiales que regulan los impactos ambientales la descarga de aguas residuales la contaminacion atmosferica en las plantas de procesamiento y la disposicion de residuos.

Fig 3 1 Regulacion ambiental de la mineria superficial en Mexico

ETAPAS DEL PROYECTO	EXPLORACION	CONSTRUCCION Y OPERACION					POST OPERATIVA
		AIRE	AGUA	SUELO	VEGETACION Y FAUNA	OTROS	
LEYES	LGEEPA	LGEEPA	LGEEPA art. 108 109 Ley de agua nacionales LGI Residuos	LGEEPA L. desarrollo forestal sustentable LGI Residuos	LGEEPA Ley de Desarrollo forestal sustentabl	LGEEPA Art. 108 109 L. de gestión integral de residuos	
REGULAMENTOS	Reglamento en materia de evaluación de impacto ambiental (REIA)	REIA	REIA R. de la ley aguas nacionales	REIA R. de la ley d desarrollo forestal sustentable	REIA R. de la ley desarrollo forestal sustentabl.		
NORMAS	C. 1-129- SEMARNAT 1997		NOM-00 SEMARNAT 1996 NOM-C03-CNA-96 NOM-C04-CNA		NOM-059 SEMARNAT 2001		

La LGEEPA contempla la creación de normas oficiales mexicanas (NOM) para controlar y proteger la calidad de las aguas utilizadas por la minería, la protección de los suelos, de la flora y fauna silvestres y el tratamiento de las alteraciones topográficas generadas por la explotación minera, así como la ubicación y formas de depósito del desmonte y otros residuos de esta industria, sin embargo su elaboración ha sido casi nula.

Actualmente las normas que regulan concretamente aspectos ambientales de la minería son la NOM 120 SEMARNAT 1997 que establece las especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa y la NOM 141 SEMARNAT 2003 que establece las especificaciones y criterios para caracterizar los tajales y para las etapas de preparación, construcción, operación y post operación de las presas de tajales. Sin embargo no existen las normas relativas a la modificación topográfica que resulta de la extracción, tampoco para las etapas de explotación y post operativa en las que cabría esperar la restauración de los sitios afectados.

No obstante, el Reglamento en materia de evaluación de impacto ambiental (REIA) regula las obras de explotación de los minerales y las sustancias de competencia federal¹³. Entre las atribuciones de la autoridad ambiental está el condicionar la realización de la obra a su modificación o establecimiento de medidas adicionales de prevención y mitigación a fin de atenuar y compensar impactos ambientales susceptibles de ser producidos a través del desarrollo del proyecto. La restauración de las minas como actividad de la etapa post operativa no se solicita expresamente en las manifestaciones de impacto ambiental, y aunque pueda ser considerada como parte de las medidas de mitigación, esto es discrecional, es decir queda a juicio del evaluador. Debido a la naturaleza de la actividad minera, tendrían que incluirse los planes de restauración de las minas como parte del contenido de las manifestaciones de impacto ambiental.

El REIA concibe la etapa post operacional como de abandono. Esto denota la falta de planificación anticipada como parte de la totalidad de un proyecto. En otros países, el abandono de minas involucra la idea de irresponsabilidad sobre las consecuencias ambientales derivadas de

¹³ Son de competencia federal los minerales concesibles, es decir aquellos en los que la ley otorga a los particulares u a concesionarios la explotación y explotación de los minerales o sustancias que constituyen depósitos distintos de los componentes de los terrenos (los que aparecen listados en el artículo 4 de la ley minera) entre ellos oro, plata, carbón mineral, hierro, cobre, etc.

un proyecto que ha concluido. En cambio hablar del cierre de minas significa hablar del conjunto de medidas planificadas desde el diseño de las minas considerando cada una de sus etapas para prevenir los impactos en el ambiente y de salud que pudieran presentarse durante y después del término de las operaciones. Esto es la restauración nace con el diseño de las minas y se implementa antes que llegue el fin de la explotación y continúa después del cierre, no comienza con este.

En países desarrollados el cierre de minas es parte del ciclo de las operaciones mineras. Sus leyes como vimos al inicio del capítulo contemplan además del procedimiento de evaluación de impacto ambiental la solicitud de planes de manejo ambiental y el plan de restauración, así como los instrumentos económicos que permitan ejecutarlos.

En México el REIA considera el uso de seguros y garantías para el cumplimiento de las condiciones establecidas en las autorizaciones solo cuando se puedan producir graves daños a los ecosistemas¹⁴. El uso de materiales explosivos y la naturaleza reactiva de muchos minerales hace a la minería un candidato para la aplicación de estas medidas económicas, pero no es la regla para el desarrollo de todo proyecto minero.

Las ventajas del uso de instrumentos económicos son de acuerdo con Costanza *et al* (1999) proporcionar incentivos económicos para prevenir la contaminación (con lo cual le ahorran a la sociedad el costo mayor de intentar limpiar), pasar 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, e incentivar el traslado de la carga del monitoreo del gobierno al contaminador. Con el sistema tradicional reglamentario que se ha aplicado se permite a los contaminadores ignorar los costos que sus acciones imponen a la sociedad en el momento que toman las decisiones, no antes, como puede hacerse a través de los instrumentos económicos.

Los instrumentos económicos empleados principalmente en México son la depreciación acelerada y el arancel cero para estimular la adquisición de equipo ambientalmente amigable disponible en el país. Una de las formas exitosas 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. Sin embargo los de carácter financiero incluidos en la LGEEPA pueden orientarse a la creación de sistemas de seguros y fianzas para atender los impactos ambientales y restaurar las áreas deterioradas al finalizar los proyectos mineros, aunque el sector financiero no muestra mucho interés en desarrollarlo (SEMARNAT 2000a).

La Ley de Desarrollo Forestal Sustentable tiene alcances para la minería. La aprobación del cambio de uso de suelo en terrenos forestales requiere además de un estudio técnico justificativo, un depósito ante el fondo forestal mexicano por concepto de compensación ambiental para actividades de reforestación, restauración y mantenimiento. Sin embargo, estos fondos no se aplican en la etapa post operativa en las áreas ocupadas por las minas, sino en otros lugares. La temporalidad de la minería en áreas forestales conduce a pensar en la aplicación de los fondos en las áreas ocupadas por la minería para restaurarlas al final de sus operaciones.

No obstante, los depósitos del fondo forestal podrían destinarse a las minas abandonadas, es decir, aquellas que al dejar de operar no hubo ningún trabajo de restauración. Dichas áreas constituyen un pasivo ambiental hasta ahora poco conocido en México (UNEP y comisión chilena del cobre 2001), sin embargo los cinco siglos de explotación minera en el país suponen una acumulación importante. En Estados Unidos por ejemplo se calcula que existen 500 000 áreas de

¹⁴ Los daños graves pueden ocurrir según la ley cuando puedan liberarse sustancias que al contacto ambiental forman compuestos persistentes y bioacumulables o actividades que se lleven a cabo en Áreas Naturales Protegidas y se desarrollen actividades altamente riesgosas. Las actividades riesgosas a su vez son aquellas que se generan o manejan materiales con características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas y biológicas, infecciosas o los establecimientos de tratamiento de residuos sólidos, líquidos, gaseosos y la ubicación del establecimiento.



minas abandonadas (mining watch 2000) en varias de las cuales se han detectado riesgos de salud para algunos poblados debido a la contaminación de los acuíferos (Housman y Hoffman 1992 Davis y Webb 1995)

Otra opción para las minas abandonadas en México es la expedición de zonas de restauración. Estas pueden ser promovidas 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. Sin embargo el gobierno no cuenta con los recursos suficientes para restaurar los sitios contaminados (Lozada 2000) y es que el monto por este concepto puede ser elevado por ejemplo se calculó entre 50 y 60 mil millones de dólares el costo por restauración de las minas que representan un riesgo para los habitantes en Estados Unidos (MMSD 2002)

Las zonas de restauración ecológica decretadas en 1998 respondieron en gran medida a los incendios ocurridos en el mismo año. Algunas zonas comprenden parte de las regiones terrestres prioritarias (RTP) y en las cuales la minería se ha desarrollado por ejemplo la RTP 41 Cananea San Pedro y la RTP 42 Sierras Los Ajos Buenos Aires La Purica en Sonora (Arriaga *et al* 2000). No obstante aun falta por integrar aquellos lugares con procesos de deterioro como las minas abandonadas para lo cual es necesario identificarlas y evaluarlas.

La ley minera también tiene disposiciones sobre el ambiente. Después de siglos de regulación minera en México no fue sino hasta 1992 que se incluyeron aspectos sobre la protección ambiental sin embargo esta ley mantuvo su carácter productivista. La ley minera vigente dispone que los titulares de las concesiones de exploración y explotación se sujeten a las leyes generales y normas específicas aplicables a la industria a procurar el cuidado del ambiente de conformidad con la legislación y normatividad en la materia además condiciona la autorización de obras de exploración y explotación en áreas naturales protegidas a la autoridad ambiental. Pero al mismo tiempo establece que las actividades mineras serán preferentes sobre cualquier otro uso y aprovechamiento del terreno y que las concesiones se otorgaran en los terrenos libres entendiéndose por estos todo uso de suelo (agrícola pecuario forestal etc.) que no este comprendido en las excepciones¹⁵

Para acceder a los terrenos la ley minera incluye a la expropiación la ocupación temporal y la constitución de servidumbre así mismo establece los plazos y el procedimiento para hacer la valuación de la renta de los terrenos por utilizar para determinar el monto de las indemnizaciones¹⁶

Así las disposiciones de la Ley Minera relativas a la afectación de terrenos debidas a la minería establecen solo medidas económicas compensatorias basadas en la renta de los terrenos durante el tiempo que dure esta y un pago único por concepto de expropiación. Sin embargo la compensación económica no cubre los costos ambientales que se desprenden del deterioro ambiental sobre todo de las minas superficiales donde se pierde la productividad de la tierra para otros usos. No obstante en los términos de los contratos de servidumbre u ocupación temporal puede establecerse que una vez finalizado el proyecto se regrese la tierra a una condición productiva aunque esto no se desprende directamente de la ley minera.

En años recientes se ha propuesto la introducción de disposiciones específicas en materia ambiental en la Ley minera como parte de su modernización. Algunas de las propuestas se

Artículo 14 de la Ley Minera las excepciones comprenden las zonas mineras mexicanas los zócalos submarinos de las islas cayos y arrecifes el lecho submarino y el subsuelo de la zona económica exclusiva las zonas corporadas a reservas mineras las concesiones y asignaciones mineras en trámite

En el caso de la expropiación la indemnización se cubrirá en su totalidad 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 riego depósitos de escombras o graneros explotación a cielo abierto y subterránea 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.

pronunciaron por la igualdad jurídica de los sectores agropecuario y minero la aportación de un mecanismo fiscal para fomentar la diversificación económica en los municipios donde se exploten los minerales y garantizar la preservación del ambiente a través del uso de fianzas. Sin embargo en las últimas modificaciones hechas en 2005 a la Ley minera no se incluyeron estos puntos

Las leyes ambientales de los Estados regulan a los minerales no concesibles¹⁷. En la mayoría de los casos es a través del procedimiento de 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 Estados de Aguascalientes, Baja California, Chihuahua y Puebla¹⁸ 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.

