

# Capítulo

# XVI

## Los residuos mineros.

JUAN SORIA CARRERAS

---



## Capítulo XVI

### LOS RESIDUOS MINEROS

#### 1 INTRODUCCIÓN.

La minería constituye un caso especial en lo que a generación de residuos se refiere. De hecho, se trata de una actividad cuyo comienzo es difícil de fechar en la Península Ibérica, pero con toda seguridad se remonta a más de tres milenios. Abarca actividades tan dispares como la explotación de una gran masa de sulfuros polimetálicos situada a 300 m de profundidad y la extracción de áridos en una grava próxima al margen de un río.

En líneas generales, para obtener el producto a comercializar es necesario extraer una gran cantidad de materiales estériles que, por motivos económicos, se disponen en las proximidades de la explotación. Adicionalmente, para alcanzar la pureza o concentración requeridos para la puesta en mercado del producto deseado, se precisa someter la masa mineralizada extraída a una serie de procesos en los que se generan residuos.

Hasta fecha muy reciente, no existía una normativa que tipificara los residuos que se generan en las explotaciones mineras. Actualmente, la apertura de una nueva mina debe contemplar una serie de requisitos ambientales que influyen en gran medida en la viabilidad económica del proyecto. Sin embargo, existe un pasivo medioambiental derivado de las explotaciones abandonadas que constituye un problema a nivel autonómico, nacional y europeo. La Unión Europea, consciente de esta problemática, se encuentra actualmente elaborando los documentos previos que deben conducir a la publicación de una Directiva para la Gestión de los Residuos de la Industria Extractiva.

#### 2 GENERALIDADES SOBRE EXPLOTACIONES MINERAS.

De forma genérica, las explotaciones mineras se clasifican en dos grandes grupos: extracción a cielo abierto y minería subterránea. Hay que precisar no obstante, que estos dos tipos genéricos no son mutuamente excluyentes, existiendo minas en las que se perforan galerías de explotación subterránea desde una corta a cielo abierto.

Otro tipo de minería, de uso muy restringido, es el llamado "in situ". En este método, en lugar de excavar el terreno para llegar al recurso explotable, se procede a perforar una serie de sondeos inyectando en ellos reactivos apropiados para poner en disolución en las sustancias de interés. La solución cargada en las mismas es bombeada a través de otros sondeos, procediéndose a un tratamiento para su separación.

El método elegido de explotación viene determinado por un conjunto de factores tales como la localización, geometría, morfología, profundidad, economía, requerimientos medioambientales e incluso (en tiempos pasados) la tradición. Dependiendo del método y del tamaño de la mina, el proyecto conlleva una diferente capacidad de extracción de mineral y de generación de residuos. La composición de estos también puede cambiar según el método minero empleado.

A igualdad de recursos explotables, la minería a cielo abierto conlleva un mayor movimiento de tierras que las explotaciones subterráneas, lo cual implica el almacenamiento de grandes cantidades de materiales estériles, incrementándose la superficie ocupada por el conjunto de las instalaciones mineras. La minería subterránea no está exenta de estas mismas necesidades, aunque son proporcionalmente menores. Esta última presenta aspectos relacionados con la seguridad que son particulares de este tipo de explotaciones (desbarres y caídas de bloques en interior, hundimientos en superficie, etc.). A continuación se exponen sucintamente los principales métodos de explotación.

## 2.1 MINERÍA A CIELO ABIERTO.

### **Cortas:**

Es un método de explotación muy extendido en la minería metálica y del carbón. En esencia se trata de un banqueo descendente con secciones transversales troncocónicas (Fotografía 1).

La explotación de cada paso o banco produce un tonelaje de material extraído correspondiente a los estériles que rodean al depósito, el cual se manda directamente a las escombreras, y un tonelaje de mineralización que es selectivamente clasificado para almacenamiento o se manda directamente a planta de procesado.

La relación entre el tonelaje de materiales estériles a ser extraídos y la cantidad de mineral obtenido, condiciona enormemente la viabilidad de una mina. Si esta relación se hace muy alta, especialmente cuando la mina ya ha alcanzado bastante profundidad, la explotación se hace antieconómica.

Las cortas pueden alcanzar dimensiones espectaculares, como el caso de "Corta Atalaya" (Río Tinto, Huelva), con más de 300 m de profundidad y 900 m de diámetro. En este tipo de explotaciones metálicas, el relleno del hueco excavado es imposible de acometer con los estériles extraídos.

En la minería del carbón a cielo abierto, las cortas suelen ser susceptibles de relleno parcial utilizando los estériles extraídos en la explotación. Los yacimientos, con geometría estratiforme, son atacados por un extremo y el paulatino avance de la explotación permite el relleno de la zona ya explotada. Además de la restauración de la zona recientemente explotada, este sistema es ventajoso desde el punto de vista económico, al ser muy corta la distancia de transporte de los estériles.



Fotografía 1. Corta "Filón Norte", Tharsis (Huelva)

### Descubiertas:

Son explotaciones a cielo abierto que se aplican en yacimientos subhorizontales en los que el recubrimiento por estériles sea generalmente inferior a 50 m. Consiste en una excavación de marcado carácter lineal, a modo de trinchera. Cada una de estas excavaciones lineales se denomina módulo. Una vez explotados los recursos de un módulo, se procede a la excavación del siguiente, que será paralelo y colindante con el anterior. Los estériles extraídos en cada módulo se depositan en el hueco creado por la excavación del módulo previo. Cuando este método de explotación es aplicable, la facilidad de operación y la proximidad de la zona de depósito de los estériles representa una gran ventaja (Figura 1).



Figura 1. Descubierta.

Otros métodos de explotación a cielo abierto son las terrazas y la minería de contorno. El método en terrazas consiste en un banqueo con avance unidireccional. Se aplica en yacimientos subhorizontales, de uno o varios niveles mineralizados (Figura 2). La minería de contorno se aplica mayoritariamente a yacimientos de carbón con

capas tumbadas de reducida potencia y topografía generalmente desfavorable (Figura 3).

### Canteras:

Más que un método minero, cantera es un término genérico utilizado para explotaciones de rocas industriales y ornamentales. En el primer caso el producto a obtener suele ser un todo-uno fragmentado, destinado a la construcción en forma de áridos, fabricación de cementos, etc. Dado el escaso valor económico de estos materiales, las canteras suelen estar situadas en las proximidades de la zona de consumo, por lo que la repercusión de los costes de transporte en el precio del producto es escasa y permite mantener este en márgenes aceptables para el mercado. En el caso de las rocas ornamentales, lo más frecuente es que se trate de obtener grandes bloques en forma de paralelepípedo, que más tarde son cortados y pulidos en placas de diferentes espesores según su uso, dependiente a su vez de las condiciones de un mercado muy competitivo y que frecuentemente no se rige tanto por el valor intrínseco del producto como por aspectos subjetivos (colores, modas, etc.).

En estos tipos de explotaciones, no cabe prácticamente hablar de escombreras en el sentido de materiales estériles que es necesario retirar para acceder al material objeto de la explotación, reduciéndose los acopios en general a productos desechados por no cumplir los estándares de calidad deseados.

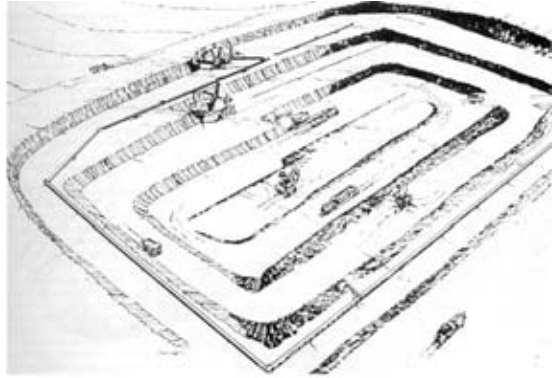


Figura 2. Método de explotación por terraza



Figura 3. Minería de contorno

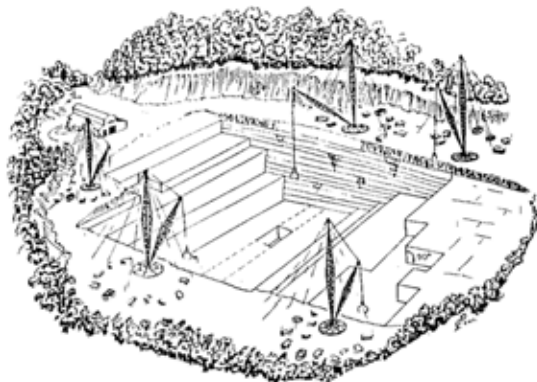


Figura 4. Cantera de roca ornamental

**Graveras:**

Al igual que en el caso anterior, más que un método minero en sí, el término gravera se refiere genéricamente a las explotaciones de ciertos tipos de materiales, en este caso detríticos (fundamentalmente gravas y arenas) cuya demanda está muy ligada al sector de la construcción.

Los ambientes geológicos para la acumulación de recursos de este tipo son sedimentarios (fluviales, marinos, eólicos, etc.), encontrándose la mayoría de las explotaciones situadas en los márgenes de los cursos de agua.

