

Las alteraciones ambientales en sistemas naturales provocadas por la minería metálica

Environmental alteration caused by extractive activities in metallic ore mines

PAGÉS VALCARLOS, J. L.

Las actividades asociadas a la extracción de minerales metálicos son causa de importantes alteraciones en los sistemas naturales, y generan en muchas ocasiones impactos ambientales importantes de carácter irreversible.

En este trabajo se pasa revista a las actividades propias de la minería metálica tanto en la fase de investigación de yacimientos, como en la de explotación. A continuación se analizan las alteraciones que estas actividades provocan en los distintos elementos del medio físico (agua, suelo, aire, equilibrio geodinámico, vegetación, etc.) definiéndose las más significativas y los casos de impacto más graves.

Palabras clave: Minería metálica, sistemas naturales, alteraciones.

The extractive activities in metallic ore mining cause important alterations in the natural systems, many of which have an irreparable character.

The paper analyzes first the main activities both in the research (exploration) phase and in the exploitation of the mines. Then, the alteration occasioned in (over) the physical environment elements (water, air, soils, vegetation, geodynamic balance, etc.), marking and defining the most important modifications.

Key words: Metallic ore mining, natural systems, alterations.

INTRODUCCION

Consideraciones previas

Parece oportuno destacar previamente tres aspectos que van a particularizar las alteraciones provocadas por la actividad minera:

En primer lugar, la minería metálica, es la más tradicional y compleja de todas las minerías. Se laborea tanto en interior como en exterior. En interior se construyen galerías, cámaras, rampas, etc. En exterior se explotan grandes cortas, canteras y yacimientos de placeres.

Los tratamientos mineralúrgicos son variados y complejos. Prácticamente cada yacimiento necesita un proceso adaptado a sus características. De esta manera cada mina va a producir unos tipos de estériles y de efluentes determinados.

En segundo lugar, hay un declive de actividad en la minería metálica. En España se constata un importante decrecimiento del número de explotaciones durante las dos últimas décadas. Según datos recogidos en ESTADISTICA MINERA DE ESPAÑA (Ministerio de Industria y Energía), las 125 explotaciones metálicas existentes en el año 1977 han quedado reducidas a 27, en el año 1990.

Este declive de la actividad presenta dos vertientes a considerar. Por un lado la disminución del número de explotaciones y la existencia de una legislación sobre restauración (R.D. 2994/82), van a paliar las alteraciones provocadas por la minería sobre los sistemas naturales. Por otro lado, hay alteraciones que ya se han producido y siguen evolucionando a partir de numerosas minas abandonadas que no pertenecen a nadie. Los gastos de la restauración medioambiental que tenga que realizarse en las minas abandonadas, van a recaer sobre la Administración estatal o autonómica.

En tercer lugar, la explotación minera tiene un determinismo posicional por la

existencia del yacimiento en un lugar determinado del espacio. Este condicionamiento es importante, pues deja muy poco margen para plantear localizaciones alternativas que minimicen la magnitud de las alteraciones producidas.

LA INVESTIGACION DE YACIMIENTOS

Las fases de la investigación

La investigación es una actividad que comienza con la exploración de territorios amplios, para irse concentrando en actuaciones más o menos puntuales en el entorno del posible yacimiento. Las diversas metodologías de investigación van siendo aplicadas en distintos estadios o niveles, cercandose progresivamente el futuro yacimiento.

Los niveles en que generalmente se suele dividir una investigación (B.R.G.M., 1977) son:

A. *Nivel de operaciones estratégicas*, en el que se pretende detectar anomalías provocadas por la presencia de una mineralización oculta.

B. *Nivel de operaciones tácticas*, cuyo objetivo es la valoración y la jerarquización de las anomalías detectadas en la fase anterior.

C. *Nivel de operaciones puntuales*, enfocado a conseguir la definición de una envolvente del cuerpo mineralizado, permitiendo una primera aproximación en el orden económico.

D. *Nivel de evaluación del yacimiento.*

Aunque la investigación no produce grados altos de alteración, la importancia de esta se va acentuando según progresa la investigación, tanto por sus características intrínsecas, como por un proceso de concentración espacial de las actividades en torno a las anomalías más importantes que se localizan.

Si la exploración tiene éxito se llega a la

fase de evaluación del yacimiento. Las alteraciones producidas en esta fase, son ya dignas de consideración principalmente en función de la concentración espacial de los trabajos.

LOS TRABAJOS DE INVESTIGACION CON INCIDENCIA SOBRE LOS SISTEMAS NATURALES

1. *Trabajos tácticos de geoquímica y geofísica.* Se ejecuta una toma de muestras u observaciones en estaciones situadas sobre una malla con pauta de decenas de metros. Estas mallas se materializan en el campo como perfiles, siendo necesario frecuentemente, rozar para eliminar la vegetación (matorral-arbusto) sobre los perfiles.

Las rozas tienen anchuras de 60-80 cm. y longitudes variadas, que pueden alcanzar los 1.000 metros de longitud.

2. *Excavación de calicatas de reconocimiento y muestreo.* Estas zanjas se realizan con palas retroexcavadoras, abriéndose normalmente con anchuras de 80 a 100 cm. y profundidades de 1 a 3 metros. Las longitudes que alcanzan y el número de zanjas que se realizan varían en función de múltiples factores.

3. *Campañas de sondeos.* La ejecución de un sondeo implica colocar una sonda en un punto determinado del campo, para esto es necesario realizar una pista de acceso hasta ese punto y un emplazamiento (del orden de 100 hasta 1.000 m²) allanando el terreno para la máquina y su servicio durante el trabajo.

LAS ALTERACIONES PROVOCADAS DURANTE LA INVESTIGACION

Se pueden destacar los siguientes trabajos como principales causantes de alteraciones:

Las rozas de vegetación para la implantación de perfiles (geofísica, geoquímica,

etcétera). Estas rozas suponen la destrucción de la vegetación a lo largo de los perfiles; si la vegetación no presenta un alto interés ecológico por ausencia de especies singulares o escasas, el impacto producido es bajo. Son impactos temporales y reversibles, sin efectos inducidos y que resaltan poco en el paisaje difuminándose en pocos años.

Las calicatas, suponen una destrucción del sistema Roca-Suelo-Agua (del suelo y gravífica)-Vegetación. Normalmente, son tapadas después de su estudio y muestreo, permaneciendo abiertas poco tiempo, aunque en este lapso son una trampa para pequeños vertebrados que suelen caer en ellas.

Durante algunos años quedan como una inhomogeneidad lineal en el terreno ya que constituyen una franja de menor compactación y una zona de acumulación del agua. Dependiendo de su porte, la vegetación tardará más o menos tiempo en recuperarse. En general el impacto es de carácter reversible y por lo tanto compatible. Solo en casos en que se utilicen en una fase avanzada de la investigación, con una alta concentración de calicatas sobre una superficie pequeña, puede llegarse a producir un impacto local de magnitud moderada.

