

# LA MINERÍA

## ORÍGENES Y DESARROLLO

EL RECORRIDO DE LOS MINERALES



# contenido

## 1. QUÉ ES LA MINERÍA

- 1.1. Definición
- 1.2. Propiedades y características
- 1.3. Clasificación de la minería

## 2. EL RECORRIDO DE LA MINERÍA

- 2.1. Un poco de historia: origen y desarrollo de la minería en el Mundo
- 2.2. La minería moderna

## 3. APLICACIONES MINERAS

- 3.1. Recursos energéticos
- 3.2. Metales
- 3.3. Minerales no metálicos
- 3.4. Piedras naturales
- 3.5. Gemas y piedras preciosas

## 4. LA LEGISLACIÓN MINERA

## 5. LA MINERÍA EN LA COMUNIDAD DE MADRID, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO

DIRECCIÓN: **Carlos López Jimeno**  
Director General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid

COORDINACIÓN TÉCNICA: **Emilio Llorente Gómez**  
Doctor Ingeniero de Minas  
Profesor Emérito de la E.T.S.I. de Minas de la U.P.M.

**Pilar García Bermúdez**  
Doctor Ingeniero de Minas

**Jorge Vega Calle**  
Ingeniero Técnico Industrial

AUTORES: **José Antonio Espí Rodríguez**  
Doctor Ingeniero de Minas  
Profesor titular de la U.P.M.

**Fernando Vázquez Guzmán**  
Doctor Ingeniero de Minas  
Catedrático de la U.P.M.

**Joaquín Armengot de Pedro**  
Doctor Ingeniero de Minas

© Comunidad de Madrid  
Consejería de Economía e Innovación Tecnológica  
Dirección General de Industria, Energía y Minas

© DE LA EDICIÓN: Domènech e-learning multimedia, S.A. 

PRIMERA EDICIÓN: 2007

DISEÑO Y MAQUETACIÓN: Enrique Domínguez



# 1. QUÉ ES LA MINERÍA

La minería consiste en la obtención selectiva de sustancias y minerales existentes en la corteza terrestre con el fin de cubrir las necesidades de materiales adecuados para el desarrollo de nuestra civilización.

Se trata de una de las actividades más antiguas de la Humanidad, surgida cuando el hombre observó la posibilidad de utilizar determinados tipos de rocas para la mejora de sus actividades en cuanto a la fabricación de herramientas y armas, así como adornos tallados.

## 1.1. DEFINICIÓN

El manual de clasificación de normas industriales (SIC, *Standard Industrial Classification*) de Estados Unidos, define la minería como "la actividad industrial de extracción de recursos minerales naturales, ya sean sólidos (minerales y carbones), líquidos (sobre todo el petróleo) y gaseosos (el gas natural)".

El término minería usado en un sentido amplio incluye, además de las operaciones subterráneas y a cielo abierto, las que se producen en el tratamiento de las sustancias minerales extraídas, tales como su trituración, la separación por tamaños, el lavado, la concentración por diversos medios, su espesado y el secado, buscando en todo momento el acondicionamiento de esas sustancias para su venta y transformación.

Por extensión, también pueden incluirse en este concepto otro tipo de actividades, tales como la recuperación de escombreras antiguas. Sin embargo, no suelen introducirse en este apartado las primeras transformaciones de los minerales: la preparación de las arcillas, las plantas de hormigones y otros.

De la definición anterior se deriva que resulta necesario identificar muy bien lo que significa el término **recurso mineral**. Con él nos referimos a las concentraciones minerales de origen natural que proceden directamente de la corteza terrestre (materiales sólidos, líquidos o gaseosos, inorgánicos u orgánicos fósiles).

Estos materiales deben encontrarse en cantidad y calidad determinadas para que sean susceptibles de ser explotados. Una operación característica de la actividad minera, la primera fase de su ciclo de vida, consiste en determinar su ubicación, cantidad, riqueza (ley), características geológicas y continuidad: es la etapa de la exploración minera.



Mina metálica a cielo abierto en primer plano y escombreras de estériles rocosos.



Explotación de caliza ornamental "Crema Marfil" en Cehegín, Murcia.

## 1.2. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS

La actividad minera no deja de ser una actividad industrial más, pero de carácter muy singular. Sus propiedades más sobresalientes pueden ser, entre otras, las siguientes:

- Se relaciona íntimamente con la naturaleza. En realidad, proviene directamente de ella y en muchos casos resulta una fracción de la corteza terrestre, usada directamente para nuestro provecho: una placa o tablero de granito o mármol se extrae del yacimiento simplemente cortándolo y con un tratamiento superficial que puede ser un pulimento. A continuación, suele ser usado directamente en un edificio.
- La minería resulta muy intensiva en consumo de energía y arranca bastante más materia de la naturaleza que la que constituye el propio mineral o roca aprovechable.

Esto acarrea dos consecuencias importantes, desde el punto de vista medioambiental. Por un lado, puede provocar importantes impactos visuales por acumulación de materiales residuales en la superficie (escombreras, huecos de mina), además de otros efectos sobre las aguas superficiales y una alteración de la biodiversidad de la zona. Desde otro punto de vista ambiental, el mero hecho de consumir gran cantidad de energía y materia supone una afección importante al mantenimiento de los recursos naturales.

Por todo ello, se diseñan políticas "sostenibles" de reducción de consumo de materiales escasos o contaminantes, el reciclado de residuos producidos por la explotación de los recursos minerales, y, sobre todo, la elección de los yacimientos, de tal forma que se sitúen en el lugar apropiado (ordenación territorial), que sus propiedades sean las menos impactantes (escasa generación de ácido residual, minería subterránea menos agresiva, por ejemplo), y sobre todo, que la calidad del depósito mineral sea la mejor posible (riquezas o leyes muy altas, facilidad de concentración, escasa energía de liberación de las partículas de minerales, etc.).



Explotación de pizarra en el límite del Parque Natural de la Baña, León.

- La minería también resulta intensiva en el capital inicial para su descubrimiento y puesta en marcha, y, además, se encuentra sujeta a un gran número de incertidumbres.

La minería necesita equipos humanos y técnicas especializadas para el descubrimiento de nuevos yacimientos y para las instalaciones de la explotación y el tratamiento de sus minerales. Además, ello supone importantes inversiones que, a gran escala, se encuentran lejos de muchas compañías de tipo medio.

- Otra característica se refiere a la incertidumbre que acompaña a las inversiones dedicadas a la exploración de los recursos minerales y a los precios que éstos alcanzarán en los mercados terminales. A tales riesgos se unen aquellos derivados del aprovechamiento de los recursos de la naturaleza: variabilidad de las leyes y de los comportamientos ante los procesos fisicoquímicos a los que serán sometidos, las legislaciones cambiantes, la situación política de los países en vías de desarrollo y otros muchos más.
- Pero la minería también produce grandes éxitos económicos; ha sido pionera en muchos aspectos del control ambiental y resulta un motor para la riqueza de los pueblos, y, sobre todo, en aquellos lugares donde apenas existen otras alternativas de desarrollo.

En los últimos años, y gracias a los modernos sistemas de exploración mineral, se han descubierto nuevos recursos que han supuesto un beneficio económico para todos los participantes del proceso, incluidas las poblaciones autóctonas.



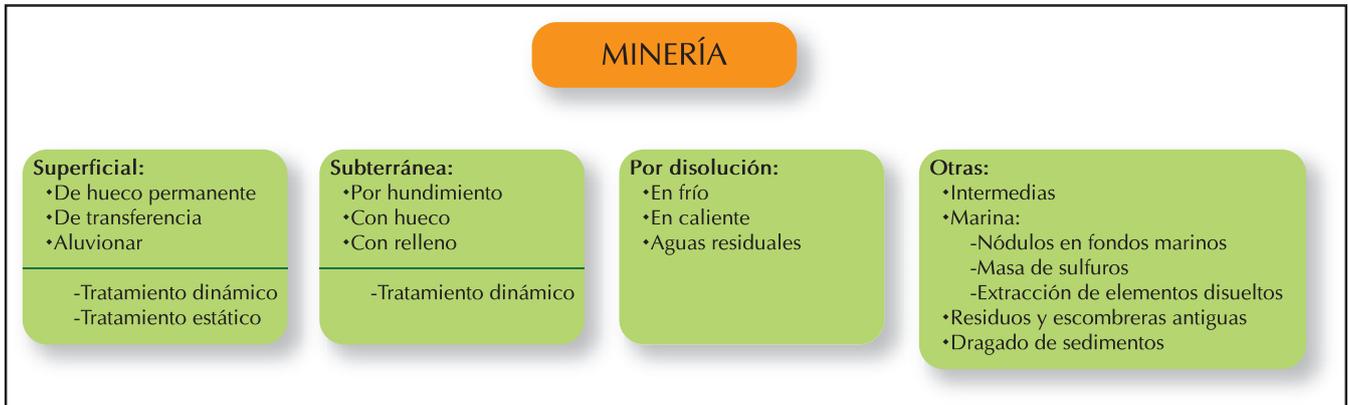
Transporte de mineral de fosfatos en Marruecos.



Restauración cuidadosa de las explotaciones de sulfato sódico (glauberita) de Santa Marta, Burgos.

### 1.3. CLASIFICACIÓN DE LA MINERÍA

Se podrían elaborar extensísimas clasificaciones de las actividades mineras, ya que todas las explotaciones poseen características muy propias. No obstante, y tomando imágenes muy comunes, se propone la siguiente:



#### 1.3.1 Minería de superficie o “a cielo abierto”

La minería de superficie comprende todas las operaciones mineras que se desarrollan en la superficie terrestre, a excepción de las aguas interiores y marinas.

**Características comunes.** El coste unitario de movimiento de rocas es muy bajo, desarrollándose en las grandes explotaciones unas concepciones de maquinaria que tienden al gigantismo a fin de rebajar aún más esos costes. Así, hoy se dispone de camiones mineros de 400 t de carga útil (por comparación, el peso de casi 300 automóviles de tipo normal). Los consumos totales de energía son enormes. Se dirigen sobre todo hacia yacimientos de baja ley y de grandes dimensiones.

**Condiciones ambientales.** Los impactos visuales, de ruido y polvo pueden ser elevados y por ello se estudian convenientemente las operaciones.



Camión minero capaz de transportar una carga de 400 toneladas.



Explotación a cielo abierto en la Mina de Reocín, Cantabria.



Extraordinario movimiento de mineral de oro muy pobre (300.000 t/año) en Yanacocha (Perú).

### 1.3.2. Minería subterránea

La minería subterránea es aquella que desarrolla su actividad en el interior de la tierra, desde unos pocos metros hasta los 4.000 m de profundidad de algunas minas sudafricanas.

**Características comunes.** La minería subterránea nace de la necesidad de seguir la producción sobre aquellos recursos que se han agotado en la superficie.



Equipo de perforación jumbo en una mina subterránea.

Debido a las altas leyes de los minerales extraídos de esta manera, el necesario tratamiento del mineral para concentrarlo ha de ser de tipo dinámico, es decir, moliéndolo finamente.



La minería subterránea resulta muy variada, adaptándose a las circunstancias del yacimiento y realizando, a veces, una verdadera arquitectura interior.

**Condiciones ambientales.** La minería subterránea es más selectiva y extrae menos roca inservible y, por ello, gasta menos energía. Además, el impacto visual, cuando las operaciones se realizan con cuidado, resulta mucho menor que en la minería de superficie.

### 1.3.3. Minería por disolución

Este tipo de minería consiste en el procedimiento de inyección desde la superficie de un agente disolvente en líquido o en vapor que, al acceder al mineral buscado lo disuelve y lo transporta a la superficie donde se separa de su disolvente y se reintegra nuevamente en el proceso.

**Características comunes.** Se comprende que su aplicación sea posible en minerales fácilmente solubles en agua líquida y en frío (sal gema de diapiro, en Polanco - Santander y sales potásicas) en agua líquida y en caliente (sulfato sódico, en la Comunidad de Madrid y en Burgos), en agua acidulada natural o artificialmente (minerales de uranio, de cobre sulfurado y oxidado) y en vapor de agua recalentado (azufre, en México).



Minería por disolución de sulfato sódico. Mina Santa Marta de Belorado, Burgos.

Las condiciones de explotación exigen que, además de que su objeto sea un mineral susceptible de ser disuelto, el líquido disolvente debe llegar fácilmente a su objetivo, y, también, que la disolución quede convenientemente confinada en un nivel subterráneo a fin de que pueda ser extraída totalmente.

Las aguas residuales de mina siempre han existido, y en algunas épocas han sido aprovechadas, tal como en un principio hizo la minería romana sobre las aguas ácidas procedentes de la oxidación de los potentes sulfuros del suroeste de la Península Ibérica.

**Condiciones ambientales.** No cabe duda que la minería por disolución presenta unas características que favorecen el descenso de su impacto ambiental: escasa alteración paisajística, disminución del consumo eléctrico, descenso del riesgo de la explotación, etc. Sin embargo, la disolución en caliente precisa un enorme consumo de energía, pero que, aplicando medidas de eficiencia energética adecuadas (como la cogeneración, biomasa, etc.), supondrá una importante reducción en la emisión de gases de "efecto invernadero".