**2.2 MINERÍA SUBTERRÁNEA.**

Las características generales de un yacimiento (profundidad, geometría, etc.) pueden determinar que la única alternativa viable sea la minería subterránea. Existe una gran variedad de métodos de explotación, dependiendo fundamentalmente de la geometría del yacimiento (tabular o irregular) y el comportamiento mecánico del macizo rocoso.

Así, la explotación de cuerpos tabulares de materiales competentes (mecánicamente resistentes) suele acometerse mediante los métodos de hundimiento por subniveles o por el de cámaras y pilares. En el caso de rocas incompetentes, se hace necesario disponer rellenos para la sustentación de las labores (métodos de cámara con relleno y cámaras con almacenamiento de zafras). En yacimientos de geometría irregular (tipo pórfido cuprífero), se suele acudir al método de hundimiento de bloques.

Todas las operaciones llevadas a cabo en profundidad, están conectadas con otras en superficie por una serie de pasadizos abiertos en el material que rodea al depósito, pozos y galerías cruzadas para el paso del personal y la maquinaria, extracción del mineral y drenaje de agua, así como para ventilación.

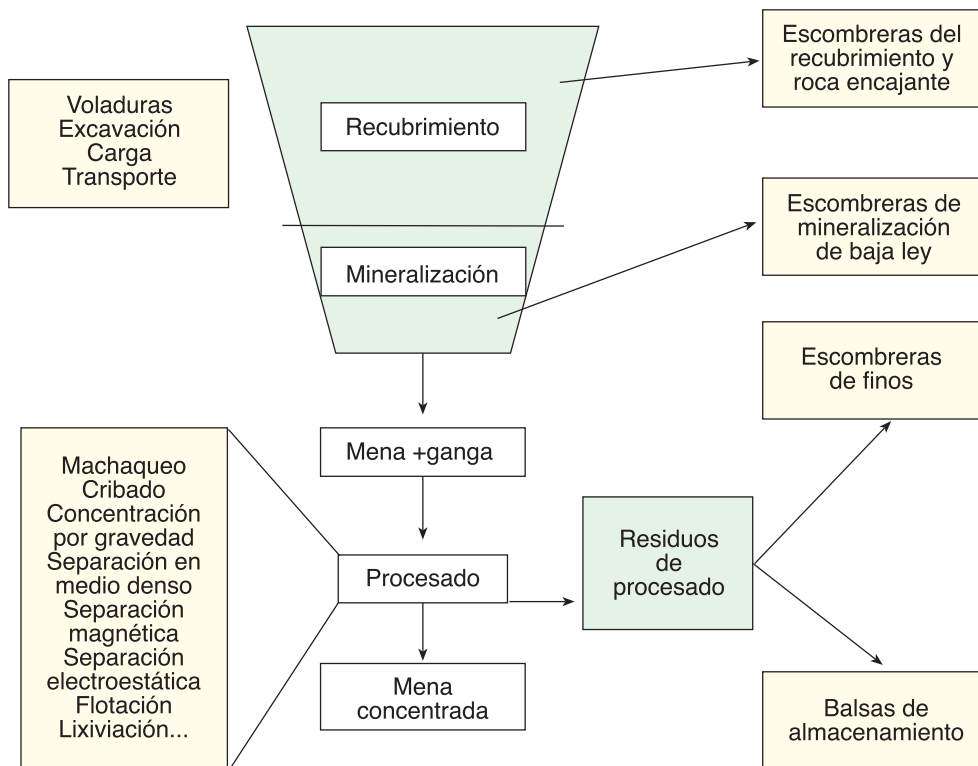
Pueden establecerse una serie de diferencias fundamentales respecto a la minería a cielo abierto:

- La capacidad de extracción es generalmente mucho más baja que en las explotaciones a cielo abierto.
- La cantidad de estériles producidos por unidad de mineralización extraída es mucho más baja que en minería de superficie.
- En superficie, la extensión de terreno requerida para este tipo de minería es considerablemente menor que para la extracción a cielo abierto.
- Además de los riesgos de fallo mecánico en elementos de superficie (escombreras y diques de balsas), existen riesgos adicionales en este tipo de explotaciones (caída de bloques y colapsos subterráneos).

### 3 TIPOS FUNDAMENTALES DE RESIDUOS GENERADOS EN LAS EXPLOTACIONES MINERAS.

En el apartado anterior se han descrito muy someramente los principales tipos de explotaciones mineras, que en esencia no son sino métodos optimizados para acceder y explotar los materiales de interés. Ahora bien, salvo excepciones, el material así extraído no es un producto directamente vendible o si lo es, su precio será inferior que si se somete a procesos de tratamiento que aumenten su pureza o concentración. En la mayoría de las explotaciones mineras se encuentran presentes, en mayor o menor medida, una serie de procesos conducentes a conseguir este enriquecimiento del producto a comercializar.

En un esquema genérico, los procesos y generación de residuos en una explotación minera metálica pueden sintetizarse como sigue:



Evidentemente, como en toda instalación industrial, en las explotaciones mineras se generan residuos asociados a la maquinaria utilizada en las operaciones (aceites y grasas lubricantes, baterías, líquidos hidráulicos, filtros, etc.). Estos residuos y los derivados de reactivos necesarios para el tratamiento de los minerales (p. ej. xantatos, ditiofosfato, amilxantato potásico, etc.), tienen sus cauces de gestión como residuos de origen industrial.

Tampoco se incluyen en el esquema previo los procesos y residuos que seguirían a la obtención del concentrado de mena. En minería metálica estos concentrados se someten a procesos metalúrgicos (pirometalúrgicos, hidrometalúrgicos o electrometalúrgicos) para la obtención de los metales presentes en los concentrados. La exclusión de estos procesos y los residuos a ellos asociados, obedece fundamentalmente a que se trata de otro tipo de actividad, estando de hecho la industria metalúrgica tipificada en un epígrafe diferente de la lista europea de residuos, concretamente en el capítulo 10 (residuos de procesos térmicos). Por otra parte, es muy frecuente que desde las explotaciones mineras se transporten los concentrados a instalaciones situadas en otro lugar para llevar a cabo dichos procesos. Los residuos generados en estas industrias, por más que utilicen una materia prima de origen minero (al igual que otras muchas industrias), no pueden ser catalogados como residuos mineros.

No obstante, en algunos casos estos procesos se realizan o se han realizado en el entorno de la propia explotación, por lo que especialmente en la evaluación del estado ambiental de explotaciones mineras abandonadas, es relativamente frecuente encontrar acopios de residuos procedentes de dicha actividad (p.ej. escorias, cenizas y lodos solidificados).

El procesado en la minería del carbón no es sino un caso particular del aplicado a los minerales metálicos. Si en estos los minerales de interés vienen acompañados de una serie de impurezas o ganga, asociado al carbón también se presentan una serie de impurezas inorgánicas incombustibles que disminuirían la calidad del mismo si no se eliminaran.

Así como en la minería metálica la parte útil es generalmente de mayor peso específico que la ganga, en el carbón ocurre lo contrario, pero en esencia los procesos en ambos casos son conducentes a separar materiales de diferente densidad, por lo que en la preparación mecánica del carbón se utilizan, con ciertas variantes, los mismos principios y dispositivos.

De acuerdo con lo expuesto, los residuos que caracterizan las actividades mineras son las escombreras y las balsas de lodos.

### **3.1 ESCOMBRERAS Y BALSAS DE LODOS.**

Como se desprende del esquema anterior, el término escombrera incluye el acopio en superficie de materiales de diferente naturaleza.

El acceso al cuerpo mineralizado requiere la extracción de los materiales suprayacentes y colindantes con el mismo. Esto aplica tanto a la apertura y progreso de una mina a cielo abierto como a la excavación de galerías en una subterránea, si bien en este último caso las necesidades de acopio en escombreras exteriores son menores, en parte por el tipo de excavación y en parte porque los



materiales extraídos pueden ser usados como elementos de relleno o sustentación en el interior de la mina.

Una vez que los trabajos de aproximación alcanzan la masa mineralizada, entra en juego el criterio de “ley de corte”, es decir, la selección dentro de la masa mineralizada de la porción que se enviará a tratamiento para la obtención de concentrados y la que, por presentar concentraciones excesivamente bajas, no es apta para dicho fin y se llevará a las escombreras.

Es importante señalar que esta “ley de corte” está marcada por criterios económicos y tecnológicos, siendo variable entre distintas explotaciones y en una misma explotación a lo largo del tiempo. Así, una escombrera formada por materiales con baja ley de mineralización, puede pasar a ser un recurso explotable, aspecto este contemplado en la legislación minera.

Las características de las escombreras son muy variables, dependiendo de la naturaleza del yacimiento y de los métodos extractivos. La granulometría de los materiales abarca un rango desde tamaños limo o arena hasta bloques de varios metros cúbicos. Igualmente, la composición geoquímica varía no solo entre las escombreras de diferentes explotaciones, sino en una misma explotación dependiendo de la zona de procedencia de los materiales excavados.