Sondeos. Desde el punto de vista de las alteraciones de los sistemas naturales, un sondeo es un agujero en el terreno, de disposición vertical o inclinada, con unas dimensiones de pocos cm. de diámetro y una longitud que, en investigación de yacimientos, puede alcanzar desde algunas decenas de metros hasta varios centenares, e incluso sobrepasar los 1.000 metros. La realización de este «agujero», genera varios tipos de impactos que se podrían agrupar en:

Impactos producidos por el emplazamiento y asistencia al sondeo. En el emplazamiento de la sonda se produce una destrucción de la vegetación y el suelo, por pisoteo de hombres y vehículos, si el emplazamiento está en pendiente, es necesario allanar el terreno. Algunos tipos de sondas necesitan anclajes de cemento, que pueden

quedar después en el terreno. En muchos casos se excavan balsas para los lodos de perforación. Todo esto contribuye a que el emplazamiento de un sondeo, sea un lugar que queda fuertemente deteriorado. Este deterioro se agudiza si se da una concentración espacial de sondeos o una larga duración de los mismos.

Es destacable el impacto producido por la construcción de pistas de acceso a los emplazamientos. Estas pistas se hacen con un carácter provisional careciendo generalmente de cunetas de desagüe por lo que encauzan las aguas de escorrentía. Al estar el suelo sin cubierta vegetal se acelera la erosión produciéndose sistemas de regueros. En zonas de fuertes pendientes, estos pueden alcanzar un desarrollo importante en pocos años tras la finalización y abandono de la obra.

Si el terreno es accidentado y hay alta intervisibilidad, las pistas producen un fuerte impacto paisajístico ya que contrastan sus colores claros con los más oscuros del suelo y vegetación.

Impactos producidos por la ejecución de las perforaciones: Los métodos de perforación en la minería implican generalmente el empleo de lodos de perforación, suspensión de arcilla en agua, que ha de cumplir varios cometidos. (Refrigeración del útil de corte, sostener las paredes de la perforación, etc.).

Para formar el lodo se añaden al agua arcillas (bentonita principalmente) y una serie de aditivos con fines específicos. Se añade sosa cáustica para corregir el pH, coloides como el CMC, para reducir las pérdidas de agua, etc. Para mejorar las condiciones de corte, se incorporan taladrinas, aceites que se emulsionan con el agua, en cantidades del de 5 litros/metro cúbico. (Las taladrinas están contempladas en la Ley de Residuos Tóxicos y Peligrosos).

Cuando el sondeo atraviesa acuíferos se pueden provocar contaminaciones por pérdidas de lodos. También el pozo del sondeo puede permitir la comunicación entre acuí-

feros lo que en algunos casos puede generar problemas de contaminación.

Hay que tener en consideración que el motor de la sonda constituye una fuente puntual y continua de contaminación acústica y atmosférica.

Los trabajos mineros de investigación, suelen consistir en la realización de pequeñas galerías, socavones, canteras piloto, o en la recuperación de labores antiguas. Estas actuaciones generan unas alteraciones similares (aunque de menor entidad) a las provocadas por las explotaciones (escombreras, impactos en el paisaje, contaminación de aguas, etc.) y que serán descritas con más detalle en el apartado dedicado a las explotaciones mineras.

IMPACTOS SIGNIFICATIVOS

En general, dependiendo de las características de cada investigación, los elementos del medio más afectados por las actividades de investigación son; el suelo, la vegetación, el agua tanto subterránea como superficial y el paisaje. Estos elementos sufren impactos tanto más severos, cuanto más avanzada es la fase de investigación alcanzada, debido a una concentración espacial de los trabajos y su prolongación temporal.

De esta manera, pueden aparecer impactos severos en parajes donde se ejecutan campañas de sondeos prolongadas a causa de pisoteo del suelo y destrucción de la vegetación, riesgos de vertidos accidentales de lodos, taladrinas, combustible, etc. que contaminarán el suelo y el agua superficial generándose efectos inducidos sobre vegetación y fauna.

El impacto producido por una campaña de calicatas de alta densidad, no llega a ser significativo ya que es reversible en pocos años si las calicatas son bien recubiertas posteriormente.

Cuando se alcanza la fase de trabajos mineros con recuperación de labores y canteras piloto se producen impactos fundamentalmente paisajísticos. Por su parte las canteras crean taludes inestables que pueden dar origen a desplomes.

A estos impactos hay que sumarles los producidos por erosión del suelo, con efectos sobre la vegetación y el paisaje, inducidos por las pistas y movimientos de tierras que se abandonan sin acondicionar.

EL PROCESO DE EXPLOTACION MINERA

Introducción

Existen una gran diversidad de yacimientos de minerales metálicos en función de las distintas paragénesis que en estos se presentan, de las variadas estructuras y morfologías de los cuerpos mineralizados. Estas circunstancias, unidas a las distintas situaciones de localización y emplazamiento geográfico del yacimiento dan lugar a muy diversos métodos de extracción y tratamiento de menas. En general el esquema de la operación sería el siguiente:

El mineral ha de ser extraído y puesto en superficie (BATEMAN, A. M., 1961), teniendo que elegir un método de explotación para el yacimiento. Estos métodos se dividen en minería subterránea y minería cielo abierto.

Una vez extraído el mineral tiene que ser tratado en plantas para la separación de los minerales útiles de la ganga. En general estos procesos conllevan una fase de trituración y molienda para la liberación de la mena y una fase de concentración de la especie mineral deseada (IGME, 1989). Los estériles que se obtienen de este tratamiento se almacenan en escombreras y balsas de residuos.

El proceso de explotación

Las infraestructuras

La preparación de una explotación incluye la construcción de vías de acceso, trabajos de explanación, obras de desvío de cauces, construcción de edificios de talleres, oficinas, almacenes, líneas de energía, etc. A estas infraestructuras, se les irán sumando los castilletes de los pozos, las plantas de tratamiento, líneas de energía, las presas para suministro de agua, etc.

Dado que muchas veces las minas se encuentran en lugares relativamente apartados, parte de estas infraestructuras están destinadas a conseguir un cierto grado de autonomía en el funcionamiento de la explotación.

Las labores de explotación

El tipo de labores en las que se explota el mineral está condicionado por varios factores de diversa índole: geológicos, económicos, técnicos, etc. En función de estos factores se elige el método de explotación que se va a seguir. Estos métodos, se dividen en dos grandes grupos:

Minería subterránea.

Minería a cielo abierto.

Este último grupo de métodos es el más empleado últimamente en la mayoría de las explotaciones.

A. *Las labores subterráneas*

De una forma muy simplificada, una explotación subterránea, responde al siguiente esquema de funcionamiento (BATEMAN, 1961 y DE LA CUADRA IRIZAR, 1970):

Se accede al mineral con labores que penetran en el terreno a través de distintos tipos de obras: Pozos, rampas, socavones, etcétera, necesitándose además de otras obras

de ventilación, generalmente pozos. Dependiendo de la topografía del lugar donde se ubica la explotación cambia la morfología de las labores de acceso; en zonas llanas se accede a la mineralización a través de un pozo y transversales, mientras que en zonas de laderas se accede por medio de socavones desde la superficie, aunque cada vez es más frecuente el acceso por un sistema de rampa independientemente de las condiciones topográficas.

