

Conozcamos más sobre Minería

Eddy Lavandaio

DE LA MINA



A LA CIUDAD



AUTORIDADES

Presidente de la Nación
Dra. CRISTINA FERNÁNDEZ de KIRCHNER

Ministro de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios
Arq. JULIO DE VIDO

Secretario de Minería
Ing. JORGE MAYORAL

Secretario Ejecutivo del Servicio Geológico Minero Argentino
Lic. PEDRO ALCÁNTARA

Director del Instituto de Geología y Recursos Minerales
Lic. ROBERTO PAGE

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Esta publicación debe citarse como:

Lavandaio, E., 2014. Conozcamos más sobre Minería. Serie Publicaciones N°168 - 2ª edición. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Buenos Aires.

DISEÑO EDITORIAL: DANIEL RASTELLI

ISSN 0328-2317

ES PROPIEDAD DEL INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES – SEGEMAR
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN



**INSTITUTO DE
GEOLOGÍA Y
RECURSOS
MINERALES**

Av. General Paz 5445 (Colectora provincia)
Edificio 25 | 1650 - San Martín - Buenos Aires
República Argentina
(11)5670-0211 | telefax (11)4713-1359

SEGEMAR

SERVICIO GEOLÓGICO
MINERO ARGENTINO

Av. Julio A. Roca 651 | 3º Piso
1067 - Ciudad de Buenos Aires
República Argentina
telefax (11)4349-3162 | www.segemar.gov.ar

INDICE

PRÓLOGO A LA SEGUNDA EDICIÓN	1
INTRODUCCIÓN: NUESTRA CULTURA MINERA	1
TEMA 1 - GENERALIDADES	3
Qué son los minerales?. Para qué sirven los minerales? La sociedad es mineral dependiente. Qué minerales se Usan?. De donde se obtienen? Características de la minería: realidad y leyenda. Componentes de un Establecimiento minero. Clasificación de las materias primas minerales. Quiénes son los dueños de las minas? Cómo se adquiere una mina? Autoridad minera y derechos Mineros.	
TEMA 2 - YACIMIENTOS	15
Qué es un yacimiento? Forma. Cantidad. Tamaño del yacimiento y escala de producción. Recursos y reservas. Ubicación. Composición. Calidad.	
TEMA 3 - ETAPAS DE LA ACTIVIDAD MINERA – ETAPA DE RIESGO MINERO O DE PREINVERSIÓN	21
Etapas. Búsqueda y descubrimiento. Prospección. Exploración. Cubicación de recursos y/o reservas. Estudio mineralúrgico e ingeniería del proyecto. Estudio de factibilidad. Informe de impacto ambiental. El carácter no renovable de los recursos mineros	
TEMA 4 - ETAPAS DE LA ACTIVIDAD MINERA – ETAPA DE NEGOCIO MINERO O DE INVERSIÓN	35
Financiación y construcción. Explotación o extracción. Preparación o tratamiento de minerales. Cuántos minerales pueden separarse y concentrarse como mena? Cierre de la mina.	
TEMA 5 - IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DE LOS PROYECTOS MINEROS	43
Características particulares del negocio minero. Relación con el concepto mundial de desarrollo sustentable. La construcción de una mina. El impacto de las minas como fuente de producción y trabajo. Cómo se distribuye el impacto económico de una mina. El impacto social.	
TEMA 6 - IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PROYECTOS MINEROS	49
El antes y el después. Las materias primas minerales y el medio ambiente. El Régimen de Protección Ambiental. Impacto ambiental en las diferentes etapas. Algunos ejemplos de impacto ambiental. 1.- Cambios en el paisaje 2.- Impacto físico y químico de la mina propiamente dicha. 3.- Impacto de plantas industriales de tratamiento 4.- Cantidad de agua que se usa 5.- Minería y glaciares. 6.- Diques o depósitos de colas 7.- Minería a cielo abierto o minería subterránea? 8.- Seguridad. Contingencias. Accidentes. Monitoreo. 9.- Cierre de minas. Remediación paisajística y de otros pasivos.	
TEMA 7 - APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL	70
TEMA 8 - POLÍTICA Y ECONOMÍA MINERA	73
La realidad minera previa a 1990. Una nueva política minera. Resultados de la política minera. País con minería: producción, importación y exportación. Beneficios impositivos y recaudación tributaria. Las instituciones de la minería.	
BIBLIOGRAFÍA	82
ANEXO 1 - Minas y proyectos mineros importantes	84
ANEXO 2 - Cianuro – Su uso en la minería del oro	89
ANEXO 3 - Minerales de uso común en la construcción de una vivienda	91
ANEXO 4 - Abundancia promedio de elementos químicos en rocas ígneas más comunes	92

EL AUTOR

Eddy Omar Luis LAVANDAIO, es GEOLOGO egresado de la Universidad Nacional de Córdoba en 1967. Realizó un post grado en METALOGENIA, TIPOLOGIA, PROSPECCION Y EVALUACION DE YACIMIENTOS CUPRIFEROS, en la Universidad Nacional de San Juan, y asistió a diversos cursos de capacitación y/o especialización, tanto en el país como en el extranjero.

Ingresó al Instituto Nacional de Geología y Minería (actual SEGEMAR) en 1967 y realizó trabajos de prospección y exploración minera en diferentes lugares del país. Dentro de la Repartición ocupó diversos cargos y funciones como Coordinador Técnico del Plan La Rioja, Director Ejecutivo del Plan Mendoza, Director de Recursos Geológico Mineros y Coordinador de las Delegaciones Regionales.

En otro ámbito ha sido miembro de la Autoridad Minera de la Provincia de Mendoza y Representante en el Consejo Federal de Minería. También fue vicepresidente del Consejo Profesional de Ingenieros, Arquitectos, Agrimensores y Geólogos de Mendoza, vicepresidente de la Asociación Argentina de Geólogos Economistas y presidente de la Asociación Geológica de Mendoza.

Se ha desempeñado durante veinte años como profesor titular de Mineralogía y Geología en la Universidad Juan A. Maza y ha sido Profesor visitante en la Universidad Nacional de San Luis. Ha dictado cursos sobre su especialidad en diferentes ámbitos y ha publicado numerosos trabajos de tipo científico y de interés general. Entre otras obras, es coautor y coeditor de la Historia de la Minería Argentina publicada por el SEGEMAR en 2004.

Actualmente se desempeña en la Delegación Mendoza del SEGEMAR y además es docente en cursos de capacitación del INAP y en la carrera de Minería del Instituto Superior Técnico de Mendoza.

PRÓLOGO A LA SEGUNDA EDICIÓN

En los últimos años, la minería ha sido noticia con más asiduidad que nunca y también ha sido el tema central de acalorados debates. La inversión en minería, la creación de nuevas fuentes de trabajo, la producción y la exportación de sus productos se han incrementado en forma significativa pero los cuestionamientos económicos, políticos y ambientales pusieron reparos al desarrollo de la actividad, generando prohibiciones y otros impedimentos en varios lugares del país.

A fines del 2007 el SEGEMAR decidió publicar un pequeño libro destinado a explicar cómo es la actividad minera, cuál es la importancia del uso de los minerales, cómo funciona la actividad, cuáles son sus partes y como se inserta en el contexto del desarrollo sustentable de la sociedad. La publicación se hizo en mayo de 2008 con el título "Conozcamos más sobre minería".

Esa edición se agotó y en general consideramos que cumplió con el objetivo de informar a la población de una manera objetiva y en un lenguaje accesible. Por eso, en esta nueva edición se reiteran varios de los temas básicos del primer libro y se agregan o amplían otros que, a través del tiempo transcurrido, hemos percibido que no estaban suficientemente abarcados o que requerían un mayor detalle en su desarrollo.

INTRODUCCIÓN: NUESTRA CULTURA MINERA

La Argentina, cuyo nombre (derivado del latín: argentum = plata) alude a las minas de plata, desde los tiempos de la colonización española tuvo la intención de ser un país minero, intención que se sostuvo hasta las primeras décadas de la vida independiente. Pero, desde fines del siglo XIX desarrolló un modelo económico agro-ganadero, fundamentalmente basado en las formidables condiciones de la Pampa Húmeda, una región envidiable a nivel mundial por su capacidad de producción. Este exitoso modelo, lógicamente, creó una "cultura agro-ganadera" paralela en la comunidad, y la vieja "cultura minera" se fue perdiendo con el correr del tiempo, hasta desaparecer, de tal modo que la población argentina carece hoy en día de los conocimientos básicos acerca de cómo es y cómo funciona la minería, y particularmente, la incidencia que tiene el aprovechamiento industrial de los minerales en la vida actual de los seres humanos.

Otro factor que contribuyó y mucho para llegar a la actual falta de conocimientos sobre el uso de los minerales

fue la eliminación de la asignatura "Mineralogía y Geología" que se dictaba en el cuarto año de todos los colegios nacionales y normales hasta mediados del siglo XX. Correlativamente, esa asignatura se cursaba después de un previo aprendizaje de Física y de Química, y de ese modo tanto los estudiantes del bachillerato como los futuros maestros adquirirían un conocimiento básico bien fundamentado acerca de los recursos minerales. Hoy, ni maestros ni alumnos tienen la posibilidad de acceder a esos conocimientos.

La falta de cultura minera se hace evidente en muchas de nuestras actitudes cotidianas. Por ejemplo, si nos servimos una copa de vino, inmediatamente asociamos el contenido de la copa con un viñedo, con las uvas que se usan para elaborarlo. Sin embargo, generalmente, no se nos ocurre asociar el vidrio de la copa con los minerales que se utilizaron para su fabricación. Lo mismo pasa si nos servimos un bife de chorizo cuya asociación con la vaca y el campo es espontánea, pero no se nos ocurre pensar de



La botella y la copa son de vidrio que se fabrica con varios minerales: cuarzo (dióxido de silicio), feldespato (silicato de aluminio y potasio), calcita (carbonato de calcio), dolomita (carbonato de calcio y magnesio), trona (carbonato de sodio) y bórax (borato de sodio hidratado).

dónde salieron el tenedor, el cuchillo y el plato.

Como consecuencia del modelo agroganadero, la minería argentina nunca se había desarrollado de acuerdo a las posibilidades de sus condiciones geológicas y tradicionalmente el país padeció un crónico déficit en su balance comercial debido a que siempre tuvo que importar mucho más de lo que exportaba en materia de minerales. Varias provincias alejadas de la Pampa Húmeda quedaron relegadas como consecuencia del modelo, ya que muchas de sus posibilidades de crecimiento económico dependían del desarrollo del potencial minero. La consecuencia más dolorosa para esas provincias fue el éxodo de sus jóvenes que buscaron un futuro mejor en las provincias del este, especialmente en Buenos Aires.

Por obra de los vaivenes propios de la política o por la evolución de las condiciones económicas, en la última década del siglo XX, los dirigentes del sector (políticos, empresarios, gremialistas, profesionales) se pusieron de acuerdo en formular una política de largo plazo para promover la inversión en minería. Como consecuencia, se produjo una positiva respuesta de empresas e inversionistas, en



Los cubiertos son de acero inoxidable, una aleación que se fabrica utilizando hematita o magnetita (óxidos de hierro), carbón mineral (carbono), calcita (carbonato de calcio), dolomita (carbonato de calcio y magnesio), psilomelano (óxido de manganeso hidratado) y cromita (óxido de hierro y cromo). El plato, de loza esmaltada, se hace con caolín (silicato de aluminio), feldespato (silicato de aluminio y potasio), cuarzo (dióxido de silicio) y fluorita (fluoruro de calcio).

su mayoría internacionales, que llevaron a cabo inversiones de riesgo en yacimientos y en áreas potencialmente favorables, principalmente en la Región Andina y en la Patagonia. Como resultado de ese proceso, se pusieron en producción varias minas que, en poco tiempo, crearon miles de puestos de trabajo y multiplicaron el valor de las exportaciones de origen minero, a la vez que se avanzó en la exploración y estudios de factibilidad de otros yacimientos.

Sin embargo, apenas comenzado este nuevo siglo, se presentaron ciertos inconvenientes y algunos cuestionamientos a proyectos mineros que no solo alcanzaron repercusión pública sino que generaron actos concretos de algunas autoridades políticas para detener o impedir la concreción de los emprendimientos. Sin hacer juicios de valor, estos hechos han puesto de manifiesto, entre otras cosas, el déficit de conocimientos sobre la actividad minera (y su utilidad) a nivel general y la falta de comunicación por parte de los actores hacia la comunidad.

Esperamos que este pequeño libro sirva para aportar una base de información acerca de esta actividad extractiva que, con su desarrollo, permitió el progreso de la humanidad hasta el nivel que hoy disfrutamos.

1. GENERALIDADES

¿QUÉ SON LOS MINERALES?

En general, los **minerales** son los componentes de las todas las **rocas** del planeta. Desde un punto de vista científico, los **minerales** son sustancias químicas inorgánicas naturales, de propiedades físicas constantes y composición química definida que están formados por una combinación de dos o mas elementos químicos (la calcita, por ejemplo, es una combinación de calcio, oxígeno y carbono) aunque hay algunos constituidos por uno solo (como el azufre, el oro o el grafito). Son sólidos y cristalinos, con algunas excepciones.

Algunas veces, los **minerales** se presentan con formas cristalinas muy vistosas y llamativas (cristales de cuarzo, calcita, pirita, turmalina) que son las que comúnmente vemos y admiramos en los museos de mineralogía (figura 1.1). Sin embargo, en la gran mayoría de los casos se ven como simples agregados de aspecto pétreo que llamamos rocas. Las **rocas** son los materiales que forman la parte sólida del planeta, sobre la que vivimos y transitamos (figura 1.2).

Las definiciones científicas siempre se refieren a minerales en estado sólido, pero debemos tener en cuenta que en la naturaleza las sustancias minerales pueden cambiar de estado y pasar a ser líquidos o gases y viceversa, siempre y

cuando se den las condiciones físicas adecuadas.

El agua, por ejemplo, también es una sustancia mineral y, por su estado comúnmente líquido, tiene la particularidad de contener otros minerales en solución. El agua de mar es la que los contiene en mayor proporción. Asimismo, el mercurio nativo es un mineral líquido.

También se consideran dentro del reino mineral a los **hidrocarburos**, que son sustancias químicas orgánicas, formadas por carbono e hidrógeno.

¿PARA QUÉ SIRVEN LOS MINERALES?

La evolución del hombre y el progreso de la sociedad están directamente relacionados con el uso de minerales. En efecto, desde los tiempos más remotos, los primitivos seres humanos fueron aprendiendo a valerse de los minerales para mejorar su vida cotidiana y los empezaron a usar de manera cada vez más variada y compleja, en la medida que también desarrollaban su inteligencia.

Esa relación es tan importante que los estudiosos de la **Prehistoria** (Historia anterior a la escritura) han basado la división de esos tiempos haciendo exclusiva referencia al tipo de **sustancia mineral** que en cada período utilizaron, en



Figura 1.1: Pocas veces los minerales se presentan con hermosas formas cristalinas como este cuarzo



Figura 1.2: Por lo general, el cuarzo se presenta con aspecto pétreo como se ve en el afloramiento de la fotografía.

PREHISTORIA				
Resumen generalizado de la división en edades según el uso de los minerales				
Edades	Divisiones	Comienzo en años antes del presente	Referencias de la Antropología	Referencias de la Arqueología . Uso de minerales y metales
Edad de Piedra	Paleolítico	2.500.000 1.200.000	Hominidos <i>Homo hábilis</i> . Primeros seres humanos	Uso de guijarros
		1.000.000 400.000	Los humanos dominan el fuego	Primeras piedras bifaces Primitivas cerámicas por cocción de arcillas
	Mesolítico	200.000	<i>Homo sapiens</i> . Nómadas, cazadores y recolectores	Se usan utensilios y herramientas de piedra (pedernal, calcedonia, cuarcita) y cerámicas
	Neolítico	30.000	Se construyen primeras aldeas y comienza la agricultura y la ganadería	Desarrollo de la alfarería y elaboración de recipientes de cerámica . Industria de piedras geométricas y construcciones megalíticas
Edad de los Metales	Edad del Cobre	8.000	Aparece estratificación social. Comienza la fundición de metales.	Primeros objetos de cobre Se inventa la rueda
	Edad del Bronce	5.000	Desarrollo de comunidades urbanas. Se confeccionan manufacturas más diversas y mejor elaboradas.	Primeros objetos de bronce
	Edad del Hierro	3.300		Primeros objetos de hierro

un todo de acuerdo con los restos arqueológicos existentes.

Así, al primer lapso de los tiempos prehistóricos se le llama "Edad de Piedra" o "Edad Lítica" porque en ese período los humanos comenzaron a usar cierto tipo de "piedras" para elaborar con ellas desde rudimentarias herramientas, utensilios o armas, útiles para procurarse alimentos, hasta primitivos refugios o viviendas

En la primera parte de la Edad de Piedra, que se denomina período **Paleolítico**, comenzó el uso de diversos **guijarros** (cantos rodados o rocas redondeadas de los cursos fluviales), partidos, canteados o raspados para que tuvieran filos o puntas (figura 1.3).



Figura 1.3: Con guijarros se modelaron las primeras herramientas.

Una mayor cantidad de objetos se produjeron eligiendo cierto tipo de piedras como **pedernal, calcedonia, ágata, obsidiana, vidrio volcánico y cuarcitas**, que tienen una gran dureza y al canteirlas generan bordes filosos y puntiagudos. Con ellas se elaboraron puntas de lanza, cuchillos, hachas, raspadores y martillos. Paralelamente, como las piedras mencionadas (todas formadas esencialmente por **sílice microcristalina o cuarzo**) producían chispas al golpearse o rozarse también sirvieron



Figura 1.4: Con pedernal se hicieron herramientas y armas, y encendieron fuego.

para prender fuego, cuyo dominio fue un elemento significativo de poder en la relación del hombre con otras especies (figura 1.4) y le permitió, mas adelante, disponer de energía calorífica para las primeras industrias.