Las escombreras correspondientes a materiales con baja ley de mineralización en un yacimiento metálico, al ser expuestas a la intemperie pueden sufrir una serie de transformaciones que conlleven la movilización de los metales, anteriormente retenidos en las redes cristalográficas de los minerales que conforman el yacimiento. Un fenómeno de gran importancia medioambiental es la generación de aguas ácidas a partir de escombreras que contengan sulfuros, lo cual es frecuente tanto en la minería metálica como en la del carbón. Esta cuestión se tratará más detalladamente a lo largo del presente capítulo.

En las escombreras de explotaciones de carbón es relativamente frecuente el fenómeno de la combustión espontánea, consecuencia de la rápida oxidación (reacción exotérmica) y la baja conductividad calorífica de los materiales. La conjunción de ambas circunstancias puede dar lugar a que la escombrera entre en autocombustión, con desprendimiento de  $\text{SO}_2$ .

Otro tipo de material que puede encontrarse acopiado en escombreras corresponde a residuos de los procesos de tratamiento.

Los residuos generados en los procesos de tratamiento de los minerales, frecuentemente denominados con el anglicismo “tailings”, están constituidos fundamentalmente por la ganga, es decir por los minerales que acompañan a los que son objeto de la explotación (mena) y de los que son separados por una serie de técnicas. Ahora bien, esta separación nunca es perfecta, encontrándose minerales de mena en estos residuos, si bien normalmente en muy bajas

concentraciones. Adicionalmente, restos de los reactivos utilizados para el tratamiento quedan incorporados en mayor o menor medida a estos residuos, abarcando un amplio espectro de sustancias químicas de diferente comportamiento ambiental y muy distintas características toxicológicas (p.ej. cal, aceite de pino, cianuros).

Los residuos de los procesos de tratamiento son fundamentalmente lodos y se disponen en presas o balsas. Son presas de lodos aquellos depósitos que, por estar situados en todo o en parte por encima de la cota del terreno circundante, requieren una estructura de dique para la contención de los lodos depositados. Las balsas son aquellos depósitos que, por estar situados en su totalidad por debajo de la cota del terreno circundante, no requieren una estructura de dique para la contención de los lodos.

No obstante, según el grado de humedad original en los diferentes lodos producidos durante el tratamiento, parte de ellos pueden ser desecados y dispuestos a modo de escombreras de materiales finos.

Las presas y balsas pueden encontrarse en explotaciones metálicas, de carbón, en canteras o graveras. En este último caso, lo que se acumula en las balsas son materiales finos (limos) provenientes del lavado de las gravas o arenas objeto de la explotación. Por este motivo, no presentan problemas de transferencia de contaminantes al medio, si se exceptúa el incremento de turbidez en los cursos de agua a los que puedan llegar en caso de contención defectuosa en la balsa.

Las presas de residuos en las explotaciones de carbón contienen fundamentalmente materiales finos de las rocas entre las que se sitúan los filones (fragmentos de pizarras y cuarcitas p. ej.), estando siempre presentes restos de carbones de mala calidad, piritas y azufre.

En cuanto a los lodos almacenados en las presas de explotaciones metálicas, son evidentemente de composición muy variada según el yacimiento en cuestión y los métodos de tratamiento. Como ejemplo, el análisis de 27 muestras de los lodos vertidos tras la rotura de la presa de la mina de Aznalcóllar (Sevilla) arrojó la siguiente composición media:

**Tabla 1. Composición media de 27 muestras de los lodos de la mina de Aznalcollar**

ELEMENTO	mg/kg	ELEMENTO/COMPUESTO	mg/kgs (excepto cuando se indica %)
Ag	34	TI	38
As	4692	V	21
Ba	27	Cu	1323
Cd	33	Pb	8091
Ce	28	Zn	8832
Co	40	% Fe	3692
Cr	30	% SiO <sub>2</sub>	12,94
Hg	15	% Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3,06
La	21	% CaO	0,58
Sb	363	% MgO	1,06

Fuente: C. Antón – Pacheco et al., 2001.

Se trataba de lodos compuestos fundamentalmente de piritita (75 – 80%), galeña y esfalerita (5%), minerales silicatados (15 –20%), siendo el principal el clinodoro y minoritarios el cuarzo, arcilla y yeso.

Cabe subrayar el alto contenido en arsénico, debido a la presencia arsenopiritita (FeAsS) y en menor grado también de antimonio (363 mg/kg), a consecuencia de la bournonita (PbCuSbS<sub>3</sub>), minerales ambos asociados al yacimiento origen de los lodos.

#### 4 PRINCIPALES EFECTOS DE LA MINERÍA SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.

Como previamente se ha expuesto, las operaciones mineras conllevan frecuentemente el uso y transformación de grandes extensiones y volúmenes de terreno. Tanto en la etapa operacional como tras el abandono, se dan una serie de efectos ambientales de mayor o menor magnitud en función de las condiciones locales y el tipo de explotación. Se listan a continuación los principales efectos medioambientales de las actividades mineras, si bien hay que tener presente que no siempre se dan todos y su trascendencia es variable según los casos. Son los siguientes:

- Alteración del paisaje
- Modificación del hábitat ecológico
- Destrucción de cubierta vegetal
- Ruido
- Emisiones de polvo y sedimentación del mismo
- Modificación de cursos de agua

- Modificación de niveles piezométricos
- Generación de residuos
- Contaminación de suelos
- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas

También cabe hacer mención a los problemas de seguridad para los bienes y las personas, especialmente en explotaciones abandonadas. Se deben fundamentalmente a inestabilidad estructural de elementos tales como escombreras, balsas y galerías subterráneas, así como a la existencia de huecos en el terreno sin protección o señalización (p. ej. antiguos pozos de ventilación de galerías).

La contaminación de suelos, aguas superficiales y subterráneas, viene a menudo determinada por la generación de aguas ácidas que frecuentemente se produce en explotaciones metálicas y en la minería del carbón.

## 5 GENERACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS.

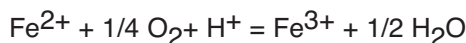
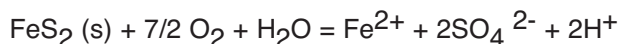
Las aguas ácidas se originan por la oxidación espontánea de piritas y otros sulfuros asociados a ellas (Fotografía 2). Este hecho es característico de las explotaciones de menas metálicas, carbones, uranio y en general, de cualquier explotación cuyas escombreras sean ricas en sulfuros.

La reacción general que rige este proceso puede expresarse como:

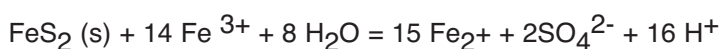
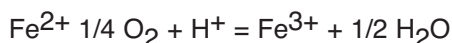


El agua ácida se genera al oxidarse los sulfuros a sulfatos, siendo el factor crítico la disponibilidad de oxígeno y la oxidación del ión ferroso a férrico que acompaña a este proceso de disolución:

1ª Etapa (a pH > 3,5)



2ª Etapa (a pH < 3,5)



La oxidación del ión ferroso ocurre en principio con y sin acción bacteriana. A medida que baja el pH, se incrementa la importancia relativa de la actividad de las bacterias, entre las que destaca la *Thiobacillus ferrooxidans*. Por debajo de  $\text{pH} = 3 - 4$ , sólo se produce la oxidación bacteriana.

El principal problema relacionado con el drenaje ácido de minas es su afección a los suelos y las aguas superficiales y subterráneas. Además de la modificación del pH, el carácter ácido de estas aguas conlleva una mayor capacidad para poner en disolución metales (hierro, manganeso, arsénico, cobre, cinc, níquel, etc.). El resultado puede ser una degradación extrema del ecosistema acuícola o la imposibilidad de uso de las aguas para abastecimiento, no solo urbano sino incluso industrial, dado el carácter corrosivo que presentan sobre estructuras metálicas y de hormigón.



*Fotografía 2. Aguas ácidas fluyendo desde una escombrera en una explotación de sulfuros (Tharsis, Huelva)*

### 5.1 CONTROL Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS.

El problema de generación de aguas ácidas de mina puede enfocarse desde dos perspectivas: prevención y tratamiento.

Las técnicas de prevención tratan de evitar que se den las condiciones que propician la oxidación de los sulfuros, lo cual se consigue básicamente por tres posibles vías:

- Barreras aislantes
- Métodos químicos
- Inhibición bacteriana

Entre las primeras cabe citar la revegetación de terrenos y las barreras frente al agua y el oxígeno. El acondicionamiento y revegetación mitiga la llegada de agua y oxígeno a los sulfuros, conociéndose casos en los que se reduce hasta en un 50% la generación de aguas ácidas. Se trata por lo tanto de un método de atenuación del problema.

Las barreras frente al agua pasan por la impermeabilización de la superficie y los taludes de las escombreras. Normalmente es necesario además regularizar las pendientes para disminuir la erosión. Los materiales utilizados para la cubrición son diversos: arcillas, tierras compactadas, láminas sintéticas etc. La arcilla, cuando se dispone convenientemente y las láminas sintéticas, son los materiales que más garantías ofrecen como impermeabilizantes, siendo inferior el coste de la primera.