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 3.2). 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 3.2 Estados con normatidad ambiental específica en materia de explotación de sustancias no concesibles

Estado	Norma o Reglamento	Año
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	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	1997
Guanajuato	Norma técnica ecológica nte reg 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	1998
Hidalgo	Norma Técnica ecológica estatal NTEE COEDE001/2000 que establece los criterios y lineamientos para la explotación de bancos de materiales pétreos	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 pétreos y de prevención y control de la contaminación a la atmósfera generada por fuentes fijas en el Estado de Jalisco	1992

Los minerales no concesibles son aquellos que constituyen depósitos de alta ley que pertenecen a los componentes de los minerales pétreos.

La Ley de Protección al Ambiente y el Equilibrio Ecológico del Estado de Puebla contempla en el capítulo I de manera específica que los apoyos económicos deben de garantizar medidas de restauración y mitigación. Actualmente en el Congreso del Estado se discute la creación del Proyecto de Reglamento de la Ley en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

Lo que parece ser comun en la mayoria de los Estados es la falta de garantias que permitan cumplir con los compromisos o requisitos que pide la autoridad ambiental. No obstante la presencia de instrumentos economicos o la creacion de fondos ambientales estan contemplados en algunas entidades¹⁹ y aunque no se especifica el caso de la actividad minera pudieran aplicarse para acatar las disposiciones de la autoridad. En los Estados de Colima y Jalisco se contempla el uso de fianzas equivalentes hasta por el 100% de los derechos que corresponda pagar conforme a los volumenes proyectados en 12 meses con el fin de garantizar los trabajos que dicte la autoridad ambiental.

El uso de instrumentos financieros cobra particular importancia porque la actividad minera de sustancias no concesibles es desarrollada no solo por grandes empresas sino por ejidatarios, es decir se trata de mineria social. Esta se caracteriza por ser una actividad con un fuerte componente de trabajo manual dirigida a la exploracion, beneficio o comercializacion de minerales no metalicos, sobre todo rocas dimensionables como los agregados petreos y grava. Una de sus limitantes es la obtencion de capital de trabajo y creditos, por lo que las posibilidades de asumir los costos por la restauracion u obras que mitiguen sus impactos son bajas.

Con base en las carencias legales identificadas para la restauracion minas en Mexico y de la naturaleza de la actividad extractiva, resalta la importancia de modificar los articulos 108 y 109 de la LGEEPA que regulan a la mineria. Especificar la restauracion como parte del contenido de estos articulos permitiria juridicamente hablando la reduccion de la discrecionalidad de los instrumentos que actualmente regulan a la industria minera. Las modificaciones tendrian que producirse tambien en lo que toca a los Estados del pais.

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

CAPITULO 4 UN ESQUEMA DE RESTAURACION DE MINAS SUPERFICIALES

La restauracion ecologica

Hasta el momento no existe una definicion universal de la restauracion ecologica (Ehrenfeld 2004) La mayoría de las definiciones giran entorno a los objetivos que persigue Y estos a su vez se han basado en la teoria ecologica en particular de la sucesion de comunidades (Martinez 1996) Así conforme un nuevo paradigma que explica la sucesion reemplaza a otro las ideas sobre como y hacia donde conducir la Restauracion ecologica (RE) se han modificado (MacMahon 1997)

En principio y a la luz de la teoria del balance de la naturaleza la RE se concibio como un proceso dirigido hacia la reproduccion del ecosistema original (o climax) donde la diversidad y estabilidad estaban maximizados (Wyan *et al* 1995 Jackson *et al* 1995 McIntosh 1999) Bajo estas ideas surgieron varios terminos relacionados como reclamacion rehabilitacion y revegetacion los cuales se definian en relacion al grado de parecido funcional y estructural de los ecosistemas originales

Sin embargo la teoria de la naturaleza en flujo esta reemplazando al balance de la naturaleza y a diferencia de esta ultima considera a los ecosistemas naturales pasados y presentes como un producto transitorio de una unica e irrepitable secuencia de cambios climaticos e invasiones bioticas sujetos a continuas perturbaciones que los inducen a transiciones discontinuas e irreversibles Ademas los ecosistemas son concebidos como abiertos influenciados fuertemente por procesos externos a sus limites capaces de alcanzar cualquiera de diferentes rutas sucesionales no de una sola (Pickett y Parker 1994)

Para la restauracion ecologica el paradigma de la naturaleza en flujo ha significado que la seleccion de una condicion historica especifica (ecosistema original o climax) no es necesariamente deseable o aun una meta alcanzable por la RE porque los ecosistemas no son estaticos (Wyan *et al* 1995) Por lo anterior se ha enfatizado mas en la restauracion del funcionamiento de los procesos y del potencial biologico que en la composicion 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 determinación 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 solo los aspectos aceptables desde el punto de vista ecológico sino también desde el punto de vista social sin los cuales es difícil lograr la restauración.

Actualmente la restauración ecológica no puede concebirse solo 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) incluyen los aspectos antes mencionados y proponen una definición operacional de la restauración ecológica que comparte el presente trabajo la cual comprende

- 1 La identificación de valores ecológicos 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

Antecedentes de restauración de minas en México

Aun cuando la legislación ambiental mexicana no obliga a la restauración de las minas al final de sus operaciones algunas empresas mineras la han incorporado dentro de sus políticas ambientales. En otros casos la presión social y los requerimientos de las autoridades ambientales motivan la restauración. Los grupos mineros mejor consolidados en el país han realizado trabajos de restauración tanto en minas subterráneas como superficiales en varios estados del país (Tabla 4.1)

Los estudios realizados sobre aspectos ambientales de la minería en general y la superficial en particular son escasos en México a pesar de la gran importancia y desarrollo de la industria minera y de los impactos que puede generar sobre los ecosistemas (Celedon 1994). Aun menor es el número de trabajos sobre la restauración de este tipo de áreas en nuestro país (por ejemplo Marquez 1999). El conocimiento sobre la restauración de minas se ha generado sobre la marcha del desarrollo de este tipo de proyectos.

Los trabajos de restauración de minas superficiales en México como en el mundo se enfocan principalmente en las áreas que ocupan los residuos (terceros y presas de jales). El relleno de las enormes aberturas de las minas no es factible comúnmente pues el transporte de estos hacia las minas puede representar el 70% de costos totales de la restauración en comparación con la opción de no moverlos (Borja y Sanchez 1995). Por tanto el relleno no es tarea popular a menos que se trate del minado por *open cast mining* el cual permite extraer el carbón y rellenar la mina conforme avanzan los trabajos sin embargo existen restricciones técnicas para hacerlo por ejemplo la posible formación de drenaje ácido y la contaminación del acuífero.

Tabla 4.1 Estados donde se han realizado algunos trabajos de restauración de minas en México

TIPO DE MINADO	UBICACION	EMPRESA
Tajos y <i>open cast mining</i>	Coahuila	MICARE
	Coalcoman Michoacan	Grupo Penoles
	Talpa de Allende Jalisco	Grupo Penoles
	Sultepec Edo Mexico	Grupo Penoles
	Colon de Queretaro	LUISMIN
Canteras	Ixtaczoquitlan Veracruz	Holcim Apasco
Subterraneo	Queretaro	Grupo Penoles
	Coahuila	Grupo Penoles
	Guerrero	Grupo Penoles
	Zacatlan Puebla	Grupo Materas Primas
	Jaltipan, Veracruz	Grupo Materas Primas

En las canteras la extracción de las rocas origina cambios topográficos por la ausencia de las rocas. En consecuencia la restauración se orienta al restablecimiento de una cobertura vegetal en las minas. Para ello es necesario crear una topografía adecuada para el establecimiento de la vegetación (Marquez 1999). En algunas partes del mundo se ha intentado recrear la topografía original de las canteras mientras que en otras se modifican por completo para crear una nueva apariencia natural (Bradshaw 1980).

Las áreas que pueden ocupar las minas superficiales pueden ser de 2 a 11 veces más grandes que las subterráneas (Wong 2003). En México las superficies a ocupar por una empresa pueden ser tan grandes como 14 000 Ha (Valdez 1986) aunque la mayoría no ocupa estas dimensiones. La restauración en estas áreas se dificulta mucho entre otros motivos debido a la ausencia del suelo. Las experiencias de restauración han servido para identificar al suelo como un catalizador del establecimiento de la vegetación. Al mismo tiempo se ha reconocido la necesidad no solo de preservar el suelo durante el despalme sino de generar técnicas de almacenamiento para mantener sus características el mayor tiempo posible o de encontrar sustratos alternativos que permitan el establecimiento de la vegetación.

La restauración de las minas en México se ha planeado prácticamente durante el final de las operaciones (Macias y Vazquez 1995). Esto acarrea dificultades técnicas que influyen en la determinación de los objetivos que se persiguen. En muchos casos el clima árido y semiárido sumado a la carencia de suelo o su empobrecimiento han determinado una vegetación distinta a la que existía previamente a la extracción. En el norte del país por ejemplo se establecen pastizales para el ganado donde hubo matorrales, en los fosos que forman los tajos o el minado *open cast* se originan lagos artificiales usados para cultivar peces. También el restablecimiento de la vegetación y de la fauna silvestre han sido objetivos de la restauración de minas superficiales en nuestro país (Marquez 1999) así como la prevención de riesgos para la comunidad. En otros países se establecen áreas para la conservación de la naturaleza o para la agricultura, el cultivo de peces o usos recreativos (Atkinson y Cairns 1994, Miao y Marrs 2000).

La restauración es un proceso largo. Los resultados pueden comenzar a observarse después de varios años, por ejemplo en la cantera de Ixtaczoquitlan Veracruz, tras 10 años el impacto visual se ha eliminado casi por completo y el cambio en las condiciones microclimáticas ha permitido el establecimiento de más especies animales y vegetales. En las minas de Cuale y Sultepec se proyectan entre 7 y 8 años para restaurarlas (Penoles 2002). La extensión, las condiciones del ambiente y los problemas por contaminación u otros determinan los costos de la restauración. En México las empresas han invertido por este concepto entre 1 y 2 millones de dólares aproximadamente por mina. Estas cifras aun son menores en comparación con lo invertido en otros países. En México las empresas destinan entre el 0.5 y 1.5% del valor de las ventas

anuales al ambiente mientras que en Europa y Estados Unidos invierten entre 3 y 5% (Arroyo 1995)

Una planeacion integral

La restauracion de las minas puede desenvolverse en dos contextos una en las minas abandonadas y otro en los nuevos proyectos o en desarrollo. En este ultimo caso la planeacion adquiere una gran importancia por los siguientes motivos:

1. Despues 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 pasaran del estado de planeacion debido a los costos relativamente altos de movimiento y transportacion de materiales los procesos y equipos necesarios para realizar los proyectos cuando las operaciones de minado se realizaron sin planeacion precedente. No obstante con un plan de restauracion previo es posible anticipar y mejorar los movimientos necesarios para alcanzar los objetivos del plan lo cual ayuda a reducir los costos. Tambien permite considerar dentro de los estudios de factibilidad los costos por concepto ambiental asi es posible encontrar optimos economicos y ambientales.
3. Cuando se planea hacer una mina existe interes por parte de los propietarios vecinos del lugar autoridades locales y regionales grupos ambientalistas etc. La participacion y el dialogo de las autoridades la empresa y la sociedad son de suma importancia antes de tomar decisiones dado que estas repercutiran en la calidad de vida de los habitantes. Para que el proceso de planeacion de restauracion y/o definicion del uso final se logre 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 como quedara la mina al finalizar sus operaciones y de esta forma la planeacion sera independiente de las personas que conforma la nueva administracion.