La última parte de la Edad de Piedra, que es el período **Neolítico**, se caracteriza por una mayor diversidad de usos de rocas y minerales, con los que se elaboraron desde mazas y dispositivos para trituración y molienda hasta viviendas (Figura 1.5). Al mismo tiempo se comenzó a utilizar el fuego para "cocinar" piezas hechas de barro (arcilla con agua) de formas y tamaños cada vez más variados, fabricando recipientes (Figura 1.6) y otros elementos muy útiles como los primeros ladrillos.

En este último período, y con esos adelantos, los hombres dejaron de ser recolectores de productos naturales y cazadores en amplias zonas y comenzaron a reunirse en aldeas, emprendiendo las primeras formas de agricultura y ganadería (Cailleux A., 1964).

A la Edad de Piedra le sigue la **Edad de los Metales**, época en la que se hicieron los primeros hornos para fundir y separar metales de los minerales que los contenían y, además, darles forma golpeándolos o moldeándolos. Los primeros fueron los mas blandos y de menor punto de fusión, como el cobre y el oro.

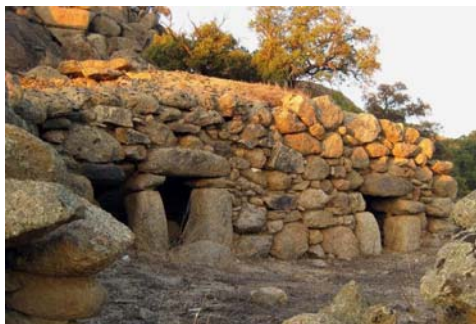


Figura 1.5: refugios construidos con piedras.



Figura 1.6: Con el calor del fuego se "cocinan" piezas y recipientes modeladas en barro, desarrollando la alfarería.

El orden cronológico en que los diferentes metales se fueron obteniendo y utilizando permiten subdividir esta época en una **Edad del Cobre**, cuyos registros arqueológicos datan de unos 8.000 años atrás (Figuras 1.7 y 1.8), una **Edad del Bronce**, desde hace unos 5.000 años, y una **Edad del Hierro**, a partir de unos 3.300 años atrás.

El **bronce** no es un metal sino una aleación obtenida mezclando nueve partes de **cobre** con una de **estaño**. Con este material se desarrolló la industria metalúrgica, fabricando gran variedad de manufacturas (figuras 1.9 y 1.10).

Durante la Edad del Bronce también se conoció al **hierro** pero como su metalurgia era más difícil su utilización por



Figura 1.7: Lingote de cobre de 8.000 años de antigüedad, hallado en Zagros, Irak.



Figura 1.8: Objetos de cobre hallados en Dholavira en el valle del Indo, India.



Figura 1.9: Antiguo escudo británico de bronce decorado,



Figura 1.10: Manufactura moderna de bronce

parte del hombre se produjo mucho después, hace unos 3.300 años. Desde esa época se fueron obteniendo aleaciones de **hierro y carbono**, con distintas propiedades, que son las que genéricamente conocemos hoy en día como **acero**, un material mucho más duro y resistente que el bronce.

La industria del acero, junto con la metalurgia del cobre y demás metales permitió la fabricación de las más variadas manufacturas hasta llegar a las máquinas y vehículos autopropulsados (figura 1.11). Por ejemplo, con esas aleaciones metálicas se hicieron generadores de energía eléctrica, cables para su transporte y baterías para su almacenamiento.

A la vez, la producción de energía eléctrica permitió, a fines del siglo XIX,

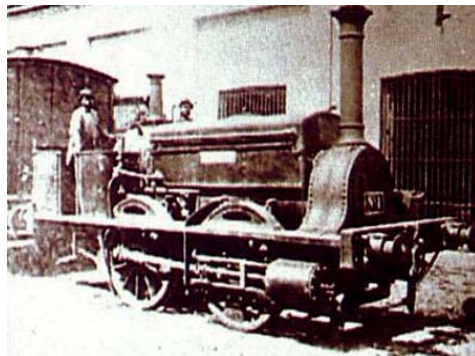


Figura 1.11: Locomotora La Porteña, hecha con acero, que es una aleación de hierro y carbono.



Figura 1.12: Con aluminio se hacen máquinas más livianas

comenzar con la metalurgia del aluminio, un metal con el que se hacen máquinas más livianas como las aeronaves (figura 1.12).

El primer combustible usado para las máquinas y vehículos fue el carbón mineral. Luego sobrevino el aprovechamiento de los hidrocarburos, y se generalizó la fabricación de materiales plásticos hechos a base de petróleo o gas. No puede dejar de mencionarse el desarrollo de otras industrias como las del vidrio, de la cal, el cemento, la cerámica, y muchísimas sus-



Figura 1.13: Caminos y puentes



Figura 1.14: Edificaciones



Figura 1.15: Vías férreas y trenes



Figura 1.16: Embarcaciones y puertos

tancias más, producidas a partir de materias primas minerales.

Hoy en día podemos afirmar que ya no vivimos desnudos y a la intemperie, como nuestros ancestros. Ahora vivimos en una especie de "mundo artificial" en el que casi todas las cosas que tenemos y usamos se hacen con minerales (figuras 1.13 a 1.20).



Figura 1.17: Vehículos automotores



Figura 1.18: Tractores y máquinas agrícolas



Figura 1.19: Máquinas viales



Figura 1.20: Energía y comunicaciones

LA SOCIEDAD ES MINERAL - DEPENDIENTE

En el título anterior decíamos que casi todas las cosas que tenemos y usamos se hacen con materias primas minerales. Pero... ¿nos damos cuenta de eso? No, comúnmente no nos damos cuenta, tal vez por falta de curiosidad por saber el origen de cada una de las cosas con las que convivimos o quizá por esa falta de cultura minera mencionada en la introducción.

Si observamos nuestra propia casa, podemos comprobar que casi todo está hecho con minerales. En efecto, ladrillos, tejas, cerámicas, baldosas, hormigones, revoques, vidrios, plásticos, hierros, chapas, alambres, bronces, caños, cables, herrajes, pinturas, sanitarios, herramientas, vajilla y utensilios están hechos con materias primas de origen mineral.

Si salimos de casa para ir a cualquier parte, usamos un vehículo que está construido en su totalidad con insumos tomados del reino mineral. También son de origen mineral el combustible que lo hace funcionar, el pavimento sobre el que se desplaza y hasta los semáforos que lo detienen en las esquinas.

Sin materias primas minerales no existirían las grandes obras civiles, los ferrocarriles, los barcos, los aviones y otros sistemas de transporte. No habría máquinas ni instalaciones industriales. No tendríamos cocinas, lavarropas, heladeras, televisores, máquinas de coser, calefones, acondicionadores, estufas, planchas, enchufes ni lámparas. No existirían las computadoras ni los sistemas de comunicación. Tampoco se podría producir y transportar energía, y no habría herramientas o máquinas para sembrar, cosechar, elaborar, procesar, conservar y transportar alimentos o producir vestimentas.

En definitiva, el **desarrollo** de la sociedad está **sustentado** sobre la base de la producción e industrialización de minerales. Por eso decimos que la sociedad es mineral - dependiente.

¿QUÉ MINERALES SE USAN?

Desde la muy conocida sal con la que sazonomos nuestras comidas diarias has-

ta las exóticas tierras raras (elementos químicos del grupo del lantano) con las que se hacen, entre otras cosas, elementos incandescentes que no se queman, la cantidad de especies o compuestos de origen mineral que se usan es enorme, no menor de quinientas. Esto está relacionado con la evolución y perfeccionamiento de la industria.

Por ejemplo, la fabricación de vidrio requiere no menos de seis minerales (cuarzo, bórax, trona, calcita, dolomita y feldespato) y la elaboración de cemento portland cinco (calcita, caolinita, montmorillonita, yeso y hematita).

Por otra parte hay algunos minerales que tienen una gran diversidad de apli-

caciones. El caso más notable es el del cuarzo, que es utilizado para obtener cerca de 100 productos diferentes, desde el vidrio y el ferrosilicio hasta las siliconas, la fibra óptica y los paneles de celdas fotovoltaicas.

¿DE DÓNDE SE OBTIENEN LOS MINERALES?

El sector de la economía que produce los minerales que la sociedad demanda es la **minería**.

Si bien hay minerales en todas partes, la producción de un determinado mineral se realiza únicamente en ciertos lugares que, geológicamente, se llaman **yacimientos**. Los yacimientos son sitios en los cuales la naturaleza se encargó de concentrar una sustancia determinada, de tal modo que su explotación es factible y rentable. Comúnmente estas explotaciones son conocidas con el nombre de **minas y canteras**.

La minería es una actividad extractiva. Es decir que la sustancia mineral que se requiere debe ser extraída de la mina y llevada a su lugar de uso o de industrialización. En el lugar del yacimiento donde estaba el mineral extraído quedan huecos, que pueden tener distinta forma y tamaño de acuerdo a la cantidad extraída y a su distribución original. Son las llamadas **labores de la mina**, una consecuencia inevitable de la extracción (figuras 1.21 y 1.22).

¿Y dónde están ahora todos los minerales que se extrajeron de esas labores mineras?. Transformados en mayor o menor grado por la industria, están ahora en las ciudades y en todas las cosas y objetos que usamos (Figura 1.23).

Un buen ejemplo es la cantera del cerro de la Cal, cerca de la ciudad de Mendoza. Se trata de un cerro de relativa magnitud, compuesto por piedra caliza que se extrae para fabricar cemento y cal para la industria de la construcción. A medida que avanza la explotación el cerro se va rebajando, se va achicando. Todos los materiales que estaban en ese "huevo" del cerro están ahora, transformados, en los edificios y otras construcciones de la ciudad de Mendoza.



Figura 1.21: Cantera de arcillas en la Provincia de Buenos Aires



Figura 1.22: Mina de boratos en la Puna



Figura 1.23: Los materiales extraídos de las minas están ahora en las ciudades y en todas las cosas y objetos que usamos

Esta es una regla general de esta actividad: a medida que avanza la extracción, los huecos y la disposición de rocas sobrantes producen un **impacto visual** que es **inevitable**. No obstante, como se explicará más adelante, el impacto no debe producir **daños** en el medio ambiente. Para ello hay normativas y controles específicos que este tipo de establecimientos tienen que cumplir en su etapa de producción, y para el cese de la actividad productiva existe la obligación de planificar y llevar a cabo un adecuado cierre de la mina y la remediación del paisaje, en armonía con el entorno.

CARACTERÍSTICAS DE LA MINERÍA: REALIDAD Y LEYENDA

Como toda actividad económica, la minería funciona sobre la base de normas y encuadres específicos de tipo legal, técnico y comercial. Para desarrollar una actividad minera en forma adecuada hay que conocer y observar esas normas.

En la imaginación de mucha gente, se la suele incluir en un contexto de aventuras y leyendas, como si fuera una actividad totalmente dependiente del azar, en especial en lo que se refiere a los descubrimientos. En realidad, hoy en día el descubrimiento de una manifestación mineral se hace sobre la base de sólidos conocimientos geológicos y la aplicación de tecnología apropiada, y ya no se puede hablar de un hallazgo como si fuera un simple acto de suerte. No debe compararse con encontrar un tesoro o con ganar la lotería. La suerte puede ayudar, como en cualquier actividad, pero no es el factor determinante.

Tampoco debe pensarse que una vez descubierto un yacimiento mineral sólo hay que "sacar y vender" su contenido. Muchas personas aún imaginan la mina como un simple socavón en medio de las montañas y un pequeño grupo de mineros saliendo del interior con una carga de metal valioso para su venta.

No es así. El aislado socavón, que algunos evocan como "la minería tradicional", salvo escasas excepciones, ha sido reemplazado por un mayor desarrollo de labores rodeadas de obras e instalaciones,

y lo que se extrae de una mina metalífera es una roca, una mezcla de diferentes minerales entre los cuales están los que contienen el metal que nos interesa.

Por ejemplo, un yacimiento de cobre es una masa de material rocoso que contiene un pequeño porcentaje de mineral de cobre mezclado con otras sustancias. El material debe extraerse del yacimiento y transportarse a una planta industrial en la que es sometido a una serie de procesos metalúrgicos para separar el mineral de cobre de los otros componentes. De esa manera, a partir del material extraído del yacimiento se elabora un producto, que se llama concentrado de cobre, que es el que finalmente se vende.

La demanda creciente de minerales por parte de la sociedad y el avance científico y tecnológico han cambiado la escala y las formas de trabajo, de manera que en la mayoría de los casos las minas son complejos establecimientos minero industriales que ocupan predios de un tamaño acorde a todo ese despliegue de construcciones, instalaciones y operaciones.

A través del cine se han mostrado muchas historias fantásticas con exageraciones y distorsiones que no se ajustan a la realidad. Las famosas "fiebres del oro" existieron en muchas partes, incluso en nuestro país. En todos esos casos, mucha gente terminó en la ruina, y los que lograron mantenerse lo hicieron en base a un trabajo muy duro e insalubre que sólo les permitió alcanzar el precario sustento personal y de su familia, a la espera de tiempos mejores.

Otros relatos se refieren a la búsqueda de la mina abandonada o mina perdida. Cuando los buscadores encuentran la mina, festejan como si hubieran encontrado un tesoro y termina la película. En realidad el mundo está lleno de minas abandonadas. Y las minas se abandonan, lógicamente, cuando no generan ningún beneficio económico.

Dejando de lado historias y relatos poco acordes con la realidad, la población padece de una falta de información sobre la minería. En primer lugar, la mayoría no tiene oportunidad de ver minas porque casi siempre se ubican en lugares alejados de las ciudades y rutas más transitadas. En segundo lugar, la información

que se recibe a través de las escuelas, es muy escasa e inadecuada para alcanzar un conocimiento mínimo razonable sobre el tema. Y por último, la información institucional de las entidades del sector, sean gubernamentales o privadas, no suelen tener carácter docente.

Por eso, una de las primeras cosas que vale la pena explicar es que la palabra **mina** tiene dos significados, uno legal y otro económico.

De acuerdo al ordenamiento legal vigente en nuestro país, las autoridades mineras otorgan **minas** a cualquier ciudadano o empresa que lo solicita con el solo requisito de que demuestren haber descubierto la presencia de un mineral determinado.

En este caso **mina** es, simplemente, el nombre de la propiedad minera otorgada, pero todavía no tiene ningún valor económico. En consecuencia, no debe asociarse mágicamente a un concepto de **riqueza**, como a veces se hace.

En una etapa posterior debe realizarse la inversión necesaria para explorar ese descubrimiento y estudiar sus posibilidades hasta ejecutar un estudio de factibilidad que demuestre que ese mineral descubierto es explotable con beneficio. Una vez hecho y si los resultados son positivos, se está en condicio-

nes de construir un establecimiento dedicado a la producción. El yacimiento en producción también recibe el nombre de **mina** y ahora sí, tiene valor económico. Si bien es muy frecuente que con el nombre de la mina se designe a todo el establecimiento, debe quedar claro que en sentido estricto **mina** es solamente el **lugar donde se extrae el mineral del yacimiento**.

Al igual que en otras actividades, existen explotaciones mineras **pequeñas, medianas y grandes**, de modo que en este sector también hay empresas de diferente tamaño. Hay algunos casos en los que la minería se hace en muy pequeña escala, mediante un trabajo individual y con métodos principalmente manuales, como la extracción de oro de arenas fluviales de la zona de La Carolina, en San Luis. En estos casos se prefiere hablar de **minería artesanal** o microemprendimientos.

LOS COMPONENTES DE UN ESTABLECIMIENTO MINERO

La apertura, la operación y la producción de una mina requieren obras, construcciones, instalaciones, maquinaria, transportes y, por supuesto, mano de obra, agua, energía y servicios.

Con frecuencia, los minerales útiles, que llamamos **mena**, están mezclados con otras sustancias no útiles denominadas **ganga**. En estos casos, a la actividad extractiva que se hace en el yacimiento debe agregarse una planta industrial cercana que procesa el material extraído y separa la mena del resto. Este proceso genera un producto que es el **concentrado** y un material sobrante llamado **cola** que se almacena en un lugar seguro previamente establecido: el dique o **depósito de colas** (figura 1.24).

Por otra parte, el yacimiento suele estar cubierto y rodeado por otros materiales pétreos que, en parte, deben ser removidos para acceder a la mena durante la explotación. Esos materiales se depositan en lugares previamente elegidos y su acumulación se llama **escombrera**.

En la mayoría de los casos las minas están lejos de centros poblados y se cons-



Figura 1.24: Imagen satelital Aster del establecimiento minero industrial Bajo de la Alumbraera. A la izquierda (a) está la mina a cielo abierto (llamada open pit, en inglés), un poco más arriba se observa la cinta transportadora y el sector de almacenamiento (b) de mineral para alimentar a la planta (c). En el centro de la imagen se ven las escombreras (d) y a la derecha está el dique de colas (e).

truyen edificios para oficinas y depósitos, y un campamento para la vivienda del personal que tiene los mismos requerimientos que una pequeña ciudad en materia de servicios, seguridad, salud, prevención de accidentes y mantenimiento.

En definitiva, lo que llamamos genéricamente minas son casi siempre complejos establecimientos minero - industriales que poseen todas las unidades o componentes necesarios para producir las materias primas minerales que la industria requiere.

CLASIFICACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS MINERALES

Desde un punto de vista práctico, y atendiendo al destino que se da a los minerales, se acostumbra dividirlos en cuatro grupos:

1. Minerales metalíferos: Son los que se utilizan para obtener un metal. Por ejemplo, la calcocita es un sulfuro de cobre que se procesa para obtener el cobre metálico.
2. Minerales industriales: Por sus propiedades físicas o químicas, se usan como insumos o materias primas para obtener sustancias o productos industriales con determinadas características. Por ejemplo, la silvita es cloruro de potasio al que se le eliminan las impurezas y se envasa para usarlo como fertilizante.
3. Sustancias combustibles y minerales energéticos: Los hidrocarburos, el carbón mineral, el uranio y los vapores endógenos sirven para producir energía.
4. Rocas de aplicación y materiales de construcción: arena, arcilla, caliza, yeso, mármol son materiales bastante comunes que se destinan a la industria de la construcción.

¿QUIENES SON LOS DUEÑOS DE LAS MINAS?