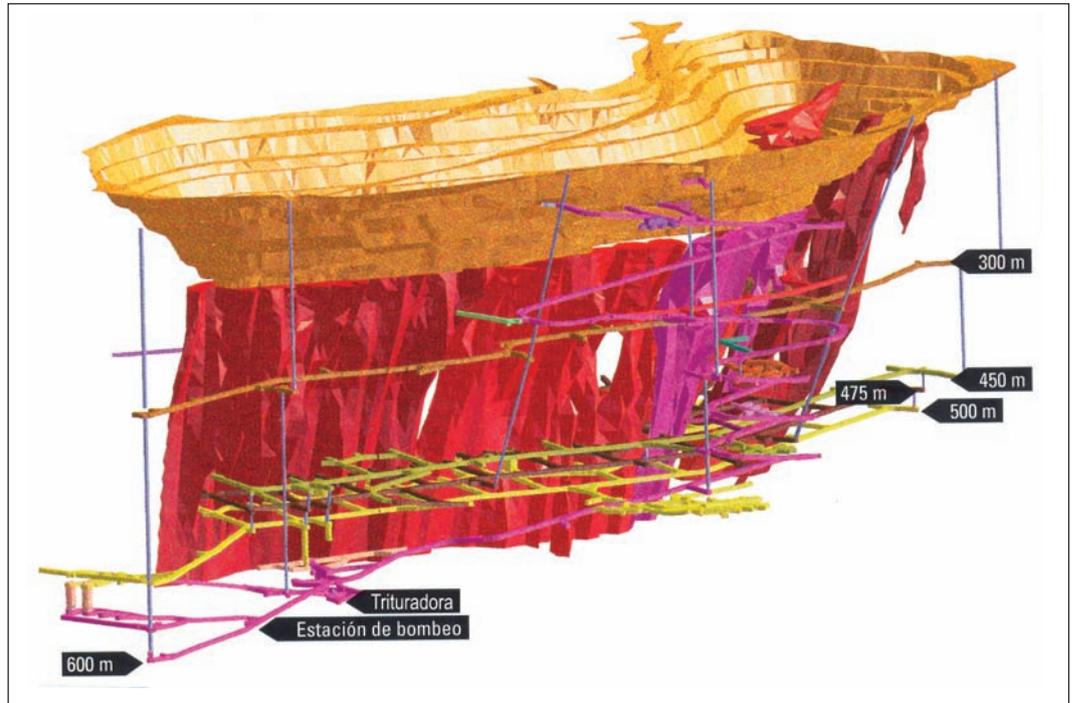


Aprovechamiento de las aguas ácidas residuales (de color oscuro) en la mina de Andacollo, Chile.

### 1.3.4. Otras minerías

Existen situaciones intermedias (minería subterránea y superficial al mismo tiempo) o un paso de una a otra (Palabora, en Sudáfrica, por ejemplo), la explotación de residuos antiguos, aprovechados con nuevas tecnologías, el dragado de sedimentos fluviales (una parte significativa de la producción de oro), de sedimentos marinos (la mayor parte de la producción mundial del estaño, oro y diamantes, éstos últimos en Namibia) y por fin, la minería marina, referida sobre todo al enorme potencial de cobalto, manganeso y cobre contenidos en los nódulos abisales (profundidades superiores a 3.000 m).

Además, también se incluyen las masas de sulfuros muy ricas en cobre, cinc y plomo, conteniendo apreciables cantidades de oro, que se sitúan de manera cercana a los centros de emisión profunda en algunos puntos de la corteza oceánica. En todos ellos, su aprovechamiento estará ligado a las condiciones de la tecnología disponible y a los acuerdos sobre el aprovechamiento de los recursos naturales en las aguas internacionales.



Modelización hecha con ordenador en 3D del yacimiento de cromita de Kemi en el norte de Finlandia. En la parte alta se ve la mina a cielo abierto -corta- y en la parte inferior las galerías de la mina subterránea.

## 2. EL RECORRIDO DE LA MINERÍA

### 2.1. UN POCO DE HISTORIA: ORIGEN Y DESARROLLO DE LA MINERÍA EN EL MUNDO

La minería más rudimentaria, que empezó a tomar forma en la Edad de Piedra, nació de la necesidad de crear instrumentos cortantes y duraderos para la caza, el tratamiento de las pieles animales, etc. La calidad del material condicionaba los resultados obtenidos, lo que obligaba a una cuidadosa selección de los mismos. Este proceso de búsqueda de productos naturales, que se adaptan con calidad a las necesidades de la sociedad, ha sido el comportamiento universal de la minería de todos los tiempos.

#### • Los utensilios de piedra y su evolución tecnológica

Las evidencias más antiguas de la utilización por los homínidos de utensilios de piedra proceden de la cuenca del río Omo, al sur de Etiopía (2,4 millones de años), y de la Garganta de Olduvai, en Tanzania (2 millones de años). Estos útiles "chopper", extremadamente primitivos, están formados por núcleos de basalto, cuarzo cristalino, o bien, de sílice amorfa "chert" a los que mediante percusión se les han extraído lascas a fin de producir cierto filo. La selección de estos materiales indica que los homínidos "Homo Habilis" apreciaban las características de ciertas rocas y minerales.

Hace 1,5 millones de años en el Centro y Este de África apareció la industria lítica denominada Achelense, atribuida a la especie "Homo Erectus". Esta cultura industrial logró conformar los utensilios de piedra con una forma preestablecida, buscando la simetría de las herramientas así como el labrado en ambas caras de la piedra (bifacial).

El periodo Musteriense abarca desde los 200.000 hasta los 40.000 años de antigüedad y se desarrolla en Europa, Oriente Próximo y África. Los útiles adquieren diseños más refinados, buscando la esbeltez de las piezas, el corte más agudo, así como una mayor productividad en su confección. Por ello, la calidad de los materiales se convierte en imprescindible y su selección se realiza con mucho rigor.

Hace aproximadamente 12.000 años, finaliza la época de la Piedra Tallada y simultáneamente en Asia y África (Paleolítico Superior), comienzan a proliferar formas que distinguen estéticamente unas culturas regionales de otras a causa, probablemente, de los materiales disponibles y de los diferentes usos.

El perfeccionamiento final de la piedra llegó con su pulimento. La herramienta, que primeramente era fabricada según los cánones de la piedra tallada, buscando

Se denomina "chopper" a un instrumento toscamente labrado que busca la aparición de bordes cortantes y sin una idea preconcebida. El material suele ser muy variado, buscando la tenacidad de la roca y la posibilidad de crear aristas muy agudas. En este caso, se creó sobre un canto de cuarcita.



#### Núcleo de sílex o pedernal

Este material natural ha sido ampliamente utilizado durante todo el Paleolítico. Sus propiedades singulares lo hacían enormemente atractivo para el hombre paleolítico: su fractura resulta predecible cuando se le golpea con cierta habilidad y los bordes así labrados son muy cortantes.



Instrumentos realizados en sílex de no muy buena calidad (grano algo grueso, numerosas inclusiones y algunas oquedades). Paleolítico Medio. Madrid, terrazas del río Manzanares. Colección de Alberto Navarro.



Hojas de sílex con cantos muy afilados a pesar del tiempo transcurrido. El sílex, aunque escaso, se utilizó en enormes cantidades. De esta forma, el rendimiento en la talla de los instrumentos, con elevado aprovechamiento del material de partida, constituyó un objetivo de la tecnología de la época, utilizando las hojas desprendidas de la talla de los útiles de mayor tamaño. El sílex de buena calidad llegó a ser muy

apreciado, buscándose incluso mediante pocillos y galerías. Terrazas del Manzanares. Colección de Alberto Navarro.

la forma de lágrima, posteriormente sobre una base, también de piedra, era desgastada con arena fina de cuarzo. Con ello, surgían esbeltas formas con tal atractivo que, a veces, constituían objetos rituales, como los que en la actualidad se han encontrado en las poblaciones indígenas de Papúa, donde se siguen fabricando con la técnica milenaria.



El proceso de la piedra pulida empieza por la extracción de una pieza de roca de la calidad y el tamaño adecuados. Este ejemplo es actual y los aborígenes de Papúa seleccionan con cuidado el material más conveniente para el pulido. En muchas ocasiones, las piezas finales resultan símbolos de representación

social, debido al tamaño y esmero con que están realizadas.

Una vez elegida la pieza, se recorta y talla toscamente como proceso de preparación para el pulido final, en este caso frotando con arena y agua contra otra piedra también abrasiva.

Un aspecto fundamental de la elaboración de estos útiles era el material de partida, que debía ser tenaz y, al mismo tiempo, contar con una dureza inferior a la de la arena de cuarzo, que lo debía desgastar. Por ello, la materia prima más utilizada en todo el mundo fueron las rocas ígneas básicas (serpentinitas, gabros, basaltos y otras).



El pulimento de la piedra supone un extraordinario cuidado en su elaboración, incluyendo una acertada elección de las rocas trabajadas. Así, las rocas ígneas básicas (verdes, densas, tenaces y que admiten bien el pulimento) han sido las más utilizadas, pero otras rocas y minerales (sobre todo la sillimanita) también se han utilizado frecuentemente. Museo de Felipe Borbón y Grecia (MFBG).



En el Neolítico, además de la aparición de la agricultura, la cerámica, el comienzo de la estratificación de la sociedad y otros cambios muy drásticos en la civilización humana, también se cuidó con esmero la fabricación y apariencia de los útiles de la vida cotidiana. Para fabricar instrumentos de piedra pulimentada, se requieren materiales adecuados, además de un abrasivo (arena de cuarzo) y mucha paciencia. La sillimanita, las rocas ígneas máficas (con tamaño de grano generalmente fino y minerales no muy duros en su composición) fueron los más usados en ese período. Este ejemplar procede de Timimoun, en el Sahara argelino.

## • La Edad de Piedra: búsqueda de materiales de calidad y primeros balbuceos de la minería

Cuando los homínidos comenzaron a fabricar herramientas a partir de las rocas y guijarros, enseguida se dieron cuenta de que aquellos materiales que mejores propiedades poseían no siempre se encontraban cerca de su hábitat habitual y que, además, su abundancia era limitada.

A medida que la tecnología de fabricación evolucionaba, las propiedades demandadas a las materias primas minerales fueron cada vez más exigentes. La calidad debía ser un factor determinante en la localización de talleres de confección de instrumentos que, posteriormente, viajaban hacia lugares apartados.

En el tránsito entre el Paleolítico (Edad de la Piedra Tallada) al Neolítico (Edad de la Piedra Pulimentada), en Europa aparecieron multitud de manifestaciones de minería subterránea en Francia, Alemania, Suiza, Bélgica, Holanda, Dinamarca, Polonia y España. Los pozos se abrían utilizando las herramientas construidas con el mismo sílex y, de manera muy ardua, excavaban la caliza golpeándola con pesadas mazas unidas a astas de ciervo.

El sílex superficial se agotó por el extraordinario consumo y hubo que buscarlo sobre el nivel geológico portador. En Francia, Países Bajos, Alemania y Europa central, existieron manifestaciones de esta minería subterránea.



Los bloques de pedernal de buena calidad acabaron siendo escasos, debido a la gran utilización del sílex durante miles de años.



La sillimanita (también denominada "fibrolita" por su apariencia semejante a un conjunto de fibras), fue elegida por los constructores de instrumentos de piedra pulimentada. Para conseguirla debía buscarse en lugares muy precisos y generalmente escasos. Además, se han descubierto instrumentos fabricados a mucha distancia del lugar de su hallazgo, lo que supone un comercio incipiente. Este ejemplar

procede de Somosierra, en la Comunidad de Madrid.

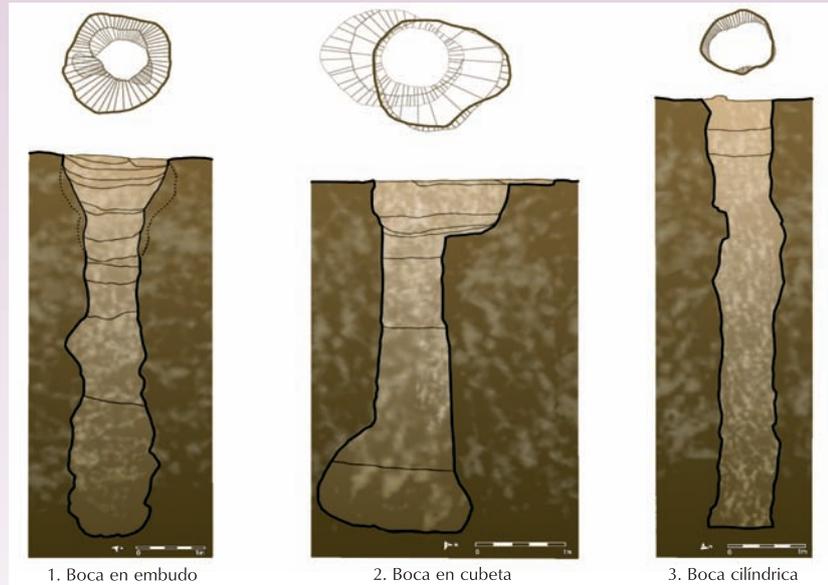
## MINERÍA NEOLÍTICA DE SÍLEX DE CASA MONTERO (VICÁLVARO, MADRID)

Resumen del trabajo de Susana Consuegra, M<sup>a</sup> del Mar Gallego y Nuria Castañeda. Trabajos de Prehistoria 61, n<sup>o</sup>2, 4002, pp.127-140.