Para hacer una planeacion integral se requiere combinar la formulacion y definicion del problema con la identificacion de los datos necesarios para analizar y solucionarlo (Holmberg 1983). La integracion dependera en buena medida de la adquisicion y analisis de la informacion relativa al sistema ambiental social y sobre las caracteristicas del proyecto.

La figura 4.1 esquematiza de manera general los elementos necesarios a considerar y las interacciones entre ellos para definir un plan de restauracion acorde con las condiciones locales.

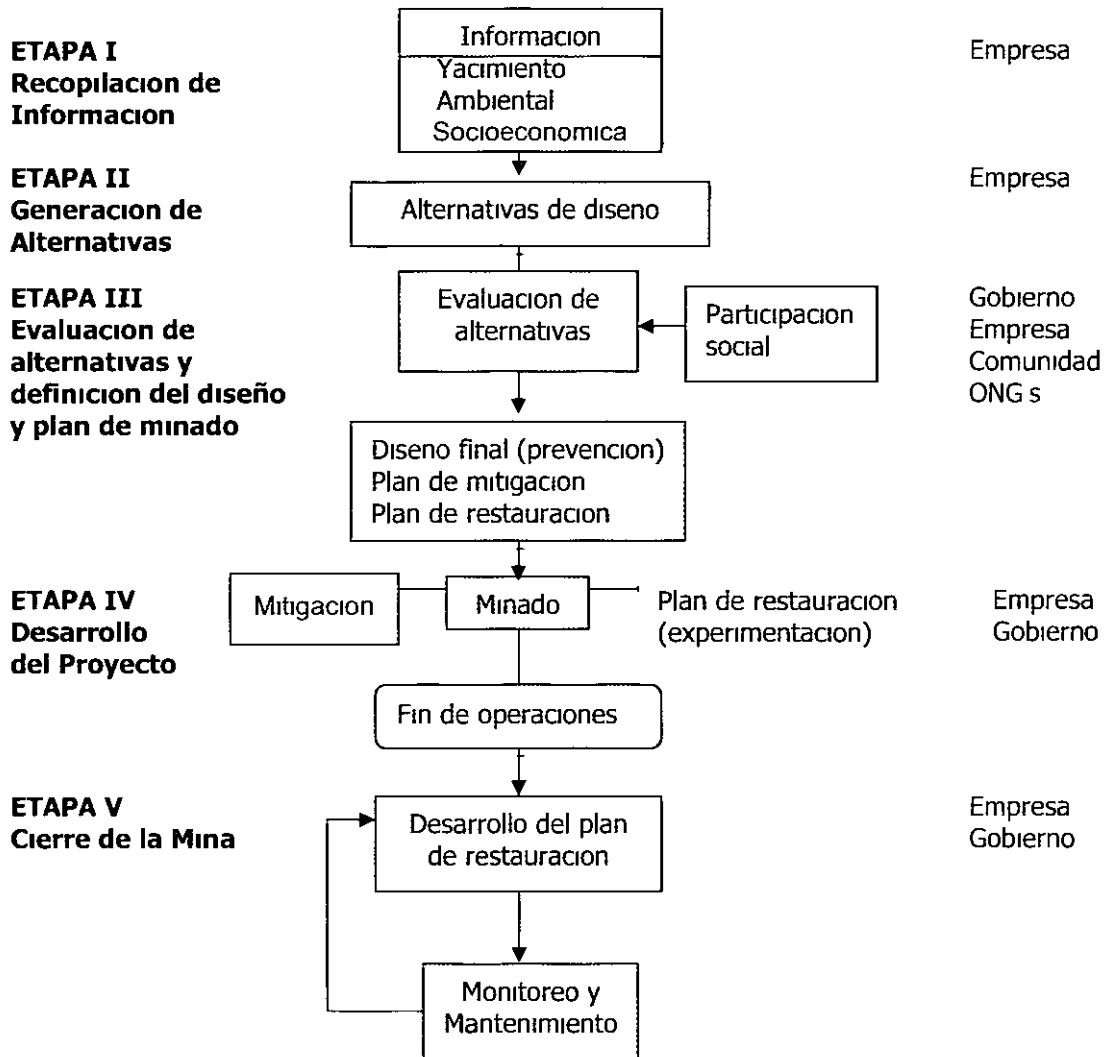
Etapa I Adquisicion de Datos

La adquisicion de datos es la base para desarrollar, disenar y planear el minado acorde con los atributos ambientales el contexto socioeconomico y las expectativas economicas de las empresas. Las caracteristicas del proyecto y del medio donde se plantea desarrollarlo determinan cuales seran los impactos ambientales por efecto de la extraccion de minerales. Un buen analisis de los datos es lo que establece la utilidad de los datos recopilados.

Informacion del Proyecto

Usualmente los procesos de planeacion y disenio de minas superficiales en Mexico solo 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 restauracion de la mina al finalizar la explotacion. La consecuencia de la omision es que no se consideran los costos por conceptos ambientales en los calculos economicos de las empresas desde el inicio de la planeacion. Esto resulta en un gasto no planeado cuando al final de las operaciones que coincide con la disminucion 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.

Fig a 4 1 Esq ema integral de restauracion de minas superficiales



En cambio cuando el diseo y planeacion de las minas contabilizan los costos por conceptos ambientales se puede ahorrar en este aspecto. Por ejemplo en la definicion de los limites de un tajo se determina no solo la cantidad de mena a extraer sino que al mismo tiempo se conoce el volumen de roca esteril o residuos producidos que requieren un tratamiento ambiental. La extraccion y movimiento de ambos materiales implican costos que al evaluarse es posible encontrar un optimo economico y ambiental (Ramirez y Peralta 2003).

La proteccion ambiental (prevencion, mitigacion, restauracion) conviene incluirla desde el surgimiento del plan. Como parte del desarrollo de todo proyecto se realizan estudios de factibilidad los cuales parten de la informacion de los factores de planeacion y diseo (geograficos, geologicos, ingenieria, seguridad, politica de la empresa) para hacer evaluaciones economicas y determinar los detalles de las minas (profundidad, extension y ubicacion, forma y tamano, angulos de talud, produccion y ubicacion de esteril, etc.) y operaciones de extraccion (desmante, despalmes, barrenacion, voladura, carga y acarreo, y disposicion de residuos). En estos estudios los factores deben tener una orientacion no solo 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.

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 4.2 presenta los factores que influyen en el plan de prevención, mitigación y de restauración (uso final).

Tabla 4.2 Información ambiental requerida en un proyecto de restauración

Factor	Información requerida
Topografía	Relieve Pendientes/ Inclinación Altitud Exposiciones
Clima	Distribución de la precipitación en el año Patrones de viento Humedad Temperatura Tipo de clima
Hidrología Superficial	Definición de los flujos básicos Patrones de drenaje superficial Cantidad y calidad de escorrentía
Hidrología subterránea	Plano freático Acuíferos Cantidad y calidad del flujo de agua subterránea Potencial de recarga
Geología	Estratigrafía Estructura Geomorfología Naturaleza química de la roca estéril
Suelos	Textura Estructura Densidad Contenido de materia orgánica Contenido de humedad Permeabilidad Capacidad de expansión y contracción Profundidad Erodabilidad Pendiente Horizonte orgánico pH
Ecosistemas terrestres	Caracterización de la vegetación Identificación de necesidades de supervivencia del tipo de vegetación Cultivos

Factor	Informacion requerida
	Usos de la vegetacion Caracterizacion de la fauna Identificacion de especies dentro de alguna categoria de riesgo
Ecosistemas acuaticos	Identificacion de la fauna acuatica y asociada Identificacion de la vegetacion acuatica Caracterizacion uso y necesidades de sobrevivencia del sistema de vida acuatico Identificacion de especies dentro de alguna categoria de riesgo

El relieve topografico es la diferencia en elevacion entre los puntos altos y bajos en un sitio o region especificos (Panizza 1996) Las relaciones de este con el clima suelos hidrologia y vegetacion son importantes dentro del plan de minado y tambien de la restauracion debido a que la topografia influye en la seleccion del tipo de minado y equipo ademas los terrenos accidentados tambien influyen los metodos de revegetacion y limitan las alternativas de uso futuro del suelo Por ejemplo en terrenos muy inclinados es dificil y costoso establecer una cubierta vegetal y se promueve la erosion si el area puede ser aplanada la agricultura es una opcion de uso

La pendiente o gradiente afecta la escorrentia y el drenaje por lo tanto el contenido de agua en el suelo (Ramani *et al* 1990 Panizza 1996) La inclinacion tambien determina la estabilidad y facilidad para que la vegetacion se establezca cuanto mas inclinado mas dificil es el desarrollo del suelo y de la vegetacion Pero tambien la inclinacion determina la estabilidad de los apilamientos de residuos

Asi mismo la orientacion (la direccion de la pendiente con respecto a los puntos cardinales) determina la cantidad de radiacion que recibe una ladera y en consecuencia modifica la temperatura del suelo y aire asi como el contenido de humedad Como resultado la orientacion influye en la composicion de la vegetacion y la define Muchos proyectos de restauracion fallan debido a que los disenos topograficos son incapaces de sostener ecosistemas funcionales y/o debido a que la salida de sedimentos genera impactos sobre los ecosistemas alrededor del area perturbada (Hancock 2004) por lo tanto la definicion de la topografia y la simulacion de la dinamica en el movimiento de los sedimentos es un paso basico para el diseno de las minas y para el establecimiento de la vegetacion 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 atmosfera para absorber y retener calor Sin embargo el descenso de la temperatura es modificado en gran parte por la configuracion de la tierra y por las corrientes de aire A esta característica tambien responde la vegetacion y por lo tanto el tipo de cubierta que puede establecerse (agricola silvicola ganadera etc)

Las características del clima en el sitio del proyecto influyen no solo en las operaciones de una mina sino en la prevencion mitigacion y en el plan de restauracion El conocimiento sobre el clima permitira hacer planes de trabajo de acuerdo a la fenologia y fisiologia de las poblaciones a introducir para favorecer su establecimiento Asi mismo el clima es determinante de la ubicacion y manejo de los residuos como las rocas esteriles productoras de drenaje acido (DA) en lugares secos es menos probable el desarrollo de DA que en regiones humedas Asi las posibilidades de uso en la zona se circunscriben tambien 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 area de la mina y sus modificaciones durante el minado Un analisis del sistema de drenaje existente requiere al menos algun entendimiento de la definicion del curso del agua el tipo de patron de drenaje pendientes formas del relieve y el patron 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 hidrográficas.