Este punto es una frecuente fuente de errores. El sistema de concesión legal del Código de Minería de la Argentina es

aplicado exclusivamente por las autoridades mineras de las Provincias. Este sistema no otorga la concesión sino la **propiedad particular** de las minas, superpuesta a la propiedad del terreno y regida por los mismos principios que la propiedad común (Código de Minería, artículos 10, 11 y 12). Las minas son inmuebles que se pueden vender, alquilar, heredar o hipotecar. En definitiva, las minas son propiedades particulares, y cualquier persona física o jurídica puede ser el propietario.

Para llevar adelante un negocio minero por lo general se constituye una empresa que puede tener uno o varios dueños. También hay algunas empresas cuyo propietario es el Estado. Esto es importante aclararlo porque el Estado no tiene ninguna prohibición que le impida realizar negocios mineros pero para hacerlo debe adecuarse a la legislación. Esto significa que cualquier gobierno (nacional o provincial) puede crear empresas que se dediquen a la minería con los mismos derechos que los particulares (artículo 25 del Código de Minería).

¿CÓMO SE ADQUIERE UNA MINA?

En Argentina, como en la mayoría de los países del mundo, la **propiedad del suelo** se considera independiente de la **propiedad minera**.

Legalmente, la propiedad de los terrenos se rige por las disposiciones del **Código Civil** y la propiedad de las minas, por el **Código de Minería**.

La existencia del derecho minero se basa en un principio fundamental expresado en el citado Código y que podemos

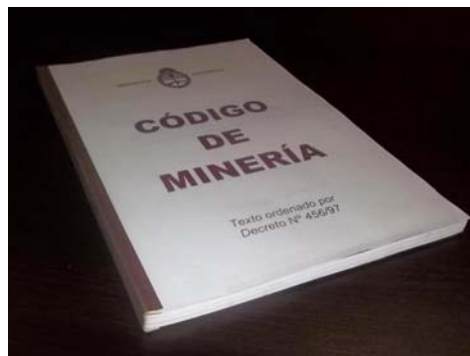


Figura 1.25: Código de Minería.

resumir de la siguiente forma: "Las minas son bienes privados del dominio originario del Estado y éste las concede a los particulares para aprovecharlas y disponer de ellas como dueños, de acuerdo a las prescripciones del mismo ordenamiento legal".

No hay que confundir el "**dominio originario del Estado**" con la "**propiedad de las minas**". Son dos cosas distintas.

Para que esto se entienda, digamos que, en principio, el Estado es el dueño originario de todo: del suelo y del subsuelo. Por eso, cuando los colonizadores españoles fundaron las ciudades, en nombre de la máxima autoridad del Estado, otorgaron la propiedad de las parcelas urbanas a los futuros pobladores. De la misma manera, a través de mecanismos como las mercedes y otros más modernos, el Estado fue otorgando la propiedad de los campos a los particulares.

El mismo criterio se aplica a la propiedad minera, es decir que el Estado otorga la propiedad de la mina, en este caso por un mecanismo que se llama "**concesión legal**" y a partir de ese momento la mina es una "**propiedad particular**". No obstante, hay que considerar una diferencia fundamental: a las minas hay que buscarlas y descubrirlas, de modo que el Estado ha otorgado y seguirá otorgando propiedades mineras a particulares en la medida que haya nuevos descubrimientos. Por otra parte, los propietarios de minas deben cumplir con ciertas condiciones de amparo (pagar un canon anual, realizar una inversión específica y no interrumpir la actividad) para mantener esa propiedad por tiempo ilimitado. Si no cumplen, o si la mina se agota o se abandona, la Autoridad Minera puede establecer la **caducidad de la propiedad minera**.

En la práctica, siempre hay que tener en cuenta que la propiedad minera está superpuesta a la propiedad del terreno y reviste el carácter de utilidad pública. En consecuencia, la actividad minera no puede ser impedida pero debe respetar todos los derechos que le asisten al propietario del terreno.

En este aspecto es muy importante decir que el propio Código de Minería establece regulaciones específicas para la relación entre el propietario del terreno y

el titular del derecho minero, en cada una de las etapas de la actividad. Las regulaciones incluyen algunas prohibiciones específicas para la actividad minera y un sistema de fianzas e indemnizaciones que evitan que el dueño del terreno se perjudique (Código de Minería, artículos 32, 54, 91, 92, 146, y 152 al 162).

Por último, hay que agregar que no todas las sustancias minerales son objeto de concesión legal. En efecto, el artículo 2° del Código de Minería define **tres categorías de minas**:

- 1ª. "Minas en la que el suelo es un accesorio, que pertenecen exclusivamente al Estado, y que sólo pueden explotarse en virtud de concesión legal otorgada por autoridad competente".
- 2ª. "Minas que, por razón de su importancia, se conceden preferentemente al dueño del suelo; y minas que, por las condiciones de su yacimiento, se destinan al aprovechamiento común".
- 3ª. "Minas que pertenecen únicamente al **propietario del suelo**, y que nadie puede explotar sin su consentimiento, salvo por motivos de utilidad pública".

Si bien se hicieron algunas modificaciones durante el siglo XX, esta clasificación en categorías es muy antigua y responde a los criterios vigentes en 1886, cuando se sancionó el Código de Minería. En la primera categoría se incluyen los minerales considerados más importantes, ya sea desde un punto de vista económico o estratégico, como los energéticos o los metalíferos, y que el Estado tiene especial interés en promover su producción, considerándolos más valiosos que el terreno donde se encuentran. En la segunda categoría se agrupa a la mayoría de los minerales no metalíferos (excepto algunos que fueron reubicados por leyes posteriores), necesarios para la industria pero de menor importancia que los anteriores. Y en la tercera categoría se incluyen las piedras (granitos, mármoles, etc.) y a los materiales de construcción cuya naturaleza y aprovechamiento hacen aconsejable considerarlos como "parte del terreno".

En definitiva, solamente en los dos

primeros casos existe la propiedad minera superpuesta a la del terreno. En cambio, para las sustancias de la tercera categoría la propiedad minera no existe; esas sustancias pertenecen al dueño del suelo únicamente.

Sustancias que corresponden a cada categoría. según los artículos 3º, 4º y 5º del Código de Minería

Primera Categoría

- a) Las sustancias metalíferas siguientes: oro, plata, platino, mercurio, cobre, hierro, plomo, estaño, zinc, níquel, cobalto, bismuto, manganeso, antimonio, wolfram, aluminio, berilio, vanadio, cadmio, tantalio, molibdeno, litio y potasio.
- b) Los combustibles: Hulla, lignito, antracita, e hidrocarburos sólidos.
- c) Arsénico, cuarzo, feldespato, mica, fluorita, fosfatos calizos, azufre y boratos.
- d) Las piedras preciosas.
- e) Los vapores endógenos.

Segunda categoría

- a) Las arenas metalíferas y piedras preciosas que se encuentran en el lecho de los ríos, aguas corrientes y los placeres.
- b) Los desmontes, relaves y escoriales de explotaciones anteriores, mientras las minas permanecen sin amparo, y los relaves y escoriales de los establecimientos de beneficio abandonados o abiertos, en tanto no los recobre su dueño.
- c) Los salitres, salinas y turberas.
- d) Los metales no comprendidos en la primera categoría.
- e) Las tierras piritosas y aluminosas, abrasivos, ocre, resinas, esteatitas, baritina, caparrosas, grafito, caolín, sales alcalinas o alcalino terrosas, amianto, bentonita, zeolitas o minerales permutantes o permutíticos.

Tercera categoría

Componen la tercera categoría las producciones minerales de naturaleza pétreo o terrosa, y en general todas las

que sirven para materiales de construcción y ornamento, cuyo conjunto forma las canteras.

AUTORIDAD MINERA Y DERECHOS MINEROS

Como en Argentina ya no existen territorios de jurisdicción nacional, salvo el mar epicontinental, cuando hablamos del Estado nos referimos fundamentalmente a los Estados Provinciales. Cada Provincia es la dueña originaria de sus recursos mineros y, en su estructura de Gobierno (en el Poder Ejecutivo o en el Judicial), posee una **Autoridad Minera** que concede y caduca derechos mineros a particulares.

La Autoridad Minera de cualquier Estado Provincial no tiene la misma dependencia política que tienen otras oficinas del Gobierno. Su decisión sobre conceder o caducar derechos mineros se hace aplicando el Código de Minería y es independiente de las órdenes que puedan emanar de un ministro o secretario de Estado. En la práctica esta autoridad funciona como un juzgado de primera instancia y sus decisiones solo pueden ser apeladas ante las dos instancias judiciales que están por encima. Según el esquema de cada Provincia, la segunda instancia puede ser una Cámara del Poder Judicial o el Gobernador, y la tercera instancia siempre es la Suprema Corte Provincial.

Sin entrar en detalles y haciendo una gran simplificación de los tipos de derechos mineros, hay tres niveles fundamentales de concesión por parte de las Autoridades Provinciales:

- a) **Permisos de Exploración:** son grandes superficies (desde 500 hasta 10.000 hectáreas por permiso, y hasta veinte permisos por persona) que se otorgan para la búsqueda de yacimientos. El titular del permiso tiene plazos para efectuar reducciones obligatorias del área otorgada y también una fecha final en la que el permiso caduca. Si el titular del permiso descubre yacimientos dentro del área, antes de su vencimiento, puede pedir que la Autoridad Minera le otorgue **pertenencias mineras o minas**

que cubran el o los descubrimientos efectuados. Cada presentación de este tipo se llama **manifestación de descubrimiento**.

- b) **La manifestación de descubrimiento** es el primer registro de la mina en la Autoridad Minera (Registro y Catastro) y tiene un plazo específico para que el descubridor cumpla con ciertos requisitos para que la Autoridad Minera pueda otorgarle las pertenencias mineras. Fundamentalmente el descubridor debe "poner de manifiesto" o demostrar que allí existe un "criadero" o depósito del mineral denunciado.
- c) **Pertenencias mineras o minas:** Una vez cumplidas las obligaciones y formalidades que establece el Código, la Autoridad Minera concede la mina. Para ello debe hacer la mensura de la superficie que corresponde a esa nueva propiedad minera y labrar un acta que contiene todos los datos de esa

mensura y documenta cualquier otra diligencia o detalle ocurrido en ese acto. El **Acta** y el **Plano de Mensura**, previo registro, se archiva en la Escribanía de Minas y se entrega copia autenticada al titular como **título de propiedad** de la mina.

A partir de este acto el titular está obligado a pagar un canon anual, a ejecutar una determinada inversión en un plan a cinco años y a mantener la actividad de la mina. En tanto se cumplan estas obligaciones, la mina es un inmueble y su titular dispone de ella como dueño. Por lo tanto, puede explotarla, alquilarla, hipotecarla o venderla.

En cambio, si el minero no cumple con alguno de estos requisitos, el Código de Minería faculta a la Autoridad Minera a realizar las gestiones pertinentes para **caducar la propiedad minera**. La caducidad significa que la propiedad minera vuelve al dominio originario del Estado.

TEMA 2 - YACIMIENTOS

¿QUÉ ES UN YACIMIENTO?

En el tema anterior se explicaron los significados legal y económico de la palabra **mina**. Digamos ahora que el cuerpo o la masa mineral que se extrae o se pretende extraer de una mina es el **yacimiento o depósito mineral**. Técnica y económicamente es el punto de partida de la minería. Para que exista una explotación minera debe haber un yacimiento.

Geológicamente, un **yacimiento mineral** se define como **una concentración natural de una determinada sustancia mineral, susceptible de ser aprovechada con beneficio**.

Se habla de una **concentración** porque las rocas de la corteza terrestre por lo general contienen todos los elementos químicos conocidos (los 92 elementos naturales de la tabla periódica) aunque sólo unos pocos son sus componentes mayoritarios y los demás están en proporciones muy pequeñas, casi siempre medibles en partes por millón (gramos por tonelada) o unidades de menor magnitud (Ver Anexo 4). En consecuencia, para que un cuerpo de roca sea considerado como un yacimiento de un determinado mineral, ese mineral debe estar presente en la roca en una proporción muy superior a la de cualquier otra roca.

Por ejemplo, casi todas las rocas superficiales contienen aluminio (en promedio 8%). Sin embargo, en pocos lugares hay yacimientos de aluminio porque para ser explotable tienen que presentarse en forma de óxidos, contener más del 30% de metal, en una cantidad suficiente para justificar una inversión y tener una forma que permita su explotación económica.

Otro ejemplo: la materia prima fundamental para fabricar vidrio común es la arena. Arena hay en todas partes, pero para que sirva en esta industria tiene que tener más de un 97 % de cuarzo (dióxido de silicio: SiO_2), y esto es poco común.

Una verdad geológica fundamental a tener en cuenta es que **no existen dos yacimientos iguales**. De hecho, hay ciertas características que se repiten, como así también elementos que son comu-

nes, que permiten la clasificación de los yacimientos en grupos, tipos o modelos. Pero aún así, cada yacimiento del mismo grupo es diferente a los demás. Por ejemplo, Bajo de la Alumbraera, Pachón y Agua Rica son tres yacimientos clasificados como pórfidos cupríferos. Sin embargo, sus características en cuanto a forma, volumen, contenido metálico, comportamiento físico y químico, es totalmente diferente. Esto será explicado más adelante con más detalle, especialmente por sus implicancias técnicas y económicas.

La definición también dice que la sustancia mineral se debe poder **aprovechar con beneficio** y eso implica que tiene que reunir ciertas características de **forma, cantidad y calidad** para que sea considerada como un **yacimiento**, desde el punto de vista económico

FORMA

En ciertos casos se puede asimilar la forma de un yacimiento a la de un cuerpo geométrico, aunque diste mucho de ser un cuerpo perfecto. Los mineros usan algunas denominaciones para designar cuerpos minerales, tales como **veta o filón, manto, banco, bolsada o bolsón**, etc. Las **vetas** son cuerpos tabulares, bastante irregulares, verticales o inclinadas. Si son horizontales se llaman **mantos**. Los ensanchamientos localizados de las vetas, se llaman **bolsadas o bolsones**.

También se llama **manto** o **banco** a los estratos sedimentarios que se explotan en minas, y que son mucho más regulares que las vetas.

Algunos yacimientos tienen forma de anillos, cilindros, monturas o lentes, y muchos poseen formas tan irregulares que no pueden compararse con ningún cuerpo geométrico.

La forma de un yacimiento puede ser determinante para que su aprovechamiento sea económico o no. Por ejemplo, en la quebrada de Talacasto, en la provincia de San Juan, hay un estrato de fosforita (capa de rocas con fosfatos útiles para elaborar fertilizantes) intercala-

do en sedimentitas paleozoicas. La fosforita es de buena calidad y parece tener una continuidad importante, pero el espesor del estrato es de solo 10 centímetros. Hasta ahora nadie ha intentado su explotación porque para hacerlo deberían removerse grandes cantidades de rocas "de caja" cuyo costo tornaría antieconómico el emprendimiento.



Figura 2.1: Yacimiento con forma de veta vertical. Mina Hishikari (oro y plata) de Japón. La roca oscura, a ambos lados, es la roca de caja

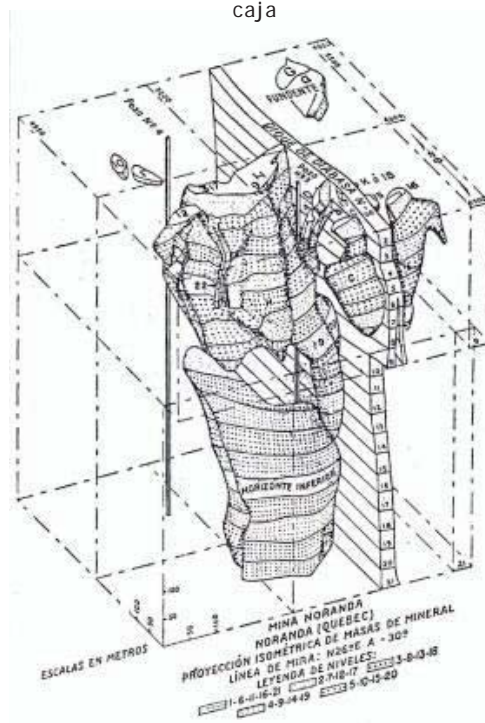


Figura 2.2: Representación tridimensional de un yacimiento de forma irregular: mina Noranda (níquel y cobre), Quebec, Canadá

CANTIDAD - TAMAÑO DEL YACIMIENTO Y ESCALA DE PRODUCCIÓN

Suele clasificarse a los yacimientos en pequeños, medianos y grandes, aunque no siempre se usan las mismas cifras para distinguir esos tamaños.

En materia de yacimientos de cobre, por ejemplo, se consideran de tamaño **pequeño** los que poseen reservas menores de 50 mil toneladas de cobre metálico. Los que tienen entre 50 mil y 1 millón son **medianos** y los que exceden de 1 millón se califican como **grandes**. Cuando estos últimos superan los 10 millones de toneladas se consideran **muy grandes**. Por ejemplo el yacimiento Bajo de la Alumbrera (Catamarca), con reservas originales de 3,9 millones de toneladas, es un yacimiento grande, y Pachón (San Juan), con 13 millones de toneladas califica como muy grande (SEGEMAR, 1998).

Hay minas muy pequeñas que llegan a tener volúmenes de poca magnitud. Sin embargo, siempre se establece un límite mínimo para la cantidad de mineral que un yacimiento debe tener, que es el volumen cuyo valor pueda pagar o amortizar la inversión necesaria para su explotación. De lo contrario sería inviable su aprovechamiento económico.

No hay que confundir el tamaño del yacimiento con la escala de producción. Aunque a menudo coinciden el gran yacimiento con la gran mina, también existen yacimientos grandes que son explotados a escala de pequeña minería.

Es importante agregar que la escala de operación se va haciendo más grande a medida que pasa el tiempo. De la misma manera que el incremento de la población y el avance tecnológico hizo que las huellas para carros fueran reemplazadas por carreteras y las carreteras por autopistas, las ciudades "chatas" de casas con amplios terrenos se cambiaron por conjuntos de edificios de gran altura. En minería ha pasado exactamente lo mismo. La demanda de minerales es cada vez mayor y las máquinas y vehículos son cada vez más grandes de modo que la escala de trabajo se ha incrementado en la misma medida.