El yacimiento de Casa Montero ha sido localizado en el denominado tramo D de la M-50, que enlaza las carreteras N-II y N-III. Se encuentra en el término municipal de Madrid, distrito de Vicálvaro, sobre los escarpes de la margen derecha del Jarama. El interés y excepcionalidad del yacimiento han provocado la modificación del trazado de la M-50 a su paso por el yacimiento arqueológico.

En los niveles arcillosos de una serie sedimentaria del Mioceno medio (alrededor de 15 millones de años), aparecen varios horizontes continuos con abundancia de ópalo y sílex. Se presentan con morfología variable que abarca desde pequeños nódulos arriñonados, hasta bloques de varios metros de forma irregular y calidad variable.

### PLANTA Y SECCIÓN DE POZOS TIPO "CHIMENEA"



1. Boca en embudo

2. Boca en cubeta

3. Boca cilíndrica

La limpieza y desbroce del área de afección dejaron al descubierto un total de 2.690 estructuras subterráneas, distribuidas de forma muy heterogénea. En total se han excavado un total de 188 fosas. Las estructuras excavadas hasta el momento han permitido constatar tres fases en el yacimiento: Neolítica, Bronce medio y Contemporánea/actual.

La fase correspondiente a la minería neolítica es cuantitativamente la mejor representada en el yacimiento y la más singular en el contexto de la prehistoria peninsular. De las 2.690 estructuras localizadas en el área de excavación, 2.500 aproximadamente corresponden a pozos de extracción de sílex.

Los pozos de tipo chimenea se documentan en toda la superficie del yacimiento. Tienen paredes regulares, de tendencia vertical con profundidades comprendidas entre 0,64 y 7,35 m. Las bocas se abren hasta adquirir diámetros de entre 1,40 y 2,10 m. Los pozos cilíndricos, con diámetro máximo en la boca de 1,60 m, son los más numerosos y se distribuyen por todo el yacimiento. En 45 de los

pozos excavados, era posible observar las vetas de sílex atravesadas hasta cuatro en un mismo pozo. En 38 pozos, se ha documentado la existencia de excavaciones laterales en cotas próximas a la base. Son verdaderas "covachas" de forma irregular y dimensiones variables que permitirían, en momentos inmediatos al abandono de la extracción en el interior del pozo, el mayor aprovechamiento de la veta inferior.

La semejanza con otras explotaciones prehistóricas permite aventurar el uso de escalas de madera o cuerda que, sin embargo, pudo ser sustituido por simples cuñas de madera que, con la ayuda de la pared opuesta, serían suficiente para hacer practicable el pozo. Para construir los pozos, se han detectado diversos tipos de herramientas: mazas, picos, cuñas, etc. Las mazas, realizadas en cuarcita, de sección cuadrangular, solían pesar aproximadamente 1,5 kg. Se está trabajando en la hipótesis de que estas mazas golpeasen cuñas o picos de sílex que penetraran en la tierra a modo de cincel. Existen algunos ejemplos de cuñas con pesos entre 150 y 300 g y de picos, más numerosos, de 130 g de peso medio.

Casa Montero presenta un registro lítico extraordinariamente abundante, unas 31,6 t. El objetivo principal de la explotación lítica de Casa Montero es la producción de soportes laminares de sílex con destino a la fabricación de utensilios de uso muy variado.



El Neolítico aparece en diferentes periodos absolutos de tiempo en diferentes lugares, pero llama la atención la similitud en la elección de los materiales usados y, también, el método de fabricación empleado. Estos dos instrumentos cortantes proceden de Ecuador, en culturas cercanas a la llegada de los primeros españoles en aquellas tierras. Los útiles están fabricados en rocas volcánicas de tipo básico, de composición cercana a las de los instrumentos del Neolítico europeo.

• **Los metales básicos y sus características**

Todos los arqueólogos e investigadores coinciden en que el cobre fue el primer metal trabajado por el hombre debido, sin duda, a la enorme facilidad que presenta para ello.

Las primeras evidencias de su uso se encuentran en Irán y en Anatolia hacia el VIII y VII milenio a.C.

Otros metales que aparecen en la etapa pre-metalúrgica de la Humanidad han sido el oro y la plata, siempre nativos; es decir, el metal sin combinar con otros elementos. Aparte de ellos, existen vestigios de que el hierro meteórico (procedente del espacio) también fue utilizado.

Se ha denominado periodo Calcolítico al del tránsito entre la Edad de Piedra y la de los Metales. En esta época, la invención del horno metalúrgico fue la innovación más importante. Con el soplado por medio de la boca (largas varas huecas que se introducían en el fuego) o mejor, con primitivos fuelles realizados con pieles de animales, el metalúrgico del momento podía alcanzar los 1.100 °C.

En Europa, el periodo Calcolítico aparece ya en el siglo VI a.C. en la región de los Balcanes. La Península Ibérica entra en el Calcolítico hacia el III milenio a.C. y se desarrolla asociado a la cultura de Los Millares (Almería). Se diferencia de las culturas europeas antes mencionadas por su carácter muy local, en un modelo en que casi todas las poblaciones poseían su propia metalurgia.

El uso de las aleaciones entre metales surge de manera espontánea. Los primeros metalúrgicos observaron que de ciertos minerales que contenían cobre se obtenía un metal mucho más duro. Eran los bronce arsenicales, ya que el arsénico le presta dureza con su presencia. El excesivo arsénico ponía en peligro la salud de los metalúrgicos y cuando se produjo de manera fortuita la aleación cobre y estaño, a principios del III milenio a.C., estos dos metales conformaron una época de metal más duro y más resistente a la corrosión, la Edad del Bronce.

Este instrumento minero de asta de venado se utilizó enmangado. Probablemente, se usaba para introducirlo entre la roca fracturada, o bien, en terrenos no consolidados. En la punta mellada, se conservan restos de mineral de cobre. Mina "El Milagro" Valdelamesa, Asturias (MFBG).



Este martillo de mina del Museo FBG ha sido extremadamente cuidado en su realización, y su edad se podría situar entre el Neolítico y la Edad de Bronce temprana. Fuenteovejuna, Córdoba.

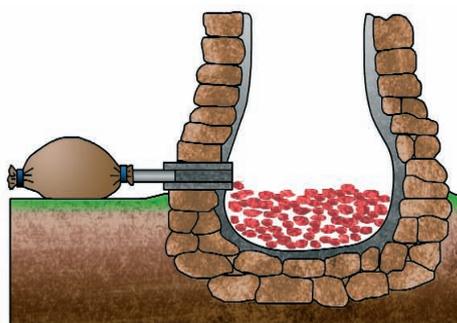
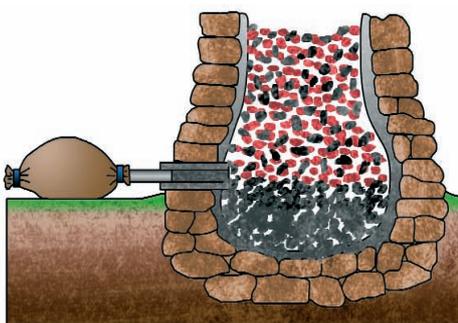
La tecnología de la fabricación de pesados martillos mineros con una muesca en su perímetro, aunque de apariencia bastante simple, exigía una buena elección de los materiales y una manipulación exigente. En los ejemplares más grandes, probablemente exigía estar colgado de una cuerda y ejecutar un movimiento pendular contra la roca a destrozar.



Hacha plana de bronce de forma simple. Su concepción es muy parecida a la de instrumentos muy actuales. Mina "El Milagro" Valdelamesa, Asturias, Museo de Felipe Borbón y Grecia (MFBG).



Hacha de bronce. Esta aleación de cobre y estaño (a veces, cobre con arsénico) supuso un paso adelante, pues la unión de estos metales endurecía enormemente el cobre y aumentaba la resistencia a la oxidación. Este tipo de instrumento se denomina "Hacha de talón con anillas." Estas últimas se utilizaban para asegurar la hoja al mango. Se encontró en Pola de Laviana, Asturias, y pertenece a la Edad de Bronce Final. (MFBG).



En la metalurgia más primitiva, un horno de fundición tan sólo era un hoyo en la tierra donde se introducían varas para el soplado del combustible y el aumento consiguiente de la temperatura. Éste, así esquematizado, al menos posee una protección lateral y un fuelle de pieles. La carga de mineral, siempre de metal oxidado o carbonatado, se mezclaba con carbón vegetal.

• **La extracción secuencial de los metales: la minería nace definitivamente**

Aunque hoy en día se tiene la seguridad de que ciertas técnicas metalúrgicas del cobre se conocieron ya en los milenios VII y VIII a.C., los primeros vestigios existentes de una minería reconocible, proceden del IV milenio a.C. Las labores consistían en trincheras o zanjas y el arranque se realizaba con mazas de piedra sobre la roca, que previamente se había calentado con hogueras y apagado con agua a fin de provocar su agrietamiento.



Este cráneo humano, perteneciente a un minero joven de la Edad del Bronce, fue encontrado en la mina de cobre asturiana de "El Milagro" en Valdelamesa, Asturias. En las explotaciones antiguas, se aprecian señales del empleo del fuego para calentar y resquebrajar la roca. (MFBG).

El horno de fundición era tan importante como la mina. Los primitivos artilugios de piedra, donde el mineral y el carbón vegetal llenaban un hueco realizado en la tierra y protegido con paredes de piedra resistente, dieron paso a los verdaderos hornos del siglo XIV a.C. de Timma, en los que una tobera desembocaba a la media altura de una pequeña cuba tapizada de piedra y arcilla. Por la tobera, se insuflaba aire procedente de unos fuelles de piel y en el fondo del horno, existía una cubeta para recoger el metal fundido. La asociación del estaño con el cobre rebajaba el punto de fusión del nuevo metal (bronce), aumentando la fluidez del producto y, al solidificarse, la aleación resultante (bronce) resultaba mucho más dura que el cobre puro. Estas aleaciones se solían obtener en otros hornos especiales, en donde los metales se refundían dentro de un crisol de arcilla.

Sin lugar a dudas, la aparición de la Civilización Romana marca un hito en la minería de todo el mundo y todavía hoy nos asombramos de lo que tal civilización llegó a realizar para obtener el dominio de un gran imperio, basado en gran medida en su poderío tecnológico y su gran organización industrial.



La minería romana, aunque empleaba masivamente la mano de obra humana, también introduce los más recientes inventos aplicados a la industria de la superficie. La minería romana utiliza casi exclusivamente las herramientas de hierro, como este pico de la mina de plata de La Lapilla, en la provincia de Huelva.

La minería romana se enfrentó con gran audacia a los retos de explotar a una profundidad mucho mayor que la de sus antecesores. Basta con citar algunos ejemplos: en el Neolítico, se habían alcanzado profundidades de hasta 15 m en las minas de sílex de Spiennes, en Bélgica; en Timma, Israel, se profundizaron pozos de 30 m para extraer el mineral de cobre; pero en Cartagena, algunos pozos superaban los 100 m de profundidad en la época romana. Naturalmente, con la profundidad crecía el problema de las invasiones de surgimientos de agua, que impedían en muchos casos seguir profundizando las labores. Por ello, los ingenieros romanos mejoraron ideas y modelos heredados de Grecia, como las norias y los tornillos de Arquímedes que, en saltos de 4 m y en cascada, extraían el agua de las profundidades.

Los mineros romanos emplearon siempre útiles de hierro tales como picos, azadas, cuñas, punteros y mazas. También realizaban obras de sostenimiento de los huecos de explotación con madera y muros de piedra y, a veces, cuando el mineral lo justificaba, realizaban obras de mampostería.

• **La Edad del Hierro**



Sin duda, el hierro procedente del espacio (meteoritos metálicos) fue la primera manifestación del uso de este metal en la fabricación de instrumentos, como éste, procedente de las culturas andinas y utilizado, una vez atado a una larga correa, como arma de combate.

La Edad del Hierro comienza a finales del II Milenio. Se cree que se empleó por primera vez en la India, Mesopotamia y Asia Menor y que se utilizó en el valle del Indo para hacer herramientas. Las colonizaciones griega y fenicia contribuyeron a que este metal se extendiera por la Península Ibérica y el Norte de África, alcanzando su máximo desarrollo en el mundo céltico.

La Edad del Hierro llega a nuestros días y la Revolución Industrial del siglo XIX se fundamentó en la producción de aceros, a partir de este metal.

La Gran Revolución Industrial se apoyó en gran medida en los metales ya conocidos, pero su consumo, sobre todo de los aceros, se disparó a niveles insospechados, al formar parte de los elementos de construcción y de los ingenios de una tecnología que, rápidamente, se desarrollaba al amparo de una demanda sostenida.