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 esteril, 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 adicionalmente 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 pueden 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 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 requiere mejorar sus propiedades o emplear 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 ademas sirve para identificar las necesidades ambientales de las especies y obtener propagulos todo lo cual es necesario para revegetar

La utilidad que pueda tener la vegetacion en el area es importante para la poblacion local por los beneficios que de esta pueda obtener motivo por el cual la permanencia y cuidado se refuerza si las especies utiles se incluyen en la restauracion del lugar La presencia y ubicacion de cultivos tambien debe considerarse para no interferir negativamente con su desarrollo

Ademas de la importancia en cuanto a la composicion de especies la vegetacion tambien cumple con funciones en los ecosistemas como el control de la erosion y conservacion del suelo la purificacion del aire y agua la moderacion 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 area

La caracterizacion de los ecosistemas acuaticos es importante al momento de definir las obras de desviacion del curso del agua en conservar su calidad (parametros fisicos y quimicos) a pesar de las descargas que se realicen Tambien es importante conocer la disponibilidad de volumen de agua que tendran estos ecosistemas por efecto de la extraccion en la mina

La caracterizacion del agua (superficial y subterranea) del suelo de los ecosistemas terrestres y acuaticos es util para conocer el estado inicial y considerarlos como mediciones de linea 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 correccion Al mismo tiempo las mediciones seran utiles para hacer una evaluacion al final de las operaciones

Informacion Socioeconomica

Las comunidades mineras varian en terminos de cultura localizacion geografica y la actitud colectiva acerca del desarrollo del proyecto minero Su caracterizacion contextualiza y anticipa cuales seran los impactos sociales durante todo el desarrollo del proyecto pero tambien dan un panorama sobre las alternativas economicas que podrian desarrollarse cuando termine la explotacion y considerarlo para definir la meta de la restauracion

De no contemplar alternativas productivas en la zona una vez que finaliza la vida de las minas las comunidades pueden padecer las consecuencias economicas y sociales El reto para cualquier compania 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 degradacion ambiental y dislocacion social (Veiga *et al* 2000) el acercamiento en vez de la confrontacion podria resultar beneficiosa para ambas partes La restauracion de las minas ha probado incrementar la calidad de vida de una poblacion local en Alemania (Terrazas 2001) lo cual muestra que no solo es necesario sino posible hacer restauracion en areas degradadas

Los proyectos de restauracion que no consideren soluciones disenadas a la medida de cada situacion y necesidades de las comunidades pueden fracasar y significar un desperdicio de recursos economicos y de tiempo Por tales motivos en la caracterizacion socioeconomica es necesario considerar los puntos listados en la tabla 4 3

Tabla 4 3 I n f m a c i o n s o c i o e c o n o m i c a r e q u e r i d a p r o y e c t o d e r e s t a u a c i o n d e m i n a s

Factor	Informacion requerida
Ubicacion y accesibilidad	Distancia Tiempo Redes de transporte
Tipos de propiedad	Comunal Ejidal Federal Privado



Factor	Informacion requerida	
Uso de suelo (Tipo intensidad y valor de uso)	Actual Historico (zonas arqueologicas) Ordenamiento del territorio Agricola	Silvicola Conservacion Agropecuario Recreativo Residencial Industrial Comercial
Caracteristicas de la poblacion	Poblacion total Distribucion de la poblacion Distribucion de edades	Densidad Ocupaciones Nivel escolar Ingreso promedio Servicios publicos

La ubicacion del proyecto establece la proximidad a centros de poblacion y a las facilidades de desarrollo tales como un sistema de transporte o planta de energia electrica. Las ventajas por la posicion del proyecto pueden determinar su establecimiento pero la localizacion de este puede determinar que medidas se necesitan durante y al final de las operaciones. Si un poblado esta cercano a la ubicacion 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 funcion 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 mineria los ha introducido y ha dado mayor accesibilidad a los sitios como consecuencia de las necesidades de la operacion tales como electricidad lineas telefonicas y carreteras. Esta infraestructura puede aprovecharse para nuevos usos en las zonas que rodean la extraccion minera.

La forma de la parcela tambien 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 propositos de vivienda la regularidad es usualmente deseable para usos agricolas o industriales. La forma del sitio esta relacionada tambien al tipo de sistema de minado usado.

La situacion sobre el uso de suelo no solo en la parcela sino en los alrededores particularmente con relacion al tipo e intensidad de uso y el comportamiento demografico tienen una influencia fuerte sobre la sustentabilidad de los terrenos de la mina para soportar varias actividades. El uso final de la mina deberia tomar en cuenta las tendencias y patrones de crecimiento de la poblacion en relacion con el tiempo que perduren las operaciones de las minas. En general el uso adoptado en cualquier sitio especifico tendria que ser compatible con los usos proximos en terminos del panorama ruido rutas de acceso areas 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) son contraproducentes a los intereses de los dueños de la tierra (suelo) por lo cual debe tenerse en cuenta a los dueños al momento de disenar un plan de uso final que sea aceptable por las partes.

Las caracteristicas de la poblacion local son factores clave en determinar la sustentabilidad de la tierra por ejemplo el crecimiento de la poblacion es el factor que esta detras del cambio del

uso de suelo Para que un nuevo uso de suelo sea viable debe existir algun crecimiento en el area o la proximidad a un centro de poblacion que requiera servicios o productos

Es de gran importancia caracterizar las ocupaciones y nivel de escolaridad de la poblacion local que esta relacionada con la apertura de la mina Las restricciones en el desarrollo de otras actividades productivas (ganaderia silvicultura agricultura) debidas a la degradacion ambiental disminuyen las alternativas de trabajo al momento del cierre especialmente en las zonas aisladas en las que generalmente se desarrolla la mineria Este cambio de uso de suelo implica cambio en las actividades en las cuales la poblacion se habia desarrollado y es posible que no este capacitada para ejercer una nueva Ante esta situacion es recomendable elegir una que sea compatible con las habilidades de la poblacion o crear programas de capacitacion para la nueva actividad o uso

La incorporacion de algun organismo gubernamental encargado del desarrollo social permitiria regular y evaluar los efectos sociales de la mineria utilizando indicadores de calidad de vida durante todo el desarrollo del proyecto

Etapas II Generacion de alternativas de diseno

En el Reglamento de la LGEEPA en materia de evaluacion de impacto ambiental (EIA) se considera de manera secundaria dentro del contenido de una Manifestacion de impacto ambiental (MIA) a la evaluacion de alternativas Sin embargo esta debiera ser una parte importante de la EIA puesto que ademas del caracter preventivo de este instrumento la EIA es un procedimiento optimizador (Martin 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 diseno) que comparar

Con el proceso de generacion de alternativas se puede evitar la imposicion de rectificaciones posteriores por la autoridad ambiental lo cual consumen tiempo y dinero La integracion y analisis de la informacion ambiental y social en conjunto con las caracteristicas del yacimiento (extension profundidad angulo y forma distribucion de la ley) permitira generar opciones de diseno para prevenir y mitigar impactos ambientales asi como planear la restauracion desde el inicio y que obedezca a la extraccion optima del yacimiento desde el punto de vista economico ambiental y social

En cada una de las caracteristicas del diseno de una mina se deben considerar los estudios e informacion recabada en la etapa I (Tabla 4 5) Los objetivos que persiguen en conjunto los estudios para cada caracteristica de la mina pretenden identificar a tiempo los problemas ambientales y sociales que se pueden desprender a consecuencia del diseno con el fin de prevenir y mitigar sus impactos Durante esta etapa las medidas propuestas de prevencion o mitigacion deben considerar su factibilidad tecnica es decir que lo planteado pueda ejecutarse porque existe la tecnologia o los medios necesarios de lo contrario no podra realizarse (Fig 4 2)

Asi mismo las alternativas consideradas deben partir de una apreciacion preliminar de cuales pueden ser los impactos principales del proyecto de tal forma que al adoptarias la mejora ambiental o disminucion de los impactos sea notable Al mismo tiempo deben considerarse los niveles de incertidumbre propios de cada alternativa o sea convendria 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

Ademas de los factores ambientales y sociales de diseno y planeacion existen otros de caracter economico y de ingenieria que circunscriben a estos Normalmente los estudios de factibilidad no han considerado dentro de sus costos a la proteccion ambiental sin embargo al ampliar las consideraciones ambientales durante el diseno (Tabla 4 5) pueden contabilizarse y ser parte del analisis economico El reto de la planeacion con respecto a la mineria superficial es maximizar la produccion y mantener la calidad del ambiente mas alla de sus operaciones

Los factores del diseño y planeación de minas son interdependientes entre sí 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 estos 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

Tabla 4.4 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
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

RESTAURACION DE MINAS SUPERFICIALES EN MEXICO

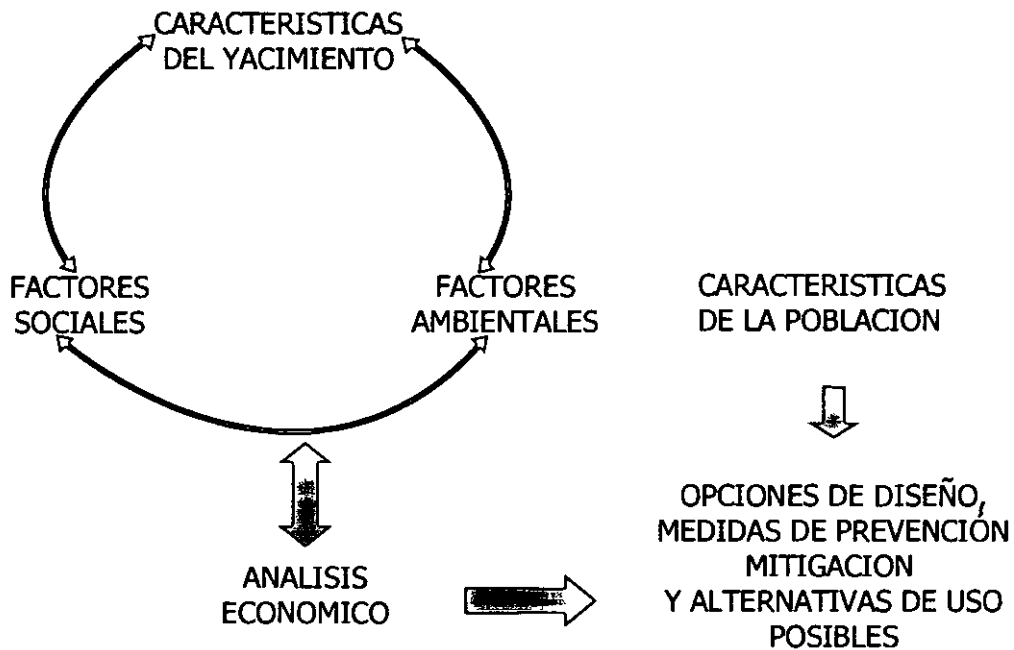
DISEÑO DE LA MINA	ESTUDIOS		OBJETIVOS
	Sociales	Ordenamiento del territorio o usos presentes en la zona Tipos de propiedad Accesibilidad	Ubicar las rocas del esteril donde las perturbaciones que ocasionen sean nulas o mínimas con los usos cercanos al proyecto y de acuerdo con los propietarios Minimizar 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 mina
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
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

Etapa III Evaluacion de las alternativas

Las opciones de diseno generadas en la etapa anterior establecen no solo las medidas de prevencion y mitigacion de los impactos ambientales sino las condiciones o el escenario que resultara al final de las operaciones. Estas proyecciones en conjunto con las caracteristicas de la poblacion fijan las alternativas de uso posibles y las medidas de mitigacion que las empresas pueden delimitar de manera preliminar y que pueden integrarse a una Manifestacion de Impacto Ambiental (MIA).