Adicionalmente y según la configuración orográfica en el entorno de la escombrera, puede ser necesario el practicar y mantener canales de guarda (perimetrales), con el objeto de que las aguas de escorrentía que fluyan desde las laderas colindantes no entren en contacto con los residuos.

Aparte de lo anterior (una impermeabilización eficaz también aísla el residuo del aire) el aislamiento respecto al aire se consigue fundamentalmente mediante lámina de agua. Este método se aplica en las balsas y presas de residuos, así como en explotaciones abandonadas, tanto a cielo abierto como subterráneas, si bien en este caso no cabe hablar de método aplicado sobre residuos. Considerando la primera de las reacciones anteriormente señaladas en la generación del drenaje ácido, se comprueba que el agua y el oxígeno son necesarios para desencadenar el proceso. La inmersión de los residuos bajo lámina de agua tiene por objeto aislar a los sulfuros del contacto con el oxígeno atmosférico y para conseguir tal fin, se precisa que no exista renovación (flujo) de las aguas en contacto con los residuos.

Inicialmente, el oxígeno disuelto en el agua reaccionará con los sulfuros según las reacciones ya expresadas. El consumo de este oxígeno, la ausencia de renovación y la baja difusividad de este elemento en el agua, determinan el establecimiento de un ambiente anóxico en el entorno de la masa de sulfuros que impide el avance del proceso.

### **Métodos químicos.**

Entre los métodos químicos para combatir la generación de aguas ácidas destacan la adición alcalina y la adición de fosfatos.

El efecto de la adición alcalina es triple; por una parte, se consigue en mayor o menor medida la neutralización de las aguas ácidas producidas. Por otra parte, las bacterias que oxidan el hierro precisan de un ambiente ácido para desarrollar su función. Además de lo anterior, a niveles de pH cercanos a neutro, se favorece la precipitación del hierro férrico, dando lugar a una pátina de recubrimiento sobre la superficie de los sulfuros que dificulta su ulterior oxidación.

A estos efectos, se utilizan generalmente sustancias como el hidróxido sódico (NaOH), roca caliza (CO<sub>3</sub>Ca), cal (CaO, Ca(OH)<sub>2</sub>) y carbonato sódico (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). La disposición de estos compuestos alcalinos puede llevarse a cabo interstratificándolos con los materiales de la escombrera o mezclados con ellos. Pueden igualmente colocarse como material de cobertura, facilitando la revegetación de la superficie de la escombrera si se ha contemplado la misma y es conveniente en todo caso, mezclar compuestos alcalinos de diferente solubilidad, de suerte que se procure una adición de álcalis continua en el tiempo.

El aporte de fosfatos en escombreras que contengan sulfuros, propicia la formación de fosfatos de hierro insolubles, lo que disminuye el hierro férrico disponible y ralentiza el proceso general de oxidación de la pirita.

### **Métodos de inhibición bacteriana.**

En esencia se trata de inhibir la actividad de la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans*, responsable en gran medida del proceso de generación de aguas ácidas. Esta inhibición se aborda mediante la aplicación a la masa de residuos de surfactantes aniónicos o ácidos orgánicos.

Entre los primeros destaca el Sodio Lauril Sulfato (SLS), que se administra diluido mediante irrigación de las escombreras. Este compuesto ha mostrado ser muy eficaz, pero con un margen temporal de acción muy limitado (meses).

Para conseguir efectos de mayor duración, superiores a cinco años, se han desarrollado bactericidas de efecto retardado que consisten en pellets o pastillas de tamaño centimétrico y constan de una matriz polimérica, un agente activo y otros compuestos químicos que se disuelven paulatinamente, percolando en la masa de residuos y creando un efecto continuo en el tiempo.

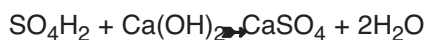
## **5.2 TRATAMIENTO DE EFLUENTES.**

Cuando por algún motivo los métodos de prevención no pueden usarse o se muestran insuficientes para combatir la generación de aguas ácidas, estas pueden canalizarse y tratarse como cualquier agua residual industrial. Los sistemas de tratamiento más usados son: la neutralización química, ósmosis inversa e intercambio iónico.

Las plantas de tratamiento de aguas ácidas realizan el tratamiento en tres etapas: neutralización, oxidación y precipitación. Según el agente neutralizante empleado (cal o roca caliza), las reacciones que se verifican son las siguientes:

### **Neutralización**

- Neutralización con cal



- Neutralización con roca caliza



### **Oxidación**

El objeto de esta operación es pasar el hierro ferroso (soluble) a férrico (insoluble).

El oxígeno necesario para el proceso se toma directamente de la atmósfera, mediante agitación en los tanques de reacción.

### **Precipitación**

La reacción del sulfato férrico con los agentes alcalinos propicia la formación y precipitación de hidróxidos de hierro, que se recogen en decantadores.

La ósmosis inversa consiste en hacer pasar las aguas a tratar por una membrana (normalmente de acetato de celulosa) que retiene en gran medida los contaminantes, dejando pasar el agua. Los metales pesados llegan a quedar retenidos en porcentajes próximos al 99% y la reducción de la acidez oscila aproximadamente entre el 81 y 92%. El rendimiento de las membranas decae con el tiempo, en función de la carga contaminante y debido a la saturación de la membrana, cuya sustitución, junto a la gestión de los lodos generados, constituyen el principal inconveniente de este método por su repercusión económica.

### **Intercambio iónico**

El método consiste en hacer pasar las aguas ácidas por una masa porosa de resinas sintéticas de alto peso molecular. El contacto propicia el intercambio iónico, permitiendo la obtención de un agua con un alto grado de depuración e incluso la recuperación de metales pesados. Los inconvenientes son los mismos que en el caso anterior y se refieren principalmente a los costes de mantenimiento.

## **6 LEGISLACIÓN APLICABLE.**

La Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, señala en su Exposición de Motivos que, en lo que respecta a los residuos mineros, esta Ley sólo será de aplicación en aquellos aspectos que no estén regulados expresamente por su normativa específica. Puede entenderse a este respecto, que la aplicación de la misma corresponde a la autoridad competente en minería. El artículo 2.2 de esta Ley establece que la misma será de aplicación supletoria a "la gestión (...) en lo regulado en la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas".

El Artículo 3 a) de la Ley 10/1998 contiene la siguiente definición de residuos: "cualquier sustancia u objeto perteneciente a alguna de las categorías que figuran en el anejo de esta Ley, del cual su poseedor se desprenda o del que tenga la intención u obligación de desprenderse. En todo caso, tendrán esta consideración



los que figuren en el catálogo Europeo de Residuos (CER), aprobados por las Instituciones Comunitarias.”

El Anejo de la Ley de Residuos incluye en su categoría Q11 los “residuos de extracción y preparación de materias primas (por ejemplo, residuos de explotación minera, petrolera, etc.)”. Ahora bien, cabe la posibilidad de que, en algunos casos, los residuos de explotación minera no cumplan la premisa de que “su poseedor se desprenda o del que tenga la intención u obligación de desprenderse”. De hecho, la legislación minera prevé la utilización de estos materiales como recursos de la sección B, en cuyo caso la calificación de los mismos como residuo sería discutible. No obstante, la segunda parte de la definición señala que “en todo caso” tendrán esta consideración los que figuren en el CER (actualmente denominada Lista Europea de Residuos).

La Lista Europea de Residuos, recogida en la Orden MAM/304/2002, dedica el capítulo uno a los residuos de la prospección, extracción de minas y canteras y tratamientos físicos y químicos de minerales, y tiene el siguiente contenido:

- 01 Residuos de la prospección, extracción de minas y canteras y tratamientos físicos y químicos de minerales.
- 01 01 Residuos de la extracción de minerales
- 01 01 01 Residuos de la extracción de minerales metálicos
- 01 01 02 Residuos de la extracción de minerales no metálicos
- 01 03 Residuos de la transformación física y química de minerales metálicos
- 01 03 04\* Estériles que generan ácido procedentes de la transformación de sulfuros**
- 01 03 05\* Otros estériles que contienen sustancias peligrosas**
- 01 03 06 Estériles distintos de los mencionados en los códigos 01 03 04 y 01 03 05
- 01 03 07\* Otros residuos que contienen sustancias peligrosas procedentes de la transformación física y química de minerales metálicos**
- 01 03 08 Residuos de polvo y arenilla distintos de los mencionados en el código 01 03 07
- 01 03 09 Lodos rojos de la producción de alúmina distintos de los mencionados en el código 01 03 07
- 01 03 99 Residuos no especificados en otra categoría
  
- 01 04 Residuos de la transformación física y química de minerales no metálicos
- 01 04 07\* Residuos que contienen sustancias peligrosas procedentes de la transformación física y química de minerales no metálicos**
- 01 04 08 Residuos de grava y rocas trituradas distintos de los mencionados en el código 01 04 07
- 01 04 09 Residuos de arenas y arcillas
- 01 04 10 Residuos de polvo y arenilla distintos de los mencionados en el código 01 04 07
- 01 04 11 Residuos de la transformación de potasa y sal gema distintos de los mencionados en el código 01 04 07
- 01 04 12 Estériles y otros residuos del lavado y limpieza de minerales distintos de los mencionados en el código 01 04 07 y 01 04 11
- 01 04 13 Residuos del corte y serrado de piedra distintos de los mencionados en el código 01 04 07

01 04 99	Residuos no especificados en otra categoría
01 05	Lodos y otros residuos de perforaciones
01 05 04	Lodos y residuos de perforaciones que contienen agua dulce
<b>01 05 05*</b>	<b>Lodos y residuos de perforaciones que contienen hidrocarburos</b>
<b>01 05 06*</b>	<b>Lodos y otros residuos de perforaciones que contienen sustancias peligrosas</b>
01 05 07	Lodos y residuos de perforaciones que contienen sales de bario distintos de los mencionados en los códigos 01 05 05 y 01 05 06
01 05 08	Lodos y residuos de perforaciones que contienen cloruros distintos de los mencionados en los códigos 01 05 05 y 01 05 06
01 05 99	Residuos no especificados en otra categoría

Como se ha mencionado anteriormente, todos estos residuos se encuentran sometidos a la Ley 10/1998 en los aspectos no regulados expresamente por su normativa específica.