RECURSOS Y RESERVAS

Las reservas de un yacimiento están constituidas por la **cantidad de mineral apto para su explotación económica**, determinadas en base a las reglas del arte de la exploración minera. Expresado de otra manera, es la cantidad de mineral que se calcula que se puede extraer y vender con beneficio. Cuando no hay seguridad sobre su venta con beneficio, en lugar de la palabra reserva se prefiere usar el término **recurso**.

Las reservas de una mina y la calidad o aptitud de sus materiales son datos básicos para la formulación del proyecto minero.

En este punto, y aunque el tema será tratado más adelante, conviene introducir otro dato fundamental: se considera que el yacimiento es el punto de partida de la explotación minera porque si no hay yacimiento no hay minería. Sin embargo hay que tener siempre presente que, antes que nada, tiene que haber una **demandada del mercado**. Si no existe un mercado comprador de una determinada sustancia, no tiene ningún sentido iniciar la explotación de un yacimiento de esa sustancia.

UBICACIÓN

Sin ser una regla general, puede decirse que en nuestro país las minas no suelen estar cerca de las ciudades. Además, por razones geológicas, casi siempre están en las zonas montañosas o de relieve irregular, y son muy escasas en zonas de llanura. Estas condiciones limitan las posibilidades de la gente de observar este tipo de centros productivos, por lo cual la mayoría de nuestros habitantes desconoce cómo son y cómo funcionan.

Los geólogos dicen que **los yacimientos están donde se encuentran**. Esto se dice a modo de comparación con otros emprendimientos económicos para los cuales podemos elegir la ubicación más adecuada para su desarrollo. A las minas hay que buscarlas y encontrarlas. Y una vez que se encuentran, no se pueden cambiar de lugar. Esta sola circunstancia, a

veces, puede hacer inviable un negocio minero porque la ubicación puede ser totalmente inadecuada.

Por ejemplo, en la Cordillera de los Andes hay muchos yacimientos de caliza y otros materiales de construcción que no se explotan porque están lejos de los centros de consumo. En cambio, en la provincia de Buenos Aires se explotan materiales de menor calidad, porque hay una demanda cercana.

A veces la ubicación de depósitos minerales puede coincidir con áreas destinadas a la conservación de la naturaleza, como ocurre con manifestaciones de sulfuros metálicos que se encuentran en las áreas de los cerros Aconcagua (Mendoza) y Mercedario (San Juan) donde existen prohibiciones específicas para la actividad extractiva.

Desde el punto de vista geológico, existen áreas, fajas o regiones que son más favorables para la existencia de determinados yacimientos. En la Argentina hay más posibilidades de encontrar yacimientos metalíferos en las áreas con relieve del oeste y del sur que en las zonas llanas del este y noreste. No obstante, hay excepciones. Los mayores recursos de titanio del país se encuentran en la costa de la Provincia de Buenos Aires, cerca de Bahía Blanca.

Todos los yacimientos se encuentran en el subsuelo, pero algunos son visibles, aunque sea en parte, y otros están totalmente ocultos.

La mayoría de las rocas ornamentales (granitos, mármoles) y los materiales de construcción (caliza, yeso, arena) se explotan de yacimientos superficiales (canteras) porque se trata de rocas bastante comunes y de bajo precio. Otros minerales de mayor valor suelen explotarse hasta cierta profundidad. Las minas de oro de Sudáfrica son las más profundas y han superado los 3.000 metros. En Argentina, la mina Aguilar, de plata, zinc y plomo, en la provincia de Jujuy, comenzó su producción a cielo abierto pero al poco tiempo se desarrolló como mina subterránea y ya ha alcanzado los 1.000 metros de profundidad (figura 2.3).

A escala mundial, las perforaciones más profundas con fines de extracción de petróleo no exceden los diez mil metros.



Figura 2.3: Corte o perfil vertical esquemático del desarrollo de la Mina de zinc, plata y plomo Aguilar, en Jujuy, que alcanza los 1000 metros de profundidad.

COMPOSICIÓN

De manera simplificada, podemos considerar a un yacimiento como una masa mineral aprovechable, con una forma y un volumen determinados. Pero esa masa puede ser aprovechable en su totalidad, como en el caso de una arena para construcción o una arcilla para elaborar ladrillos comunes, o como ocurre muy a menudo, puede ser una mezcla de una sustancia útil con otra que no lo es.

Por ejemplo, la mina Paramillo de Uspallata, en Mendoza, es una mina de plata, plomo y zinc. Estos tres metales no se encuentran puros sino que están contenidos, respectivamente, en los minerales argentita (sulfuro de plata), galena (sulfuro de plomo) y blenda o esfalerita (sulfuro de zinc). A su vez, estos tres sulfuros están mezclados con otras

dos sustancias: siderita (carbonato de hierro) y cuarzo (dióxido de silicio). Estos cinco minerales son los componentes de las vetas de la mina.

La argentita, la galena y la esfalerita son los minerales útiles porque de ellos se extraen los respectivos metales, en un proceso posterior. Estos minerales útiles son los que los mineros llaman la **mena**. Los otros dos, que se desechan porque no son útiles, se denominan **ganga**.

Un ejemplo más sencillo es el de los hidrocarburos. El petróleo (líquido) y el gas están contenidos dentro de ciertas rocas (sólidas), llenando intersticios, fracturas y otros huecos. En este caso el diferente estado físico permite que las técnicas de bombeo solamente extraigan las sustancias que nos interesan, es decir el líquido o el gas. Aún así, hay casos en que las bombas extraen petróleo (mena) y agua (ganga).

Otra característica de los yacimientos es que son masas heterogéneas. Es decir que si tomamos dos muestras de distintos lugares de un solo yacimiento, esas muestras tienen diferente composición. Por eso, cuando se habla de las características físicas y químicas de un yacimiento, en realidad se hace referencia a un promedio.

En los yacimientos metalíferos vetiformes, la mena tiene una participación importante en la masa de la veta (por ejemplo, un 10 % o más). En los yacimientos llamados diseminados, la participación de los minerales metalíferos es muy pequeña (alrededor de 1 %). Por el contrario, el tamaño de las vetas es generalmente pequeño y el de los yacimientos diseminados es muy grande.

CALIDAD

Es de fundamental importancia conocer la **calidad** de la sustancia mineral del yacimiento ya que, en la práctica, sólo pueden venderse o aprovecharse sustancias que cumplan con las especificaciones que requieren las industrias consumidoras.

La calidad, según el caso, se expresa de manera diferente. En minerales metalíferos es costumbre expresar la ley

o **tenor**, que es el contenido de metal por unidad de peso, en forma de porcentaje. Por ejemplo, un mineral de cobre de 1% contiene 10 kg de metal por tonelada (1000 kg) de mineral. Cuando los contenidos son menores, se habla de gramos por tonelada. Es el caso del oro, la plata y el platino. Así empleada, la ley o tenor es una expresión incompleta de la calidad del mineral, porque también interesan otros componentes de la masa mineral, como así también sus características físicas y químicas.

Por ejemplo, en Argentina hay tres grupos de yacimientos importantes de hierro: Unchimé (Salta), Zapla (Jujuy) y Sierra Grande (Río Negro). Las leyes de hierro son similares en Unchimé y en Zapla, pero en el primer caso una parte importante del hierro está en forma de silicatos lo cual hace más complicado y caro su tratamiento industrial. El mineral de Zapla, en cambio, está compuesto por óxidos de tratamiento más sencillo y económico. Por esa razón el mineral de Zapla ha sido utilizado como materia prima para fabricar acero y el de Unchimé no. Sierra Grande tiene leyes de hierro más altas que los otros dos, y por eso se podría presumir que es mejor mineral. Sin embargo, también contiene una cantidad de fosfatos que lo hacen inapto para la industria siderúrgica instalada cuyos hornos requieren un mineral exento de fósforo.

Por esa razón, para ponerla en producción (desde 1976 hasta 1990) hubo que montar una planta de tratamiento destinada a separar los fosfatos y bajar el porcentaje de fósforo. La separación requería la molienda previa del mineral y, una vez obtenido el concentrado libre de la impureza, había que aglomerarlo para formar unas "pelotitas" (técnicamente se llaman "pellets") debido a que los altos hornos no se cargan con polvo sino con

fragmentos o trozos que permiten la circulación del calor por los intersticios. Todo esto complicaba y encarecía su aprovechamiento.

Por lo expresado, la especificación de la **calidad** de un mineral de hierro, comprende como mínimo, lo siguiente:

- Contenido de hierro: se exige un mínimo de 35 a 40%
- Composición mineralógica y química: se prefieren óxidos como la magnetita y la hematita
- Contenido de fósforo, azufre, arsénico, plomo y zinc: son elementos indeseables
- Granulometría: se exigen trozos de un determinado tamaño de grano.

En general, la expresión de la calidad se puede hacer de muy variadas maneras, de acuerdo al uso o al destino de la sustancia mineral. Mas aún, un mismo mineral puede tener más de un uso, y para cada uso tener requerimientos diferentes de calidad. Por ejemplo, una caliza para fabricar cal debe tener un mínimo de 95% de carbonato de calcio, pero para fabricar cemento portland es suficiente un contenido de 78%. El cuadro adjunto muestra en forma simplificada las distintas especificaciones para los tres usos que tiene la fluorita (fluoruro de calcio) de acuerdo a la Norma IRAM N° 10.251 de 1960.

En definitiva, la calidad debe expresarse de tal manera que se evidencie si es **apto para su uso**, de acuerdo a las especificaciones industriales o a las normas, si es que existen.

Para determinar la calidad de un mineral se requiere obtener y analizar un gran número de muestras, de acuerdo a técnicas especiales para cada caso.

A todo esto, hay que comprender que es difícil que en la naturaleza se presenten yacimientos de sustancias que se ajusten

Especificaciones para los usos de la fluorita - Norma IRAM N° 10.251 de 1960				
	CaF ₂ mínimo	SiO ₂ máximo	CaCO ₃ máximo	Fe ₂ O ₃ máximo
Para fabricar ácido fluorhídrico	97 %	1,5 %	1,2 %	---
Para la industria cerámica	93,5 %	3,5 %	---	0,12 %
Para uso como fundente metalúrgico	85 %	5 %	---	---

ten exactamente a las normas y especificaciones de la industria. Por lo general no es así y, por lo tanto, los minerales que se extraen de las minas son objeto de un **proceso de tratamiento o preparación** destinado a modificar las características de los minerales de tal manera de hacerlos aptos para su aprovechamiento industrial.

Como ejemplo, la roca mineralizada que se explota en la mina Bajo de la Alumbrera contiene 0,7 % de cobre. Así no es apto para su fundición. Por ello, la mina

cuenta con una planta de tratamiento que separa los sulfuros de cobre de los otros componentes de la roca que se extrae de la mina (figura 24). El producto de ese proceso se llama **concentrado**, tiene entre 28 % y 30 % de cobre y es apto para la fundición.

También hay plantas destinadas a eliminar impurezas indeseables. En las cercanías de Mendoza se usan procesos de lavado para eliminar la arcilla que tienen las arenas destinadas a la industria de la construcción.

TEMA 3 - ETAPAS DE LA ACTIVIDAD MINERA

ETAPA DE RIESGO MINERO O DE PREINVERSIÓN

ETAPAS

Desde el punto de vista económico, la actividad minera tiene dos etapas: la primera, de **riesgo minero**, y la segunda, de **negocio minero**.

La etapa de riesgo comprende la búsqueda del mineral, su descubrimiento, la determinación de su cantidad y calidad, y el estudio de factibilidad de explotación. Desarrollar esta etapa no es fácil. Es necesario realizar trabajos y estudios (técnicamente llamados de prospección y exploración) que llevan su tiempo y tienen un costo.

Con respecto al tiempo, por lo general esta actividad es de muy largo plazo. La prospección y la exploración deben hacerse siguiendo sucesivos pasos, algo equiparable a un proceso de investigación cuyo avance se hace sobre la base de las conclusiones del paso anterior. Además, una vez que se termina la exploración aún quedan muchas cosas por estudiar y resolver, relacionadas fundamentalmente con la tecnología, la economía y las normas vigentes. Por ejemplo, en los casos de minas importantes como Cerro Vanguardia, Bajo de la Alumbrera o Veladero, desde que se descubrieron hasta que comenzaron a producir pasaron más de dos décadas. Otras como Pachón, San Jorge, Lama, Agua Rica y Río Colorado, cuyos descubrimientos datan de varias décadas atrás, aún no han entrado en producción.

El costo de los trabajos de prospección y exploración es muy variable y depende del tipo de yacimiento, de su ubicación, de su heterogeneidad, y de otras características. Por ejemplo, la exploración de yacimientos como Pachón, Bajo de la Alumbrera o Agua Rica, demandó, en cada caso, varias decenas de millones de dólares.

Terminada la exploración se elabora el estudio de factibilidad. Si bien este estudio abarca todos los aspectos del proyecto, la factibilidad económica es la que

decide el futuro del proyecto. Si su resultado es negativo, el yacimiento no se explota y **lo invertido hasta ese momento se pierde**. Por eso esta etapa se llama **etapa de riesgo minero**, y diferencia a la minería de otras actividades económicas.

Las estadísticas muestran que más del 90% de las prospecciones y exploraciones no tienen éxito, es decir que de cada cien trabajos que se inician sólo unos pocos llegan a un estudio de factibilidad positivo. En este último caso, cuando el estudio de factibilidad es positivo, se construye el proyecto y se inicia la **etapa de producción o de negocio minero**.

Para ejemplificar la inseguridad que trae aparejada el **riesgo minero** en materia económica, hay que señalar que ningún banco del mundo presta dinero para esta etapa de la minería, con excepción de algunas instituciones del Estado que respondan a una política específica de promoción, en su país o en el extranjero. Por eso, los economistas suelen llamarla **etapa de pre inversión**.

En la práctica, la financiación de la etapa de riesgo se puede hacer de varias maneras. Una de ellas consiste en que las empresas mineras que están en producción hagan una previsión en sus balances contables para constituir un fondo especial para invertir en exploración. Esto equivale a destinar una parte de las ganancias a la integración de ese fondo. Otra forma consiste en emitir acciones que se venden a través de la Bolsa, ya sea en forma directa o incorporándose a los llamados fondos comunes de inversión. Estos últimos están integrados por una mezcla de activos financieros que les permite absorber la eventual pérdida de valor de algunas acciones. Por último, el propietario de un prospecto minero puede asociarse con otra persona o empresa que aporta el dinero necesario a cambio de un porcentaje del futuro negocio.

BÚSQUEDA Y DESCUBRIMIENTO

El descubrimiento de una ocurrencia mineral puede hacerse por casualidad o

como resultado de una búsqueda racional, utilizando técnicas con bases científicas y elementos tecnológicos adecuados.

En el pasado, la mayoría de las minas se descubrieron por casualidad. En nuestro país, los puesteros eran los más frecuentes descubridores de minas debido a que, por su trabajo de trasladar rebaños en zonas de montaña, eran los que más oportunidades tenían de hallar manifestaciones minerales a simple vista.

El avance científico y tecnológico, unido al hecho de que cada vez son menos frecuentes los hallazgos casuales, han motivado el desarrollo de una nueva disciplina de búsqueda racional de yacimientos, que se llama **prospección**.

PROSPECCIÓN

La prospección se hace sobre la base de sólidos conocimientos científicos y técnicos de manera que, para llevarla a cabo, es necesario contar con una "infra-

estructura" útil para ese fin: mapas de distinto tipo, fotografías aéreas, imágenes satelitales, antecedentes mineros, geológicos, geofísicos, geoquímicos, catastrales, económicos, etc. Esta "infraestructura" casi siempre es provista por el Estado y, en algunos casos, por empresas especializadas.

La ejecución de las tareas de prospección (trabajos de campo y de laboratorios) está en manos de geólogos especialistas, que cuentan con la ayuda de la tecnología apropiada para cada caso, vehículos, equipos, instrumental, laboratorios, etc. (figuras 3.1 a 3.4).

En este aspecto es conveniente desmitificar algunas exageraciones que se hacen a raíz de los avances científicos y tecnológicos. Algunas personas creen que los países desarrollados conocen todos nuestros recursos mineros a través de la información satelital. Pero eso no es así. A pesar de los enormes adelantos tecnológicos, no hay ningún método que permita conocer, dimensionar y calificar



Figura 3.1: Los geólogos estudian los antecedentes científicos y técnicos.

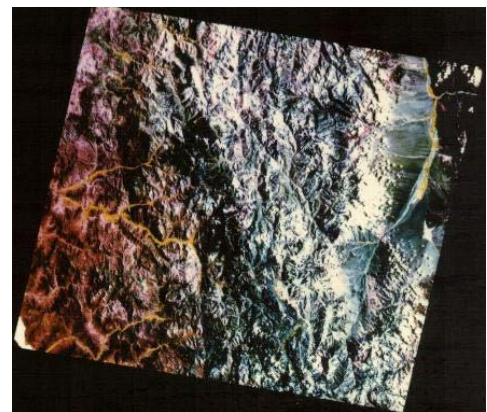


Figura 3.3: Imagen satelital Landsat de un sector de la cordillera de San Juan.

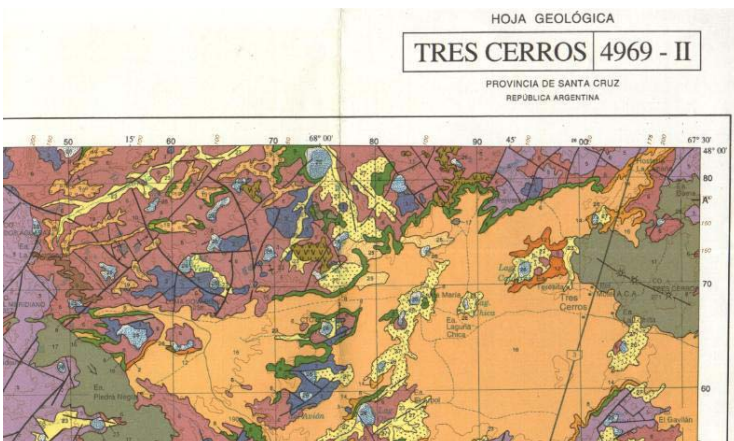


Figura 3.2: Un antecedente importante es la carta geológica de la zona

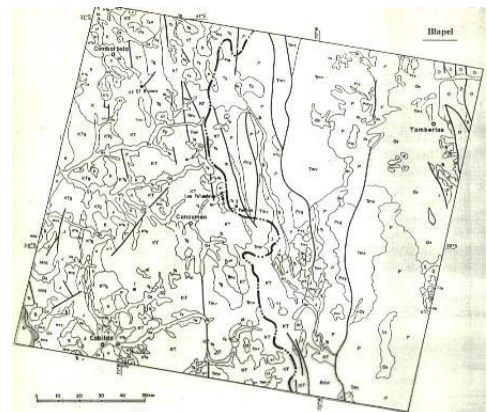


Figura 3.4: Interpretación geológica de la imagen



Figura 3.5: Trabajos geológicos de campaña y obtención de muestras para su estudio

un recurso minero en forma indirecta.