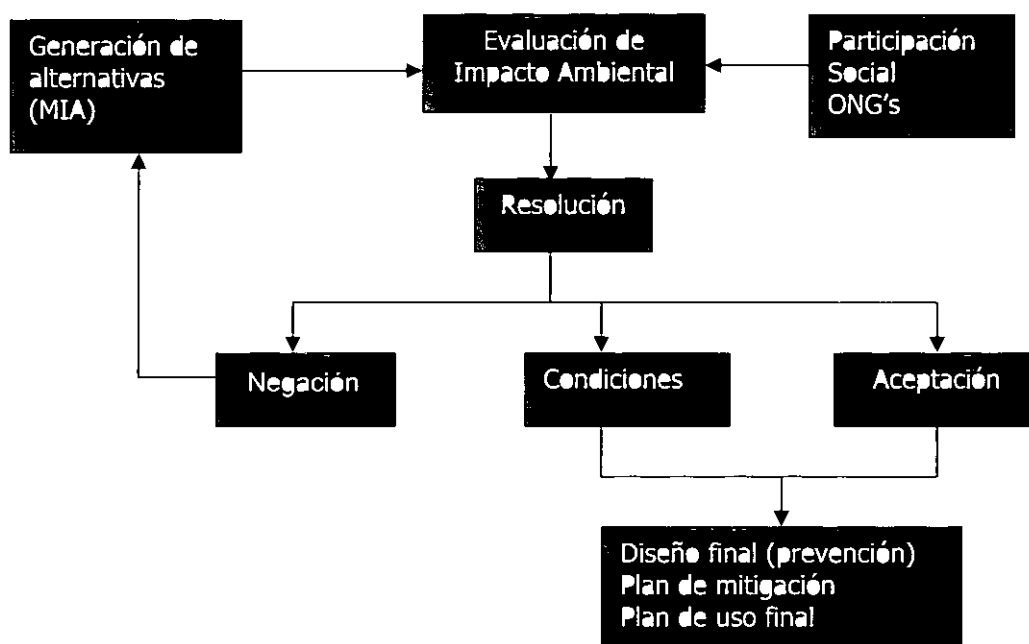
En el esquema que se presenta en este trabajo corresponde a la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales la etapa de evaluacion de las alternativas que expone la empresa dentro de una MIA. El fin de esta etapa es determinar de entre todas las opciones la alternativa mas adecuada para prevenir y mitigar los impactos que incluya establecer un plan de restauracion que permita la recuperacion de las areas degradadas que satisfaga a las partes (empresa y comunidad) (Fig 4.3)

Fig 4.2 Esquema de generacion de opciones de diseno y alternativas de uso



La participacion de la sociedad en la toma de decisiones sobre el uso de las tierras despues de la degradacion es un asunto que les repercute y se vuelve muy importante. Puesto que las comunidades tienen mayor acceso a la informacion sobre los aspectos criticos ambientales y sociales relacionados con la mineria, estas cada vez mas desean ser parte de como se toman las decisiones que van a afectar su futuro. Si durante la planeacion 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 participacion publica para que cualquier persona interesada pueda proponer el establecimiento de medidas de prevencion y mitigacion en el proyecto, asi como las observaciones que considere pertinentes.

Fig 4.3 Esquema de evaluación de alternativas



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 restauración 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 por manejo de materiales contaminación y sedimentación en cuerpos de agua cercanos entre otros

El plan de restauración tiene como objeto dar una utilidad a la zona y favorecer la funcionalidad de los ecosistemas en la zona después de que ha perdido su potencialidad productiva como consecuencia de la degradación por la minería

Etapa IV Desarrollo del Proyecto

Durante el desarrollo del proyecto se ponen en marcha las medidas de mitigación y simultáneamente el programa de vigilancia ambiental²⁰ 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

Simultáneamente con el desarrollo del proyecto es posible según los planes iniciar con las obras contempladas en el plan de restauración el cual definirá el uso final de las áreas deterioradas. Esto tiene la ventaja de optimizar tiempo y recursos. Un ejemplo donde puede

²⁰ El programa de inspección y vigilancia está conformado por el programa de impacto ambiental para el sector minero por el Reglamento de la Ley de Minería.

generar otros escenarios con modificaciones del original para encontrar un óptimo económico ambiental y social

Un esquema para minas abandonadas

En México no existe una definición oficial de lo que significa una mina abandonada. El término abandono como se maneja en la Guía para la presentación de manifestaciones de impacto ambiental no es usado del modo que se entendería de forma general en otras partes del mundo. 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 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 mina.

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.

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. 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 es necesario que se realicen algunas acciones prioritarias. La primera es la identificación y registro de las minas abandonadas y determinar el riesgo que estas 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 que es una mina abandonada para uniformar criterios.

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

consideraran como minas abandonadas es decir cada abertura o el conjunto de aberturas adjuntas en la misma zona

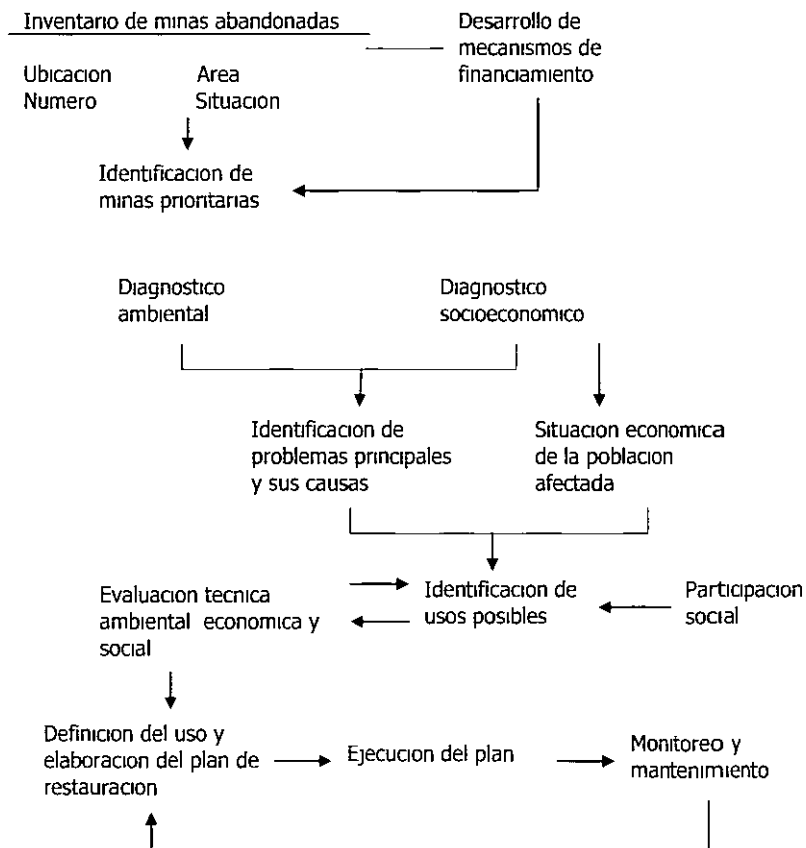
Bajo los criterios mencionados arriba podria elaborarse un inventario de minas abandonadas Sin embargo el problema de estas no termina ahí por lo que la segunda accion prioritaria es desarrollar mecanismos de financiamiento para solventar la restauracion pues el gobierno no cuenta con los recursos economicos necesarios aun cuando existe la figura de zonas de restauracion en la Ley General de Equilibrio Ecologico y Proteccion al Ambiente

El abandono de minas no es un asunto exclusivo de Mexico sino una situacion mundial en la que otros paises han estado trabajando En la mayoria de los casos los gobiernos no disponen de los recursos economicos necesarios para enfrentar la problematica de estas minas sin embargo algunos paises han impuesto un mecanismo fiscal a la industria para pagar por la restauracion el cual parece ser la unica 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 restauracion de estas areas puede mejorar la imagen de las empresas mineras e incrementar su aceptacion en las comunidades

El esquema de restauracion para minas abandonadas difiere del sugerido para nuevos proyectos esencialmente porque no existe una planeacion previa ni estudios sobre las condiciones ambientales anteriores a la extraccion (o sea de linea base) En este caso es necesario partir de un diagnostico ambiental para identificar los problemas principales y determinar sus causas con ello es posible controlar o impedir que sigan presentandose

Fig 4.4 Esquema de restauración de minas abandonadas



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 como se afectan las actividades productivas por efecto de contaminantes en el agua o suelo o cual 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

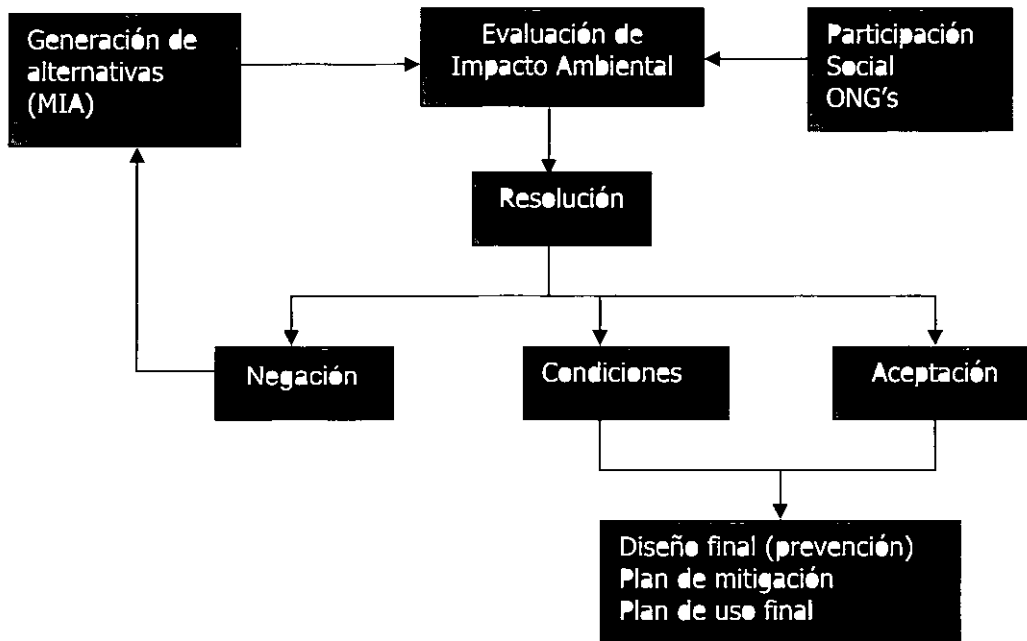
La conjugación de todos los factores (ambiental económico y social) determinan un catálogo de posibles usos en la zona no obstante la decisión sobre la mejor alternativa no debe centrarse en el gobierno sino que la apertura a las opiniones de los propios habitantes y organizaciones no gubernamentales 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

Consideraciones finales

Debido a la naturaleza y magnitud de los daños que causa la actividad minera es necesario promulgar un marco jurídico específico aplicable La legislación ambiental mexicana carece de los elementos específicos que permitan regular y normar las actividades de restauración de la industria minera que a su vez puede ser usado como modelo para la regulación de otras

Fig 4.3 Esquema de evaluación de alternativas



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 restauración 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 por manejo de materiales contaminación y sedimentación en cuerpos de agua cercanos entre otros

El plan de restauración tiene como objeto dar una utilidad a la zona y favorecer la funcionalidad de los ecosistemas en la zona después de que ha perdido su potencialidad productiva como consecuencia de la degradación por la minería

Etapa IV Desarrollo del Proyecto

Durante el desarrollo del proyecto se ponen en marcha las medidas de mitigación y simultáneamente el programa de vigilancia ambiental²⁰ 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

Simultáneamente con el desarrollo del proyecto es posible según los planes iniciar con las obras contempladas en el plan de restauración el cual definirá el uso final de las áreas deterioradas. Esto tiene la ventaja de optimizar tiempo y recursos. Un ejemplo donde puede

²⁰ El programa de inspección y vigilancia a esta consistió dentro de la guía de impacto ambiental para el sector minero pero no en el reglamento de la materia

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 restauración. 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 estas 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 aun cuando se realicen durante la explotación, pero es mejor invertir un poco de tiempo y dinero en averiguar, por ejemplo, que 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 adaptativo²¹, 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 productivos y ambientales y el gobierno que realiza la inspección.