En la lista precedente, los códigos marcados con asterisco son considerados residuos peligrosos, pero esta clasificación como residuos peligrosos no debe entenderse como cerrada e inamovible. Así, un residuo marcado con asterisco puede ser un residuo no peligroso, si se demuestra que no presenta ninguna de las características de peligrosidad enumeradas en la tabla 5 del anexo I del Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos (aprobado mediante Real Decreto 833/1988 y modificado por el Real Decreto 952/1997). La descatalogación como peligroso de dicho residuo por parte de la Autoridad Ambiental, sería en todo caso específica y únicamente aplicable al residuo ensayado, sin ser directamente extrapolable a residuos de la misma tipología no sometidos a la correspondiente batería analítica.

Los residuos mineros cuantitativamente más importantes están constituidos por escombreras y por los residuos resultantes del tratamiento de minerales en las plantas de beneficio ("tailings"), que son mayoritariamente almacenados en forma de lodos en balsas o presas.

Las **escombreras y residuos del procesado de minerales ("tailings")** se encuentran incluidos en el capítulo 1 de la Lista Europea de Residuos, y el hecho de que se citen expresamente los "estériles que generan ácido procedentes de la transformación de sulfuros", clasificándolos en principio como residuos peligrosos, es un claro indicativo de la importancia medioambiental de este fenómeno.

Las disposiciones marco que regulan las actividades mineras son la Ley 22/1973 de 21 de julio, de Minas, modificada por la Ley 54/1980, de 5 de noviembre, y el Real Decreto 2857/1978, de 25 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento General para el Régimen de la Minería, que la desarrolla.

No obstante, las referencias a acopios de residuos y cuestiones medioambientales en general, figuran en desarrollos posteriores de la Legislación Minera. Las

disposiciones relativas a las extracciones de carbón a cielo abierto son las que hacen un tratamiento más detallado de estas cuestiones, pero en todo caso y como se deduce de los extractos de la Legislación Minera que a continuación se incluyen, las referencias aluden a la necesidad de elaborar proyectos que contemplen aspectos ambientales (además de la seguridad estructural) y planes de restauración que mitiguen en lo posible los efectos adversos de las actividades extractivas. Se dicta de forma genérica el contenido de los correspondientes estudios, pero sin establecer una normativa específica a cumplir (tipificación y caracterización de los residuos, requerimientos de almacenamiento, control y gestión según la misma, etc.). Por orden cronológico se pueden citar las siguientes disposiciones de la normativa específica minera:

1. El Real Decreto 2994/1982 de 15 de octubre, sobre restauración del espacio natural afectado por actividades mineras, que señala en su artículo 3.2 e) que el Plan de Restauración contendrá “Proyecto de almacenamiento de los residuos mineros que generen y sistemas previstos para paliar el deterioro ambiental por este concepto.”
2. El Real Decreto 1116/1984, de 9 de mayo, sobre restauración del espacio natural afectado por las explotaciones de carbón a cielo abierto y el aprovechamiento racional de estos recursos energéticos, que en su artículo 3.2, además de hacer una referencia al Estudio de Impacto Ambiental, establece que el Plan de Restauración contendrá, entre otros:
  - Identificación del área de explotación y de su entorno, con expresión de los lugares previstos para la corta, accesos, vertederos e instalaciones anexas.
  - El programa de restauración...como mínimo, desarrollará las siguientes cuestiones:
    - Reconstrucción estabilizada del suelo y acondicionamiento superficial del terreno, por revegetación o de otro tipo.
    - Protección de las aguas y del paisaje, con especial atención a vertederos y posibles huecos finales.
    - Corrección de las agresiones al medio físico, socioeconómico o cultural, y lucha contra el polvo, ruido y vibraciones.
3. La Orden de 13 de junio de 1984, sobre normas para la elaboración de los planes de explotación y restauración del espacio natural afectado por las explotaciones de carbón a cielo abierto y el aprovechamiento racional de estos recursos energéticos.

Esta norma establece entre otros, los siguientes epígrafes a cumplimentar para la elaboración de los planes de explotación en la minería del carbón a cielo abierto:

- Titular de la explotación que presenta el plan y razones del mismo.
- Antecedentes
- Estudios básicos del yacimiento y de la zona en explotación o a explotar
  - Estudios geotécnicos. Definición de taludes de corta y escombreras
  - Estudios hidrogeológicos e hidrológicos de superficie
- Estudio minero

- Escombreras exteriores. Para cada una de ellas:
  - Justificación de su emplazamiento, teniendo muy en cuenta que su ubicación no impida o perjudique la futura extracción de otras reservas del mismo o diferentes concesionarios de derechos mineros.
  - Formación de la escombrera, justificando su capacidad, así como el diseño, distinguiendo las escombreras definitivas de aquellas otras con carácter temporal para las que se determinará su duración.
  - Estabilidad, taludes considerados y características de su base de apoyo.
  - Modalidad de deposición del escombro y recubierto (compactación, protección de taludes, drenajes, etc.).
  - Almacenamiento y deposición de la tierra vegetal para su acondicionamiento final. Protección mientras esté almacenada.
  - Huecos finales. Definición de los huecos finales caso de producirse.
- Acciones para la restauración del espacio natural y protección del medio ambiente
  - Escombreras. Acciones para evitar la erosión, facilitar su posible utilización posterior y que queden, dentro de lo posible, integradas en el paisaje.
  - Reconstrucción estabilizada del suelo y su vegetación.
  - Protección de las aguas subterráneas y superficiales, y recuperación cuando sea posible de las captaciones afectadas. Depuración, si fuera necesario, de las aguas contaminadas como consecuencia de la explotación, en especial de las aguas residuales procedentes de las plantas de tratamiento y balsas de decantación.

Respecto a las normas para la elaboración del plan de restauración, esta disposición dicta el cumplimiento de los siguientes epígrafes:

- Información sobre el medio físico, socioeconómico y cultural afectado por las labores mineras y su entorno.
- Estudio de Impacto Ambiental
- Programa de restauración:
  - Protección de las aguas. Señala: "Recogida y/o tratamiento, en su caso, de las aguas contaminadas procedentes de la explotación, escombreras, lavaderos, parques de almacenamiento y balsas de decantación; calidad de estas aguas y posibles aprovechamientos industriales.

Aislamiento de materiales contaminantes de forma que no entren en contacto con las aguas superficiales y subterráneas. Medidas para restablecimiento de los acuíferos, si ello es posible. Protecciones para evitar la erosión producida por las aguas sobrantes y de escorrentía.

- Reconstrucción del terreno y protección del paisaje. Este Artículo propone en esencia el uso de los estériles como relleno de las excavaciones o buscar alguna reutilización alternativa para los materiales de las escombreras, emplazándolas de otro modo en un lugar con la mejor integración paisajística.

4. El Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el reglamento general de normas básicas de seguridad minera, dedica el Capítulo VIII a las escombreras en estos términos:

- Art. 118. Las escombreras, los depósitos de residuos, balsas y diques de estériles, cualquiera que fuese su procedencia, se establecerán de acuerdo con un proyecto debidamente aprobado que considere su estabilidad temporal y definitiva.

El posible recrecimiento se llevará a cabo de acuerdo con un programa previamente establecido y debidamente autorizado.

En la redacción del proyecto se tendrá en cuenta la resistencia del terreno, el vertido de escombreras, los materiales empleados, el ángulo del talud, el drenaje natural o artificial, los movimientos sísmicos o cualquier otra circunstancia determinante.

- Art. 119. Durante la ejecución y mantenimiento de la escombrera se efectuará el seguimiento y control que se establezca para verificar los parámetros del proyecto.

Del examen de la normativa citada se desprende que existe una laguna en la regulación específica de las escombreras en cuanto a la actual consideración como residuo de estos materiales por lo que, en principio, la Ley 10/1998 sería la disposición de referencia para la gestión de tales residuos.

En cuanto a los **residuos resultantes del tratamiento de minerales en las plantas de beneficio, que son almacenados en forma de lodos en balsas o presas**, la situación es diferente por cuanto existe una disposición en la normativa específica minera para este tipo de materiales.