En la práctica, los avances científicos y tecnológicos proporcionan herramientas importantes para mejorar la prospección, haciéndola más simple, mas rápida, menos costosa y más eficaz, pero la información satelital no elimina los trabajos e investigaciones de campo (Figuras 3.5 a 3.8).

La prospección puede hacerse de distintas maneras y con diferentes técnicas, de acuerdo al tipo de yacimiento que se busque. Lógicamente, el conocimiento de la geología es fundamental porque los yacimientos siempre son formados por un determinado proceso geológico. El resultado de la búsqueda (cuando es positiva) es el descubrimiento de una manifestación mineral.



Figura 3.7: En lugares de mucho relieve se usan mulas para acceder al lugar de trabajo

Es importante agregar que, previamente a cualquier trabajo de campo, el responsable de la prospección, debe asegurarse los permisos de acceso a la zona de búsqueda y los derechos mineros sobre lo que llegue a descubrir. Para ello, tiene que solicitar ante la Autoridad Minera un **permiso de exploración** (así se denomina en el Código de Minería el permiso de búsqueda o de cateo) que abarque esa zona. Además, debe presentar un **Informe de Impacto Ambiental** y esperar su aprobación por parte de la Autoridad para iniciar los trabajos.

Descripción muy sucinta de las tareas de prospección

1.- **Prospección geológica.** Consiste en la aplicación de los conocimientos de la geología a la búsqueda de yacimientos. Cada concentración mineral se presenta en un determinado ambiente geológico que es favorable para su presencia. Por ello, muchas veces se busca primero el ambiente geológico



Figura 3.6: hallazgo de una manifestación mineral visible en superficie.



Figura 3.8: hallazgo de manifestación mineral cubierta, puesta en evidencia en la zanja abierta a pico y pala.

favorable y luego se trata de encontrar un yacimiento dentro de ese ambiente. Las técnicas geológicas son fundamentales para la prospección y, en mayor o menos grado se aplican siempre.

Antecedentes: Un buen trabajo de prospección siempre comienza con una recopilación y análisis de antecedentes. Entre esos antecedentes se cuentan los mapas geológicos existentes y los informes relacionados con ellos. El estudio de estos antecedentes permite, con muy bajo costo, seleccionar lugares o áreas favorables para encontrar yacimientos.

La existencia de un yacimiento anteriormente descubierto en un lugar es un antecedente muy valioso. Muchas veces se descubren nuevos yacimientos en las áreas donde hubo una explotación anterior. Por ejemplo, el primer yacimiento diseminado de cobre (pórfido cuprífero) descubierto en Argentina fue Paramillos Sur, en Mendoza, que se encuentra rodeado de anteriores explotaciones vetiformes de cobre, oro, plata, plomo y zinc.

También puede haber información geofísica o geoquímica previa, cuya consulta y eventual evaluación es útil para la prospección.

Uso de fotografías aéreas e imágenes satelitales: Ambos elementos se utilizan como importantes herramientas para la búsqueda de yacimientos. Para ello se utilizan técnicas que permiten obtener información geológica útil directamente aplicada al objetivo planteado. Por ejemplo, hoy en día la interpretación de imágenes satelitales permite identificar

la posible presencia de minerales que se asocian a sulfuros metálicos de origen hidrotermal.

Trabajos de campo.

Levantamiento geológico y uso de indicadores: El estudio de antecedentes y el uso de información obtenida a partir de sensores remotos, es en general poco costoso y se lleva a cabo en gabinete. Esa tarea siempre es seguida de un **trabajo de campo** que incluye la comprobación o la corrección de los datos obtenidos en la previa fase de gabinete.

El trabajo de campo no puede dejar de hacerse porque es la única forma de realizar observaciones directas de los tipos de rocas y de las estructuras del área que se investiga, poniendo énfasis en la búsqueda de "indicadores" de posibles mineralizaciones de interés. Con la ayu-



Figura 3.9 - Geólogo en trabajo de campo.

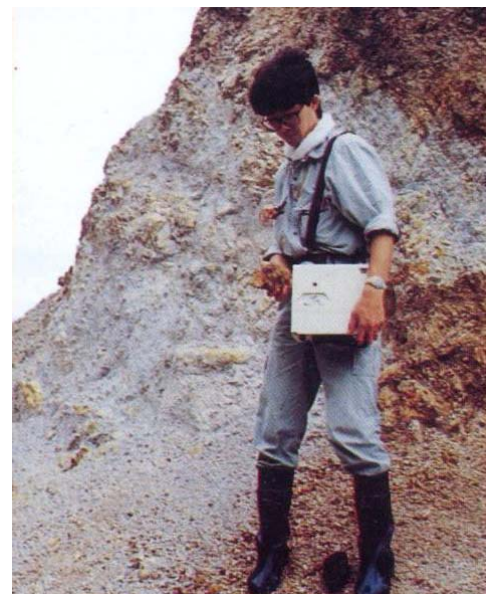


Figura 3.10 - Geólogo usando un espectrómetro de campo

da de moderno instrumental, como receptores de GPS, analizadores portátiles y computadoras, se hacen determinaciones en el mismo lugar y se colectan muestras del terreno destinadas a realizar distintos tipos de análisis, estudios o ensayos de laboratorio que agreguen información.

Uso de planos y perfiles. En la prospección, como en cualquier etapa de la minería, es fundamental el uso de **planos y perfiles** para representar la información en las tres dimensiones. Un **plano** es una representación sobre una superficie horizontal. Las palabras **carta** y **mapa** significan lo mismo pero abarcan superficies más grandes.

Un **perfil** es una representación en un plano vertical (un corte) que permite representar datos en profundidad. En la práctica se hacen varios planos y perfiles para representar adecuadamente la información de un área determinada. Incluso se construyen los llamados **bloques diagrama** o **diagramas tridimensionales**, que son representaciones que integran la información de planos y perfiles. Hoy en día hay programas de computación para hacer este tipo de tareas.

2.- Prospección geoquímica. Se miden las variaciones en los contenidos de ciertos elementos químicos presentes en las rocas y en los suelos de una región con el objeto de detectar contenidos francamente anormales con respecto a los promedios de cada elemento. Tales anomalías se llaman **anomalías geoquímicas**.

Este tipo de investigación requiere un trabajo de campo que consiste en coleccionar un gran número de muestras (de suelos, sedimentos de corriente o rocas) de manera sistemática para hacer el análisis químico de las mismas. Lo más conveniente es planificar la prospección de manera de hacer este muestreo junto con el trabajo geológico de campo.

3.- Prospección geofísica. Comprende distintas técnicas en las que se efectúan mediciones de parámetros físicos, desde la superficie del terreno o desde aeronaves, para obtener información del

subsuelo. Esta información siempre requiere de una interpretación adecuada porque cada variación en el parámetro que se mide puede corresponder a cambios en el tipo de roca, presencia o ausencia de agua, o a cambios estructurales hasta la profundidad que alcance el método. Si bien hay excepciones, en general, la geofísica que se hace desde aeronaves corresponde a la etapa de prospección de zonas extensas y los métodos terrestres se usan en la exploración de un área más pequeña.

Métodos magnetométricos: Con magnetómetros que, según el caso, pueden ser aerotransportados o terrestres, se miden las variaciones locales que se producen en el campo magnético terrestre, porque esas variaciones pueden ser producidas por la presencia de estructuras y rocas de distinta susceptibilidad magnética. Un ejemplo de anomalía magnética muy violenta se puede percibir con una brújula encima de un yacimiento de magnetita (óxido de hierro magnético) porque en ese caso, en lugar de alinearse en dirección al norte magnético, la brújula se "enloquece" y parece apuntar a cualquier parte.

Métodos radimétricos: Con instrumental adecuado, en superficie o desde aeronaves, se miden diferencias de radiactividad (por lo general de los rayos gamma) que pueden originarse localmente por la mayor o menor presencia de minerales radiactivos en las rocas del subsuelo.

Métodos sísmicos: Consisten en provocar ondas sísmicas artificiales (de muy baja intensidad) y se usan detectores para captar, según el método, la refracción o la reflexión de las ondas. Cuando se hace sísmica de refracción se mide la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo con el objeto de detectar variaciones debidas a la presencia de diferentes rocas.

En cambio, en sísmica de reflexión, se determina la presencia de planos que reflejan dichas ondas, que normalmente corresponden a discontinuidades y estructuras geológicas.

Este es un método que tiene gran penetración en profundidad. Es el más usado en prospección de hidrocarburos.

Métodos gravimétricos: Se miden variaciones locales de la gravedad terrestre que pueden ser provocadas por masas rocosas de distinta densidad, ubicadas hasta cierta profundidad .

Métodos geoelectrónicos: Hay distintos métodos según la variable que se mida: diferencias de conductividad y de resistividad eléctrica, que poseen dife-

rentes rocas y minerales, diferencias de potencial natural, diferencias de corriente inducida para su polarización, etc. . También la presencia o ausencia de agua en el subsuelo genera diferencias de comportamiento en las variables eléctricas detectables con instrumental adecuado.

4.- Laboreo y perforaciones. Si bien estas tareas son propias de la exploración, y por ello serán descritas en detalle al tratar ese tema, muchas veces, durante la prospección es necesario realizar excavaciones o perforaciones para obtener información no expuesta en superficie.



Figura 3.11 - Prospección gravimétrica desde un helicóptero

EXPLORACIÓN

Una vez descubierto un cuerpo mineral (en forma casual o a través de una prospección) es necesario delimitar su forma y determinar su tamaño y la calidad del material que lo compone. Para eso se realiza la **exploración**.

La exploración se hace mediante labores mineras superficiales (calicatas,



Figura 3.12: Perforación con recuperación de polvo.



Figura 3.13: Perforación con recuperación de testigos a más de 1.000 m de profundidad



Figura 3.14: Exploración mediante labores subterráneas

pequeños pozos, etc.) y labores subterráneas (pozos profundos o piques y túneles) con las cuales se reconoce el cuerpo mineral en sus tres dimensiones. Las labores subterráneas suelen reemplazarse por perforaciones con herramientas que permiten obtener muestras del cuerpo mineral a todo lo largo del sondeo, ya sea en forma de testigos (cilindros de roca) o de triturados y polvo.

El número y la extensión de las labores subterráneas o de las perforaciones dependen del tamaño del cuerpo mineral que se está explorando, o del volumen mínimo de mineral que se quiere poner en evidencia (Figuras 3.12 a 3.14).

Algunos detalles de las tareas de exploración

1.- Exploración en superficie

A veces los yacimientos pueden estar expuestos en superficie, o cubiertos por una capa de poco espesor de rocas alteradas, sedimentos, suelos o vegetación. En estos casos se lleva a cabo una primera exploración mediante labores superficiales sencillas y de bajo costo. Normalmente consisten en pequeñas excavaciones en forma de pozos o zanjas, que no exceden unos pocos metros de profundidad.

Estas labores se denominan **destapes**, **calicatas** o **trincheras**. Según el caso, se pueden abrir con pico y pala, con barrenos y explosivos, con excavadoras, con topadoras, etc.

De esta manera se atraviesa la cubierta y se deja expuesto en la labor el mineral del yacimiento. Así se reconoce y

estudia el yacimiento en las dos dimensiones visibles en superficie.

En la práctica, el conjunto de trabajos que se hacen en estos casos puede abarcar los siguientes pasos:

- Observaciones geológico mineras
- Interpretación de afloramientos
- Ejecución de planos a escala minera
- Labores superficiales - destapes, pozos, calicatas o trincheras
- Toma de muestras
- Geoquímica de detalle
- Análisis y ensayos de laboratorio

2.- Exploración Geofísica

Mediante métodos de exploración geofísica, a los que se hizo referencia en el capítulo de prospección, que se eligen de acuerdo al ambiente geológico y al objetivo de la búsqueda, con aparatos y dispositivos ubicados en la superficie se miden parámetros físicos de las rocas del subsuelo. La interpretación de esos datos permite inferir algunas características de las rocas y estructuras hasta cierta profundidad. Esa información, aplicada a determinados modelos geológicos, es importante para la programación de trabajos más costosos como las perforaciones o las labores subterráneas.

3.- Exploración subterránea

Pequeños pozos, calicatas o trincheras solo permiten reconocer el mineral en dos dimensiones (siempre y cuando el yacimiento sea superficial).

El reconocimiento de la tercera dimensión (profundidad) debe hacerse mediante **métodos de exploración subterránea**.

Fundamentalmente hay dos maneras de hacerlo: con **labores mineras** o con **perforaciones**. En el primer caso el hombre accede a los niveles profundos que explora. En el segundo caso, solo accede una herramienta manejada por el hombre y se extraen muestras para su observación, estudio y análisis.

3.1. Labores subterráneas. Son excavaciones del tipo de pozos y túneles

que, de acuerdo a su posición y características, reciben distintos nombres:

Socavón: Túnel horizontal, abierto desde la superficie

Galería: Túnel horizontal interno

Pique: Pozo vertical, abierto desde la superficie o desde una galería (**pique interno**).

Chiflón: Pique inclinado

Rampa: socavón o galería inclinada

Chimenea: "pozo" o "agujero" vertical o inclinado, abierto desde abajo hacia arriba

La extensión de estas excavaciones depende del tamaño del cuerpo mineral que se está explorando, o del volumen mínimo de mineral que se quiere poner en evidencia.

El avance de las labores, comúnmente se hace de la siguiente manera:

- Perforación del frente de avance (varios agujeros de acuerdo a diseño previamente establecido). Si se usan martillos neumáticos comunes, cada agujero tiene entre 20 y 40 mm de diámetro. La longitud de cada agujero, en secciones pequeñas, casi nunca pasa de dos metros.
- Los agujeros se cargan con explosivos adecuados para el tipo de roca y el grado de fragmentación deseado.
- Voladura simultánea o escalonada de todas las cargas, usando mechas y fulminantes o detonadores eléctricos y cables.



Figura 3.15: Testigos de perforación analizados en el campamento con un equipo portátil de análisis por fluorescencia de rayos x.

- Ventilación de la labor para extraer gases y polvo
- Carga de la broza (material fragmentado) producida por la voladura y transporte de la misma al exterior.
- Se repite nuevamente el ciclo.

3.2. Exploración mediante perforaciones. Existen diferentes sistemas de perforación.

Por percusión. Consiste en una herramienta de cierto peso que se deja caer y se levanta repitiendo ese movimiento de modo que el reiterado golpeteo en el fondo disgrega o fragmenta las rocas y las va atravesando. Es útil en materiales blandos y en minería se usa muy poco.

Por roto - percusión. Es el sistema de los conocidos martillos perforadores en los que el barrenos, provisto de elementos duros y cortantes en su punta, golpea haciendo un agujero en la roca y cada vez que golpea se mueve una fracción de giro de tal manera que el avance del pozo se consigue por la combinación de la percusión y el giro. El material triturado en el fondo del pozo sale a la superficie generalmente impulsado por aire producido por un compresor. Este tipo de herramienta es la más usada en las perforaciones destinadas a voladuras con explosivos.

Por rotación. El avance se logra mediante un conjunto de barras enroscadas que llevan un trépano en su extremo. Este conjunto gira y presiona sobre el fondo, de modo que el trépano avanza triturando la roca. El material triturado es llevado afuera del pozo mediante un "retorno" que se consigue inyectando agua con algunos aditivos por dentro de la cañería a medida que avanza la perforación para que salga por los orificios del trépano y retorne a la boca del pozo, con el material triturado en suspensión, circulando entre la cañería y las paredes del pozo. A medida que ese material sale del pozo se embolsa metro a metro y cada metro constituye una muestra de las rocas atravesadas. Este sistema es el más utilizado en la exploración de hidrocarburos.

Un dispositivo similar pero con un trépano que tiene la forma de un cilin-

dro hueco, llamado corona diamantada, es muy usado en exploración minera para obtener muestras de roca sin triturar. Esto se logra porque a medida que la corona avanza haciendo un hueco anular, en la parte central de la herramienta va ingresando un cilindro de roca, llamado testigo, que se extrae como muestra por cada metro de avance (Figura 3.15).

En las últimas dos décadas se ha usado mucho un sistema llamado de aire reversa en el que se usa un trépano para triturar la roca y el material triturado se recupera en la boca del pozo con inyección de aire que circula al revés que en el sistema anterior, es decir que el aire comprimido ingresa por afuera de las barras y retorna con el triturado por dentro de ellas. Este método permite acortar los tiempos de perforación y obtener muestras bastante confiables.

CUBICACIÓN DE RECURSOS Y/O RESERVAS

La **cubicación de reservas** es el objetivo final de la exploración. Consiste en la determinación de la cantidad y calidad del mineral del yacimiento, en relación con la calidad comercial de dicha sustancia.

Mediante la ejecución de labores mineras o perforaciones, según el caso, se ubican los límites del cuerpo mineral en las tres dimensiones (Figura 3.16), determinando la **forma** del yacimiento. Utilizando métodos y fórmulas adecuadas se calcula el **volumen** del yacimiento. Luego se debe determinar el **peso específico** de la sustancia, para calcular finalmente la **cantidad** expresada en toneladas (En algunos casos se expresa en metros cúbicos).