## 2.2. LA MINERÍA MODERNA

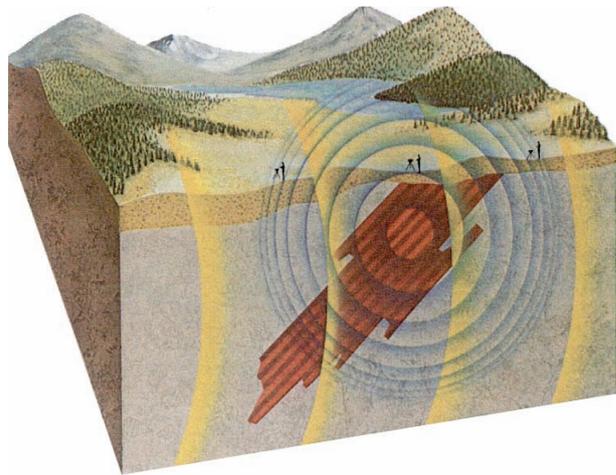
Una mina consiste en un conjunto de construcciones civiles, maquinaria, obras de preparación realizadas en la misma roca e infraestructuras necesarias para la extracción, procesamiento y deposición de los residuos generados en las mejores condiciones ambientales posibles. Externamente, apenas se puede apreciar el esfuerzo tecnológico, económico y humano que ello supone.

### 2.2.1. El ciclo de vida de una mina actual

Desde que, hace 2.000 años, Roma, por ejemplo, empleaba miles de personas en una mina como las Médulas en León, para producir en algo más de un siglo 300 t de oro, hoy, una sola mina, Yanacocha en Perú, sin llegar a mil personas, lo produce en menos de tres años. El esfuerzo actual de las explotaciones mineras está encaminado a producir miles de toneladas diarias de mineral con mano de obra escasa. Las matemáticas, física, química y metalurgia combinadas con las ciencias de ingeniería y la informática han propiciado estos resultados. Su ciclo es el siguiente:

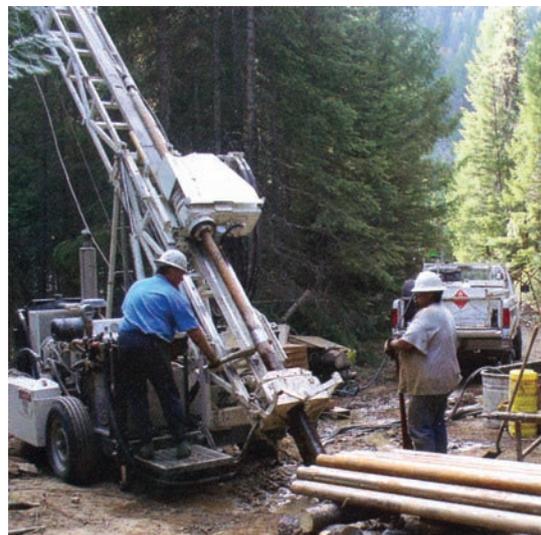
- **La exploración y la planificación.** La exploración o investigación minera es el primer paso de la minería y constituye una especie de combustible o energía para que la industria minera funcione. Los recursos minerales no son recursos renovables y hay que sustituirlos cuando se agotan. Las tecnologías modernas de exploración se basan en aparatos sensibles que descubren variaciones en las características físicas y químicas de la corteza terrestre, ligadas a la existencia de los yacimientos minerales.

Así, los minerales metálicos son investigados utilizando sus propiedades físicas y fisicoquímicas: por su alta densidad, se diferencian de los de su entorno ("Métodos Gravimétricos"); por sus propiedades electromagnéticas y conductoras de la electricidad, ("Métodos Electromagnéticos", "Aeromagnéticos" y otros); por la movilidad de los metales que los componen en la parte superficial de la corteza terrestre ("Métodos Geoquímicos"); las imágenes aéreas y de satélite, y otros muchos más. Hoy, todos ellos suponen sofisticados sistemas y el procesamiento de ingentes cantidades de datos. Todo ello dentro de un, cada vez más profundo, conocimiento de la geología y de los modelos de formación de los yacimientos minerales.



Los métodos de exploración geofísica utilizan directa o indirectamente las propiedades petro-físicas de los minerales. Un ejemplo: una zona mineralizada de la corteza terrestre puede emitir ondas electromagnéticas secundarias (color azul) cuando un campo principal (color amarillo) incide sobre una concentración de minerales metálicos de cierta envergadura.

Una vez detectadas esas anomalías geofísicas, se procede normalmente a la realización de perforaciones -sondeos- para recuperar muestras de mineral y estudiar así sus contenidos en metal o sustancia aprovechable, sus propiedades, etc.



Trabajos de investigación mediante sondeos.



Avión preparado para la exploración aeromagnética.

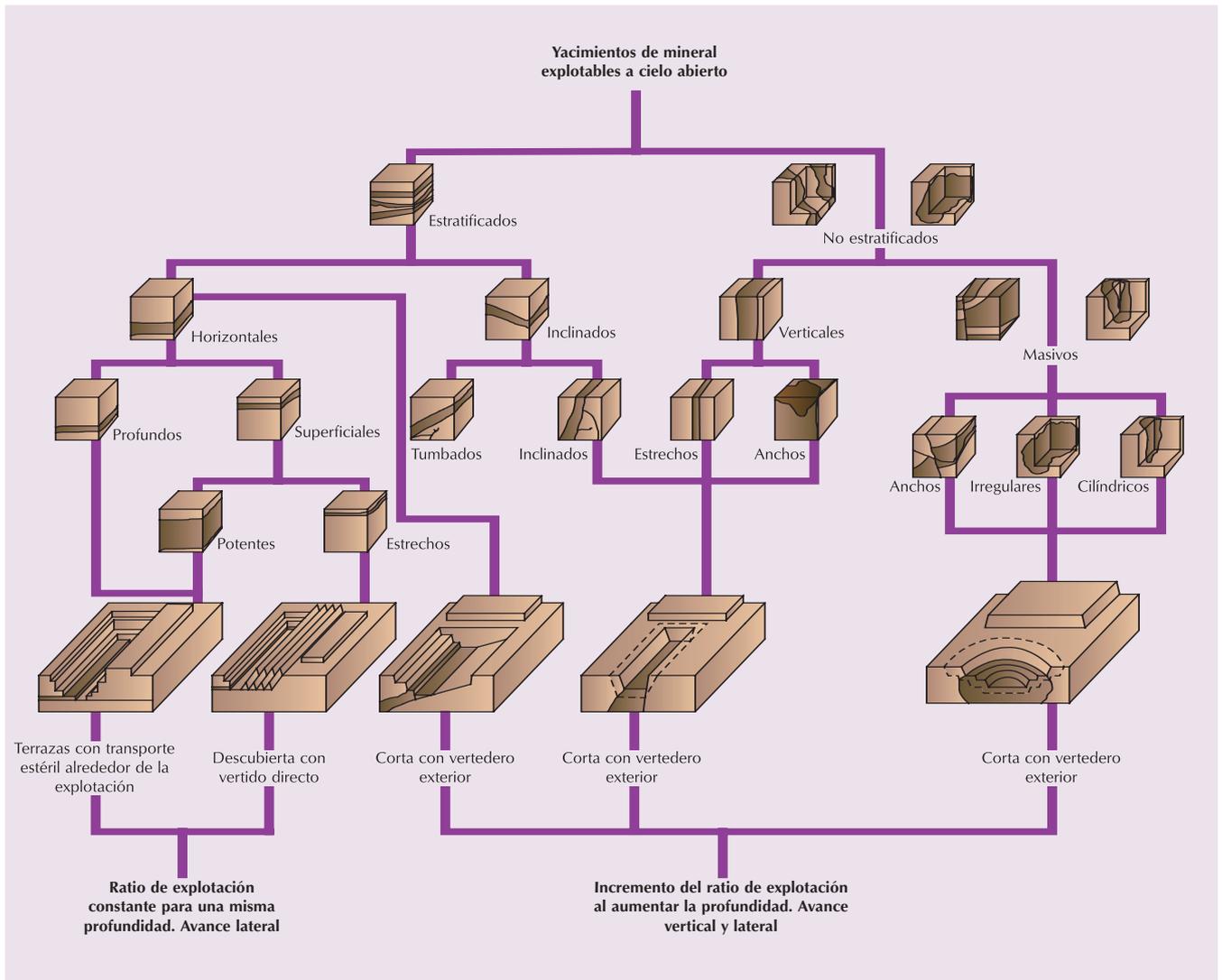
La siguiente etapa la constituye la valoración o medida de los recursos minerales descubiertos, que derivarán hacia la planificación de una nueva explotación, si los resultados obtenidos dieran lugar a la decisión de invertir en un nuevo proyecto de explotación.

- **La Explotación y Procesamiento de los minerales.** La naturaleza y posición del depósito mineral determina el sistema general de extracción. Cuando el cuerpo del mineral se encuentra cubierto por una cantidad limitada de roca no aprovechable, y habiendo demostrado su viabilidad económica, se puede proceder a su explotación, realizando una excavación superficial servida por palas cargadoras y camiones de gran tonelaje si las posibilidades económicas del mineral así lo justifican. En caso contrario, se procede al diseño de una explotación de interior o subterránea.



Testigos obtenidos en un sondeo al investigar un yacimiento.

**TIPOS DE YACIMIENTOS Y MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN APLICADOS**



Ratio de explotación: volumen de estéril a mover por cada tonelada de mineral.

El ciclo general de la explotación comprende, en general, tres etapas:

## EN MINA "A CIELO ABIERTO" O EN SUPERFICIE

### • Extracción

#### El arranque

Cuando el mineral y la roca acompañante se encuentran sin consolidar, puede procederse a su arranque y carga directa con palas cargadoras, normalmente sobre neumáticos y, mejor aún, con excavadoras. Otras veces, puede compensar el uso de un *bulldozer* que lo afloja con un escarificador o *ripper* y lo desplaza con la hoja frontal. De esta manera, pueden extraerse las capas horizontales de los carbones, los aluviones y arenas que contienen metales pesados (oro, estaño y titanio), algunos minerales industriales (arcillas especiales, caolines, talco, diatomitas, yesos, etc.), áridos y arenas, arcillas rojas, etc.



Tractor de orugas o *bulldozer*, con sus dos herramientas de trabajo: escarificador o *ripper* en la parte posterior y la hoja de empuje en la parte delantera.



Pala cargadora con una cuchara capaz de levantar 35 t.

Un caso especial lo constituyen los gigantescos depósitos de carbones, fosfatos y otros minerales, que por su elevada magnitud admiten la compra e instalación de maquinaria muy pesada como las "rotopalas" y "dragalinas", que de manera casi continua arrancan el mineral y lo cargan en una cinta transportadora (las primeras), o por medio de una cuchara muy voluminosa y pesada, y un brazo muy largo arrancan, cargan y transportan cantidades importantes de mineral y roca (las segundas).



Dragalina trabajando en la extracción de fosfatos en Marruecos. El gigantismo de la maquinaria ha sido una opción para la reducción de los costes de explotación. Esta máquina es capaz de llenar su cazo con 40 m<sup>3</sup> de mineral.

Sin embargo, los minerales y las rocas que las contienen resultan frecuentemente demasiado cohesivos para la extracción directa por lo que debe recurrirse a la perforación de barrenos y a la voladura con explosivo. En la actualidad, las perforadoras realizan barrenos de elevado diámetro y se posicionan con GPS, según un plan cuidadosamente determinado, procurando la fragmentación de la roca al grado deseado y la eficacia del explosivo utilizado.

El avance producido en la explotación de piedras naturales se ha dirigido al empleo del hilo diamantado (cable de acero con elementos cortantes con polvo de diamante) y de maquinaria auxiliar de gran tamaño para la manipulación de los bloques de roca.



Cantera de roca ornamental, en Cehegín, Murcia. Se aprecia el corte y la carga de los bloques de mármol, con destino al taller de serrado y pulido.

### La carga

El material (mineral o estéril, volado o desprendido mediante el *bulldozer*) se carga en los camiones mediante las máquinas, cuyo tamaño debe ser el adecuado para la capacidad de éstos.



Empleo directo de arranque y carga con una retroexcavadora.

Las máquinas de carga pueden ser: palas de ruedas (accionadas por un motor diesel y de alta movilidad), excavadoras de cable (eléctricas, muy robustas y de lenta movilidad) o excavadoras hidráulicas (accionadas por motores diesel y también bastante robustas). Todos los tipos son adecuados para los grupos de minerales ya descritos, aunque en las grandes minas metálicas y de carbón se usan habitualmente las excavadoras citadas.



Volquete minero y excavadora hidráulica de gran capacidad.

Asimismo, en las canteras de piedra natural, para la carga se usan palas de ruedas, con cazo convencional para manipular trozos de roca inservibles y de pequeño tamaño, u horquillas para la elevación, desplazamiento y colocación de los grandes bloques sobre los camiones.

### El transporte

El acarreo del mineral volado hasta la planta de tratamiento o hasta la escombrera, si se trata de roca sin interés, se realiza mediante camiones "fuera de carretera o volquetes", también llamados *dumper*. En la gran minería metálica y en las explotaciones superficiales de carbón, el tamaño de las unidades ha comenzado a crecer (hasta las 400 t de carga útil).



Transporte de roca estéril de una mina de carbón a cielo abierto. Mina Emma de Puertollano, Ciudad Real.