Se trata de la Orden de 26 de abril de 2000 por la que se aprueba la Instrucción Técnica Complementaria 08.02.01 del capítulo XII del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera "Depósitos de lodos en procesos de tratamiento de industrias extractivas".

La definición de residuo que figura en dicha Orden es la siguiente: "Residuo: Material depositado en un depósito de lodos que ha sido clausurado o definitivamente abandonado."

Esta definición, así como las consideraciones generales contenidas en el Artículo 1 de dicha Orden, es muy cuidadosa con el uso del término "residuo", indicando expresamente que los materiales almacenados en balsas de lodos solo tendrán consideración de residuos cuando se clausure o abandone definitivamente la balsa.

En el Artículo 4 de esta Orden se establece la clasificación de los depósitos de lodos en función de sus dimensiones y del potencial riesgo en caso de rotura o funcionamiento incorrecto. La definición del proyecto constructivo (incluyendo la caracterización de los lodos a almacenar) recibe un detallado tratamiento en el Artículo 6 de la misma, estando el resto del articulado dedicado a normas de seguridad, salud laboral, proyecto de abandono y clausura o bien de reutilización, fianzas y pólizas de seguros, cuya cuantía económica se fija en función de la clasificación del depósito.

Igualmente con relación a las balsas de lodos, cabe reseñar la reciente publicación en la Comunidad Autónoma de Andalucía del Decreto 281/2002, de 12 de noviembre, por el que se regula el régimen de autorización y control de los depósitos de efluentes líquidos o de lodos procedentes de actividades industriales, mineras y agrarias. Como novedades destacables respecto a la anterior disposición referenciada, cabe señalar la inclusión para labores de inspección de las Entidades Colaboradoras de la Consejería de Medio Ambiente, así como la referencia a la norma UNE 150.008 EX (Análisis y evaluación del riesgo medioambiental) como sistemática de referencia para la determinación del riesgo potencial derivado de la rotura o funcionamiento incorrecto de estas estructuras.

Finalmente, hay que hacer referencia al Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

Las menciones explícitas a los residuos mineros que se encuentran en esta disposición permiten, bajo ciertas condiciones, la exclusión de los mismos del ámbito de aplicación del Real Decreto o una aplicación más laxa de una serie de condicionantes.

Así, el Artículo 3.2 del Real Decreto 1481/2001, señala: “Quedan excluidas de su ámbito de aplicación las actividades siguientes:...el depósito de suelo sin contaminar o de residuos no peligrosos inertes procedentes de la prospección, extracción, tratamiento y almacenamiento de recursos minerales, así como del funcionamiento de las canteras.”

El Artículo 3.3 del citado Real Decreto abre la posibilidad ampliar la excepción a los residuos no peligrosos distintos a los inertes en lo concerniente al control y gestión de lixiviados, así como a las condiciones de permeabilidad del vaso de vertido. Dicho artículo dispone que: “de conformidad con lo que establezca la normativa comunitaria, el Ministerio de Medio Ambiente o, en su caso, las Comunidades Autónomas, en sus respectivos ámbitos de competencia, podrá exceptuar del cumplimiento de los requisitos exigidos en los apartados 2, 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 del anexo I el depósito de residuos no peligrosos distintos a los inertes, resultantes de la prospección, extracción, tratamiento y almacenamiento de recursos minerales, así como de la explotación de las canteras.”

Los apartados del anexo I referidos en este artículo especifican una serie de condiciones para el control de aguas y gestión de lixiviados, así como para la protección del suelo y aguas mediante la exigencia de unas condiciones restrictivas de la permeabilidad del vaso de vertido.

No se encuentra ninguna excepción para los residuos peligrosos generados en las actividades extractivas, por lo que se entiende que este Real Decreto es de plena aplicación a los mismos.

De todo lo expuesto en el presente apartado, se desprende un escenario en el cual los residuos mineros por excelencia (escombreras y lodos depositados en balsas o presas), estarían sujetos fundamentalmente a la Ley 10/1998, de Residuos, en el caso de las escombreras y a la Orden de 26 de abril de 2000 del Ministerio de Industria y Energía en el caso de los lodos embalsados. Paralelamente, en la Comunidad Autónoma de Andalucía es igualmente de aplicación el Decreto 281/2002, de 12 de diciembre.

En cuanto a la aplicación del Real Decreto 1481/2001, habría que distinguir varias situaciones:

- Si el residuo es inerte, este Real Decreto no será de aplicación.
- Si el residuo es distinto de inerte y no peligroso, el Real Decreto será aplicable, pero de forma menos exigente.
- Si el residuo está catalogado como peligroso, esta norma será de plena aplicación.

Esta singular situación legislativa para los residuos mineros se complica más si se considera que, desgraciadamente, los mayores acopios de residuos mineros son relictos de explotaciones actualmente inactivas y muy frecuentemente, en situación de total abandono.

La complejidad e implicaciones económicas de la gestión de los residuos mineros, conllevan una problemática de carácter mundial. La Unión Europea, consciente de que esta problemática afecta a numerosos estados miembros, con normativas conceptualmente diferentes y distinto grado de implantación de las mismas, se encuentra actualmente recorriendo los pasos necesarios para elaborar una Directiva para la Gestión de los Residuos de la Industria Extractiva.

A fecha de redacción del presente capítulo, se dispone del documento de trabajo nº 3, de 5 de junio de 2002, que puede consultarse en la siguiente dirección de Internet: <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/minig.htm>

Esta dirección de Internet se ha incluido en la bibliografía (ref. nº 11), si bien es previsible la sustitución del texto en sucesivas actualizaciones o incluso el cambio de dirección.

El texto del actual borrador consta de 21 artículos y 6 anexos. Se presta especial atención a los planes de seguridad, prevención de accidentes mayores e información al público, pólizas de seguros, clasificación de instalaciones, inventario de explotaciones abandonadas y restauración de las mismas.

## 7 PRINCIPALES ÁREAS MINERAS EN ANDALUCÍA.

La notable diversidad geológica de Andalucía, fruto de los procesos y situaciones paleogeográficas que han afectado el sur peninsular a lo largo del tiempo, ha propiciado la existencia de importantes recursos mineros cuya explotación, en algunos casos, se remonta a milenios de antigüedad.

El Tomo II del Libro Blanco de la Minería Andaluza (ref. nº 3 de la bibliografía), proporciona un detallado recorrido por la tipología y métodos de explotación de los yacimientos de la Comunidad Autónoma.

De forma muy sucinta, se exponen a continuación las principales zonas mineras con yacimientos de minerales metálicos, carbón, uranio, rocas ornamentales, arenas, gravas yesos y arcillas.

### **Minería metálica.**

Entre los operadores de minería metálica, es mundialmente famosa la provincia metalogenética denominada *Faja Pirítica del SO de la Península Ibérica*, que se extiende por la provincias de Huelva y Sevilla, así como el sur de Portugal. Los yacimientos consisten en grandes masas de sulfuros polimetálicos, entre los que evidentemente destaca el sulfuro de hierro (pirita,  $S_2Fe$ ). Asociada a esta última se encuentra todo un cortejo de sulfuros de los denominados metales base: cobre, plomo y cinc. En menores concentraciones se encuentran elementos como bismuto, antimonio, cobalto, mercurio, plata y oro. Destacan en este contexto los yacimientos de Río Tinto y Tharsis en Huelva y Aznalcollar en Sevilla.

Sierra de Aracena – Sierra Norte de Sevilla. Los yacimientos más representativos de este entorno son las Minas de Cala y Peña del Hierro. Aunque de diferente génesis y tratamiento mineralúrgico, tienen como característica común las menas de hierro, que en el primer caso aparece en forma de magnetita acompañada de sulfuros de cobre y hierro, con estériles calco-silicatados y en el segundo bajo las menas de siderita, oligisto y limonita con estériles calizos.

Batolito de Los Pedroches. Situado al norte de la provincia de Córdoba, su minería se caracteriza por los campos filonianos de cuarzo que llevan asociados carbonatos, barita, galena y en menores proporciones, pirita, marcasita y calcopirita. Los metales objeto de las explotaciones fueron plomo, cinc y plata. Las zonas más relevantes de este distrito se encuentran en los términos de Alcaracejos y Villanueva del Duque.



Distrito de Linares - La Carolina. Situado íntegramente en la provincia de Jaén, se extiende por los términos municipales de Linares, La Carolina, Baños de la Encina y Bailén. Se trata de un campo filoniano de plomo – plata, con mineralizaciones de galena, blenda, sulfuros de hierro y cobre, de las que se aprovecharon como mena la galena y los sulfoantimoniuros de plata asociados.

Sierras Granadinas. Las explotaciones más representativas de este entorno son la mina de hierro del Marquesado, situada próxima a Alquife, en la vertiente septentrional de Sierra Nevada, así como las minas de celestina ( $\text{SO}_4\text{Sr}$ ) de la Depresión de Granada.

Almería. Las principales explotaciones se han centrado en metales tales como oro y plata en Rodalquilar y Almanzora, plata, plomo, cinc y hierro en Sierra Almagrera y Las Herrerías. Algunos distritos mineros almerienses, como el de la Sierra de Gádor, fueron especialmente relevantes en la minería de plomo en los siglos XVIII y XIX.