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
- 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 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

²¹ 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 el área geográfica definida.

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 logran 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 como 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 solo 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

Un esquema para minas abandonadas

En México no existe una definición oficial de lo que significa una mina abandonada. El término abandono como se maneja en la Guía para la presentación de manifestaciones de impacto ambiental no es usado del modo que se entendería de forma general en otras partes del mundo. 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 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 mina.

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.

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. 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 es necesario que se realicen algunas acciones prioritarias. La primera es la identificación y registro de las minas abandonadas y determinar el riesgo que estas 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 debería 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 que es una mina abandonada para uniformar criterios.

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

consideraran como minas abandonadas es decir cada abertura o el conjunto de aberturas adjuntas en la misma zona

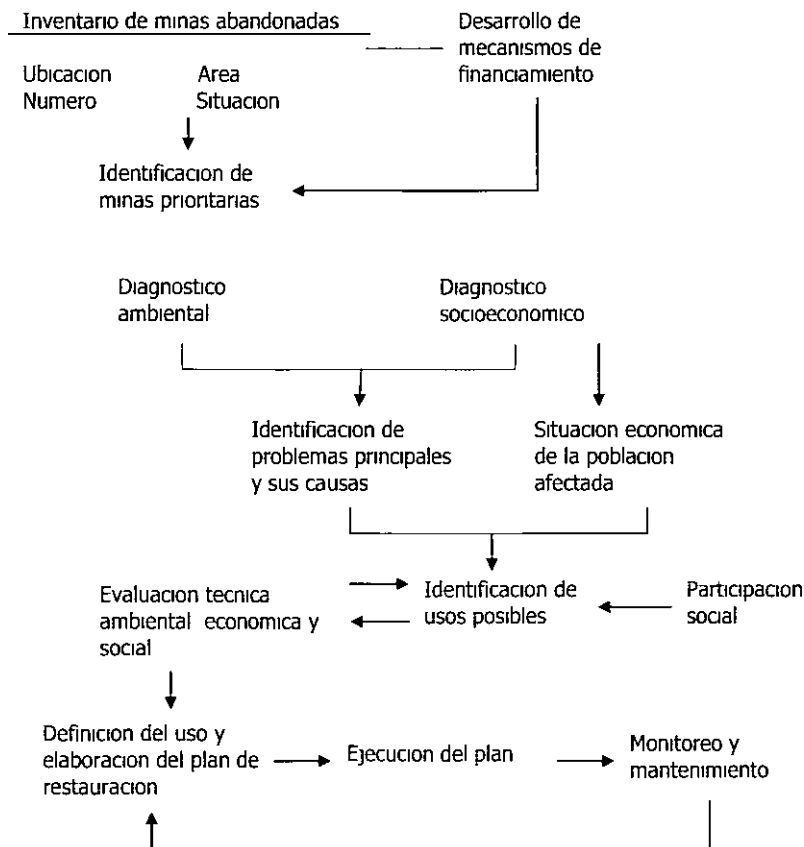
Bajo los criterios mencionados arriba podria elaborarse un inventario de minas abandonadas Sin embargo el problema de estas no termina ahí por lo que la segunda accion prioritaria es desarrollar mecanismos de financiamiento para solventar la restauracion pues el gobierno no cuenta con los recursos economicos necesarios aun cuando existe la figura de zonas de restauracion en la Ley General de Equilibrio Ecologico y Proteccion al Ambiente

El abandono de minas no es un asunto exclusivo de Mexico sino una situacion mundial en la que otros paises han estado trabajando En la mayoria de los casos los gobiernos no disponen de los recursos economicos necesarios para enfrentar la problematica de estas minas sin embargo algunos paises han impuesto un mecanismo fiscal a la industria para pagar por la restauracion el cual parece ser la unica 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 restauracion de estas areas puede mejorar la imagen de las empresas mineras e incrementar su aceptacion en las comunidades

El esquema de restauracion para minas abandonadas difiere del sugerido para nuevos proyectos esencialmente porque no existe una planeacion previa ni estudios sobre las condiciones ambientales anteriores a la extraccion (o sea de linea base) En este caso es necesario partir de un diagnostico ambiental para identificar los problemas principales y determinar sus causas con ello es posible controlar o impedir que sigan presentandose

Fig 4 4 Esq ema de restauracion de m nas abandonadas



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 como se afectan las actividades productivas por efecto de contaminantes en el agua o suelo o cual 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

Consideraciones finales

Debido a la naturaleza y magnitud de los daños que causa la actividad minera es necesario promulgar un marco jurídico específico aplicable La legislación ambiental mexicana carece de los elementos específicos que permitan regular y normar las actividades de restauración de la industria minera que a su vez puede ser usado como modelo para la regulación de otras

actividades como la construccion de vias de comunicacion proyectos turisticos lineas de transmision electricas rellenos sanitarios entre otros

El esquema que proponemos aqui puede implementarse bajo algunas consideraciones entre ellas la inclusion de la restauracion dentro del contenido del capitulo que aborda la regulacion de los recursos no renovables en la LGEEPA La reduccion de la discrecionalidad generaria condiciones de igualdad para todo proyecto minero sometido al procedimiento de evaluacion de impacto ambiental

El aseguramiento de la restauracion es otra tarea pendiente en Mexico Es necesario estimular el uso de los instrumentos economicos como las garantias los bonos o seguros para garantizar que los planes de restauracion de minas se llevaran a cabo Otro tema pendiente es el establecimiento de mecanismos de seguimiento de los planes de restauracion es decir su inspeccion y vigilancia para que en caso de incumplimiento se establezcan las medidas correctivas incluyendo las sanciones administrativas civiles y penales correspondientes

El marco legal debe reconocer la integridad funcional de los ecosistemas lo cual podria ser abordado a traves de la realizacion de impactos ambientales estrategicos para nuestro pais enfoque que hasta la fecha no ha sido adoptado Este libro aporta una alternativa para el desarrollo de proyectos restauracion para la actividad minera usando un enfoque ecosistemico

BIBLIOGRAFIA

Almazan S 2002 Inversion en Exploracion minera *Mineria CAMIMEX* Vol XI No 4 pag 16 23

Alonso V M Trejo P y J L Vega 1988 La minita En *Minas Mexicanas* Tomo 4 Ed Jorge Ordonez Cortes AIME Society of Economic geologist 121 pp

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

Anonimo 1993 Minería a cielo abierto Pags 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

Anonimo 1997 Memorias del Segundo seminario sobre presas de Jales Universidad de Guanajuato Asociación de Ingenieros de minas metalurgistas y geólogos de Mexico A C Cámara Minera de Mexico

Anonimo 2003 Informe anual 2003 de la Asamblea de CAMIMEX *Revista CAMIMEX* julio septiembre de 2003 Pag 16 25

Anton D 2001 Impactos ambientales de los tajos y canteras *Ambientico* 96

Arriaga L Espinoza J M Aguilar C Martinez E Gomez L y E Loa (coordinadores) 2000 *Regiones terrestres prioritarias de Mexico* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Mexico 609 pp

Arroyo A J 1988 La minería en Mexico (capital trabajo y conflictos) Tesis Licenciatura en Sociología Escuela de Estudios Profesionales Aragón UNAM Mexico

- 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
- Atlas Nacional de México 1991 Yacimientos minerales V1 8 1 Instituto de Geografía UNAM Autores Atlántida Coll Hurtado y María Teresa Sánchez Salazar
- 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
- Barragan J M 1994 Antología Minera de México Secretaria de Energía e Industria Paraestatal México 183pp
- 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
- Bohnet E L y L Kunze 1990 Waste disposal planning and environmental protection aspects Pags 485 494 En *Surface mining* 2nd edición B A Kennedy (editor) Society for mining metallurgy and exploration Inc (AIME) USA 1194 pp
- Borghesi S y A Vercelli 2003 Sustainable globalization *Ecological economics* 44 77 89
- Borja J A y J J Sánchez 1995 Unidad San Martín Querétaro Restauración ambiental área Tajo San José Memorias de la XXI Convención AIMMGM
- Bradshaw A D y M J Chadwick 1980 The restoration of land Blackwell scientific publications Oxford
- 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
- 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
- Bradshaw A 2000 The use of natural processes in reclamation –advantages and difficulties *Landscape and urban planning* 51 89 100
- Bradshaw A D y M J Chadwick 1980 *The Restoration of land* Blackwell Scientific Publications
- Branes R 2000 *Manual de derecho ambiental mexicano* Fondo de cultura económica y Fundación mexicana para la educación ambiental 770 pp
- Brown T L Le May HE Bursten B E y J R Burdge 2004 *Química la ciencia central* Pearson Educación México 1152 pp

- Cairns Jr 2000 Setting ecological restoration goals for technical feasibility and scientific validity *Ecological engineering* 15 171 780
- Call R C y J P Savely 1990 Open pit rock mechanics Pag 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 los organismos *Contactos* 51 33-42
- Camara Minera de Mexico 2003 Informe de la Comision de Ecologia y Recursos Naturales www.camaraminera.topcites.com
- Camara Minera de Mexico 2005 Situacion de la mineria mexicana 2005
- Carabias J 1988 Deterioro ambiental en Mexico *Ciencias* No 13 19
- Celedon H 1994 Diagnostico de la fertilidad en sustratos de terreros y jales depositados de la empresa Pena Colorado Tesis de Licenciatura Facultad de Ciencias UNAM Mexico 81 pp
- CNA 2002 *Compendio basico del agua en Mexico* Mexico
- Coll Hurtado A Sanchez Salazar M T Y J Morales 2002 *La mineria en Mexico* Instituto de Geografia UNAM Mexico 126 pp
- Consejo de Recursos Minerales 1993 Exploracion metalurgica y comercializacion de minerales no metalicos Mexico 166 p
- Coordinacion General de Mineria (CGM) 2002 Programa para fomentar el desarrollo de la actividad extractiva en el sector social Secretaria de Economia Mexico 12 pp
- COREMI 1993 Exploracion metalurgica y comercializacion de minerales no metalicos Mexico 166 pp
- COREMI 2004 Cartografía Digital de yacimientos mineros del Estado de Aguascalientes
- Costanza R Cumberland J Daly H Goodland R y R Norgaard 1999 *Una introduccion a la economia ecologica* Compania editorial continental Mexico 303 pp
- 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
- 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
- Cunningham S D y D W Ow 1996 Promises and prospects of phytoremediation *Plant Physiology* 110 715 719
- 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
- Day a D Ludeke K L y J L Thames 1986 Revegetation of coal mine soil with forest litter *Journal of And environments* 11 249 253
- Dobson A Bradshaw A y A J M Baker 1997 Hopes for the future restoration ecology and conservation biology *Science* 277 515 522