En explotaciones de minerales industriales y en las de minerales metálicos de tamaño medio, las unidades suelen ser de tamaño relativamente moderado (45-150 t). Un caso especial son las explotaciones de gravas y arenas, donde para el transporte a obra se deben utilizar camiones de carretera (25 t). Esta operación es la más costosa de las tres que constituyen el ciclo de la explotación minera y, por ello, debe ser cuidadosamente planeada reduciendo los tiempos muertos de estas máquinas.

Hoy, en las minas más importantes, el control de movimiento de los camiones se realiza bajo el apoyo de los sistemas de *dispatch*, que localizan cualquier unidad en la mina, registran la cantidad de material que transportan y dirigen el destino y recorrido de todas las unidades en operación.

En algunas minas de gran producción, con sistemas continuos de arranque como por ejemplo rotopalas, se usan cintas transportadoras para el transporte.

## EN MINERÍA SUBTERRÁNEA

Cuando el desmonte inicial de roca situada encima del mineral resulta costoso, se impone la explotación subterránea. En este tipo de minería, se conjugan habilidades, conocimientos y equipos especializados mayores que en otras actividades industriales. El proceso de cálculo y planificación resulta muy delicado y, en él, se solapan los conocimientos, tanto del mineral, con su ley o riqueza, como su geometría, que determinará la forma de realizar la explotación. Ella dependerá de las propiedades de la roca que rodea al yacimiento: resistencia de las rocas que rodean al mineral una vez abierto el hueco.

En la mina subterránea, casi siempre es necesario realizar la perforación, la voladura mediante explosivo, la carga y el acarreo hasta superficie. No se arranca tanto material o roca inservible como en una explotación de superficie, pero el coste unitario de una tonelada arrancada resulta bastante mayor que el de la tonelada extraída a cielo abierto. Ello exige que el yacimiento explotado por minería subterránea posea una riqueza (ley) mayor que la de los depósitos minerales explotados a cielo abierto. Al mismo tiempo, el daño paisajístico causado por este tipo de explotaciones es prácticamente insignificante.

### • Extracción

#### El arranque

El uso de los explosivos en la minería subterránea resulta universal, tanto en el avance por galerías como en el arranque en los frentes de producción. La perforación, hoy, se realiza mediante los martillos perforadores que van montados en brazos (hasta cuatro) en una misma máquina ("jumbo") que transporta los motores y la central hidráulica. De esta manera, se optimiza el avance de las perforaciones y se disminuye el consumo específico de explosivo (más del doble del que se usa en la minería de superficie por unidad de volumen).

Casi todos los grupos de minerales emplean estas tecnologías. Un caso especial pueden ser las voladuras de seguridad realizadas en capas del carbón con explosivos encartuchados especiales confinados con tacos de agua.



Equipo moderno para la instalación de bulones de sostenimiento.

El refuerzo de las rocas que configuran el espacio hueco requiere en muchas ocasiones la perforación de taladros y la introducción en éstos de barras de acero -bulones- que se unen a las rocas mediante cemento o resinas. A veces se introducen largos cables de acero con una lechada de cemento.

#### La carga

La pala cargadora de mina, de bajo perfil se denomina *scooptrans*, son específicas para este cometido y se mueven sobre neumáticos. Las tecnologías y maquinaria empleadas en este cometido resultan comunes a todas las agrupaciones de yacimientos y minerales a las que nos hemos referido.



Pala cargadora en una mina subterránea.

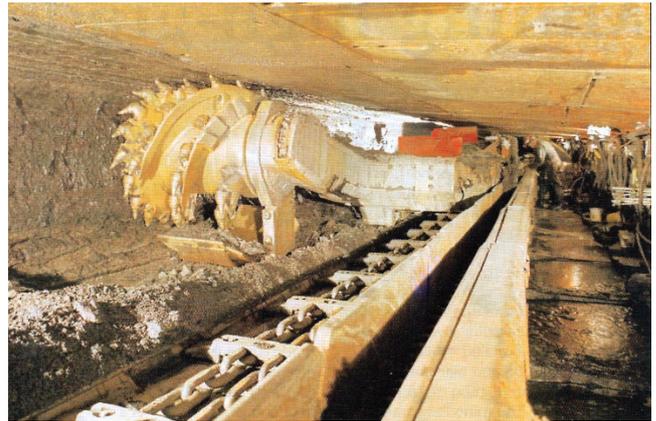
#### El transporte

También aquí el transporte resulta el capítulo más costoso de la operación minera subterránea. El ferrocarril interno ha ido siendo reemplazado por los accesos fáciles a las plantas de trabajo (rampas de forma helicoidal) y el empleo de camiones de perfil bajo (25-50 t de capacidad) y cintas transportadoras hasta la superficie por largos túneles o galerías llamados planos inclinados.



Ferrocarril minero.

Existen numerosas variantes de los sistemas de explotación, siempre adaptándose a las peculiaridades de los depósitos minerales. Así, para la explotación de capas horizontales de minerales blandos (carbones, sales potásicas) se pueden emplear "tajos largos" con arranque y carga en la misma máquina (cepillos, minadores continuos etc.), que aprovechan la fragilidad del mineral para arrancarlo de manera continua con ruedas giratorias armadas con picas de metal duro. También, el hueco producido por la extracción del mineral se puede dejar libre (filones de minerales metálicos), se puede rellenar (masas de diversos minerales metálicos e industriales) o simplemente provocar su hundimiento (capas continuas de carbón, minerales de cobre de baja ley), según se estime el comportamiento de la roca de caja.



Rozadora para el arranque del mineral en un tajo largo.

## El procesamiento de los minerales extraídos

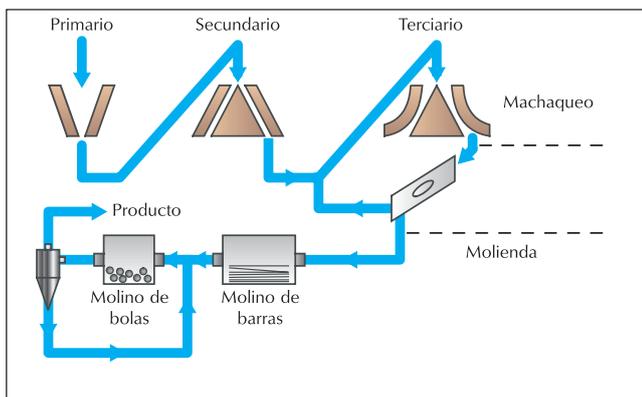
El tratamiento del mineral consiste, generalmente, en una concentración de los componentes valiosos que contiene, a fin de alcanzar una riqueza que permita venderlos para su posterior utilización o aprovechamiento. El procedimiento para conseguirlo es muy variado, pues las pérdidas del proceso pueden invalidar la explotación de la mina.

De manera muy sintética, los procesos de preparación y concentración de los minerales obedecen a estas etapas:

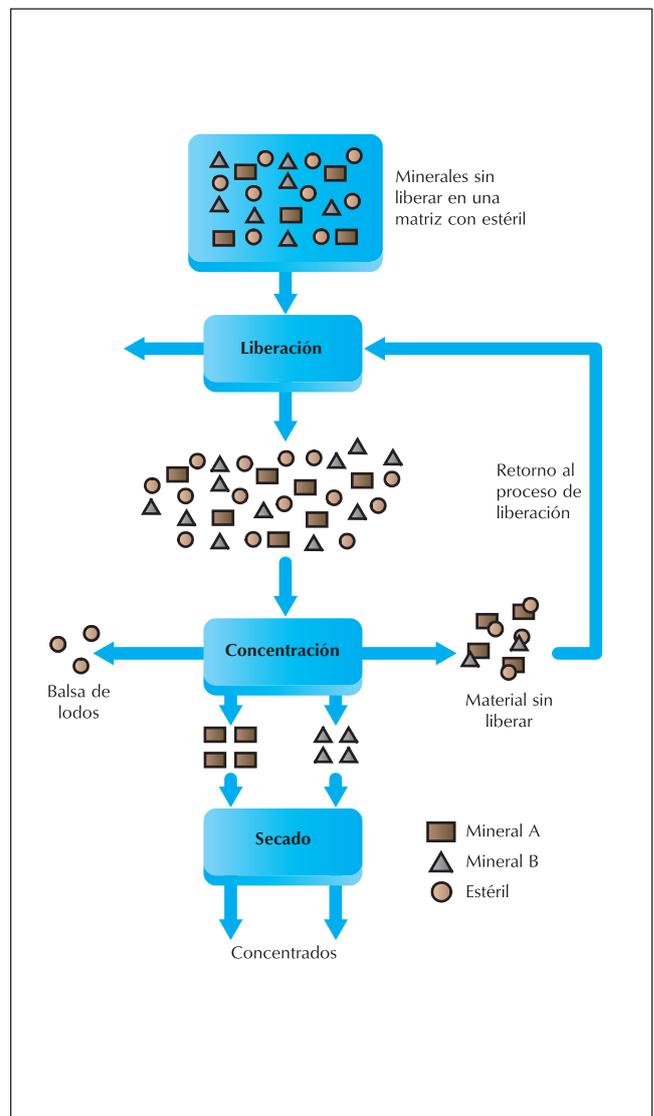
### TRITURACIÓN Y LAVADO

Esta fase es común para casi todo tipo de mineral. En ella, los bloques de mineral son triturados (y en su caso, lavados para eliminar las partículas arcillosas) al tamaño conveniente. Éste se consigue con grandes máquinas de trituración (de mandíbulas o giratorias) en hasta tres etapas. Esta fase la sufren los minerales metálicos para obtener el tamaño conveniente para su introducción en los molinos. Sin embargo, el producto de dos o tres fases de trituración puede ser el producto final de los áridos de trituración y también de los carbones, mineral de hierro y ciertos minerales industriales (arcillas especiales y fosfatos).

#### ESQUEMA DE UN SISTEMA SIMPLE DE TRITURACIÓN Y MOLIENDA



#### PRINCIPALES PROCESOS QUE TIENEN LUGAR EN EL TRATAMIENTO DEL MINERAL



## MOLIENDA

Para concentrar un mineral (aumentar su ley hasta un grado comercial) resulta imprescindible liberar las partículas del propio mineral de su roca acompañante. Es decir, hay que molerlo hasta obtener un tamaño adecuado de partícula. Esto se consigue mediante molinos cilíndricos con una carga de pesadas bolas de acero o trozos del propio mineral. Con ello se consiguen tamaños de partículas inferiores al milímetro, que ya son aptas para el proceso de concentración. Sin embargo, el producto de esta etapa ya es un mineral vendible cuando se trata de arenas para la construcción. Esta fase resulta con mucho la más costosa de todos los procesos, ya que el consumo de energía eléctrica es enorme.



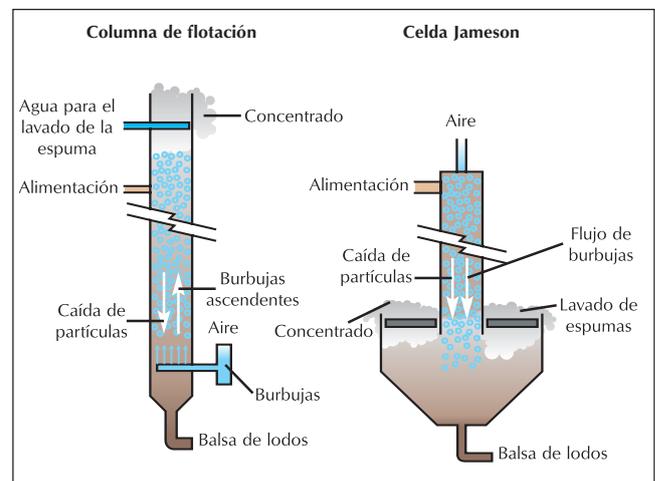
Instalación de molienda en una planta de concentración.

## CONCENTRACIÓN

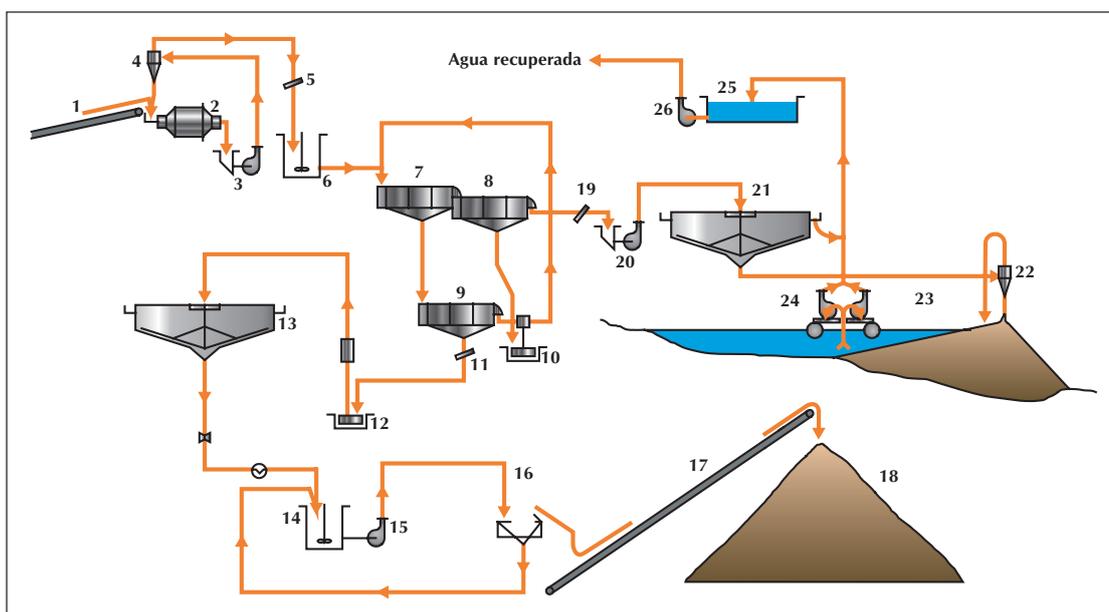
En esta etapa, se procede a la separación de las partículas de mineral de la roca o mineral acompañante, basándose en diferencias físicas (densidad, magnetismo, gravimetría, separación magnética, separación electrostática) o fisico-químicas (impermeabilidad de los minerales a ciertos reactivos: flotación, aglomeración selectiva) o bien por el ataque y disolución de los metales en soluciones agresivas (cianuración y ataque ácido).