### **Carbón.**

Las áreas fundamentales de producción de carbón son la cuenca del Guadiato en Córdoba y la zona de Villanueva del Río y Minas en la provincia de Sevilla.

En la cuenca del Guadiato, el yacimiento más destacado ha sido el de Peñarroya-Belmez-Espiel, que forma la banda longitudinal más septentrional de la cuenca, con una longitud de 50 km y una anchura media de 1 a 2 km. El yacimiento de Villanueva del Río y Minas aflora escasamente en superficie, en un área de aproximadamente 1 km<sup>2</sup>, ocultándose el resto bajo los sedimentos terciarios de la orilla norte del río Guadalquivir.

### **Uranio.**

Los yacimientos de uranio explotados en Andalucía han sido los de Virgen de la Cabeza en Andújar (Jaén) y Cardeña (Córdoba). Los minerales objeto de beneficio eran pechblenda ( $\text{UO}_2$ ) y coffinita ( $\text{U}(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$ ) en el caso de Andújar y pechblenda en Cardeña. A partir de los minerales de estas explotaciones, se obtuvieron concentrados de uranio en la planta de la Junta de Energía Nuclear en Andújar, hasta que debido a su agotamiento, la materia prima pasó a ser suministrada desde Extremadura hasta el cierre de las instalaciones en 1981.

### **Rocas ornamentales.**

Las explotaciones fundamentalmente se refieren a mármoles, calizas, dolomías, travertinos, serpentinas y granitos.

De ellos, el mármol es indudablemente la roca más explotada con fines ornamentales. Se explotan intensamente en el sector central de la Sierra de los Filabres, especialmente en la zona de Macael (Almería). Otras explotaciones de importancia se encuentran en Sierra Tejeda (Granada), Sierra Mijas (Málaga) y Sierra de Aracena-Aroche (Huelva).

### **Arenas, gravas, yesos y arcillas.**

Las arenas y gravas son muy abundantes en Andalucía. Sus depósitos se encuentran ligados a los aluviales de los principales ríos. Las zonas de mayor producción se encuentran a lo largo del valle del Guadalquivir y la zona costera entre Tarifa (Cádiz) y Ayamonte (Huelva).

Los depósitos de yeso son igualmente abundantes en Andalucía. Los más notables se encuentran en la Sierra de Almagro (Almería), siendo también destacables los de la Depresión de Granada, Huelma y Alcaudete en Jaén y la zona de Morón-Olvera en las provincias de Sevilla y Cádiz.

Dentro de las arcillas, cabe distinguir las utilizadas en la industria cerámica y ladrillera y las arcillas de uso como materiales absorbentes, impermeabilizantes o usos industriales muy específicos.

En el primer caso, las arcillas de uso cerámico, destacan los yacimientos de Bailén (Jaén), Arcos de la Frontera (Cádiz), Marchena (Sevilla) y Lucena (Córdoba). Las arcillas tipo sepiolita-attapurgita y bentonita son mucho más escasas. Los depósitos de sepiolita-attapurgita se encuentran situados en el área de Lebrija - El Cuervo, en el límite de las provincias de Sevilla y Cádiz. Tras un tratamiento previo, se destinan al mercado de materiales absorbentes.

Las explotaciones de bentonita están situadas en la provincia de Almería (Níjar) y su uso se extiende a la preparación de lodos de perforación, tierras decolorantes y fulacolor (arcilla activada para papel autocopiativo).

## **8 ACTUACIONES DE LA CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE PARA LA REGENERACIÓN DE ZONAS DEGRADADAS POR ACTIVIDADES MINERAS.**

En la planificación ambiental y territorial, se establece como objetivo la recuperación de áreas degradadas por minería abandonada. Los principales instrumentos de planificación que hacen referencia a esta problemática son los siguientes:

Planes de Ordenación de Recursos Naturales de los Espacios Naturales Protegidos.

Incluyen como prioritarias para su regeneración y restauración, "aquellas áreas cuyos suelos se encuentran alterados, degradados o contaminados a causa de la actividad a que han sido sometidas, así como aquellas donde los procesos erosivos sean intensos". Esta prioridad por lo tanto incluye actividades extractivas. Hay incluso referencias explícitas a esta problemática en los planes de las Sierras de Alhama, Tejada y Almirajara, Sierras de Cazorla, Segura y las Villas.

El Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía, señala entre los objetivos de las Estrategias de Ordenación Territorial la corrección de procesos de deterioro pai-

sajístico, estableciendo criterios de ordenación territorial para la reconstrucción y restauración de paisajes deteriorados y para el desarrollo de actuaciones singulares, citándose explícitamente las áreas mineras como espacios residuales o abandonados por la pérdida de uso o función.

El Plan de Medio Ambiente de Andalucía, aprobado por el Consejo de Gobierno de la Junta de Andalucía el 10 de octubre de 1995, reconoce como principales problemas ligados a las actividades extractivas el derivado de las balsas y escombros que, aparte del impacto paisajístico que conllevan, contribuyen a la degradación del suelo y a la contaminación de los recursos hídricos. Igualmente, se destaca la afección generada por la extracción de áridos.

Entre los Planes y Programas sectoriales que inciden en la problemática de la minería cabe destacar:

El Plan Forestal, aprobado en 1989 y cuya primera revisión data de 1997, fija como objetivo la restauración de ecosistemas degradados y la conservación de recursos hídricos, suelos y cubierta vegetal. Dentro del Programa de Gestión de los Espacios Naturales Protegidos, se considera como una de las medidas la restauración de minas y canteras abandonadas situadas en dichos Espacios.

Igualmente, dentro del Plan de Mejora Ambiental del Litoral, el Subprograma de Protección del Medio Terrestre Litoral considera entre sus medidas las "actuaciones de restauración de minas, canteras y explotaciones de áridos en el litoral".

Por último, el Plan de Fomento de Actividades Compatibles con el Medio Ambiente, contempla como una de sus medidas dentro del Programa de Desarrollo Integral del Medio Natural "fomentar la reutilización de las zonas de extracción minera como patrimonio cultural e histórico".

### **8.1 INVENTARIOS, ACTUACIONES Y PROGRAMAS.**

La Consejería de Medio Ambiente realizó entre 1992 y 1994 un Inventario de Canteras, Graveras y Minas de Andalucía, sometiénolo a actualización en 1998-99 (ref. bibliográfica nº 5).

En dicha actualización, se partió de la población constituida por las explotaciones activas del inventario previo, pasando a denominarse como inactivas aquellas que cesaron su actividad entre 1992 y 1999 y dándose de alta las nuevas explotaciones abiertas en ese mismo periodo.

Los inventarios de 1994 y 1999, con las premisas anteriormente expuestas, arrojan los siguientes resultados:

**Inventario de canteras, graveras y minas de Andalucía 1992-94**

PROVINCIA	Nº DE EXPLOTACIONES	ACTIVAS	INACTIVAS
Almería	278	155	123
Cádiz	263	127	136
Córdoba	607	68	539
Granada	546	142	404
Huelva	211	72	139
Jaén	428	123	305
Málaga	435	112	323
Sevilla	477	103	374
Andalucía	3.245	902	2.343

**Inventario de canteras, graveras y minas de Andalucía 1998-99**

PROVINCIA	Nº DE EXPLOTACIONES	ACTIVAS	INACTIVAS
Almería	243	186	57
Cádiz	188	104	84
Córdoba	130	83	47
Granada	214	140	74
Huelva	157	89	68
Jaén	174	108	66
Málaga	155	89	66
Sevilla	234	132	102
Andalucía	1.495	931	564

En esta actualización del Inventario, se sometieron los datos disponibles a una serie de cruces matriciales, conducentes a evaluar para cada emplazamiento un Índice General de Impacto. Antes de reseñar los resultados alcanzados, conviene subrayar que no puede desprenderse una relación directa entre dichos resultados y la presencia y/o generación de residuos mineros, dado que para la confección del Índice General de Impacto se consideran múltiples variables (impactos sobre atmósfera, aguas, edafología/vegetación, impactos sobre el paisaje, sobre las poblaciones, usos del suelo, patrimonio, etc.). El Índice General de Impacto puede tomar cuatro valores: mínimo, moderado, importante y muy importante. Los resultados obtenidos por provincias son los siguientes:

PROVINCIA	Nº DE EXPLOTACIONES	MINIMO	MODERADO	IMPORTANTE	MUY IMPORTANTE
Almería	243	11	69	134	29
Cádiz	188	52	46	73	17
Córdoba	130	24	86	20	0
Granada	214	43	28	96	47
Huelva	157	64	72	14	7
Jaén	174	39	38	87	10
Málaga	155	63	31	42	19
Sevilla	234	115	55	45	19
Andalucía	1.495	411	425	511	148

A pesar de que como se ha indicado, en esta valoración se consideran diferentes compartimentos ambientales, en la siguiente tabla se intuye la relevancia de la problemática de los residuos mineros cuando se considera la suma los emplazamientos con impactos importantes o muy importantes en aguas y edafología/vegetación, dado que en gran medida son los causantes de dichos impactos.