La **calidad** del mineral se determina mediante minuciosos análisis, ensayos y estudios, realizados sobre muestras que se extraen del cuerpo mineral de acuerdo a técnicas de muestreo que varían según el tipo de yacimiento. Tanto la extracción de muestras como su manejo posterior deben hacerse con extremo cuidado porque cualquier **error** o **dato fraudulento** que se incorpore puede arruinar todo el

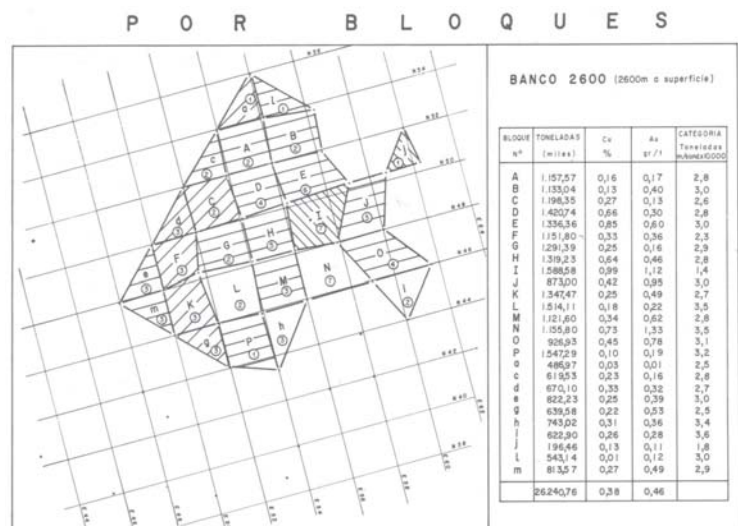


Figura 3.16: Plano parcial de cubicación de reservas por bloques

trabajo realizado o crear una base falsa para el trabajo posterior.

La **cantidad** de mineral, con su **calidad** promedio determinada, constituye lo que se llama las **reservas** de la mina. La palabra **reservas** debe emplearse cuando hay cierta seguridad de que ese mineral es comercializable con beneficio. En cambio, si no hay ninguna seguridad de que esa cantidad de mineral sea explotable económicamente, los expertos prefieren usar la palabra **recursos** en lugar de **reservas**.

Clasificación de las reservas y recursos

Existen distintas formas de clasificar a las reservas y recursos de los yacimientos. Si bien hay clasificaciones más modernas y mejor ajustadas en términos técnicos y económicos, la forma más sencilla para entender los conceptos es la definida en las Normas para la Ejecución de los Estudios Geológico Mineros de la Dirección Nacional de Minería de la Argentina, en 1960:

1. **Mineral medido (también llamado positivo o probado)**. Es aquél cuyo tonelaje se computa utilizando las dimensiones reveladas en afloramientos, labores y/o perforaciones y cuya ley es el resultado de un muestreo detallado. Los sitios de inspección, muestreo y medidas están tan próximos y el carácter geológico tan bien

definido que se puede establecer bien el tamaño, forma y contenido mineral. El tonelaje y la ley computados júzganse exactos dentro de límites que se establecen y ninguno de estos límites se considera que difiere del tonelaje o la ley computados en más del 20%.

2. **Mineral probable (o indicado).** Es aquél cuyo tonelaje y ley se computan, en parte, de medidas específicas, muestras o datos de producción y, en parte, por proyección del cuerpo mineralizado por una distancia razonable basada en evidencia geológica. Los sitios de inspección, muestreo y medidas están demasiado alejados, o si no, inapropiadamente espaciados, como para delimitar completamente el cuerpo mineralizado o establecer su ley media con seguridad.
3. **Mineral supuesto (o posible o inferido).** Es aquél cuyas estimaciones cuantitativas se basan en gran parte en un amplio conocimiento del carácter geológico del depósito y para el cual hay pocas (o ninguna) muestras o medidas. Las estimaciones se basan en una continuidad supuesta del cuerpo mineralizado o en una repetición del mismo, para las cuales hay evidencia geológica; esta evidencia puede incluir la comparación con depósitos de tipo similar. Pueden incluirse aquí cuerpos completamente ocultos, si existe evidencia geológica específica de su presencia. En las estimaciones de mineral supuesto deben darse los límites espaciales dentro de los cuales puede hallarse el mismo.

En la práctica, las **reservas medidas** son las realmente comprobadas con un ínfimo porcentaje de error, y las únicas que sirven para fundamentar cálculos económicos precisos acerca de la futura explotación. No obstante, en muchos casos se acepta incluir el 50% de las **reservas probables** en los cálculos económicos. El resto de las reservas probables y las inferidas deben ser objeto de exploraciones futuras y, en caso de comprobarse su

existencia, darán lugar a la extensión de la vida útil del emprendimiento minero.

Entre las clasificaciones más modernas y con más rigor técnico y económico, hay que mencionar la recomendada por la Organización de las Naciones Unidas en 1996 (Energy/WP.1/12. 1/R.70), que es un poco más compleja porque establece rangos físicos y económicos a las tres categorías aquí descritas. No obstante, todavía no están unificados los criterios como para que se use una sola clasificación a escala mundial.

En nuestro Continente, hoy en día son muy utilizadas las normas canadienses del Joint Ore Reserves Committee (JORC).

La Argentina ha acreditado la Guía titulada "Presupuestos Mínimos para la Certificación de Información Pública referida a Activos Minerales", ante el Combined Reserves International Reporting Standards Committee (CRIRSCO). La Guía fue elaborada por la Asociación Argentina de Geólogos Economistas (AAGE, el Consejo Superior Profesional de Geología (CSPG), el Colegio Argentino de Ingenieros de Minas (CADIM) y el Consejo Profesional de Ciencias Económicas (CPCE)

En cualquiera de los casos las normas en uso tienden a adaptarse a la lógica de la exploración que comienza con poca información y, a medida que avanza, va agregando más datos y mayor precisión en esos datos para culminar con la cubicación de reservas.

Un ejemplo muy sencillo:

Al solo efecto de tener una idea de lo que es el cálculo de la cubicación de reservas, supongamos que se quiere explotar un tramo de un cauce fluvial abandonado para producir **grava y arena** para la industria de la construcción.

Los primeros datos se obtienen mediante un reconocimiento en una imagen satelital y una rápida recorrida de campo que permite seleccionar un sector carente de cubierta de unos 200 metros de longitud, donde el cauce tiene un ancho de 100 metros. La superficie de ese sector es de $200\text{m} \times 100\text{m} = 20.000\text{m}^2$.

Por antecedentes conocidos en la misma zona se interpreta que el material

aluvional puede tener unos 10m de profundidad promedio.

Con ese supuesto se calcula la primera cubicación:

$20.000\text{m}^2 \times 10\text{m} = 200.000\text{m}^3$ de material aluvional.

Este volumen es un "recurso inferido" porque no se conoce la proporción de los materiales a explotar (grava y arena) y no hay ninguna comprobación de que el aluvión continúe hasta la profundidad de 10m.

Seguidamente se decide explorar mediante una red de pozos de cinco metros.

La información que se obtiene en esta etapa es la siguiente:

El aluvión está presente hasta los cinco metros de profundidad y aparentemente continúa mas abajo.

Los ensayos sistemáticos de las muestras de los pozos permiten determinar que el aluvión se compone de: 40% de grava, 40% de arena y 20% de limo, que es un material a desechar.

Con los nuevos datos, la cubicación se resuelve de la siguiente manera:

Volumen comprobado del aluvión:
 $200\text{m} \times 100\text{m} \times 5\text{m} = 100.000 \text{ m}^3$

Volumen de grava: $100.000\text{m}^3 \times 0,40 = 40.000 \text{ m}^3$

Volumen de arena: $100.000\text{m}^3 \times 0,40 = 40.000 \text{ m}^3$

Volumen de limo: $100.000\text{m}^3 \times 0,20 = 20.000 \text{ m}^3$ (material a desechar)

En este caso el material cubicado se considera "recurso medido", y, si se demuestra que se puede extraer y vender con beneficio, es una "reserva medida".

Por debajo del recurso medido, el aluvión continúa y el yacimiento se puede extender considerando una capa de "recurso probable" y otra inferior de "recurso inferido".

La grava y la arena se comercializan generalmente por metros cúbicos, pero si se hiciera en toneladas (como la mayoría de los minerales) cada volumen debería multiplicarse por el peso específico del material respectivo para obtener el tonelaje.

ESTUDIO MINERALÚRGICO E INGENIERIA DEL PROYECTO

La etapa de riesgo continúa con el estudio de la **ingeniería del proyecto**. Para ello se plantean y estudian las diferentes alternativas sobre métodos de explotación y tratamiento (Figuras 3.17 y 3.18). Entre los temas de fondo hay que tener en cuenta la infraestructura e instalaciones necesarias, el equipamiento a



Figura 3.17: Estudios mineralúrgicos en planta de laboratorio



Conozcamos más sobre Minería



SEGUNDA EDICIÓN

Eddy Lavandaio

Instituto de Geología y Recursos Minerales
Servicio Geológico Minero Argentino

Serie Publicaciones N° 168 - 2ª edición

Buenos Aires - 2014

DIAGRAMA DE FLUJO DE MINERA ALUMBRERA
MINERA ALUMBRERA
FLOWSHEET

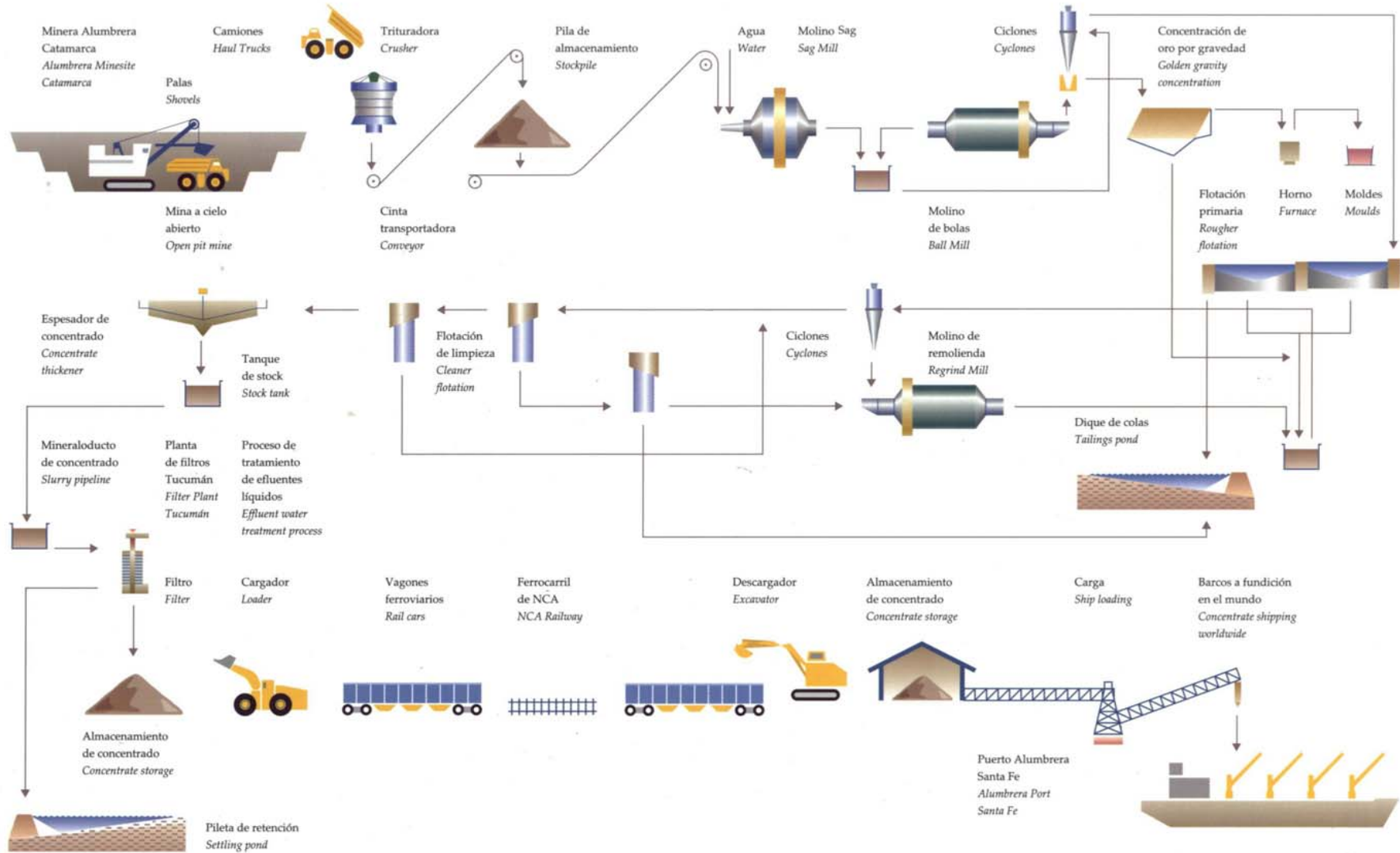


Figura 3.18: Diagrama de flujo para el proceso de tratamiento del mineral (Mina Bajo de la Alumbra).

adquirir y la mano de obra a emplear, la inversión requerida y los costos de operación, para finalmente calcular los costos de producción, según las alternativas planteadas.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

El último paso de la etapa de riesgo es el estudio de factibilidad, en el que se usan y comparan todos los parámetros técnicos y económicos obtenidos en los estudios realizados con otros datos tomados del mercado en el que se piensa colocar la producción. La calidad del mineral a producir y las condiciones del mercado consumidor permiten determinar un **precio de venta**. La capacidad de compra o **demanda** del mercado y la **cantidad** de mineral disponible en la mina son fundamentales para calcular la magnitud y duración de la explotación y los plazos de amortización de las inversiones. También se estudia la incidencia de otros factores como los impuestos, costos financieros, regalías, seguros, previsiones, etc.

El análisis de todos los datos económicos permite calcular si la explotación será o no un buen negocio. Lógicamente, para que sea buen negocio, el **estudio de factibilidad** debe indicar que el **precio de venta** del mineral es mayor que el **costo total de producción** (incluidas todas las amortizaciones), y que la diferencia entre ambos, conocida como **ganancia**, es suficientemente atractiva para hacer la inversión (por ejemplo, cuando la ganancia es mayor que un interés bancario). En este caso se dice que la explotación es **factible** o **rentable**.

Niveles sucesivos de estudios para llegar a la factibilidad

Los párrafos anteriores son una simplificación de la realidad a los efectos didácticos. En la práctica existe una secuencia de estudios que se van haciendo en etapas sucesivas. Cada estudio permite una evaluación cada vez más detallada y precisa para determinar si se encara la etapa siguiente o no. A partir de una **idea**, que en realidad es lo primero

que se evalúa (Millán A., 1996), se deben considerar los siguientes niveles sucesivos de estudios: inicial, conceptual y básico. Estos niveles son equivalentes a los de perfil, pre-factibilidad y factibilidad que utiliza el Banco Mundial. El error aceptable es más grande en el estudio inicial (-30% a +50%), menor en el estudio conceptual (-15% a +30%), y mínimo en el estudio básico (-05% a +15%). Estas evaluaciones sucesivas son las que permiten suspender o abandonar un proyecto antes de terminar una exploración, sin llegar al estudio de factibilidad.

INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL

De acuerdo a la Sección Segunda del Título 13 del Código de Minería (Anexos I, II, y III de las Normas Complementarias) en cada proyecto minero, las instancias de prospección, exploración y explotación requieren la previa presentación de un **Informe de Impacto Ambiental** y su aprobación por parte de la Autoridad de Aplicación mediante una **Declaración de Impacto Ambiental**.

Esta exigencia tiene por objeto proteger el ambiente y el patrimonio natural y cultural de la zona donde se propone desarrollar la nueva actividad minera. El informe es un estudio detallado del medio ambiente, su afectación por los impactos producidos por las actividades a desarrollar en cada etapa del proyecto propuesto, y la forma en que se evitará producir daños y de qué manera se mitigarán y/o remediarán los impactos permanentes, como las excavaciones, escombreras y relaves. Las mismas normas exigen, además, que el informe de impacto ambiental se actualice cada dos años.

De esta manera, ningún proyecto minero, sea de prospección, de exploración o de explotación, se puede iniciar sin haber tenido previamente la aprobación de la Autoridad Ambiental Minera. En el caso de la explotación, es conveniente que el Informe de Impacto Ambiental forme parte del **estudio de factibilidad**.

En un capítulo posterior (Tema 6) se explicará esto con mayor detalle.

EL CARÁCTER NO RENOVABLE DE LOS RECURSOS MINEROS

El carácter **no renovable** de los recursos mineros es una de las características distintivas que diferencia a la minería de otras explotaciones como, por ejemplo las agropecuarias. El agricultor puede sembrar y cosechar todos los años en el mismo campo, pero el minero va agotando el recurso a medida que lo extrae. Si las reservas totales de una mina suman un millón de toneladas y la explotación avanza a un ritmo de cien mil toneladas por año, el yacimiento se agota en diez años. Terminado ese período, cesa la actividad del establecimiento minero y desaparece como fuente de producción y empleo.

Hay que destacar que un hecho de esta naturaleza tiene implicancias económicas y sociales que pueden llegar a ser muy graves. Si se toma como ejemplo el caso de la mina Bajo de la Alumbra, su vida fue calculada en el proyecto original en 20 años. Esto significa que al finalizar ese lapso se dispondrá el cierre de la mina y las 800 personas que trabajan allí se quedarán sin empleo. Además, varios cientos de personas que trabajan en actividades complementarias generadas por el mantenimiento y el desenvolvimiento de la mina (proveedores de servicios, insumos, repuestos, transporte, comunicaciones, etc.) también perderán esa fuente de trabajo.

Esta característica de la explotación minera es la que originó en varios países

del mundo, incluido el nuestro, una imposición llamada **regalía**. La regalía no es un impuesto. Es una suma que la empresa minera paga al Estado en concepto de compensación por el agotamiento del recurso natural. El destino específico de ese dinero (no siempre cumplido) es la creación o promoción de **otras actividades económicas** que reemplacen a la de la mina cuando se produzca su cierre.

A pesar de lo expresado hasta aquí, con un tono deliberadamente pesimista para explicar el concepto de regalía, en la mayoría de los casos, la actividad minera de una región tiene cierta continuidad en el tiempo, ya sea porque se descubren nuevos recursos en la misma mina o porque se encuentran nuevas minas en zonas cercanas.