- Duque J F Pedraza J Diez 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
- 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
- Ehrenfeld J G 2000 Defining the limits of restoration the need for realistic goals *Restoration ecology* 8(1) 2 9
- Ehrlich P R y A Ehrlich 1992 The value of biodiversity *Ambio* 21 219 226
- Ehrlich P R 1988 The laws of diversity causes and consequences In Wilson E O y F M Peter (editors) *Biodiversity* Pp 21 27 National academic press Washington D C
- Ehrlich P R y H A Mooney 1983 Extinction substitution and ecosystem services *BioScience* 33 248 254
- Ensley B Dushenkov V Raskin I Y D E Salt 1995 Rhizofiltration a new technology to remove heavy metals from aqueous streams Pag 153 156 En *New remediation technology in the changing environmental arena* Sheiner B J Chatwin T Kawatra S K y A E Turma (Editores) Society for mining metallurgy and exploration Inc Michigan
- Environmental Protection and Biodiversity Conservation Act administrative guidelines on significance Australia Julio 2000
- Estrada S 1993 La protección ambiental y la industria minera mexicana *Minero Noticias* no 159 año 16 31-41
- 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 Mexico Society of Economic geologist
- 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
- García J A 1999 La minería durante la época colonial *Minería Camimex* X(3) 26 30
- 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 pag 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 pag 285
- González Z P 1999 Tratamiento normativo de la fase minera post operacional en los países mineros 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 Peru y Legislacion sobre cierre de minas En *Cierre de Minas experiencias en Iberoamerica* (Roberto C Villas Boas y Maria Laura Barreto Editores) CYTED/IMAAC/UNIDO Brasil 581 pp

Grupo Mexico 2002 Informe Anual 2001 Contingencias y procedimientos legales

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 65 80

Helm D J y D E Carling 1993 Use of soil transfer for reforestation on abandoned mined lands in Alaska *Mycorrhiza* 3 97 106

Hernandez E 2000 *Prospectiva demografica y economica de Mexico y sus efectos sobre la pobreza* CONAPO Mexico 85 pp

Hernandez J 1995 Efecto de las voladuras en el medio ambiente Memorias del XXI Convencion AIMMGM Acapulco Guerrero

Hernandez J L 1992 Geologia y Geotecnia aplicada a la estabilidad de los taludes de la zona Chifornazo centro de la mina a cielo abierto Pena Colorada Colima Tesis profesional ESIA –Instituto Politecnico Nacional Mexico

Higgs E S 1997 What is good ecological restoration? *Conservation biology* 11 338 348

Hobbs R y J Harns 2001 Restoration ecology repairing the Earth s ecosystems in the new millennium *Restoration ecology* 9(2) 239 246

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

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 explotacion USA 206 pp

Huerta M A 2001 Minería y desarrollo regional El caso de la explotación de manganeso en el norte de Hidalgo Tesis Maestria Facultad de Filosofía y Letras UNAM 58 pp

Hustrulid W y M Kutcha 1995 *Open pit mine planning and design* Volumen I A A Bakelma Netherlands

INEGI 2002 *La minería en Mexico* 176 pp

INEGI 1999 XV Censos industriales (Minería y extracción de petróleo) Mexico Pp

INEGI 2000 Encuesta industrial Mensual resumen anual 1999 Mexico 747 Pp

INEGI 2002 *La Minería en Mexico* Mexico

- Jackson L Lopourne N y D Hillyard 1995 Ecological Restoration A definition and comments
Restoration Ecology 3(2) 71 75
- Janelid I 1973 Mision minera sueca a Latinoamerica Reunion minera Mexico Suecia Intercambio tecnologico Tomo I
- Jim C Y 2001 Ecological and Landscape rehabilitation of a quarry site in Hong Kong *Restoration Ecology* 9(1) 85 94
- Jordan WR Gilpin ME y JB Aber 1987 Restoration ecology ecological restoration as a technique for basic research p 3 21 En Jordan WR Gilpin ME y JB Aber (editores) 1987 Restoration ecology a synthetic approach to ecological research Cambridge university press Cambridge England 342 pp
- Juarez M y S Padilla 1996 Una vision espacial de los aspectos socioeconomicos de la poblacion en la zona carbonifera de Coahuila Mexico *Investigaciones geograficas Boletin del Instituto de Geografia* No 32 UNAM Mexico 69 94
- 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
- Kuntz F 2003 Minería y áreas naturales protegidas Memorias de la XXV Convencion Internacional de Minería
- Lee RA 1999 *The legal engineering environmental and social perspective of Surface Mining Law and Reclamation by Landfilling* Imperial College Press Singapur 512 pp
- Levano 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 Iberoamerica* Villas Boas R Y M L Barreto editores CYTED/IMAAC/UNIDO 581p
- Light A y E S Higgs 1996 The politics of ecological restoration *Environmental ethics* 18 227 248
- Lopez R I Servin C y A Roman 2001 El agua en la minería su impacto al medio ambiente y el pago de derechos Memorias de la XXIV Convencion internacional AIMMGM Acapulco Guerrero
- Lozada M 2000 Cierre de Minas en Mexico En *Cierre de minas experiencias en Iberoamerica* Villas Boas R C y Barreto M L (editores) Barreto editores CYTED/IMAAC/UNIDO 581p
- Macias G y L H Vazquez 1995 Plan de Cierre de La minita mina a tajo abierto de Minería Capela S A de C V del Grupo Penoles Memorias de la XXI convencion AIMMGM Acapulco Guerrero
- MacMahon J A 1997 Ecological restoration Pag 479 511 En Meffe GK y R C Carroll (editores) *Principles of conservation biology* Sinauer association Inc Massachussets
- Manner H I Thaman R R y D C Hassall 1984 Phosphate mining induced vegetation changes on Nauru Island *Ecology* 65(5) 1454 1465
- Marquez R 1999 Regeneracion de la vegetacion en distintos ensayos de restauracion de mina de roca caliza a cielo abierto en una industria cementera Ixtaczoquitlan Veracruz Tesis Maestria Instituto de Ecologia A C Xalapa Veracruz Mexico 145 pp
- Martin C 1999 *El Estudio de impacto ambiental* Universidad de Alicante Espana 168 pp

- Martin Duque J F Pedraza J Diez 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
- Martinez A Martinez J A y L Elizondo 1990 Hercules En *Minas Mexicanas* Tomo 5 Ed Jorge Ordonez Cortes American Institute of mining metallurgical and petroleum engineers Section Mexico Society of Economic geologist pp
- Martinez E 1996 La restauracion ecologica *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
- McKay B Lambert I y S Miyazaki 2002 Australian Mining Activity
- 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
- 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
- Mineria CAMIMEX 1992 Ecologia prioridad en la industria minera Premio nacional de ecologia 1991 de la A M I M E A C vol VII no 9
- Mineria CAMIMEX 1998 Materias Primas de Mexico regeneran la mina Otilio en Zacatlan Estado de Puebla *Mineria CAMIMEX* Vol IX No 9 pag 4
- Mineria CAMIMEX 2000 Luismin Ambientalmente certificada *Mineria CAMIMEX* Vol X No 7 pag 19 20
- Mineria CAMIMEX 2000a El control ambiental en las minas comision Ecologia y Recursos naturales *Mineria CAMIMEX* Vol X No 8 pag 15
- Mineria CAMIMEX 2001 Trabajos de restauracion en la Presa de Jales de minera Real de Angeles *Mineria CAMIMEX* Vol X No 11 pag 35
- Mineria CAMIMEX 2002 Reporte Anual Ambiental 2001 Penoles *Mineria CAMIMEX* Julio Septiembre Pag 38-43
- Mining watch 2000 [http //miningwatch ca/](http://miningwatch.ca/)
- 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
- Monografia Geologico Minera del Estado de Baja California Sur* 1999 Consejo de Recursos Minerales COREMI SECOFI Mexico 237pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Baja California 1999 Consejo de Recursos Minerales Mexico 162 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Campeche 2002 Consejo de Recursos Minerales COREMI SE Mexico 153 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Chiapas 2000 Consejo de Recursos Minerales Mexico 203 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Chihuahua 1994 Consejo de Recursos Minerales COREMI SECOFI Mexico 297 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Coahuila 1993 Consejo de Recursos Minerales COREMI SECOFI Mexico 154 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Colima 1994 Consejo de Recursos Minerales COREMI SECOFI Mexico 90 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Durango 1993 Consejo de Recursos Minerales COREMI SECOFI Mexico 204 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Guanajuato 1992 Consejo de Recursos Minerales COREMI SECOFI Mexico 136 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Guerrero 1999 Consejo de Recursos Minerales Mexico 281 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Hidalgo 1992 Consejo de Recursos Minerales COREMI SECOFI Mexico 95 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Jalisco 1992 Consejo de Recursos Minerales Mexico 122 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Mexico 1996 Consejo de Recursos Minerales COREMI SECOFI Mexico 148 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Michoacan 1995 Consejo de Recursos Minerales Mexico 193 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Morelos 2000 Consejo de Recursos Minerales COREMI SECOFI Mexico 209 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Nayarit 1994 Consejo de Recursos Minerales Mexico 171 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Oaxaca 1996 Consejo de Recursos Minerales Mexico 296 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Puebla 1995 Consejo de Recursos Minerales Mexico 153 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Queretaro 1992 Consejo de Recursos Minerales COREMI SECOFI Mexico 108 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de San Luis Potosi 1992 Consejo de Recursos Minerales Mexico 218 pp

Monografía Geológico Minera del Estado de Sinaloa 1991 Consejo de Recursos Minerales COREMI SECOFI Mexico 159 pp

- Monografía Geológico Minera del Estado de Sonora* 1992 Consejo de Recursos Minerales Mexico 220 pp
- Monografía Geológico Minera del Estado de Veracruz* 1994 Consejo de Recursos Minerales COREMI SECOFI Mexico 123 pp
- Monografía Geológico Minera del Estado de Zacatecas* 1991 Consejo de Recursos Minerales Mexico 154 pp
- Montano A y J D Gonzalez 1978 Operacion minera a cielo abierto en Cananea En Memorias del I Seminario Nacional sobre minado a cielo abierto Mexico Octubre 577 pp
- 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 Asociacion de Ingenieros de minas metalurgistas y geologos de Mexico A C Camara Minera de Mexico
- Olivo H Martínez J C y M A Vizcarra 1987 Cumobabi En Minas Mexicanas Tomo 3 Ed Jorge Ordonez Cortes AIME/ Society of economic geologist 134 pp
- 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
- 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 Mexico 257 pp
- Panizza M 1996 Environmental geomorphology Elsevier Amsterdam 268 pp
- Penoles 2002 Hacia un desarrollo sustentable Informe anual ambiental
- Peralta A y G D Ramirez 2003 Tecnicas de planeacion para la minimizacion de drenaje acido en minas a cielo abierto Memorias tecnicas de la XXV Convencion Internacional de Minería AIMMGM
- Perez C y S C Arechiga 1978 Proyecto de explotacion del Tajo No 1 de San Juan de la Costa B C S En Memorias del I Seminario Nacional sobre minado a cielo abierto Mexico Octubre 577 pp
- Pesquera R 1978 Principales minas antiguas inactivas o parcialmente trabajando en Mexico Consejo de Recursos Minerales Mexico 14 pp
- Pfadenhauer J y A Grootjans 1999 Wetlands restoration in central Europe aims and methods Applied vegetation science 2 95 106
- Phelps L B 1990 Unit operations of reclamation En *Surface mining* B A Kennedym (editor) AIME Estados Unidos
- Pickett S T A y V T Parker 1994 Avoiding the old pitfalls opportunities in a new discipline Restoration ecology 2 75 79
- Pring G 2003 International law and mineral resources United Nations Conference on trade and development (UNCTAD) 51 pp
- Programa Nacional de Desarrollo minero 2002 2006 Secretaria de Economia Mexico 118 pp