Explotaciones con impactos importantes o muy importantes:

PROVINCIA	Nº DE EXPLOTACIONES	ATMOSFERA	AGUAS	EDAFOLOGIA Y VEGETACION	PROCESOS GEOFISICOS	CARACT. INTRINSECAS DEL PAISJE
Almería	243	55	16	133	83	117
Cádiz	188	27	33	60	37	42
Córdoba	130	4	3	88	0	19
Granada	214	64	23	31	60	117
Huelva	157	3	11	43	4	14
Jaén	174	48	18	27	24	76
Málaga	155	30	27	19	16	43
Sevilla	234	46	3	34	14	40
Andalucía	1.495	277	134	435	238	468

De acuerdo con los datos del inventario, la superficie ocupada por las escombreras de los 1.495 emplazamientos supera los 17 km<sup>2</sup>. El número total de balsas asciende a 119, ocupando una superficie de 1,71 km<sup>2</sup>.

La distribución de escombreras y balsas por provincias, para el Inventario actualizado en 1999 es la siguiente:

PROVINCIA	Nº DE EXPLOTACIONES	Nº DE ESCOMBRE	SUPERFICIE KM <sup>2</sup>	Nº DE BALSAS	SUPERFICIE KM <sup>2</sup>
Almería	243	314	1,50	17	0,03
Cádiz	188	110	0,51	22	0,13
Córdoba	130	109	1,33	13	0,08
Granada	214	303	3,83	23	0,52
Huelva	157	79	6,70	27	0,45
Jaén	174	147	0,89	1	0,0004
Málaga	155	59	0,27	4	0,01
Sevilla	234	73	2,51	12	0,50
Andalucía	1.495	1.194	17,55	119	1,71

Destaca en cuanto a escombreras la provincia de Huelva, que con un número relativamente bajo de escombreras alcanza la mayor cifra en cuanto a superficie de las mismas.

Un documento más reciente es el Plan de Regeneración de Áreas Degradadas por Minería Abandonada de Andalucía, de junio 2001 (ref. bibliográfica nº 6). Dicho estudio toma como punto de partida los inventarios anteriormente relacionados. Tras un proceso de revisión y corrección, se seleccionaron las 2.343 explotaciones inactivas o abandonadas del primer inventario. Una vez revisada igualmente la actualización del inventario realizada en 1999, que comprende 931 explotaciones activas y 564 inactivas (pero que habían tenido actividad en los últimos años), se procedió a eliminar todas las explotaciones inactivas del primer inventario que hubieran sido reactivadas, llegándose finalmente a un número de 2.094 explotaciones abandonadas y que no han tenido ningún tipo de actividad desde, al menos, 1993.

La clasificación adoptada en este trabajo para los tipos de explotaciones es:

- Canteras de rocas industriales y minerales no metálicos
- Graveras
- Minería del carbón
- Minería metálica
- Minerales radiactivos

La memoria de este Plan incluye una estimación económica para la restauración de las explotaciones mineras abandonadas. Las cifras son variables en función del criterio prioritario y hay que tener presente que se trata de una estimación basada en el estudio comparativo con trabajos de restauración ya efectuados.

Hay que insistir en que estas estimaciones preliminares deben ser consideradas individualmente, no estando concebidas para ser sumadas. Adicionalmente, en cualquier supuesto que se tome, las cifras reales de inversión por parte de la Junta

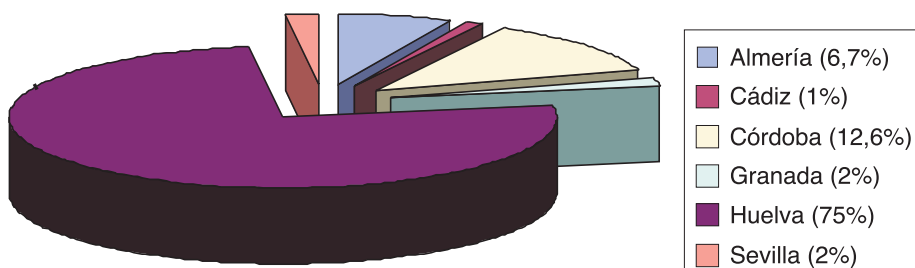
de Andalucía serían inferiores, toda vez que la tabla siguiente no desglosa terrenos de titularidad pública y sin derechos u obligaciones mineras vigentes, condiciones ambas necesarias para la materialización de tales inversiones.

Criterio	Estimación económica de los costes de restauración.
Explotaciones prioritarias por magnitud de impacto.	80.818.098 €
Explotaciones prioritarias por su situación respecto a Espacios Naturales Protegidos.	23.520.909 €
Explotaciones prioritarias por su proximidad a núcleos urbanos.	32.067.000 €
Explotaciones prioritarias considerando los tres criterios anteriores.	86.567.680 €
Explotaciones mineras situadas en zonas de concentración.*	99.498.155 €
Explotaciones mineras prioritarias por cualquiera de los criterios considerados en conjunto con las situadas en zonas de concentración.	139.091.690 €

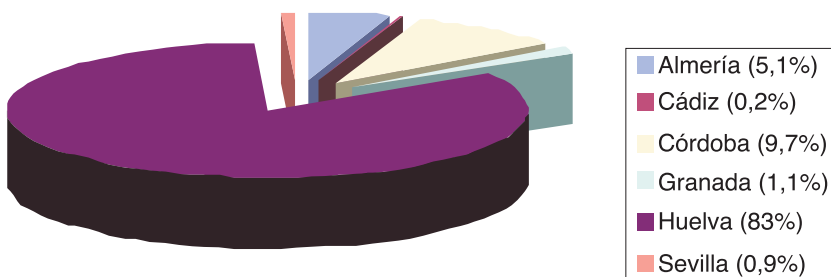
Además de los trabajos prospectivos anteriormente mencionados, la Consejería de Medio Ambiente ha acometido en la última década numerosos proyectos de regeneración en zonas mineras, incluyendo los mismos la gestión de residuos, construcción de plantas depuradoras de aguas, sellado y adecuación de escombreras, etc. Entre 1992 y el año 2000, en gran parte con financiación de FONDOS FEDER 1994 - 99, se invirtieron 3.157 millones de pesetas (casi 19 millones de €) en proyectos de esta índole, actuándose sobre una superficie total de 660,55 hectáreas en el conjunto de Andalucía. La distribución por provincias de estas inversiones y las correspondientes superficies de actuación es como sigue:

PROVINCIA	INVERSIONES (€)	INVERSIONES (PTAS.)	HECTAREAS REGENERADAS
Almería	1.227.333,6	212.530.434	33,5
Cádiz	181.958,7	30.275.387	1,3
Córdoba	2.394.780,7	398.457.983	64
Granada	383.445,7	63.800.000	7,5
Huelva	14.349.637,8	2.387.578.829	548,3
Sevilla	388.276,8	64.603.819	6
Total Andalucía	18.975.433,3	3.157.246.452	660,6

### Distribución porcentual de inversiones para acciones de regeneración (1992 - 2000)



### Distribución porcentual de superficies regeneradas (1992 - 2000)



Por su especial relevancia, cabe destacar las siguientes actuaciones:

- Restauración medioambiental zona minera Barranco de la Ana, en Peñarroya-Pueblonuevo. Fase I (Córdoba, 1996). 27 has; 158.164.044 ptas (950.585 eur.)
- Restauración medioambiental zona minera Barranco de la Ana, en Peñarroya-Pueblonuevo. Fase II (Córdoba, 1999). 37 has; 240.293.939 ptas (1.444.195 eur.)
- Regeneración de La Zarza y El Perrunal (Huelva, 1993); 190.987.754 ptas (1.147.859 eur.)
- Regeneración de zonas mineras con aportes al río Odiel (Huelva, 1994), 20 has; 35.700.936 ptas (214.567 eur.).
- Regeneración Mina Concepción (Huelva, 1993), 10 has; 33.446.350 ptas (201.016 eur.)

Mención aparte merecen las actuaciones relativas a la retirada de los lodos mineros vertidos por la rotura de la balsa de Aznalcollar en abril de 1998. Los trabajos necesarios para la retirada de 1.981.844 m<sup>3</sup> de dichos residuos, que afectaban a 4.031 has, requirieron una inversión de 11.834,9 millones de pesetas (71.129.181 euros), incluyendo la limpieza del cauce realizada por la



Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. El volumen total de lodos y suelos afectados depositados en la antigua corta de la mina ascendió a  $7 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

Actualmente se encuentra en desarrollo el Programa Operativo Integrado de Andalucía (Marco FEDER 2000/2006). La Medida AM20030820, Recuperación de Áreas Degradadas, adjudica un presupuesto de prácticamente  $18 \times 10^6$  euros a estas actuaciones, encontrándose actualmente muy avanzada la ejecución de esta Medida.

Dentro de las acciones en curso y partiendo del Plan de Regeneración de Áreas Degradadas por Minería Abandonada de Andalucía, anteriormente señalado, se está procediendo a un estudio pormenorizado en cada provincia, conducente a establecer las áreas concretas que serán objeto de futuras actuaciones y sus prioridades.