Por ejemplo, en Jujuy comenzó a explotarse la mina Aguilar en 1936, con reservas para trabajar durante diez años. Pero a medida que se producía mineral, la empresa siguió explorando y cubicando nuevas reservas en el mismo yacimiento y en otras minas cercanas. Como consecuencia de ello, el establecimiento minero continúa produciendo setenta y cinco años después, y sigue manteniendo reservas para diez años.

En el caso del Bajo de la Alumbra, antes mencionado, cuya vida útil es de 20 años, también se llevaron a cabo exploraciones en zonas cercanas y existen ya descubrimientos concretos que permiten suponer que cuando cierre se abrirá otra de similar magnitud, como lo es el yacimiento Agua Rica.

TEMA 4 – ETAPAS DE LA ACTIVIDAD MINERA ETAPA DE NEGOCIO MINERO O DE INVERSIÓN

FINANCIACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

Una vez determinada la factibilidad del proyecto se pasa a la etapa de explotación. Para ello es necesario que, previamente, se consigan las fuentes de financiación que provean el dinero necesario para la construcción y la puesta en marcha del proyecto. La cantidad de dinero necesario depende de la magnitud del proyecto. En Bajo de la Alumbreira, que es la mina más grande del país, se invirtieron finalmente unos 1.300 millones de dólares.

Hay distintas formas de obtener financiación. Las más frecuentes son:

- Capitales o recursos de la empresa propietaria.
- Suscripción de acciones.
- Asociación con otras empresas que aportan capital a cambio de una parte del negocio.
- Préstamos bancarios.
- Participación de bancos como socios del negocio.
- Créditos de los proveedores
- Préstamos y créditos especiales de sistemas de promoción.

Durante la construcción se hacen los laboreos necesarios para la futura explotación y se realizan las obras de infraestructura (camino, comunicaciones, campamentos, etc.), instalaciones y equipamiento, se incorpora el personal necesario y se procede a su capacitación. Finalmente se hacen todas las pruebas que permiten verificar el funcionamiento correcto de todas las instalaciones, circuitos y equipamientos, y se pone en marcha la producción.

EXPLOTACIÓN O EXTRACCIÓN

Hay diferentes métodos de explotación y su aplicación depende de:

1. El estado físico del mineral (sólido coherente o incoherente, líquido, gas, o sólido soluble o fusible).

2. La profundidad en que se encuentra el yacimiento.
 3. La viabilidad técnica.
 4. La viabilidad económica
1. De acuerdo a su estado físico se consideran los siguientes materiales:

1.1. **Sólidos coherentes:** Es el grupo más numeroso ya que abarca la gran mayoría de las sustancias minerales. Son los que tienen "consistencia pétreo". En la práctica, cuando se habla de métodos de explotación minera se incluye casi exclusivamente a este grupo.

Algunas explotaciones son subterráneas, como en Mina Aguilar, Farallón Negro, Río Turbio. Otras, más numerosas, se hacen a cielo abierto (carteras) como Bajo de la Alumbreira, Cerro Vanguardia, Sierra Pintada, Tincalayu y todas las explotaciones de granitos, mármoles, calizas y materiales similares. En todos estos casos (excepto carbones, mármoles y granitos que requieren cuidados especiales) el material debe arrancarse mediante el uso de perforaciones y voladuras con explosivos. El mineral arrancado es cargado y llevado por diferentes medios, máquinas o instalaciones desde el frente de explotación hasta la planta de tratamiento o hasta el lugar de embarque (Figuras 4.1 a 4.4).

1.2. **Sólidos incoherentes:** Muchos yacimientos superficiales están integrados por materiales incoherentes. Se trata de aglomerados, arenas, sales de "cosecha" y arcillas que, comúnmente requieren métodos de arranque muy sencillos, que se resuelven con el uso de excavadoras y máquinas similares, o con pico y pala, a nivel artesanal. Se incluyen las explotaciones de arena por dragado de fondos fluviales, como el que se hace en los ríos Paraná y de la Plata.

1.3. **Fluidos:** Es un grupo reducido pero valioso que incluye a los hidrocarburos (petróleo y gas), a las sal-

mueras (Salar del Hombre Muerto y Salinas del Timbó) y a los aprovechamientos geotérmicos, como el del Volcán Copahue.

1.4. Materiales solubles o fusibles:
Es un pequeño grupo integrado por hidrocarburos muy viscosos, sales y azufre. En la mina Potasio Río Colorado, en el sur de Mendoza, se ha previsto hacer perforaciones e inyectar agua para disolver el cloruro de potasio del yacimiento, ubicado a mil metros de profundidad, y extraerlo en forma de salmuera.



Figura 4.1: Apertura de la mina Bajo de la Alumbrera en 1997



Figura 4.2: La mina Bajo de la Alumbrera en 2002

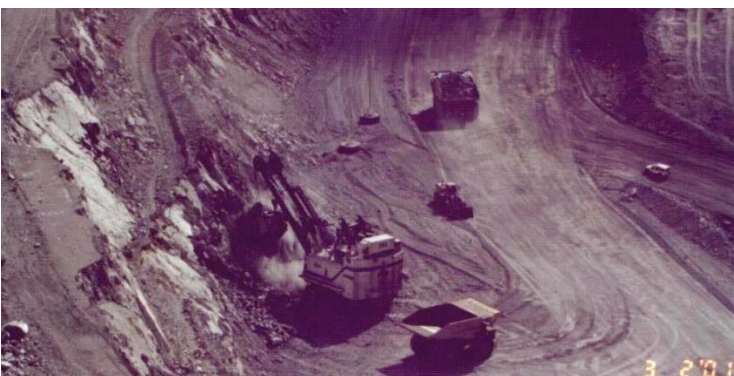


Figura 4.3: Extracción y transporte del mineral de la mina

2. Según la profundidad en que se encuentre un yacimiento de materiales sólidos se pueden dar los siguientes casos (Stoces, 1963):

2.1. Si el yacimiento está en la superficie o cerca de la superficie, la explotación se hace "a cielo abierto".

2.2. En cambio, si el depósito está a cierta profundidad, la explotación es por labores subterráneas.

Muchas minas metalíferas comenzaron su producción mediante labores a cielo abierto y en la medida que se descubrieron más reservas en la continuación del yacimiento en profundidad, la explotación subterránea reemplazó a la de cielo abierto inicial, como ha ocurrido recientemente en la mina de oro Cerro Vanguardia, en Santa Cruz.

También se da el caso de yacimientos que fueron inicialmente explotados de manera subterránea (mineralización en vetas) y luego se convirtieron en explotaciones a cielo abierto, extrayendo masivamente el mineral diseminado en las rocas ubicadas entre veta y veta. Un ejemplo reciente es la mina Pirquitas, en Jujuy

3. La viabilidad técnica se determina estudiando e integrando toda la información reunida sobre el yacimiento en uno o más proyectos de ingeniería, y haciendo ensayos que simulen las condiciones de una eventual ex-



Figura 4.4: Perforación para voladura y avance en bancos

plotación para saber si técnicamente se puede obtener un producto apto para la industria, un producto que tenga mercado.

4. Finalmente, la viabilidad económica estudia las alternativas técnicamente viables y determina si son rentables, si se puede hacer un negocio redituable con la venta del producto.

Explotación subterránea de sólidos coherentes

En general, el caso más complejo (y más caro) es extraer materiales sólidos coherentes por métodos subterráneos. Describiremos muy elementalmente las tareas básicas de este tipo de explotación, haciendo referencia a ejemplos de minas argentinas como Farallón Negro y Aguilar.

- a) Perforación
- b) Arranque con explosivos
- c) Carga, transporte y extracción
- d) Desagüe
- e) Ventilación
- f) Alumbrado
- g) Fortificación
- h) Seguridad y protección ambiental

Explotaciones a cielo abierto

Materiales coherentes: Bajo de la Alumbraera, Sierra Pintada, Tincalayu, Cerro Vanguardia

Materiales incoherentes: Canteras de arena, canto rodado, arcillas, salinas de "cosecha", dragado de arenas

Explotaciones por perforaciones

El Timbó (sal), Fénix o Salar del Hombre Muerto (sal de litio), Río Colorado (cloruro de potasio), Petróleo y gas, Vapores endógenos

Escala de las explotaciones

Económicamente se acostumbra a distinguir entre explotaciones de gran escala (Bajo de la Alumbraera y Loma Ne-

gra, por ejemplo) o gran minería, que siempre están en manos de grandes empresas, de aquellas de mediana o pequeña escala, explotadas por las llamadas PYMES, es decir las pequeñas y medianas empresas.

Cuando la explotación minera se hace en forma individual y con métodos principalmente manuales, se prefiere hablar de minería artesanal.

PREPARACIÓN O TRATAMIENTO DE MINERALES

Si bien hay algunas industrias que pueden usar las materias primas minerales tal como se extraen del yacimiento, como ciertos materiales de construcción, en la mayoría de los casos los establecimientos mineros tienen dos unidades operativas perfectamente diferenciadas, la unidad "mina" donde se extrae el mineral del yacimiento, y la unidad "planta de tratamiento", una planta industrial en la que se transforma el mineral de la mina en un producto comercializable.

Por ejemplo, la industria que produce manufacturas de cobre requiere metal puro pero tal sustancia prácticamente no existe en la naturaleza (el cobre nativo es una rareza mineralógica). Normalmente, se presenta formando parte de ciertos minerales de mena asociados a diferentes minerales de ganga. En Bajo de la Alumbraera, cada tonelada (1.000 kilogramos) de mineral que se extrae del yacimiento sólo contiene entre 20 y 25 kilogramos de minerales de cobre diseminados en su masa. Por eso, debe ser procesado por distintos métodos de tratamiento para separar la mena de la ganga y obtener un producto intermedio que es el concentrado de minerales de cobre (Figuras 4.5 a 4.9). Este concentrado se vende a otro establecimiento industrial que, mediante procesos de fundición y refinación, obtiene finalmente el cobre metálico puro.

Detalles del concentrado de la Mina Bajo de la Alumbraera

El principal mineral de cobre del yacimiento diseminado de la mina Bajo de la Alumbraera es la calcopirita, que es un

sulfuro doble de hierro y de cobre (su fórmula química es FeCuS_2) compuesto por un 30,5% de hierro, un 34,5% de cobre y un 35% de azufre. Junto con otros sulfuros minoritarios, la calcopirita está diseminada en una masa de roca (pórfido) compuesta esencialmente por silicatos.

Los procesos de concentración de la planta de tratamiento separan a la calcopirita y sulfuros minoritarios (la mena) del resto de la roca (la ganga). Si

la calcopirita fuera el único sulfuro y el proceso lograra una separación perfecta del resto de la roca, una tonelada de concentrado debería contener 345 kg de cobre, 350 kg de azufre y 305 kg de hierro. La presencia de otros minerales metálicos minoritarios (pirita, bornita, molibdenita, argentita, oro nativo) y cierta imperfección en la eficiencia de los procesos, hace que el concentrado de la mina tenga finalmente entre 280 y 300 kg de



Figura 4.5: El mineral extraído de la mina Bajo de la Alumbreira es procesado en la planta industrial de tratamiento que se ve en primer plano. El material estéril es acumulado en la escombrera que se ve detrás de la planta.



Figura 4.6: El concentrado que produce Bajo de la Alumbreira es transportado hasta el puerto San Martín, sobre el río Paraná, para su embarque y exportación



Figura 4.7: Interior de la planta, sector de molienda



Figura 4.8: Sulfuros metálicos diseminados en una roca volcánica de color claro



Figura 4.9: Sector de concentración por celdas de flotación

cobre por tonelada. Ese concentrado de calcopirita se vende a otros establecimientos, ubicados fuera del país, donde por fundición y refinación se separan los elementos químicos de la mena y se obtiene el cobre puro que requiere la industria manufacturera.

Diferentes procesos de tratamiento

Hay casos simples, como por ejemplo los áridos para la construcción. Pero aún en estos casos pueden verse explotaciones de materiales aluvionales que, con la ayuda de plantas de clasificación, producen arena fina, arena gruesa y canto rodado. Más aún, en muchos lugares del oeste y noroeste argentino, las arenas no son aptas porque contienen arcilla y sales que son altamente perjudiciales para las mezclas que se preparan con ellas (mortero, hormigón, etc.). Estas arenas deben ser sometidas a un proceso de lavado antes de su envío al mercado consumidor.

Los procesos de tratamiento no son un tema menor, y deben ser minuciosamente estudiados como parte del proyecto minero, en forma paralela a la exploración. Cualquier dificultad sería en el tratamiento del mineral puede determinar la inviabilidad de un proyecto, ya sea porque técnicamente no se puede alcanzar la calidad requerida por la industria o porque el proceso a aplicar es demasiado costoso y el producto final no es competitivo en precio.

De acuerdo a las características físicas y químicas de los minerales a tratar, se utilizan diferentes métodos de tratamiento o concentración.

Descripción sucinta de los métodos de tratamiento

1. Cribado y clasificación

Con el uso de cribas o zarandas (mallas de alambre o chapas agujereadas que retienen las partículas más grandes que los orificios y dejan pasar las más pequeñas) se pueden separar materiales de distinto tamaño. Así, a partir del material aluvional de un río, se pueden separar los cantos rodados y la arena. A su vez, la

arena se separa en gruesa y fina, y el material más fino (limo, arcilla) se desecha. En la práctica se usan plantas de clasificación, que consisten en circuitos con varias zarandas que clasifican el material de acuerdo a su tamaño.

2. Lavado

La mayoría de las arenas de las provincias cordilleranas son "arenas sucias". En este caso la arena está mezclada con partículas más finas (limo y arcilla) que se adhieren a cada grano de la arena. Estas partículas finas, que muchas veces tiene sal asociada, son una impureza que debe eliminarse para que la arena sea apta en la industria de la construcción. Esto se consigue mediante el lavado de la arena y el drenado del agua con el material fino. En la práctica se pueden combinar la clasificación por tamaños y el lavado en un mismo circuito.

3. Trituración y molienda

La trituración es un proceso en el que se rompen bloques de roca transformándolos en agregados de granos pequeños. La molienda los reduce a polvo. Es decir que entre ambos producen la disminución del tamaño del material extraído de la mina.

En los puntos anteriores se han mencionado materiales incoherentes que pueden separarse y clasificarse sin necesidad de otro proceso previo. Sin embargo, la mayoría de los materiales que se explotan en las minas son sólidos coherentes en los cuales están mezclados los minerales que nos interesa recuperar con otros que no nos sirven.

Generalmente, los componentes minerales de esa masa rocosa tienen un tamaño muy pequeño. En consecuencia, cualquier proceso o circuito que se utilice para separar un mineral de otro, comienza con la trituración y la molienda del material, de manera de reducir su tamaño hasta que las partículas obtenidas tengan el tamaño de los minerales componentes de esa masa rocosa. Recién en ese estado es posible separar los minerales útiles de los que no lo son.

Por eso, en la mayoría de las plantas de tratamiento de minerales, la tritura-

ción y la molienda son los primeros procesos a los que se somete el material proveniente de la mina.

4. Concentración

La concentración es una operación que permite separar los minerales útiles de los que no lo son, ya sea por medios físicos o químicos. La operación tiene por resultado dos fracciones: una constituida fundamentalmente por minerales útiles, que se llama concentrado, y otra con los minerales desechados, que se denominan colas.

Por ejemplo, el mineral que se extrae del Bajo de la Alumbrera tiene entre 0,5 y 0,7 % de cobre. Este metal está contenido en sulfuros de cobre diseminados en una masa rocosa que constituye el yacimiento. La planta de tratamiento de la mina concentra los sulfuros de cobre separándolos de los demás minerales. El concentrado resultante, que es el producto final del establecimiento, tiene un contenido de alrededor de 28 % de cobre. Los minerales que se desechan se almacenan en un depósito o dique de colas.

De acuerdo a las características físicas y químicas de los minerales a tratar, se utilizan diferentes métodos de concentración.

a) Selección a mano

Este es el método más antiguo pero en algunos casos todavía sigue siendo efectivo. Un ejemplo fue la mina Santa Cruz, de Mendoza, que fue explotada entre 1955 y 1972. De las labores subterráneas de la mina se extraía mineral de manganeso (de color negro) mezclado con calcita (de color blanco) y pórfidos (roca de color rosado rojizo). A la salida de la mina el mineral circulaba por una cinta transportadora y un grupo de empleadas retiraba de la cinta los trozos blancos y rojizos. De esta manera, el mineral que salía de la mina con un contenido de 25 a 30 % de manganeso, al llegar al final de la cinta transportadora se había concentrado, alcanzando un contenido de 40 a 45 % de manganeso.

b) Concentración gravitacional

Este tipo de concentración se hace con diversas máquinas o artefactos cuyo

principio de funcionamiento consiste en la separación de partículas que, ya sea por densidad o por tamaño, responden de distinta manera ante la fuerza de gravedad.

El ejemplo más conocido es el trabajo que hacen los lavadores de oro en las arenas de un río. El lavador coloca la arena en un plato o batea, y lo mueve permanentemente en la corriente de agua. El movimiento hace que los minerales pesados (los de mayor densidad, como el oro o la magnetita) se desplacen hacia abajo, al fondo del plato, mientras que los minerales livianos (el cuarzo por ejemplo) permanecen arriba.

De esa manera, con mucha paciencia y bastante dolor de cintura, el lavador va eliminando del plato a los minerales livianos de la parte de arriba, y obtiene un concentrado de minerales pesados, entre los cuales está el oro, en el fondo del plato.

c) Densidad diferencial

En este caso también se separan minerales de distinto peso específico utilizando para ello líquidos de densidad intermedia entre el mineral que se quiere concentrar y los desechables. El caso más simple es la separación de carbón y otros componentes rocosos, en agua. El carbón, que es más liviano que el agua, flota, mientras los demás minerales, que son más pesados, se hunden.

d) Separación magnética

Hay ciertos minerales que pueden ser atraídos por un campo magnético, como la magnetita (óxido de hierro) o la ilmenita (óxido de hierro y titanio). Esta propiedad se aplica en ciertos circuitos de concentración para separar minerales de distinta susceptibilidad magnética.