El mineral es explotado por obras sobre la mineralización que pueden ser horizontales, planos inclinados u obras verticales, reales y pozos ciegos.

En cuanto a los métodos de explotación se refiere, estos se suelen clasificar en tres fundamentales (DE LA CUADRA IRIZAR, 1970) en función de la forma de actuar frente al hueco que se produce al arrancar el mineral:

- Cámaras y Pilares.*
- Explotación con Relleno.*
- Explotación por Hundimiento.*

B. *Labores a cielo abierto*

En este tipo de labores se realiza el arranque del mineral sin trabajos subterráneos. Es necesario por tanto, que el espesor del recubrimiento no sea muy potente y que el volumen del yacimiento sea lo suficientemente grande para compensar los movimientos de tierras de los estériles que se han de desmontar para acceder al mineral (DE LA CUADRA IRIZAR, 1970; IGME, 1989).

Cortas. Aunque existe una variada tipología de labores a cielo abierto, las labores tipo Corta son las más empleadas en minería metálica. Las cortas son explotaciones a cielo abierto con las que se benefician tradicionalmente yacimientos masivos, haces filonianos, capas mineralizadas, stockwork, etcétera. Son explotaciones en las que se va descendiendo progresivamente formando una serie de escalones denominados bancos. Los bancos se van ensanchando, y cuando

uno tiene suficiente anchura, se abre un nuevo banco a nivel inferior. De esta manera, se alcanzan profundidades de varios cientos de metros.

Los movimientos de tierras se realizan con maquinaria pesada (palas excavadoras, motoniveladoras, dumpers, camiones de riego, etc.) empleándose barrenado y voladura de bancos cuando la dureza de la roca lo requiere. Todo esto exige unos límites en la anchura de los bancos y unos accesos a la corta con poca pendiente.

Los placeres. El laboreo de los placeres, es un caso más de las explotaciones a cielo abierto. Este tipo de yacimientos detríticos (SMIRNOV, 1982) se sitúa generalmente en niveles de arenas y gravas de aluviones y terrazas fluviales, por lo que la problemática de estos yacimientos es similar a la de explotaciones de graveras.

Relavado de balsas y escombreras. La minería antigua producía balsas y escombreras que contienen generalmente una gran riqueza en metales, dado que se utilizaban unos sistemas de lavado rudimentarios que dejaban leyes altas en los estériles. Con la mejora actual de las técnicas de tratamiento mineralúrgico muchas escombreras y balsas han sido objeto de un relavado. Esta actividad es un proceso minero que recicla unos estériles y puede ser agrupada dentro del conjunto de explotaciones a cielo abierto.

Lavaderos y plantas

Son instalaciones complejas donde es tratado el mineral en bruto salido de la mina y sometido a varios procesos para obtener concentrados vendibles a la industria metalúrgica. Las plantas se encuentran generalmente asociadas espacialmente a la explotación por el ahorro económico que se obtiene al transportar el mineral en forma de concentrado.

Los procesos de tratamiento de mineral

en las plantas son muy variados, ya que la mena proveniente de un determinado yacimiento, es distinta a cualquier otra, y necesita ser sometida a un proceso específico adaptado a sus características. No obstante, el proceso sigue unas líneas generales que se ajustan a los siguientes pasos (IGME, 1989; SANZ CONTRERAS, 1992):

Trituración y molienda. Se consigue con estas acciones la liberación de los granos de la especie mineral deseada. El mineral en bruto es sometido a un proceso progresivo de trituración y cribado, al final del cual pueden obtenerse tamaños inferiores a 1 mm. Se hace pasar al mineral a través de una cadena de elementos compuesta de machacadoras, vibrotamices, cribas, molinos (de bolas, de barras, etc.) encontrándose dividido a la salida en tres tipos de partículas, estériles, mineral y mixtos.

Concentración. El mineral liberado es concentrado por diversos procedimientos, que se apoyan en propiedades físicas o químicas del mismo. Así, se emplea concentración por gravedad en el caso de los minerales pesados, separaciones magnéticas, flotación, lixiviación, etc. (SANZ CONTRERAS, 1992).

En la concentración por flotación es necesario el empleo de diversos reactivos como son: ácidos, bases, derivados del petróleo, ácidos orgánicos, etc.

Los estériles secos del proceso de tratamiento son acumulados en escombreras de finos o balsas, dependiendo de su tamaño de grano. Normalmente en la minería metálica, se trabaja con procesos de vía húmeda lo que da origen a unos lodos que son acumulados en balsas y presas de residuos. Se obtienen también unos efluentes de características físico químicas diversas (SANZ CONTRERAS, 1992).

Escombreras

Las escombreras son estructuras que se originan por el vertido de los estériles de di-

versos orígenes producidos en las labores de acceso en la minería subterránea o del desmonte de la cobertera en las de cielo abierto, también pueden ser rechazos gruesos o mezcla de gruesos y finos, originados en las plantas de tratamiento. Estos han de estar secos y con bajo porcentaje de humedad de forma que al estar apilados formen una estructura sólida y con cierta estabilidad (IGME, 1989).

Ubicación. Tradicionalmente, las escombreras se emplazan en los lugares que hacen mínimo el coste económico de la operación y no interrumpen el desarrollo de la explotación futura. Pueden ser de interior, si se contruyen en un hueco del espacio interior de la explotación y de exterior si se sitúa fuera de los huecos generados por la explotación.

Respecto a la topografía del terreno en que se ubican, se clasifican en escombreras en vaguada, en ladera, en llanura y en divisoria (IGME, 1989). La forma final de la escombrera está condicionada por las distintas topografías sobre las que se implanta.

Tamaño. Se clasifican las escombreras en función del volumen del material almacenado. El rango de tamaños puede presentar gran variación, desde pequeñas escombreras menores de 1.000 metros cúbicos, hasta grandes escombreras superiores al millón de metros cúbicos.

Tipo de minería que las origina. La composición (litológica, mineralógica, granulométrica, etc.) de una escombrera está condicionada por las características del yacimiento explotado y el tipo de minería que la origina.

Situación. Se suelen distinguir entre escombreras activas y escombreras inactivas.

Balsas y presas de residuos

Las balsas y presas, se forman por el vertido de los residuos de granulometría fina

(limos y lodos finos) que son evacuados por las plantas de tratamiento mezclados con agua o líquidos del proceso. Su función principal consiste en almacenar permanentemente los estériles sólidos y retener temporalmente los efluentes líquidos. Los residuos se evacúan a depresiones naturales del terreno o son contenidos por diques formados artificialmente (IGME, 1989; SANZ CONTRERAS, 1992).