- 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
- Ramani R V Sweigard R J y M L Clar 1990 Reclamation planning En *Surface mining* Ed B A Kennedy AIME Estados Unidos
- Ramirez G D y A Peralta 2003 Evaluacion del impacto de las consideraciones ambientales en el diseno y planeacion de minas a cielo abierto Memorias de la XXV Convencion Internacional de mineria Pag 45 54
- Ramirez J 1978 Tecnicas de Diseno de Tajos Abiertos En Memorias del I Seminario Nacional sobre minado a cielo abierto Mexico 577 pp
- Rico J 1988 Sultepec En *Minas Mexicanas* Tomo 4 Ed Jorge Ordonez Cortes AIME Society of Economic geologist 121 pp
- Roberts S Veiga M y C Peiter 2000 Aspectos Generales del cierre y recuperacion de minas en las Americas Executive summary IDCRC MPRI CETME CNPq Vancouver 54 pp
- Rogowski A S y B E Weinrich 1987 Modeling the effects of mining and erosion on biomass production *Ecological modeling* 35 85 112
- 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 (pag 781 799) (AIME) USA 1194 pp
- 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
- Rzedowski J 1990 Vegetacion Potencial IV 8 2 Atlas Nacional de Mexico Vol II Escala 1 4 000 000 Instituto de Geografia UNAM Mexico
- Sanchez Mejorada P 1999 La mineria en Mexico desde la Independencia hasta la mexicanizacion *Mineria Camimex* 9(3) 33
- Sanchez Salazar Ma Teresa 1990 Analisis de la organizacion territorial de la actividad minera en Mexico Tesis Doctoral Colegio de Geografia Facultad de Filosofia y Letras UNAM Mexico
- Secretaria de Economia 2002 Programa Nacional de Desarrollo Minero 2001 2006 Mexico 118 pp
- Secretaria de Economia 2003 Inversion extranjera Direccion General de inversion extranjera
- SEMARNAP 2000 *La Gestion Ambiental en Mexico* Mexico
- SEMARNAP 2000a *La Gestion Ambiental hacia la industria Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995 2000* SEMARNAP INE PROFEPA Mexico 97 pp
- SEMARNAP 1999 *Estadisticas del Medio Ambiente* Tomo I INEGI SEMARNAP Mexico
- SEMARNAT 2002 *Guia para la presentacion de la manifestacion de impacto ambiental Minero modalidad particular* Direccion General de Impacto y Riesgo ambiental Mexico 114 pp
- SEMARNAT 2002a *Informe de la Situacion del medio ambiente en Mexico 2002* Mexico
- SEMARNAT 2002 *Vegetacion y uso del suelo* pag 31 83 En el medio ambiente en Mexico Mexico

Sengupta M 1993 *Environmental Impacts of mining monitoring restoration and control* Lewis Publishers USA 494 pp

Siguenza S 1993 *Mineria y comunidad Indigena* Tesis Licenciatura en Historia Facultad de Filosofia y Letras UNAM Mexico 166 pp

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

Swart J van der Windt H y J Keulartz 2001 *Valuation of nature in conservation and restoration* *Restoration ecology* 9(2) 230 238

Terrazas A 1975 *Terminologia minera metalurgica* Universidad de Guanajuato Mexico

Terrazas V 2001 *Programming the use of mine site in disuse for rehabilitation and new uses Mexican case* *Memorias del XXIV Convencion Internacional AIMMG* Acapulco Guerrero Pag 501 504

Troop W 2000 *Environmental restoration ethics theory and practice* Humanity books U S A

UNEP y Comision Chilena del Cobre 2001 *Abandoned mines problems issues and policy challenge for decision makers (Summary report)* UNEP y Comision Chilena del Cobre 23 pp www.abandonedmines.org

Valdes C 1984 *Geografia minera de Mexico* Grupo Penoles Tesis Licenciatura Facultad de Filosofia y Letras UNAM 178 pp

Valdez I H 1986 *Problemas ambientales y medidas de control en la exploracion y explotacion de yacimientos de carbon mineral* En *Memorias del Simposio Energia y Medio Ambiente* UNAM SEDUE Mexico 247 pp 1986

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

Vargas E 2000 *Indicadores de sostenibilidad y su aplicacion a las empresas mineras (pag 354 380)* En *Cierre de Minas experiencias en Iberoamerica* RC 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

Walde T 1992 *Environmental policies toward mining in developing countries* *Journal of energy & Natural resources law* (10) 327 357

Walker L R y E A Powell 2001 *Soil water retention on gold mine surfaces in the Mojave Desert* *Restoration Ecology* 9 95 103

Warhurst A 2002 *Sustainability indicators and sustainability performance management* International institute for environment and development World Business Council for sustainable development 129 pp

WCED (The world commission on environment and development) 1987 *Our common future* Oxford University Press

Weber K J 1990 *Mine capital and operating cost* Pag 973 979 En *Surface mining* B A Kennedym (editor) AIME Estados Unidos

Whitworth K 1993 Ventajas de la explotacion de carbon a cielo abierto en Inglaterra *Minero Noticias* No 158 Ano 6 pag 27 30

Wong M H 2003 Ecological restoration of mine degraded soils with emphasis on metal contaminated soils *Chemosphere* 50 775 780

Wyant J Meganek R y S Ham 1995 A planning and decision making framework for ecological restoration *Environmental management* 19 (6) 789 796

Zaragoza D y G Perez 2001 La Rehabilitacion de areas de deposito de rocas de desecho de desechos por revegetacion y conservacion natural *Memorias de la XXIV Convencion Internacional AIMMGM* Pag 510 518

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

LEYES

Acuerdo del Secretario de Ecologia por el que se establecen los criterios ambientales para la regularizacion de minas en explotacion de materiales petreos no consolidados (arena grava tezontle tepojal tepetate) en el Estado de Mexico *Gaceta oficial del Estado de Mexico* 26 abril de 1997

Acuerdo que modifica la Norma Oficial Mexicana NOM 120-SEMARNAT 1997 Que establece las especificaciones de proteccion ambiental para las actividades de exploracion minera directa en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetacion de matorral xerofilo bosque tropical caducifolio bosques de coniferas o encinos publicada el 19 de Noviembre de 1998

Australian minerals industry 2000 Code for environmental management

Diano Oficial de la Federacion 15 de febrero de 1999 Reglamento de la Ley minera

Iniciativa con proyecto de decreto que adiciona reforma y deroga diversos articulos de la ley minera y de la Ley Federal de Derechos *Gaceta Parlamentaria Mexico* 9 de Diciembre de 2003

Ley de Gestion Integral de Residuos Publicada en el Diano Oficial de la Federacion el 25 de Febrero de 2003 (Nueva Ley)

Ley de proteccion al ambiente del estado de Yucatan 22 abril 1999

Ley de Proteccion al ambiente para Baja California Publicado en el Periodico Oficial No 53 de fecha 30 de noviembre de 2001 Seccion I Tomo CVIII

Ley de Proteccion ambiental para el Estado de Aguascalientes Aguascalientes Ags 3 de febrero de 2000

Ley del equilibrio ecologico y la proteccion al ambiente para el Estado de Sonora 3 enero de 1991

Ley del equilibrio ecologico y proteccion al ambiente del Estado de Guerrero Publicado en el Periodico Oficial del gobierno del Estado de fecha 19 de marzo de 1991

Ley del equilibrio ecologico y proteccion al ambiente del estado de Campeche 21 de Junio de 1994

Ley Ecologica para el Estado de Chihuahua Publicado en el Periodico Oficial No 86 del 26 de octubre de 1991 Incluye reforma mediante Decreto No 1212 98 XII P E publicado en el Periodico Oficial No 88 del 4 de noviembre de 1998

Ley estatal de proteccion ambiental de Veracruz Ley publicada en la Gaceta Oficial Organismo del Gobierno del Estado de Veracruz Llave el viernes 30 de junio de 2000

Ley General de Equilibrio Ecologico y Proteccion al Ambiente Mexico Diario Oficial de la Federacion

Ley Minera Diario Oficial de la Federacion del 26 de junio de 1992 Mexico

Ley para la proteccion del ambiente natural y el desarrollo sustentable del Estado de Puebla

Norma Oficial Mexicana NOM 001 SEMARNAT 1996 Que establece los limites maximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

Norma Oficial Mexicana NOM 003 CNA 1996 Requisitos durante la construccion de pozos de extraccion de agua para prevenir la contaminacion de acuíferos

Norma Oficial Mexicana NOM 004 CNA Requisitos para la proteccion de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitacion de pozos de extraccion de agua y para cierre e pozos en general

Norma Oficial Mexicana NOM 059 SEMARNAT 2001 Proteccion Ambiental –especies nativas de Mexico de flora y fauna silvestres categorias de riesgo y especificaciones para su inclusion exclusion o cambio –lista de especies en riesgo

Norma Oficial Mexicana NOM 120 SEMARNAT 1997 Que establece las especificaciones de proteccion ambiental para las actividades de explotacion minera directa en zonas agricolas ganaderas o eriales y en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetacion de matorral xerofilo bosque tropical caducifolio bosque de coníferas o encinos

Norma Oficial Mexicana NOM 141 SEMARNAT 2003 Que establece el procedimiento para caracterizar los jales asi como las especificaciones y criterios para la caracterizacion y preparacion de sitios proyectos construccion operacion y postoperacion de presas de jales

Norma Tecnica ecologica estatal NTEE COEDE001/2000 que establece los criterios y lineamientos para la explotacion de bancos de materiales petreos Estado de Hidalgo 11 julio 2000

Norma tecnica ecologica nte ieg 002/98 que establece las condiciones para la localizacion de bancos de materiales petreos en el estado asi como sus parametros de diseno explotacion y medidas de regeneracion ambiental Estado de Guanajuato 22 julio 1998

Reglamento de la Ley de Preservacion ambiental del Estado de Colima para la operacion de bancos de material petreo y yacimientos geologicos a cielo abierto 13 marzo 1994

Reglamento de la Ley Estatal del Equilibrio Ecologico y la Proteccion al ambiente en materia de impacto ambiental explotacion de bancos de material geologicos yacimientos petreos y de prevencion y control de la contaminacion a la atmosfera generada por fuentes fijas en el Estado de Jalisco 14 febrero 1992

Reglamento de la Ley general de equilibrio ecologico y la proteccion al ambiente en materia de residuos peligrosos Publicado en el Diario Oficial de la Federacion 25 noviembre de 1988

Restauracion de minas seperficiales en Mexico
El Diseno Grafico de esta publicacion estuvo
a cargo de Lic Omar Mario Medina Olguin
Se temino de imprimir en la ciudad de Mexico
en Septiembre de 2006

En los talleres de Fotolitografica Leo S A
Oficinas Doctor Olvera No 205 P B
Planta Doctor Manuel Villada No 18
Col Doctores Mexico D F 06720
Tels 5578 1386 5578 1387 Fax 5578 2107
e mail fotoleo@prodigy net mx

La edicion consta de 500 ejemplares

00 6488