De esta manera, por gravimetría se concentran los minerales metálicos (oro, estaño, titanio, mineral de hierro), ciertos carbonos y algunos minerales industriales (barita, fluorita, granates, etc.). Mediante la flotación, se concentran una enorme variedad de minerales metálicos (plata, cobre, cinc, plomo, níquel, hierro, estaño y otros) y no metálicos (fluorita, feldespatos, fosfatos, grafito, etc.). Por ataque químico, hoy se concentran el oro y la plata (con cianuro sódico), el cobre oxidado y el níquel (con ácido sulfúrico).

### COLUMNA DE FLOTACIÓN Y CELDA JAMESON



### ESQUEMA BÁSICO DE FLOTACIÓN POR ESPUMAS PARA UN SOLO PRODUCTO



1. Cinta de alimentación
2. Molino
3. Bomba
4. Ciclón
5. Tomamuestras
6. Acondicionador
7. Celdas de desbaste
8. Celdas de afino
9. Celdas de relave
10. Bomba
11. Tomamuestras
12. Bomba
13. Espesador
14. Acondicionador
15. Bomba
16. Tambor
17. Cinta
18. Concentrados

La vía química se va imponiendo desde que, a finales del siglo XIX, se descubrió el procedimiento de lixiviación (disolución química) de los minerales de oro con una disolución de cianuro sódico.

Hoy es el método más utilizado en la producción de los metales preciosos, de una parte importante de la producción del cobre que llega a producirse en forma de planchas de metal (cátodos de una instalación de electrólisis) en las propias instalaciones de la mina. En la actualidad, ha empezado a utilizarse con los minerales oxidados de níquel y cobalto.

En los minerales no metálicos y las rocas industriales, normalmente no llega a emplearse el proceso de concentración y el mineral o roca arrancada se prepara cortándolo (en el caso de las piedras naturales), moliéndolo al tamaño adecuado (minerales industriales) y, en todo caso, simplemente se seca para su venta.

### FILTRACIÓN Y SECADO

La última etapa de la concentración de los minerales es, en algunos casos, la filtración, que consiste en extraer mediante el vacío toda el agua posible al producto final (minerales metálicos y no metálicos, carbones) y en ciertos casos el secado (algunos minerales no metálicos). Después de esta etapa, en algunos minerales no metálicos se procede a su ensacado. En los metálicos, se envía directamente al fundidor con un 5 % - 10 % de agua.

Todas estas operaciones también producen residuos muy agresivos, que obligan a realizar operaciones de consolidación y a veces de neutralización.

### LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

En la industria, el progreso tecnológico habitual ya se manifiesta en las operaciones mineras desde hace años. El control de posición de vehículos en una mina "a cielo abierto" mediante GPS y la transmisión de órdenes de operación a los elementos de producción de la cantera, a fin de eliminar tiempos de espera de máquinas muy costosas, se encuentra totalmente generalizado en las grandes explotaciones. Es más, la carga de los camiones es medida en el propio vehículo y un ordenador centralizado se encarga de la distribución de los trabajos.



Utilización del sistema GPS para el levantamiento topográfico de la mina.

Otra línea de evolución que vuelve a tomar cuerpo es el gigantismo de la maquinaria, dirigida a conseguir cada vez costes más bajos.



Excavadora de cables de gran tamaño trabajando en una mina de cobre.



En la actualidad, el enorme coste de la maquinaria de movimiento de tierras obliga a un elevado grado de utilización y a la eliminación de los tiempos de espera. En la gran minería, esto se consigue mediante el control de movimientos utilizando el GPS y los sistemas informáticos.

Las operaciones en minería subterránea progresan hacia la eliminación del servicio de la mano del hombre en lugares peligrosos (como la carga remota bajo techos inestables) e incluso ya existen prototipos de camiones mineros de transporte de mineral en labores de interior totalmente automatizados y sin conductor.



Sala de control de una planta de concentración con imagen en el monitor de la trituradora primaria.

Las operaciones en planta de tratamiento de minerales ya hace años que cuentan con análisis químicos en tiempo real y bucles de control en los puntos clave. Además, en la actualidad existe una tendencia generalizada hacia el gigantismo de las operaciones, propio de una industria que busca afanosamente rebajar sus costes, por ejemplo mediante la utilización de celdas de flotación y sistemas de trituración y molienda de tamaño descomunal con la consiguiente reducción de los costes energéticos.

La minería por disolución presenta ventajas innegables cuando se puede emplear, y hoy, en España, contamos con sistemas de recuperación del sulfato sódico mediante disolución en piscinas y cianuración (disolución del oro con reactivos químicos).



Minería por disolución. Santa Marta, Burgos. Preparación de las balsas en las que se disuelve el sulfato sódico (Glauberita) por inyección de agua, que se envía a la planta de cristalización, obteniéndose un sulfato prácticamente puro.

La mecanización y la automatización de los trabajos han hecho que éstos sean no solamente menos arriesgados que hace décadas sino que se puedan desarrollar en condiciones confortables, lo cual ha conducido, entre otras cosas, a que la mujer se incorpore desde hace años a este sector productivo.



La incorporación de la mujer a los trabajos mineros es algo muy habitual en países civilizados.

La integración de los residuos mineros en el paisaje es uno de los graves problemas a los que se enfrenta la minería actual. En el río Narcea, Gold Mines, que explota un yacimiento de oro en Asturias, cuida extraordinariamente este aspecto, debido a la gran calidad paisajística del entorno.

## El medio ambiente y las relaciones con las comunidades de la región

El control ambiental de las operaciones mineras y la restauración de los espacios por ellas originados forman parte habitual de la planificación, operación y clausura de las explotaciones mineras, pudiendo empezar en su primer año de trabajo, y el proceso de restauración continúa hasta mucho después del cierre de la mina.



En la actualidad, el reconocimiento de las comunidades autóctonas afectadas por la gran minería resulta una de las variables a ser tenida en cuenta en el momento de iniciar una nueva explotación.

La prioridad de una mina consiste en proteger las aguas y el área circundante de las sustancias contaminantes generadas por la explotación. En los últimos años, las reivindicaciones de las comunidades que habitan en una región afectada por la minería han sido cada vez más poderosas, sobre todo en países con una importante población agrícola. La transparencia informativa, la participación en decisiones que les pueden afectar, el desarrollo comunitario propiciado por la empresa explotadora, la construcción de servicios para la comunidad, el fomento del empleo y capacitación local, son algunas de las medidas más empleadas en estas regiones del Planeta, con el fin de incrementar la convivencia con las comunidades autóctonas.

### Sostenibilidad

El desarrollo de una explotación "sostenible" implica la integración del resultado económico en una estrategia de riguroso control medioambiental y un aseguramiento de las condiciones de trabajo personal y, además de una sensibilidad por la sociedad afectada por las operaciones de explotación, así como de una persistente conciencia de mejorar los sistemas que pueden verse involucrados en la calidad ambiental de las explotaciones.



### 3. APLICACIONES MINERAS

Las aplicaciones de los recursos minerales pueden agruparse en función de las características de los mismos, los cuales pueden ser clasificados en función de aquéllas. Su tratamiento detallado será objeto de las distintas unidades que componen este recorrido de los minerales y que de una forma somera se enumeran a continuación.

#### 3.1. RECURSOS ENERGÉTICOS

A finales del siglo XIX y comienzos del XX, el carbón sobrepasó la utilización de la madera como principal fuente energética, para, posteriormente, compartirla con el petróleo, gas natural y energía nuclear.

El carbón en sus distintos grados de maduración (turba, lignito, hulla y antracita) es utilizado como combustible en calefacciones domésticas, industrias manufactureras y en la industria química. Pero su más importante utilización es como carbón térmico, para la generación de energía eléctrica, y como carbón siderúrgico, para la obtención del coque en la producción de acero.

Una futura utilización será su gasificación "in situ", que evitará los problemas de contaminación ambiental que conlleva su utilización actual, a causa de los distintos elementos menores que suelen acompañarle, como azufre, mercurio, uranio, etc.

El petróleo y el gas natural son, actualmente, combustibles de vital importancia para la economía mundial. Al igual que en el carbón, el azufre es el elemento que determina la calidad de los mismos y cuyo contenido está sujeto a estrictas regulaciones medioambientales. La producción de gasóleos y gasolinas, el consumo en centrales térmicas, el abastecimiento doméstico, la industria petroquímica, etc., son importantes campos de aplicación.

Cuando las condiciones económicas lo permitan en el futuro, petróleos pesados, arenas asfálticas y pizarras bituminosas serán explotados, con mayor intensidad que en la actualidad, como fuentes complementarias o sustitutivas de las actuales reservas de petróleos de calidad.

Dejando aparte las aplicaciones no pacíficas de la energía nuclear, el uranio ha sido usado ampliamente en reactores de fisión, que requieren del isótopo  $U_{235}$  y otros isótopos fisibles de Pu (plutonio) y Th (torio), para la generación de energía eléctrica. El almacenamiento de los residuos radiactivos que producen los reactores nucleares es el principal problema de esta industria, que encuentra un fuerte rechazo en la sociedad actual.

Finalmente, una fuente de energía la constituye la energía geotérmica, a partir del agua y vapor calientes existentes en el interior de la Tierra. Cuando las aguas con al menos  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  son bombeadas a la superficie terrestre, el vapor generado puede ser utilizado en turbinas para la producción de energía eléctrica. Igualmente, pueden ser utilizadas para calefacción en invernaderos y otros usos.

Carbón, petróleo, gas natural, pizarras bituminosas y arenas asfálticas se denominan combustibles fósiles, originados a partir de materia orgánica, por procesos geológicos tales como enterramiento, presión y temperatura, junto con el factor tiempo.



Plataforma Casablanca de REPSOL.

## 3.2. METALES

### 3.2.1 Metales férreos y ferroaleaciones

Hierro y acero constituyen las bases del desarrollo de nuestra civilización. Barcos, puentes, edificios, hornos, maquinaria, reactores, etc., son construidos con acero.

Las propiedades del acero se ven mejoradas, y en muchos casos son imprescindibles, con la adición al hierro de otros metales, como níquel, cromo, manganeso, molibdeno, cobalto, vanadio, etc., formando las denominadas ferroaleaciones (ferrocromo, ferrosilíceo, ferromolibdeno, etc.). Cada una de estas aleaciones posee características propias.

De gran incidencia en la industria siderúrgica, por el alto consumo en los revestimientos refractarios de hornos, convertidores, piezas de moldeo, etc., se incluyen, aunque no sean minerales férreos, cianita, sillimanita y andalucita. Se trata de silicatos de aluminio anhidros, con la misma composición pero distinta estructura cristalina.



Tren de alta velocidad.

### 3.2.2. Metales no férreos

Se consideran aquellos minerales y metales no estrechamente relacionados con la industria siderúrgica y se dividen tres grupos:

- metales ligeros, aluminio, magnesio, titanio y berilio;
- metales bases, cobre, plomo, cinc y estaño;
- y metales preciosos, oro, plata y elementos del grupo del platino.

El resto, formado por aquellos cuya utilización es pequeña, en volumen, pero con una amplia aplicación en la industria química y eléctrica, son clasificados como metales químico-industriales.

Los metales como el aluminio, cobre, cinc y plomo, seguidos del estaño, magnesio, titanio, etc., son los de utilización más amplia y sus precios experimentan incrementos o bajadas cíclicas.

#### Metales ligeros

Tienen densidades muy inferiores a los de la mayoría del resto de los metales. Frente a densidades de 7,87 g/cm<sup>3</sup> del hierro y 8,96 del cobre, las densidades para los metales ligeros son de 1,74 para el magnesio, de 2,7 para el aluminio y de 4,51 para el titanio. La combinación de sus características, escaso peso junto con una gran resistencia, ha originado una fuerte demanda en los últimos años.

El aluminio se obtiene a partir de la bauxita (el mineral) mediante un proceso que requiere un gran consumo de energía eléctrica y conlleva diversos problemas medioambientales. El 90 % de la bauxita obtenida en el mundo es convertida en aluminio metal y el resto para producción de abrasivos, refractarios y componentes químicos.