Tradicionalmente, balsas y presas se han construido próximas a las plantas de tratamiento en zonas de condiciones topográficas favorables. Para su ubicación se tienen en cuenta las condiciones de la red de drenaje, permeabilidad del vaso, acuíferos, precipitaciones, evaporación, etc.

Características de los lodos. El tamaño de los lodos depende del proceso mineralúrgico del que provienen. En general se encuentran siempre por debajo de 5 mm. predominando en el rango de las arcillas y limos. Los tamaños más gruesos se depositan rápidamente formando una playa junto al dique, si la descarga se hace junto a este, mientras que el resto de las partículas finas fluye como lamas (tamaño inferior a 0.1 mm.) presa arriba.

Las características químicas de los lodos deben ser consideradas en el diseño de las presas. Así, algunas partículas pueden alterarse rápidamente, convirtiéndose en material arcilloso, también pueden darse procesos de cementación, etc. Estos procesos pueden producirse entre los componentes del lodo o entre estos y el material del dique o los suelos, ocurriendo de forma inmediata o lentamente con el transcurso del tiempo (IGME, 1989; SANZ CONTRERAS, 1992).

Características de los efluentes. En algunos casos los efluentes pueden ser recirculados para volverlos a utilizar en los procesos de tratamiento. En otros, la presencia de contaminantes químicos impide su reutilización siendo necesario proceder a la evaporación del agua o a su depuración. En muchos tratamientos mineralúrgicos los efluen-

tes tienen un carácter ácido y altas concentraciones de iones metálicos móviles. Es frecuente la presencia de aniones disueltos como nitratos, sulfatos y cloruros, siendo raros los casos de pH básicos (IGME, 1989; SANZ CONTRERAS, 1992). Las reacciones de oxidación y las precipitaciones que ocurren en las presas suelen disminuir las concentraciones de sustancias nocivas pero algunos aniones como sulfatos nitratos y cloruros no son controlados.

El nivel freático. Dentro de las presas se forma un nivel freático de los efluentes que tiene gran importancia en la estabilidad de estas estructuras. Inicialmente, este nivel se mantiene bajo por producirse un drenaje natural a través de los suelos sobre los que se asienta la presa pero con el tiempo la deposición de lodos reduce la permeabilidad vertical, forzando a los efluentes a desplazarse horizontalmente, elevándose así el nivel de filtración del dique. Esto puede crear empujes que llegan a afectar a la estabilidad de las presas (IGME, 1989; SANZ CONTRERAS, 1992).

La facilidad de drenaje puede verse afectada también por pérdida de porosidad producida por precipitación de sustancias originadas en las reacciones químicas que ocurren en las presas.

EL ABANDONO DE LAS MINAS

Cuando una mina llega al final de su período de explotación, las actividades desarrolladas se han extendido por una superficie más o menos grande de terreno ocupándolo con edificaciones, escombreras, presas, huecos, etc. y confiriéndole un aspecto caótico.

La finalización de los trabajos no conlleva, sin embargo, una reducción en la ocupación de terrenos, dado que esta ocupación es resultado acumulado de todos los trabajos ejecutados a lo largo de la vida de la mina. Los motivos de cese de la explotación de

una mina responden a orígenes variados, pero los más frecuentes son:

—Pérdida de competitividad por obsolescencia de la maquinaria o del método de explotación.

—Pérdida de rentabilidad por baja de precios, empobrecimiento o agotamiento de mineral.

Aunque en determinados casos se suelen seguir efectuando trabajos de mantenimiento durante algún tiempo, lo habitual es el que las minas se cierren y cese la explotación de una manera más o menos brusca. El término «abandono» define de una manera muy gráfica el aspecto de una mina que no trabaja. Se da el agravante de que muchas veces las instalaciones eran saqueadas de materiales útiles como la chatarra y la madera, retirándose entibaciones y acelerando los procesos de deterioro, ya que hasta las recientes disposiciones legales el cese de los trabajos no llevaba añadida la menor medida de restauración.

LAS ALTERACIONES AMBIENTALES EN LOS SISTEMAS NATURALES DURANTE EL CICLO DE EXPLOTACION Y EL ABANDONO POSTERIOR

La explotación minera produce una serie de alteraciones importantes sobre los elementos del medio físico que son causa de impactos ambientales con frecuencia graves e incluso irreversibles e irrecuperables. Los principales elementos del medio en que se van a manifestar estos impactos son:

El agua, que es afectada en su circulación superficial y subterránea y modificada en sus condiciones físico-químicas.

El paisaje, ya que se producen huecos, nuevos volúmenes de edificios y escombros, contrastes de color por movimiento de tierras, etc.

La vegetación y la fauna, que son alteradas muchas veces por eliminación física, o

por contaminación de las aguas, del aire o del suelo.

El aire, que ve afectada su calidad por polvo, gases y aerosoles procedentes de balsas, plantas de trituración, voladuras, etc.

El suelo, que es degradado y contaminado por diversos productos, como metales pesados y compuestos tóxicos, aguas ácidas, etcétera.

El ambiente sonoro, que es afectado por los ruidos originados en la explotación, por funcionamiento de maquinaria, voladuras, etcétera.

Un hecho relevante es la aparición de *sinergias* entre los procesos de alteración que sufren los distintos elementos del medio natural combinándose para generar un importante impacto ambiental en el entorno de la explotación y de los ejes de dispersión de los contaminantes.

El agua

La alteración del agua se produce como resultado de las actuaciones sobre su circulación natural y por su empleo en el proceso minero del que resulta un consumo y una alteración de sus cualidades.

Deformación de acuíferos

Las labores subterráneas han de permanecer secas durante los trabajos de preparación y explotación por lo que son constantemente desaguadas generando una depresión del nivel piezométrico hasta el nivel de las galerías inferiores. Esta depresión ha de ser mantenida durante todo el tiempo de explotación siendo fácilmente recuperable al cesar los trabajos.

Las labores del cielo abierto producen también deformaciones en el nivel freático de los acuíferos ya que han de ser drenadas continuamente para permitir la ejecución de los trabajos, contribuir a la estabilidad

de los taludes y evitar problemas de hinchamiento en los materiales del fondo. El nivel freático queda así modificado adaptándose a la nueva topografía creada por la corta.

En el caso de la explotación de un placer sobre terrenos aluviales el nivel freático también es deprimido en el entorno de la explotación pero de una forma asimétrica, ya que la depresión es más importante aguas abajo. Esta depresión asimétrica se mantiene, aún más acusada, al cese de los trabajos mientras que el hueco creado es ocupado por el agua (IGME, 1989).

Alteraciones de cauces y de la escorrentía superficial

En el entorno de una explotación, los cauces pueden ser interrumpidos o alterados de formas variadas, para atender a diversas necesidades como son:

- Evitar el aporte de agua en las labores.
- Construcción de escombreras.
- Construcción de balsas y presas de residuos.
- Construcción de embalses para suministro de agua a las plantas de tratamiento.
- Construcción de vías de acceso y transporte.

Con estos fines se construyen canales de derivación en los que se recogen caudales que son vertidos de nuevo a los cauces aguas abajo. Las aguas de escorrentía superficial son recogidas por medio de diversos tipos de colectores y aportadas a los cauces en lugares convenientes.

Para suministrar agua a las plantas de tratamiento, se construyen embalses en los cauces, transportándose el agua por canales hasta las plantas de tratamiento. El agua que sale del proceso puede ser retenida en balsas de decantación y evaporación antes de ser devuelta a los cauces. Esta retención aumenta la temperatura del agua que será vertida.

Alteración de caudales

Los caudales naturales de agua son modificados por la actividad minera. Los desagües de labores merman caudal a los acuíferos y lo aportan en los cauces superficiales. Por otro lado, los procesos mineralúrgicos son consumidores de agua que generalmente es de origen superficial.

Contaminación del agua

La interacción de contaminantes sobre el ciclo del agua ocurren en varios momentos de la actuación minera, tiene distintos orígenes y producen efectos de diversa entidad y cualidad. La contaminación se produce tanto en el agua superficial como en el agua subterránea.

Dentro de todas estas posibles variaciones hay algunas problemáticas con especial incidencia entre las que se pueden destacar las siguientes:

Cambio de las características físico-químicas de agua por manipulación de cauces y de la escorrentía superficial y subterránea. Estas características resultan alteradas con mayor o menor intensidad al manipular la circulación natural del agua haciendo discurrir a esta por canales y colectores y aportándola el caudal bombeado de las labores. El efecto principal que se produce es la adición de partículas minerales que alteran sus parámetros físicos generalmente *aumentando su turbidez*. También se puede producir un *endurecimiento del agua y un aumento de temperatura*.

Contaminación por hidrocarburos y aceites. El empleo de maquinaria pesada en una explotación conlleva una serie de riesgos de vertidos accidentales de combustibles y lubricantes, causante de impactos importantes.

Contaminación por lixiviados de escombreras. Tanto por interceptar escorrentía su-

perforación como por la propia agua de lluvia que recogen, las escombreras pueden generar lixiviados contaminados por metales pesados y tóxicos (plomo, mercurio, cadmio, etc.) aguas ácidas y sustancias tóxicas que acompañan a los estériles de las plantas de tratamiento.

Los lixiviados de las escombreras pueden pasar a los cauces a través de la escorrentía superficial o percolar a los acuíferos si el terreno sobre el que se asienta la escombrera es permeable, produciendo contaminaciones en el agua subterránea.

Contaminación por efluentes de plantas de tratamiento, balsas y presas de residuos. Muchos de los procesos mineralúrgicos más comunes emplean reactivos que van a quedar incorporados a los efluentes a los que dan un carácter tóxico o contaminante. Estos efluentes pueden tener pH muy ácidos, altas concentraciones de iones metálicos móviles, altas concentraciones de aniones disueltos (sulfatos, nitratos, cloruros, etc. (IGME, 1989). Los efluentes contaminan el agua si se producen vertidos directos en cauces sin tomar medidas de descontaminación previas.

Los efluentes se suman al ciclo del agua por varios caminos. Pueden fluir desde las balsas sin haber recuperado aún las condiciones de calidad necesarias y pueden percolar a los acuíferos a través del vaso.

Contaminación por aguas ácidas (IGME/E.T.S. DE INGENIEROS DE MINAS, 1986). Las menas de metales base habitualmente trabajadas se incluyen, en un gran número de casos, en paragénesis de sulfuros (pirita, pirronita, galena, marcasita, blenda, calcopirita, etc.). Se emplea comúnmente el término de «piritas» para referirse a estas concentraciones de sulfuros a partir de las que se van a generar aguas ácidas, ya que este mineral está presente en la mayoría de la paragénesis.

Los movimientos de tierras originados por el laboreo de estas menas exponen a la meteorización importantes masas de sulfu-

ros. En determinadas condiciones ambientales las aguas que han circulado a través de las masas de sulfuros sufren un proceso de acidificación, resultando al final aguas ácidas que pueden alcanzar valores de pH inferiores a 3.

La generación de aguas ácidas a partir de rocas conteniendo pirita está gobernada por una serie de mecanismos complejos que en síntesis producen la oxidación de la pirita liberando ácido sulfúrico e hidróxido férrico. El proceso es catalizado por la presencia de bacterias, principalmente «*Thiobacillus ferrooxidans*», desarrollándose en tres etapas como establecieron Ferguson y Erickson en 1987 (IGME, 1989) en las que el pH va siendo más ácido progresivamente.

Las aguas ácidas son un problema fundamentalmente de la etapa de abandono de las explotaciones pero aparecen también durante la época de explotación. Generalmente proceden del drenaje de explotaciones aunque pueden surgir como lixiviados de escombreras y balsas.

Son aparentemente aguas limpias, pero al mezclarse con las aguas naturales producen en éstas importantes alteraciones ya que:

—*Acidifican las aguas naturales*, anulando su capacidad de amortiguación para las pequeñas oscilaciones de pH, confirniéndoles un carácter corrosivo que las hace inútiles para muchos usos y altamente dañinas para los ecosistemas que dependen de esas aguas.

—*Precipitan hidróxido férrico*, que da coloración amarilla a las aguas y forma costras en los cauces.

—*Su bajo pH les permite llevar metales pesados en disolución.* La disminución del pH producida por la mezcla de aguas reduce la solubilidad de los iones metálicos que precipitan. La persistencia de descargas de aguas ácidas en lagos y embalses produce un proceso de envenenamiento progresivo por *acumulación de metales tóxicos en el sedi-*

mento y en los organismos bentónicos, entrando así en las cadenas tróficas.

—Las aguas ácidas pueden *contaminar los acuíferos* cuando se produce su percolación en profundidad.

—Los impactos que generan son importantes y críticos constituyendo un problema de solución compleja y costosa.

El suelo

Ocupación y destrucción del suelo

Las operaciones mineras son consumidoras importantes de suelo en el entorno de las explotaciones. Este consumo detrae suelo fértil para otros usos de manera generalmente irreversible. La ocupación del suelo produce su destrucción física por la creación de huecos de explotación, implantación de escombreras y balsas, edificios y plantas de tratamiento. También consume y destruye suelo la red viaria que acompaña la explotación de un yacimiento.

Contaminación del suelo

La contaminación de los suelos aparece distribuida espacialmente en el entorno de la explotación. Esta contaminación puede presentar tipologías en relación y similares a las de los procesos de contaminación de agua.

Contaminación por aceites y combustibles. Los vertidos accidentales de estas sustancias pueden producir un impacto irreversible, pero localizado espacialmente, ya que el suelo no es un vector de difusión muy activo.

Contaminación por metales pesados. Los metales pesados se difunden a través de los suelos, esta difusión se produce a partir de acumulaciones anómalas de minerales como las existentes en escombreras y balsas

y es origen de altas concentraciones de iones metálicos en el suelo.