El magnesio es utilizado en su mayor parte como compuesto mineral no metálico para la industria siderúrgica, así como para el recubrimiento refractario de hornos y piezas de moldeo, en la textil y en la química.



Satélite del nuevo sistema de posicionamiento Galileo.

El 95 % de la producción mundial de titanio es consumida, como óxido, para la fabricación de pigmentos. El resto es utilizado como titanio metal, con importantes aplicaciones en la industria aeronáutica y espacial, a causa de su menor peso con relación al acero pero similar resistencia y temperatura de fusión.



Montaje del fuselaje de un avión.



En las aeronaves se utilizan grandes cantidades de aleaciones de metales ligeros.

Finalmente, el berilio es utilizado en aleaciones con cobre y otros metales de un extraordinario escaso peso.

### Metales base

Así llamados por los alquimistas medievales, que no consiguieron convertirlos en oro u otros metales preciosos, han adquirido una importancia extrema por sus múltiples aplicaciones en la industria moderna.

El cobre fue uno de los primeros metales usados por el hombre. Aleado con el estaño fabricó herramientas y armas de una mayor dureza, iniciando la Edad de Bronce, y aleado con el cinc obtuvo el latón. Durante muchos siglos, el cobre fue el metal más ampliamente usado, si bien la utilización del hierro y el acero lo han relegado a las aplicaciones más adecuadas a sus propiedades, como la conducción del calor y la electricidad y la resistencia a la corrosión. Su obtención en las fundiciones obliga a minimizar las emisiones de  $SO_2$  y de elementos traza, como arsénico, cadmio y mercurio.

El plomo y el cinc suelen encontrarse juntos en los yacimientos, pero su comportamiento y uso son diferentes; mientras el cinc es esencial para la vida, ya que es un constituyente de enzimas, ADN, ARN, etc., el plomo es fisiológica y neurológicamente nocivo.



Pinolitos de bauxitas de la zona de Weipa, Australia.

Ello ha originado que la producción de minerales de cinc aumente progresivamente, y que la del plomo haya disminuido de manera significativa en las últimas décadas, limitándose su uso casi exclusivamente a la fabricación de baterías, habiéndose abandonado su utilización en vidrios, cerámicas, pinturas y gasolinas.

Por el contrario, el cinc tiene una gran utilización en el mundo industrial; casi la mitad de su consumo es para aceros galvanizados.

Por último, el estaño es otro de los metales utilizado en la lucha contra la corrosión. Su aplicación es mayoritaria en la industria alimentaria con la utilización de la hojalata, aunque sufre la competencia del aluminio y los plásticos.

### Metales químico-industriales

Antimonio, arsénico, bismuto, cadmio, germanio, hafnio, indio, mercurio, tierras raras, renio, selenio, tantalio, talio y circonio; son utilizados en aplicaciones industriales y químicas, teniendo un comportamiento desigual en cuanto a su aceptación en el mercado y en el aspecto medioambiental. Arsénico, cadmio, mercurio y talio; son muy tóxicos y su utilización encuentra un fuerte rechazo en la sociedad actual.

Son metales que entran como componentes cerámicos y de aleaciones en aplicaciones de alto valor en: fibra óptica, imanes permanentes, tubos de rayos catódicos, semiconductores, baterías, amalgamas, lámparas, reactores nucleares, etc.

### Metales preciosos

Se encuentran entre los más apreciados por las sociedades de todos los tiempos. El oro es el más importante de este grupo, seguido del grupo del platino (EGP) y la plata, por este orden.

Alrededor de un 90 % de la producción mundial de oro se destina a joyería y a medallas y monedas conmemorativas. El resto se reparte entre la industria electrónica, a causa de la gran conductividad eléctrica y resistencia a perder brillo, la dental para la fabricación de coronas, y otras aplicaciones industriales y decorativas.



Ordenador PDA

La plata compagina su utilización como metal precioso con la de un metal industrial, con diferencias significativas entre los países desarrollados y no desarrollados. En estos últimos, el consumo es bajo y es utilizado fundamentalmente en joyería, en tanto que en los primeros es también usado en aplicaciones industriales (películas fotográficas y placas radiográficas, baterías con cinc, amalgamas dentales, farmacia, espejos de alta capacidad reflectante, en electrónica por su alta conductividad eléctrica y térmica) y en monedas, con un consumo mucho más elevado.

Los elementos del grupo del platino poseen características químicas similares, se presentan agrupados en la naturaleza y su utilización es casi exclusivamente industrial, especialmente como catalizadores en la industria automovilística, en la del refinado de petróleo, en dispositivos electrónicos, en sensores de medida, en soldaduras especiales, etc.



Reloj fabricado con platino y diamantes.

### 3.3. MINERALES NO METÁLICOS

Constituyen un importante conjunto en el que pueden agruparse según las distintas industrias para las que tienen su mayor utilización, como la industria de fertilizantes y otros que proporcionan elementos para la industria química (calizas, dolomías, cretas, fosforitas, sales, azufre, nitrógeno, flúor, yodo, bromo) y del vidrio (cuarzo, trona, flúor, boro, litio, estroncio, feldespatos, etc.).

#### 3.3.1. Minerales para la agricultura, la industria química y otras

Calizas, dolomías y creta; son la principal fuente de suministro de calcio y magnesio para diversas aplicaciones químicas, junto con su utilización en agricultura, para el control de la acidez de los suelos, fabricación de refractarios y en las manufacturas de vidrio y papel.

La importancia del fósforo para la vida es evidente, por ser un componente del material genético ADN y uno de los nutrientes, junto con el potasio y nitrógeno, en el desarrollo de la vida vegetal y animal. El 95 % de su consumo se destina a la fabricación de fertilizantes y el resto a múltiples aplicaciones como la elaboración de detergentes, alimentación animal, fotografía, farmacia y usos militares.

Los depósitos de sales sódicas proporcionan la materia prima para la elaboración de sal de mesa (cloruros), detergentes, sosa cáustica, etc. (sulfatos). También la sal común o halita se usa, de manera directa, como activador del deshielo de carreteras.

Alrededor del 90 % de las sales potásicas se utilizan en la industria de fertilizantes, con una incidencia medioambiental mucho menor que la contaminación producida por el fósforo o los nitratos.

Igualmente, aproximadamente un 90 % del consumo de azufre se dedica a la fabricación del ácido sulfúrico, el ácido industrial más importante y la base para la industria química del azufre. La mayoría de este ácido se emplea en la fabricación del ácido fosfórico y de los fertilizantes superfosfados. En la fabricación del ácido fosfórico, por cada tonelada de roca fosfatada tratada, se produce 1,5 t de yeso, con el consiguiente problema de su almacenamiento.

Como se ha señalado anteriormente, el nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes de las plantas a las que es añadido en forma de nitrato amónico o bien urea. La mayoría de los fertilizantes nitrogenados son oxidados, formando nitratos solubles, que es la principal forma en que el nitrógeno se incorpora a las plantas. Desafortunadamente, los suelos retienen poco este nitrógeno que se incorpora a las aguas, contaminándolas.



Complejo químico para la fabricación de fertilizantes de Jorf-Lasfar, Marruecos.

El resto, alrededor del 15 % de la producción mundial de nitrógeno, se consume en la fabricación de ácido nítrico, un importante ácido industrial, sulfato amónico y otros compuestos utilizados en explosivos, plásticos, resinas y fibras sintéticas. Uno de los nuevos usos del nitrógeno es como azida sódica ( $\text{NaN}_3$ ), como propulsor en los *airbag* de los automóviles.

Puesto que los fertilizantes son muy solubles, algunos de sus elementos se dispersan en forma iónica en suelos, rocas y aguas circundantes, por lo que debe limitarse su utilización.

Asimismo, la utilización de otros minerales no metálicos es cuestionada por su incidencia en el medio ambiente y la salud humana. El yodo, usado como aditivo en alimentación, es un buen ejemplo de un elemento esencial para la vida, pero que es tóxico en altas concentraciones, hasta el punto de estar limitado en ambientes de trabajo.

### 3.3.2. Productos de cantera

Generalmente, son productos relacionados con la construcción y las obras públicas y/o de infraestructuras (cemento, yeso, arcilla, arena, grava, rocas volcánicas, etc.).

El cemento es producido a partir de calizas, margas y pequeñas cantidades de óxido de hierro, adecuadamente trituradas y sometidas a unos 1.000 °C de temperatura en hornos rotatorios. Si bien puede usarse solo, es más frecuentemente utilizado como mortero en el que actúa como aglomerante de arenas, gravas y otros materiales.

El yeso es la principal materia prima para la obtención de productos y materiales prefabricados para la industria de la construcción, en el retardo del fraguado del cemento, en la agricultura para la mejora de la permeabilidad y corrección de suelos, como soporte catalítico de fertilizantes, etc., y como elemento de carga.

En aquellas construcciones en las que el peso es un factor importante, se emplean rocas o materias minerales de baja densidad pero de una gran resistencia, denominados materiales ligeros. Rocas volcánicas, como andesitas, basaltos, tobas, pómez, etc., tienen bajas densidades a causa de sus numerosas vesículas. También son empleadas como aislantes y como aditivo a suelos y otros materiales en los que interesa incrementar su porosidad.

De la misma manera, pueden fabricarse materiales ligeros a partir de minerales y rocas que contienen agua en su estructura cristalina, cuyo calentamiento origina espacios huecos. Tal es el caso de las pizarras arcillosas, la vermiculita y el vidrio volcánico perlita.

Algunas escorias y desechos industriales también son utilizados, a veces, como materiales ligeros.

### 3.3.3. Minerales para carga o relleno, cubrimiento, pigmentos y filtros

Ciertos minerales son utilizados para proporcionar características especiales a determinados productos o para abaratar su coste. Son los denominados minerales de carga y de cubrición o cubrientes, con un gran número de aplicaciones, algunas de ellas ciertamente curiosas. Por ejemplo, las pinturas que contienen barita son utilizadas en los automóviles para reducir su propio ruido al rodar, y pequeñas cantidades de mica, finamente molida, realza el brillo del contenido de las barras de labios. Otros minerales se utilizan en la elaboración de pigmentos para proporcionar los colores requeridos. Y otros, son utilizados como filtros. Buenos ejemplos son el grupo de las arcillas especiales (sepiolita, bentonita y attapulgita) y las diatomitas, junto con otros minerales como caolines, yeso, etc.

Las características del grupo de las arcillas especiales, caolín, bentonita y attapulgita, son aprovechadas en la fabricación de papel, pinturas, absorbentes, lodos de sondeos, etc.

La diatomita, roca formada fundamentalmente por diatomeas, tiene su mayor utilización como filtro para eliminar sólidos en suspensión de bebidas, zumos de fruta, aguas de piscinas, barnices, etc. También es usada como carga y cubriente en pinturas, papel, etc., y como componente abrasivo en productos para pulir.

Finalmente, destacan la ilmenita y el rutilo, como fuentes de titanio metal, para la elaboración de pigmentos.

### 3.3.4. Minerales para la industria del vidrio y de la cerámica

Sílice o cuarzo, flúor, carbonato sódico, boro, estroncio, litio, caolín (ya citado) y wollastonita son las principales materias primas o aditivos utilizados en estas industrias.

El cuarzo, procedente de arenas y gravas, es el constituyente principal del vidrio y con mayor consumo en esta industria. El resto tiene aplicación como fundente, abrasivo y para incrementar la porosidad de los campos o almacenes petrolíferos.

El 50 % del consumo de carbonato sódico, procedente del mineral natural (trona) y de su fabricación industrial a partir de sal común y caliza, se da en la industria del vidrio. El resto se emplea en sistemas de desulfuración, tratamiento de aguas, jabones y detergentes, papel y productos químicos.

El flúor, ampliamente utilizado como fundente en la industria siderúrgica y del vidrio, y en aparatos de refrigeración y aerosoles, centra la discusión sobre el uso de compuestos fluoroclorados al estimarse su intervención en la destrucción de la capa de ozono, una de las principales causas del cáncer de piel.

El boro es ampliamente utilizado en los Estados Unidos como fundente en la fabricación de vidrio, fibra de vidrio y material aislante, en tanto que en Europa se utiliza como elemento de carga en jabones y detergentes.

El vidrio que contiene estroncio bloquea la radiación de los tubos de la televisión en color, sin disminuir la calidad de la imagen, por lo cual, alrededor de un 80 % del consumo mundial se da en esta industria, utilizándose también en pirotecnia para dar color, en la producción de ferritas para imanes cerámicos y en las fundiciones de cinc electrolítico. España es el único país de la Unión Europea con minas en explotación, en la provincia de Granada.

Otro aditivo importante es el litio, que evita la expansión y contracción en los productos cerámicos con los cambios de temperatura, propiedad básica en multitud de productos, desde las naves espaciales a los utensilios de cocina.

Finalmente, las características químicas de la wollastonita predominan en su utilización en la industria cerámica (aislantes eléctricos, vitrificados, etc.). Su dureza, blancura, baja pérdida al fuego, pH y ser químicamente estable propician su utilización en pinturas, plásticos, adhesivos, etc.



Piedras preciosas.