Acidificación del suelo

Los suelos sufren un proceso de acidificación por circulación de aguas ácidas o por aportes importantes de polvo que contengan piritas. Esta acidificación, produce una degradación del suelo que puede llegar a impedir el crecimiento de la vegetación.

El aire

La actividad minera produce dos tipos de emisiones que afectan a la calidad del aire (IGME, 1989). Estas emisiones son el polvo y los gases y vapores. Las inmisiones registradas dependen de factores extrínsecos a la explotación como son las características climáticas de la zona y de factores intrínsecos como el tipo de minería y método de explotación, mena explotada, calidad y cantidad de la maquinaria pesada, pavimentación de pistas, superficie y características de balsas y escombreras, etc.

El polvo son partículas sólidas puestas en suspensión en el aire por operaciones de voladuras, carga de mineral, movimientos de tierras, etc. Pueden ser también levantadas por el viento desde balsas y escombreras y dispersarse en el entorno de pistas y carreteras a partir del movimiento de vehículos de transporte de mineral.

Estas partículas acaban depositándose cubriendo el suelo y la vegetación en la que producen un taponamiento de los estomas de las hojas e impiden sus funciones. La producción de polvo puede ser más intensa en determinados tipos de operaciones en las que se trabajan materiales pulvulentos (bauxitas) o detriticos que incluyen una fracción fina, como sucede con el relavado de escombreras o la explotación de placeres.

Los gases y vapores son producidos en la

actividad minera por los escapes de la maquinaria pesada (fuentes móviles) y los grupos de las instalaciones (fuentes fijas). La maquinaria produce sus emisiones en las zonas de trabajo (carga y descarga de estériles y mineral, operaciones de perforación, etc.) y a lo largo de las vías de transporte. Los escapes producen *vapores* como el dióxido de carbono y el vapor de agua y *contaminantes* generados por las impurezas existentes en los combustibles y por su oxidación incompleta en los motores. Los principales contaminantes emitidos son: Óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, partículas y monóxido de carbono.

La contaminación es más importante en la minería de cielo abierto que en la subterránea ya que la primera se realiza con una mayor proporción de maquinaria pesada y las operaciones de voladuras ponen en el aire gases provenientes de la detonación de los explosivos.

El ambiente sonoro

El ambiente sonoro es alterado por ruidos generados en diversas operaciones de la explotación. Las principales fuentes de ruidos son las voladuras, el movimiento de maquinaria pesada, el funcionamiento de los equipos de perforación y las plantas de tratamiento, principalmente las instalaciones de trituración y machaqueo (IGME, 1989). Si los ruidos son acompañados por vibraciones, como es el caso de las voladuras, son percibidos más sensiblemente por parte del observador. Dadas las características de la minería a cielo abierto, esta es mayor productora de ruidos que la minería subterránea.

El equilibrio geodinámico

La estabilidad geodinámica es alterada por la creación tanto de huecos y taludes, como de nuevos volúmenes artificiales en

balsas y escombreras, perturbando el equilibrio natural. Esta desestabilización se agrava por las manipulaciones que se suelen realizar en el ciclo del agua (IGME, 1989; SANZ CONTRERAS, 1992). Se produce así una situación de probabilidad de movimientos de tierras con modificaciones topográficas y deslizamientos de masas, que son mucho más graves consideradas como *riesgos geológicos* que como alteraciones de sistemas naturales. La ocurrencia de estos movimientos está principalmente asociada a la fase de abandono de las explotaciones mineras en la que se van degradando las estructuras de soporte que se pusieron en la época de explotación.

Se pueden señalar varias desestabilizaciones características, provocadas por la minería:

Los hundimientos mineros son fenómenos de subsidencias del terreno o formación de huecos en superficie ocasionados como consecuencia de la extracción de masas de mineral en profundidad (IGME, 1989; WHITTAKER & REEDISH, 1989). La naturaleza del hundimiento está controlada por dos tipos de factores, geológicos y mineros. Los factores geológicos son las características litológicas, estructurales e hidrogeológicas del depósito explotado y del recubrimiento existente. Entre los factores mineros el más destacado es el método de explotación empleado seguido de la profundidad a que se encuentran las labores.

El colapso de pozos y chimeneas produce depresiones cónicas en la embocadura, acumulándose el material caído en la caña del pozo. El colapso de las labores subterráneas produce hundimientos generalizados cuando las rocas del techo han reaccionado de manera elástica o plástica. Si se ha producido la ruptura tiene lugar la caída de materiales del techo en el hueco con emigración del hueco residual hacia la superficie en la que se forman chimeneas de hundimiento.

La inestabilidad de taludes en las cortas

que lleva en el transcurso del tiempo a la rotura y desmoronamiento de los taludes. Este tipo de riesgo está implícito en el abandono de labores de cielo abierto.

La inestabilidad de las escombreras proviene de que son estructuras cuyos taludes han sido construidos por vertido directo presentando un ángulo coincidente con el de reposo del material. Los fenómenos de inestabilidad se traducen generalmente en deslizamientos que pueden ser superficiales o profundos, afectando estos últimos a volúmenes mayores de escombros.

Los deslizamientos son causados muchas veces por mecanismos erosivos (socavamiento e inundaciones del pie de la escombrera, proceso de piping, acarcavamiento, etc.).

La inestabilidad de balsas y presas suele manifestarse en la etapa de operación con la aparición de filtraciones o surgencias a través del dique originadas por procesos de piping. Estas surgencias pueden acabar abriendo una cárcava en el talud y permitiendo la salida de un flujo de lodos (IGME, 1989; SANZ CONTRERAS, 1989).

En la etapa de abono, al no existir aporte de residuos, el nivel freático desciende lo que se traduce en unas mejores condiciones de estabilidad de los taludes.

Alteración de los procesos de erosión-sedimentación. Estos procesos son perturbados por actividades como los movimientos de tierras, creación de estructuras e infraestructuras, alteraciones de los cursos de agua, etc. Estas perturbaciones se traducen en aceleraciones de la erosión (aparición de erosión laminar, regueros, cárcavas, etc.) o de la sedimentación (aterramientos).

Las alteraciones alcanzan gran importancia en el caso de explotación de placeres en los cauces fluviales, ya que originan un rebaje local del nivel de base. Esta nueva situación provoca un aumento de la capacidad erosiva aguas arriba y una disminución aguas abajo, circunstancias que pueden llevar a modificaciones en el trazado del cauce, induciendo la rectificación del cauce hacia

arriba y el aumento de la sinuosidad hacia abajo.

La erosión eólica es también potenciada por la actividad minera ya que deja expuestas al viento, sin cubierta vegetal protectora, amplias superficies de tierra en labores, escombreras y balsas.

La vegetación y la fauna

La vegetación y la fauna van a sufrir alteraciones directas por la actividad minera y van a padecer efectos indirectos producidos por la erosión, contaminación de aire, agua, suelo, etc.