### 3.4. PIEDRAS NATURALES

Las más usuales son el granito y rocas intrusivas conexas, la caliza, el mármol, la arenisca y la pizarra. Su utilización más frecuente es en forma de tableros, placas o losetas para recubrimiento y aislamiento de paredes, fachadas y tejados.



Cubierta de pizarra.

La extracción en granitos, calizas y mármoles se realiza mediante el uso de un cable, que lleva insertado unos pequeños cilindros con polvo de diamante, que corta la roca formando grandes bloques, que son cortados en tableros y losetas de dimensiones adecuadas y, posteriormente, pulidos. En el caso de las pizarras, se aprovechan los planos o superficies de esquistosidad, para obtener placas de espesores milimétricos, cuya principal utilización es la de cubierta exterior de tejados y, en menor proporción, para pavimentación y revestimiento, mampostería, mesas de billar, mezcla de asfalto, etc.

Dada la importancia adquirida por estas rocas en el sector de la construcción, existen normas que regulan su clasificación, su utilización, etc., en las que se especifican los ensayos para determinar su comportamiento frente a los esfuerzos, presiones, envejecimiento y agentes atmosféricos.

Es evidente que una gran parte de los residuos o desechos de la elaboración de bloques, tableros y losetas pueden emplearse como áridos o bien servir de materia prima para elaborar productos como carbonato cálcico, a partir de calizas o mármoles de gran pureza.

### 3.5. GEMAS Y PIEDRAS PRECIOSAS

Si bien los diamantes son los más conocidos y apreciados en el grupo de las gemas o piedras preciosas, las esmeraldas, rubíes, zafiros, ópalos, aguamarinas, ámbar, etc., son igualmente apreciadas por su rareza o escasez, color, brillo, dureza, etc. La mayoría son ofrecidas al mercado, tras su corte y pulido, con formas diferentes a como existen en la naturaleza.

## 4. LA LEGISLACIÓN MINERA

La legislación minera establece que todos los yacimientos de origen natural y demás recursos geológicos existentes en el territorio nacional son bienes de dominio público, cuya investigación y aprovechamiento está sujeto a un régimen jurídico específico que le permite a la Administración imponer condiciones para la cesión del derecho a terceros.

Los yacimientos minerales y demás recursos geológicos reclasifican en secciones:

- **Sección A:** recursos de escaso valor económico o aquellos otros que se usan directamente en obras de infraestructura, construcción y otros usos que no exigen más operaciones que las de arranque, quebrantado y calibrado.  
En la Comunidad de Madrid este grupo estaría formado fundamentalmente por la graveras y las canteras de caliza destinadas a áridos para construcción, así como por arcillas y yesos.
- **Sección B:** aguas minerales, termales, estructuras subterráneas y yacimientos de origen no natural.
- **Sección C:** recursos no incluidos en el apartado de la sección A anterior. Este grupo está formado en la Comunidad de Madrid por canteras para roca ornamental de granitos, calizas, etc., así como otros minerales no metálicos como yesos, bentonitas, sepiolitas, calizas para cementos y cales, etc.
- **Sección D:** recursos minerales energéticos.

Una vez otorgado el derecho minero, tras la presentación de los correspondientes estudios y proyectos, el titular está obligado a presentar anualmente un Plan de Labores, que básicamente consisten en un proyecto técnico en el que se detallan los parámetros principales de la explotación para el año siguiente, tales como altura de banco, toneladas previstas a extraer, restauración de terrenos alterados, maquinaria a emplear, etc.

Los planes de labores son estudiados para su aprobación y confrontados sobre el terreno, de tal manera que puede contrastarse el adecuado ritmo de explotación, las medidas adoptadas en materia de seguridad laboral y el cumplimiento de los planes de restauración.

De acuerdo al Real Decreto 2994/1982, de 15 de octubre, sobre restauración de espacio natural afectado por actividades mineras, con carácter previo a cualquier autorización de aprovechamiento o concesión de explotación, el titular deberá presentar a la autoridad minera un Plan de Restauración del Espacio Natural (PREN) afectado por la explotación para su autorización, todo ello con independencia del preceptivo Estudio de Impacto Ambiental sobre el que debe emitir una Declaración de Impacto Ambiental el Órgano competente en materia medioambiental. Las Declaraciones negativas o con prescripciones son vinculantes para el Órgano sustantivo.

Anualmente los titulares deben presentar, junto con el Plan de Labores, el programa de trabajos a realizar en cumplimiento del citado PREN. Estos programas son estudiados, confrontados y autorizados anualmente para comprobar la efectiva adecuación de la restauración realizada y, en su caso, modificar los avales impuestos como garantía de la restauración.



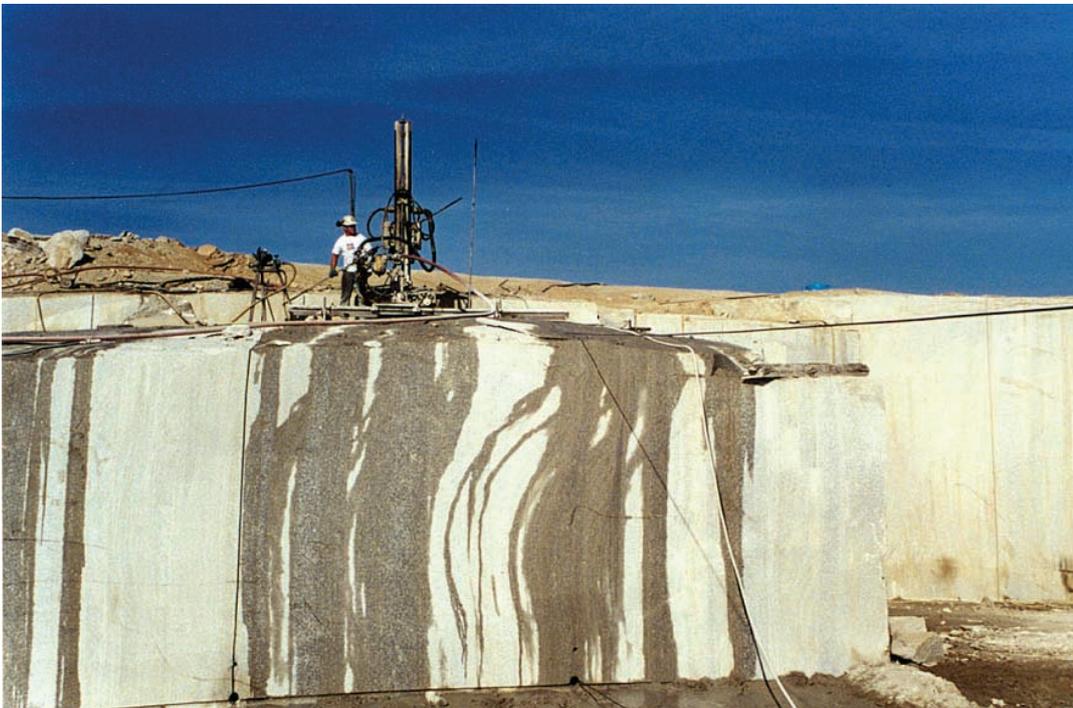
Volquete de 400 t de capacidad cargado con una excavadora hidráulica en una mina de carbón.

## 5. LA MINERÍA EN LA COMUNIDAD DE MADRID, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO

A pesar de su tamaño, la Comunidad de Madrid posee una importante presencia en el contexto de la minería española, a la que no es ajena la cercanía de un consumidor inmediato de sus productos.

Desde el punto de vista geológico, el territorio de la Comunidad puede dividirse en dos grandes zonas: el área de la Sierra de Guadarrama y Sierra Norte, donde predominan los fuertes relieves, así como los materiales rocosos muy antiguos y fuertemente deformados; y la cuenca mesozoica-terciaria, con rocas bastante más modernas y en posición horizontal.

En la región de la Sierra, en la antigüedad existieron yacimientos minerales de una gran variedad de metales (cobre, plata, estaño, wolframio y otros) que, hoy en día, tan sólo constituyen reliquias de una actividad ya pasada. No obstante, existe una importante producción de granitos con destino a la construcción y al ornamento, llegando a alcanzar el tercer puesto en la producción nacional de granitos ornamentales (197.335 t). Obsérvese que España ocupa uno de los primeros lugares de la industria mundial de la piedra natural. En el 2003, su valor era de 14,12 (M€), lo que significa 71,55 € por tonelada de granito en bruto, sin transformar en bordillos, escaleras o tableros para revestir suelos.



Preparación del corte de grandes bloques de granito mediante hilo de diamante. Este procedimiento supone un elevado aprovechamiento del recurso y una considerable reducción de consumo energético. Canteras de Valdemanco, Madrid.

Sin embargo, en la cobertera sedimentaria es donde la Comunidad de Madrid alcanza su mayor importancia productiva en rocas y minerales aprovechables. Así, en ella encontramos los mayores yacimientos de sepiolita del mundo, en calidad y cantidad, y producciones importantes de bentonitas, ambas destinadas a su comercialización con ligeras transformaciones para su uso doméstico, como lechos de animales (sobre todo de gatos). Las arcillas especiales (sepiolita y bentonita) en su conjunto se extraen en la cantidad de 750.000 t, por un valor superior a los 75 M€. Además, se producen 350.000 t de sulfato sódico, mediante su disolución en grandes piscinas excavadas en la misma roca y destinadas a una gran variedad de industrias. Su valor total es de aproximadamente 18 M€.



La Comunidad de Madrid es una de las grandes productoras de arcillas especiales del mundo. La cantera que aparece en la figura corresponde a una típica explotación de sepiolita y bentonita.

También se produce una importante cantidad de yeso que abastece a la industria del cemento y a los productores de transformados (escayolas y aislantes en diversos usos en la construcción). En total, el yeso extraído en la Comunidad de Madrid asciende a 1,56 Mt, lo que en el valor de mercado supondrían 6,7 M€.

Además, en cantidad y en valor acumulado destaca la producción de diversos materiales usados en la construcción, como las gravas y las arenas de las terrazas fluviales de los ríos Jarama y Manzanares. La cantidad acumulada de estos productos alcanza los 16,51 Mt, y su valor corresponde a 72,94 M€. A esta cantidad se debe añadir la piedra caliza machacada y triturada, que aporta a la construcción de Madrid 15,4 Mt de diversos productos, por un valor total de 54,9 M€. Estos materiales son realmente estratégicos para la industria de la construcción y su valor tiene una especial trascendencia en la calidad y en el coste de la construcción civil y pública. Las arenas y las gravas proceden sobre todo de las terrazas cuaternarias (aluviones muy modernos, geológicamente hablando) y ante las dificultades derivadas de su incidencia medioambiental y el agotamiento de sus reservas, la producción se ha derivado a los productos procedentes de la trituración de materiales consistentes como las calizas y granitos en áreas más alejadas de la capital.



Producción de gravas y arenas en las terrazas del río Jarama. La elevada calidad de estos recursos naturales ha beneficiado desde siempre al sector de la construcción de la provincia de Madrid. El agotamiento parcial de estos recursos y las limitaciones medioambientales están provocando su paulatina desaparición.

Como productos de cantera adicionales se completa la panorámica con las arcillas rojas y las calizas destinadas a usos variados: en la fabricación de los cementos, ladrillería y, en general, en la construcción.

Si se considera el valor de la producción minera de la Comunidad de Madrid, ésta alcanzaría en el año 2003 los 219,2 M€, desglosándose de la siguiente manera: 137,2 M€ para los materiales de la construcción (arcillas, gravas y arenas, yesos y calizas), 67,5 M€ para los "minerales industriales" (arcillas especiales, sulfato sódico y feldspatos) y 14,5 M€ de las rocas ornamentales. Por su valor minero, la Comunidad de Madrid ocupa el 7º lugar entre las comunidades autónomas. Sin embargo, estas estadísticas no siempre están completas y conviene añadir el valor estratégico que para ciertas industrias transformadoras (del yeso, químicas, de la construcción en general) supone el disponer de una producción propia.

Tal como hemos visto, existe una gran diferencia en el precio de las sustancias minerales. Las que giran alrededor de los 6 €/t, son los llamados "productos de cantera" (gravas y arenas, yesos, calizas), destinados a usarse como materiales directos de la construcción o como materia

prima para la industria del cemento. Se consumen en grandes cantidades (Mt cada año) y de su precio depende en parte el coste de la construcción, además de su calidad, cada vez más exigente. Otras sustancias minerales más valiosas son los denominados "minerales industriales": las arcillas especiales (bentonita y sepiolita), el sulfato sódico (glauberita) y las piedras naturales. Sus precios unitarios no difieren sustancialmente y oscilan entre 70 € y 110 € por tonelada vendida.

El sector de la minería en la Comunidad de Madrid, como ya se ha señalado anteriormente, ocupa el 7º lugar entre las comunidades españolas, creando 1.188 puestos de trabajo directos y, probablemente, más de 3.000 asociados o indirectos. Ello resulta, en principio, bastante destacable ya que Madrid es un territorio extremadamente pequeño, en comparación con otras comunidades. Esto no debe extrañar, y no constituye el único caso, ya que en otras grandes urbes del mundo (Sao Paulo, por ejemplo) existen importantes producciones mineras destinadas al abastecimiento de industrias locales, y sobre todo, a la construcción.



Explotación de áridos restaurada mediante cultivo de girasoles.