Las alteraciones directas en la vegetación y la fauna

En la etapa de operación, la vegetación sufre una destrucción por eliminación física en los lugares donde se ubican labores, escombreras, balsas, infraestructuras, etc. La fauna asociada a la vegetación destruida perece con ella, o se ve forzada a emigrar.

El entorno de la explotación se convierte en un medio fuertemente perturbado donde se generan emisiones de polvo, ruido, gases, aguas contaminadas, etc. Estas emisiones contaminantes producen stress en los individuos de las distintas comunidades acusándose los efectos en la variación de los parámetros ecológicos y de la diversidad biológica. Las poblaciones animales y vegetales pueden ser afectados negativamente en su producción, supervivencia, longevidad, crecimiento, fertilidad, etc. y parte de la fauna abandona el lugar.

Durante el abandono hay una recuperación del nivel freático y las explotaciones tienden a rellenarse de agua. En las labores a cielo abierto, (bajo determinadas condiciones climáticas y niveles tolerables de contaminación) se forman ecosistemas de ribera asociados a sistemas lénticos que con el paso

del tiempo alcanzan alto grado en la sucesión. Las explotaciones abandonadas de placeres pueden quedar integrados en el ecosistema fluvial, tanto a nivel hidrológico como biológico.

Por el contrario, las labores subterráneas quedan prácticamente vacías de vida ya que la falta de luz impide la fotosíntesis y a falta de fitomasa de productores primarios, no se pueden desarrollar cadenas tróficas.

Las balsas y escombreras presentan dificultades para ser colonizadas por la vegetación en plazos razonables de tiempo a causa de la ausencia de suelo y la complejidad de su desarrollo sobre fragmentos de roca o limos, que además presentan normalmente una composición geoquímica fuertemente anómala (IGME, 1989).

Las alteraciones indirectas de la vegetación y la fauna

La vegetación y la fauna son dañadas por efectos derivados de la actividad. Estos efectos se manifiestan en el entorno de la explotación o fuera de ella, transmitidos por vectores de dispersión.

A. *A partir de los suelos*, la vegetación es alterada de varias maneras. Puede degradarse y llegar a desaparecer por erosión del suelo provocada por la manipulación de la escorrentía. La acidificación del suelo produce efectos negativos sobre la vegetación que pueden llegar a eliminarla.

Las plantas situadas en suelos contaminados absorben *metales pesados* a partir de compuestos solubles, estos metales producen efectos tóxicos sobre los organismos vegetales y entran en la cadena trófica de los animales produciéndose una bioacumulación ya que los metales pesados no son metabolizados al no ser hidrosolubles. La contaminación pasa de esta manera a la fauna, acumulándose en los depredadores que ocupan la parte superior de la pirámide trófica.

B. *A partir del agua*, vegetación y fauna sufren alteraciones de diversa índole:

La distorsión de la circulación natural del agua por operaciones mineras merma los recursos hídricos de que disponen los ecosistemas, acomodados al régimen de circulación existente antes del comienzo de la operación.

El aporte de aguas ácidas, produce efectos nocivos en los ecosistemas de los cauces por *destrucción de la vida acuática*. Con pH inferiores a 4, desaparecen todos los vertebrados, la mayoría de los invertebrados y muchos microorganismos. Son eliminadas las plantas superiores, sobreviviendo tan solo unas pocas algas y bacterias. La acidez produce un *aumento del CO₂ libre en el agua*, que interfiere con los procesos de eliminación de CO₂ metabólico producido por los animales, retardando su tasa de difusión. La consecuencia es una *acumulación de CO₂ en la sangre del animal* con lo que puede transportar menos oxígeno.

Hay un aporte de metales pesados en disolución; estos iones como ya se ha citado en el caso de los suelos, pueden resultar tóxicos para las plantas generando necrosis y descensos de productividad.

La formación de costras de hidróxido férrico en los lechos de los cauces destruye toda la actividad biológica que se desarrolla sobre los mismos. También los cationes ferrosos consumen oxígeno que es sustraído a los procesos biológicos.

El aumento de la turbidez provoca dos efectos importantes (STOCKER/SEAGER, 1982):

Destruye animales acuáticos al depositarse el sedimento en los fondos de los cauces y cubrir los nidos y reservas nutritivas.

Disminuye la penetración de la luz en el agua, rebajando la tasa fotosintética de las plantas lo que conlleva una menor producción primaria y la disminución de la producción de oxígeno.

El aumento de temperatura que presentan las aguas empleadas en los procesos mineralúrgicos provoca, al ser vertidas de nuevo a los cauces, una disminución de la capacidad del agua para contener oxígeno disuelto. Esta disminución de capacidad se agrava si el vertido se produce de tal manera que las aguas no se mezclan bien formándose una termoclina. La disminución de la cantidad de oxígeno puede tener efectos graves para la vida piscícola y para la asimilación por parte del agua de residuos con requerimiento de oxígeno.

Los vertidos aportados por los efluentes de las plantas de tratamiento, introducen en el agua sustancias de diversa naturaleza que pueden actuar como venenos para la fauna y la flora. Al ser el agua un importante vector de transmisión, los contaminantes son llevados a larga distancia de la explotación, al mismo tiempo que sufren un proceso de dilución. Los ecosistemas fluviales y de ribera son afectados en distinto grado de importancia a lo largo del cauce contaminado disminuyendo la gravedad de la afección con la distancia a la explotación por dilución de los contaminantes.

El envenenamiento lento de lagos y embalses se produce por la llegada de aguas ácidas y contaminadas. Se incorporan metales pesados y contaminantes, siendo esta incorporación acumulativa ya que son ecosistemas cerrados. Contaminantes y metales pasan a las cadenas tróficas pudiendo producirse graves alteraciones biológicas.

C. *Demanda de la actividad.* Las explotaciones subterráneas han sido tradicionalmente importantes consumidoras de madera para la realización de los entibados. Esta demanda ha «tragado» bosques por la boca de la mina y en el pasado ha sido sin duda un factor importante de la deforestación de algunos distritos mineros.

El paisaje

Las cualidades visuales del paisaje (RAMOS, 1987), son el resultado de la integración de varios componentes:

—*Tierra*, o aspecto exterior de la superficie terrestre, relieve y formas del terreno.

—*Agua*, formas y geometría del agua superficial.

—*Vegetación*, distintas formas de vida vegetal, su distribución y densidad.

—*Estructuras*, elementos artificiales introducidos por las actividades humanas.

Se estima que el paisaje es un elemento muy fuertemente perturbado por la actividad minera, ya que lo son todos sus componentes.

De sus cuatro componentes las perturbaciones del agua y la vegetación ya han sido tratadas, pero conviene resaltar algunas modificaciones específicas que sufren en cuanto a componentes del paisaje y que consisten principalmente en:

—Modificaciones en la geometría y dimensiones de las láminas de agua.

—Modificaciones en la composición, porte, distribución, estratos y densidad de la vegetación.

Estas modificaciones conllevan variaciones en el color y la textura del paisaje.

La componente tierra, considerada como la configuración de la superficie del terreno, es intensamente modificada por:

—Creación de huecos y vacíos originados por las explotaciones a cielo abierto y

por toda una serie de pequeñas labores mixtas resultado del calado de las labores subterráneas a superficie.

—Construcción de nuevos volúmenes generados por la creación de escombreras, balsas y presas de residuos.

En función de las características particulares de cada explotación, la creación de huecos y volúmenes puede acentuar o suavizar las formas topográficas existentes en el entorno.

La gama de colores y tonos del paisaje es alterada dependiendo del tipo de roca y mineralización sobre la que se trabaja. Con los movimientos de tierra es frecuente la aparición de tonos claros que producen fuertes contrastes. En particular los colores ocres y rojizos causados por óxidos de hierro, generan un fuerte impacto visual por su capacidad de atraer la atención del observador.

La textura se hace más rugosa al quedar la roca al descubierto en las explotaciones, manifestándose una trama geométrica de superficies, líneas y ángulos, reflejo de las formas de la corta y de los sistemas de diaclasado y estratificación de la roca. Escombreras y balsas destacan de su entorno, no solo por sus volúmenes, sino además, por sus formas geométricas y falta de vegetación lo que provoca un contraste de color y textura con su entorno.

La componente estructuras es también profundamente alterada ya que frecuentemente una explotación se crea en paisajes carentes de estructuras significativas previas. La explotación crea toda una gama de estructuras propias. Unas con un carácter convencional como son las pistas, edificios para diversos usos, embalses, etc. Otras son específicas de la actividad como las plantas de tratamiento y los lavaderos, e incluso algunas de carácter emblemático como los castilletes de los pozos. Las estructuras mineras se han convertido en muchos casos en la nota característica de determinados paisajes.

Como resultado de las alteraciones de todos sus componentes, se puede afirmar

que el paisaje se percibe como el elemento más fuertemente alterado por la actividad minera. A la magnitud de esta alteración contribuye el agravante del determinismo en la ubicación de la explotación. Un yacimiento se sitúa en unas coordenadas exactas del espacio. Si ha de ser explotado no admite, como en otras actividades, alternativas de trazado o emplazamiento. Para cada yacimiento, existe un determinismo posicional que lleva implícita la permanencia a una cuenca visual. El impacto paisajístico unido a este determinismo solo puede ser suavizado por el diseño de la explotación o los planes de recuperación.

CONCLUSIONES

Una vez desglosadas las alteraciones de los elementos naturales se puede considerar cuales de estas alteraciones son más significativas y por lo tanto, pueden dar lugar a los impactos más graves causados por la minería metálica. Se consideran como más significativas:

La alteración de la circulación natural del agua causante de erosión, sedimentación, y merma de los caudales de agua a los ecosistemas.

La contaminación del agua por formación de aguas ácidas, vertidos de lixiviados y efluentes, aumento de turbidez y temperatura, etc. La contaminación va a degradar los ecosistemas pudiendo dañar gravemente, e incluso eliminar, muchos de ellos.

La degradación de la vegetación, tanto por destrucción directa, como por sufrir los efectos de la contaminación del agua y el suelo.

La profunda alteración del paisaje principalmente en su componente tierra, provocada por los cambios de formas, volúmenes, colores y texturas, que acompañan a una explotación y que puede originar fácilmente impactos irreversibles.

BIBLIOGRAFIA

- B.R.G.M. (1977). Las fases de la investigación minera. 54 págs. Dirección de Relaciones Exteriores. Orleáns.
- BATEMAN, A. M. (1961). Yacimientos minerales de rendimiento económico. 975 págs. *Editorial Omega*. Barcelona.
- DE LA CUADRA IRIZAR (1970). Curso de laboreo de minas. Métodos de Explotación. 128 págs. *E.T.S.I.M.* Madrid.
- FERNANDEZ ALLER, R. (1977). Control y tratamiento de aguas residuales en minería. 1.º Curso ROSO DE LUNA. Area VI, Minería y Medio Ambiente. Págs. 41 a 85. *IGME*. Madrid.
- FERNANDEZ ALLER, R. (1990). Impacto ambiental de las actividades mineras. Protección del Medio Ambiente. *Seminario AIC-TECNIBERIA*. 1990. Págs. 88 a 89. Santiago de Chile.
- GUTIERREZ MAROTO, A. *et al.* (1989). Dispersión de elementos pesados y su incidencia en el medio natural. *Boletín Geológico y Minero*. Vol. 100-5. Págs. 886-896. Madrid.
- IGME (1983). Depósitos minerales de España. 153 págs. Madrid.
- IGME/E.T.S. DE INGENIEROS DE MINAS (1986). Abandono de minas, Impacto hidrológico. 267 págs. Madrid.
- IGME (1989). Programa nacional de estudios geoambientales aplicados a la minería. Provincia de León. 234 págs. Madrid.
- IGME (1989). Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. 321 págs. Madrid.
- JUNTA DE ANDALUCIA (1986). La minería andaluza. Libro Blanco. Tomo II. 645 págs. Consejería de Economía y Fomento. Dirección General de Industria y Minas. Sevilla.
- JUNTA DE EXTREMADURA (1987). La minería en Extremadura. 323 págs. Consejería de Industria y Energía. Dirección General de Industria Energía y Minas. Mérida.
- LOPEZ JIMENO, C. (1988). La gestión de recursos mineros no energéticos y el medio ambiente. Geología Ambiental. *ITGE*. Madrid.
- McKINATRY (1970). Geología de Minas. 638 págs. *Editorial Omega*. Barcelona.
- RAMOS, A. (1987). Diccionario de la Naturaleza. 1.016 págs. *Espasa-Calpe*. Madrid.
- SANZ CONTRERAS, J. L. (1992). Curso de evaluación del impacto ambiental en la minería a cielo abierto. Escombreras y balsas mineras. Plantas de tratamiento. 29 págs. Madrid.
- SMIRNOV, V. I. (1982). Geología de yacimientos minerales. 564 págs. *Editorial Mir*. Moscú.
- STOCKER/SEAGER (1981). Química ambiental: Contaminación del aire y del agua. 320 págs. *Editorial Blume*. Barcelona.
- URRUTIA *et al.* (1987). Procesos de oxidación de piritas en medios superficiales: Potencial acidificante e interés para la recuperación de suelos de mina. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, n.º 11, págs. 131-145. O Castro. La Coruña.
- WHITTAKER & REDDISH (1989). Subsidence. 525 págs. *Editorial Elsevier*. Oxford.
- XUNTA DE GALICIA (1992). La minería de Galicia. 402 págs. Consellería de Industria y Comercio. Dirección Xeral de Industria. Santiago de Compostela.

*Recibido, 26-IV-93**Aceptado, 10-VIII-93*