Una parte importante del titanio que se produce en el mundo proviene de concentrados producidos con separadores magnéticos, a partir de yacimientos de arena titanífera.

e) Flotación

Consiste en la separación de ciertos minerales utilizando una particular propiedad de sus superficies. Mientras que la mayoría de los minerales comunes tien-

de a "mojarse" (el agua se adhiere a su superficie) hay otros como el grafito que tienden a "no mojarse" (el agua no se adhiere). Estos últimos tienen la tendencia de adherirse al aire.

En la práctica se usan celdas de flotación. Cada celda es un recipiente con agua y mineral molido en movimiento, en la que se introduce aire para que circulen burbujas desde abajo hacia arriba. En estas condiciones, los minerales que se mojan se deprimen dentro del líquido y el que tiende a no mojarse se adhiere a las burbujas de aire, que lo llevan a la superficie de la celda. Retirando el mineral que se ubica en la superficie del líquido se obtiene un concentrado de ese mineral. Usualmente se utilizan sustancias químicas que confieren o realzan las condiciones de flotabilidad del mineral a concentrar.

En la minería moderna, la mayoría de los sulfuros (los de cobre del Bajo de la Alumbrera, o los de plomo y zinc de Mina Aguilar) se concentran mediante este método.

f) Amalgamación

Los metales nativos, como el oro y la plata, tienen la particularidad de adherirse al mercurio líquido. La mezcla de metal y mercurio se llama amalgama.

Desde tiempos muy remotos se utiliza esta propiedad para separar el oro de otros minerales que lo acompañan, haciendo circular agua con la mezcla de minerales molidos que contiene oro sobre una lámina de mercurio líquido. El oro de la mezcla queda retenido dentro del mercurio. Posteriormente se lo recupera calentando, evaporando y condensando el mercurio para volver a usarlo.

5. Solución y precipitación. Lixiviación

Las sales de cobre (carbonatos como la malaquita y la azurita) contenidas en areniscas (como el caso de muchas minas de Mendoza y Neuquén) son solubles en ácido sulfúrico muy diluido, mientras que los demás minerales de la arenisca (cuarzo y silicatos) son insolubles. Esto permite atacar el mineral extraído (triturado o molido) haciendo circular agua con pequeñas cantidades de ácido, en un

tanque o recipiente adecuado, y disolver los minerales de cobre. Este proceso se llama lixiviación en tanques. Posteriormente, la solución se trata en otro recipiente donde se hace precipitar al cobre disuelto. Para conseguir que precipite se puede usar hierro (método más antiguo), electricidad o bacterias.

Cuando los volúmenes de mineral son grandes, en lugar de tanques se arman pilas de mineral al aire libre sobre materiales impermeables.

En el caso de las menas de oro y plata, cuando no es posible la separación de los metales por métodos físicos, se disuelven y lixivian con una solución cianurada (generalmente agua con pequeñas proporciones de cianuro de sodio) y se recuperan haciéndolos precipitar con carbón o con zinc. La lixiviación se puede hacer en tanques o en pilas. En ambos casos se trabaja en circuito cerrado.

6. Calcinación

La calcinación de un mineral consiste en someterlo a cierta temperatura para modificar su composición o sus características. Esto se hace generalmente en hornos. El nivel de temperatura y las demás condiciones en que se realiza depende del mineral que se trata.

Por ejemplo, para transformar el yeso natural en yeso apto para la industria de la construcción, se calcina a 128° C. Para transformar una caliza en cal se necesita una temperatura de unos 900° C.

7. Fundición

A diferencia del caso anterior, la fundición somete un mineral a una temperatura tal que alcance su punto de fusión. Por ejemplo, los sulfuros de cobre se funden a unos 1300° C y de esa manera se separa el metal (líquido) del azufre.

8. Refinación

Generalmente los metales fundidos contienen impurezas que deben eliminarse con otro proceso posterior que se llama refinación. En el caso del cobre la refinación se hace por electrólisis, obteniéndose el cobre puro.

9. Corte y pulido

Las rocas ornamentales como los mármoles y los granitos habitualmente se cortan en planchas mediante herramientas de corte como las sierras o los telares. Posteriormente, las superficies que deben quedar expuestas se pulen con el uso de abrasivos hasta que adquieren su brillo característico.

¿CUÁNTOS MINERALES PUEDEN SEPARARSE Y CONCENTRARSE COMO MENA?

Se explicó anteriormente (Tema 2) que las rocas de la corteza terrestre generalmente contienen todos los elementos químicos naturales conocidos, entre ellos todos los metales. En el Anexo 4 se reproduce la Tabla de Rosler y Lange (1972) que muestra el contenido promedio de 68 elementos analizados en las rocas magmáticas más comunes que son los granitos y los basaltos, y allí puede verse que todos los metales están presentes pero la mayoría de ellos en muy pequeñas proporciones, casi siempre medibles en partes por millón (gramos por tonelada) o unidades de menor magnitud.

También se dijo que un yacimiento es una concentración natural de una determinada sustancia, es decir que, para que un cuerpo de roca sea considerado como un yacimiento de un determinado mineral, ese mineral debe estar presente en una proporción muy superior a la de cualquier otra roca.

Además de esa condición sobre la proporción, es necesario que el mineral que nos interesa pueda ser separado de los demás por alguno de los métodos de tratamiento descriptos. Por ejemplo, en el caso de los metales, el oro (puro o aleado con plata) casi siempre está presente como una especie mineral, una sustancia física y químicamente diferente a las que lo acompañan, y por eso se puede separar del resto con relativa facilidad aún en pequeñas proporciones. En cambio, el rubidio o el cesio que se encuentran dentro de la estructura atómica del mineral microclino (silicato de aluminio y potasio) reemplazando por sustitución iónica

a algunos átomos de potasio, no pueden separarse por esos métodos.

Por otra parte, los métodos de tratamiento siempre son imperfectos y no pueden separar todo el mineral que nos interesa sino un porcentaje del mismo. Eso se llama "porcentaje de recuperación" y puede ser alto en algunos casos y bajo en otros. Por ejemplo, en la mina de oro y plata Veladero, en San Juan, los procesos de tratamiento en uso recuperan un porcentaje importante del oro del yacimiento pero en cambio recuperan menos del 10% de la plata.

También hay limitaciones económicas que impiden la separación de algunos minerales "minoritarios", sencillamente porque no se puede gastar en un proceso más dinero de lo que se puede recuperar vendiendo ese mineral.

Por eso, en la práctica se habla de yacimientos de uno o dos minerales, y cuando se dice que un yacimiento es "polimetálico" es porque se pueden separar tres o cuatro (excepcionalmente cinco) minerales metálicos que se venden en forma de "concentrados".

Después de la fundición de los concentrados, la etapa de refinación ofrece la última oportunidad de recuperar algún metal minoritario, siempre y cuando resulte económico hacerlo. Por ejemplo, en la refinación del molibdeno suele recuperarse renio, en la de cobre se puede recuperar oro y en la de zinc pueden recuperarse cadmio e indio. En todos estos casos las cantidades que se recuperan son muy pequeñas y se destinan a satisfacer demandas cuyo volumen también es reducido.

CIERRE DE LA MINA

Las reservas del yacimiento se agotan después de un período al que llamamos vida útil de la mina. Al término de esta vida útil se debe proceder al cierre de la mina, que es la última etapa de un proyecto minero (Código de Minería, artículo 249).

Dado que uno de los componentes más relevantes de esa etapa es la remediación ambiental, se va a describir en un capítulo posterior, correspondiente al impacto ambiental de las minas.

TEMA 5 - IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DE LOS PROYECTOS MINEROS

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL NEGOCIO MINERO

La minería tiene algunas diferencias importantes respecto de otras actividades productivas. Esas diferencias son:

1. Superposición del derecho minero con la propiedad del terreno. Esto genera problemas cuya solución, siempre que exista, genera mayores costos.
2. Inversión en una etapa de riesgo (prospección y exploración) con un alto porcentaje de fracasos. Esto genera pérdidas que de alguna manera se tienen que compensar.
3. La ejecución de las sucesivas etapas de la minería se concretan a largo plazo, generalmente en el transcurso de varias décadas.
4. Las reservas de un yacimiento se extraen y se agotan. Esto le pone un plazo fijo a la terminación del negocio y suma un costo de compensación por agotamiento que se llama regalía.
5. Como actividad productiva primaria la minería no tiene alternativas. La agricultura y la ganadería pueden alternarse en la explotación de un campo, pero una mina de hierro únicamente puede producir hierro: no tiene otra posibilidad.
6. En el caso de los minerales metálicos y de varios minerales industriales no se puede aplicar el principio de "vivir con lo nuestro". Ninguna comunidad posee yacimientos de todos los minerales. Por eso, todas producen lo que tienen y con eso adquieren el dinero necesario (moneda de cambio o divisas en dólares u otras monedas aceptadas) para comprar en otro lado lo que les falta.

Es importante tener en cuenta esas diferencias, que le agregan inconvenientes al negocio minero si se lo compara con otros, porque las reglas básicas de la economía son las mismas para todos los negocios pero si la minería tiene incon-

venientes que la convierten en riesgosa, de largo plazo y con costos adicionales, también es más difícil conseguir inversores que financien a la minería.

RELACIÓN CON EL CONCEPTO MUNDIAL DE DESARROLLO SUSTENTABLE

Todo análisis de actividades humanas debe hacerse en el contexto del concepto universalmente aceptado del "desarrollo sustentable". introducido por el Informe Brundtland, "Nuestro Futuro Común", en la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo de 1987, que lo define de la siguiente manera: "desarrollo sustentable es el que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades".

El concepto es suficientemente elocuente al relacionar el desarrollo presente con el del futuro, y condiciona y obliga a las actividades productivas, incluyendo a la minería, a satisfacer las necesidades actuales sin perjudicar a las de las generaciones futuras.

Debemos tener en cuenta que las etapas y fases de la actividad minera conforman un "ciclo" que para cada mina tiene principio y fin. Comienza con el descubrimiento, sigue con la exploración, la construcción y la producción hasta que el yacimiento se agota y se cierra la mina.

Por eso, para que la minería sea sustentable en el tiempo, para asegurar la provisión de minerales a las generaciones actuales y futuras, es necesario repetir ese "ciclo". Eso significa que, a la vez que avanza la producción de las minas actuales, es imprescindible realizar una constante búsqueda y exploración destinada a descubrir nuevos yacimientos para reemplazar a los que se van agotando. Es la única forma de asegurar que en el futuro no se interrumpa la provisión de minerales.

Vale la pena agregar que la palabra desarrollo, además de su elemental significado económico, también tiene

implicancias sociales y ambientales. Concretamente, el ser humano debe satisfacer sus necesidades económicas en un contexto de progreso social y en un ambiente sano, apto para la vida. Los recursos minerales deben ser usados racionalmente y las operaciones mineras de cualquier tipo, que siempre producen impacto, deben hacerse sin ocasionar daños a las variables socio ambientales.

Cuando se habla del uso racional de los recursos suele plantearse la necesidad de "reservar" una parte de esos recursos conocidos para el futuro. De hecho, durante períodos de crisis mundiales hubo países que hicieron "stocks" de ciertas materias primas y de combustibles para mantener sus industrias en producción en caso de haber problemas de abastecimiento. Pero estas prácticas son poco frecuentes hoy en día porque los recursos que se reserven deben estar perfectamente conocidos y determinados (explorados y factibilizados) y en condiciones de producir inmediatamente en cuanto se genere un desabastecimiento. Esto implica hacer una gran inversión sin poner en marcha el negocio durante mucho

tiempo, algo que las empresas no hacen y la mayoría de los gobiernos no lo consideran como una prioridad. Por otra parte hay que tener la seguridad de que en el futuro se seguirá usando esa materia prima porque se corre el riesgo de reservar algo para una época en que no se use más. El alumbre, la criolita y el mercurio son ejemplos de minerales que se usaron mucho en el pasado pero fueron reemplazados por otras sustancias en la mayoría de las industrias

LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MINA

Si una vez terminada la exploración de un yacimiento se demuestra que es factible su explotación, se construye la mina. Construir la mina significa hacer las obras civiles y montar las instalaciones y equipos necesarios para transformar el yacimiento en un centro productivo capaz de extraer el mineral y de darle la forma o la composición que se requiere en la industria que lo utiliza. Lógicamente, para ello debe dotarse al lugar de la infraestructura básica, fundamentalmente camino de acceso, energía, agua y comunicaciones, y construir el estable-



Figura 5.1. Bajo de la Alumbrera. Construcción de la obra civil de la planta de concentración



Figura 5.2. Campamento y planta de tratamiento de la mina de oro y plata Cerro Vanguardia, en Santa Cruz



Figura 5.3. Mina de cobre y oro Bajo de la Alumbarrera. Vista parcial del campamento destinado al personal de la empresa



Figura 5.4. Vista nocturna del campamento de la mina de oro y plata Veladero, en San Juan

cimiento (construcciones civiles, labores de desarrollo del yacimiento, instalaciones industriales, maquinarias, equipos, etc.).

Como se comprenderá, esto requiere una inversión importante, cuyo monto depende del tamaño del establecimiento y de la escala de producción. De hecho hay minas pequeñas, medianas y grandes. En las minas alejadas de los centros poblados (la mayoría) es necesario construir un campamento con viviendas y todos los servicios para el personal, cuyo funcionamiento, en la práctica, es igual al de una pequeña ciudad (Figuras 5.1 a 5.4).

La construcción de un establecimiento minero está a cargo de empresas de ese rubro, que habitualmente se dedican a la construcción de grandes obras civiles (como una represa, una usina, una carretera o una fábrica) y suele concretarse en períodos de uno a tres años. Al igual que en otras obras, durante la construcción hay una gran cantidad de gente trabajando en el lugar. Una vez terminado el establecimiento, las empresas y su personal (no son empleados de la empresa minera sino de las contratistas de la obra) se van a otro lado a construir otra obra.

Esta particularidad es la que a menudo provoca la falsa impresión de que las minas generan muchos puestos de trabajo al comienzo y después disminuyen drásticamente su plantilla de personal. En realidad es la industria de la construcción la que funciona de esa manera.

Para la etapa de producción, la empresa minera incorpora al personal necesario para operar la mina y contrata

(terceriza) a otras empresas para la provisión de servicios, insumos, y repuestos. Los empleados de la mina son los considerados empleos directos y los de las contratistas son los empleos indirectos.

EL IMPACTO DE LAS MINAS COMO FUENTES DE PRODUCCIÓN Y TRABAJO

Aunque tenga diferencias con otras actividades, un negocio minero debe ser evaluado con las mismas normas y parámetros que cualquier otro proyecto. Siempre hay una inversión para la exploración y otra para construir la mina, y los gastos comunes de la etapa de producción (sueldos, servicios, impuestos, insumos, repuestos, etc.). La suma de todo eso son los costos de la empresa.

A la vez la mina vende la producción a un precio que debe ser suficiente para cubrir los costos y dejar una ganancia que sea atractiva. Y como este negocio es un establecimiento nuevo, genera nuevas fuentes de trabajo y un efecto multiplicador sobre la economía en su zona de influencia.

Un ejemplo

Veamos un ejemplo muy resumido y con cifras redondeadas tomadas del estudio de factibilidad hecho en 1995, cuando se decidió la construcción de la mina Bajo de la Alumbarrera, la más grande del país. La vida útil de la mina se fijó en 18 años (dos de construcción y 16 de producción).

La inversión para construir el establecimiento se calculó en 800 millones de dólares. Esta es la suma de dinero que la empresa debe reunir para pagar todos los trabajos, construcciones e instalaciones necesarias para poner al establecimiento en condiciones de producir. Parte de esa suma (casi la mitad) se gasta dentro del país en infraestructura, construcciones civiles e instalaciones y vehículos convencionales. Otra parte se gasta en comprar bienes importados, especialmente máquinas, vehículos e instalaciones mineras e industriales más específicas.

Una vez en producción, la mina vende sus concentrados al exterior generando el ingreso de divisas. La facturación anual promedio de Minera Alumbra S.A. se calculó en unos 475 millones de dólares. Conviene aclarar que, como en todo negocio, el dinero de la facturación debe ser suficiente para devolver o amortizar el monto de la inversión, pagar todos los costos de producción, y dejar una ganancia.

De la misma manera que ocurre con la inversión inicial, una parte de los costos de producción se gasta internamente y otra parte se gasta fuera del país. Haciendo una gran simplificación, se puede decir que, dentro del país se pagan salarios, servicios, insumos y materiales, impuestos, regalías y pago de utilidades a la empresa estatal YMAD (dueña de la propiedad), y en el exterior se pagan amortizaciones de créditos y préstamos, insumos y servicios importados, dividendos, ganancias y royalties.

La dotación prevista es de 800 empleados directos. Son 800 puestos de trabajo que antes no existían y son 800 sueldos que las familias gastan en la zona generando nuevas actividades comerciales.

Además, la mina y la planta requieren grandes cantidades de insumos (agua industrial y potable, comida, indumentaria, elementos de seguridad, electricidad, combustibles, productos químicos, repuestos, herramientas, explosivos, etc), como así también servicios y repuestos, para su funcionamiento. La provisión de todos esos insumos, servicios y repuestos origina una importante actividad por parte de cientos de pequeñas y medianas

empresas que los proveen. El monto anual de esas compras es de más de 100 millones de dólares, y se calcula que cada puesto de trabajo en la mina genera por lo menos tres puestos de trabajo en esas otras actividades, es decir unos 2.400 empleos más.

Las arcas del Estado se ven favorecidas por la recaudación de impuestos. De acuerdo a las previsiones del proyecto, la empresa minera paga un promedio de 40 millones de dólares anuales de impuestos. A esto hay que sumar los que pagan las actividades de los proveedores y demás negocios relacionados.

Por último, la implantación de la nueva actividad y su población tiene otros requerimientos como infraestructura, escuelas, hospitales, esparcimiento, comunicaciones, que de una u otra forma se van desarrollando en sus cercanías.

En conclusión, la puesta en marcha de explotaciones mineras contribuye de una manera importante al desarrollo económico del país, especialmente en zonas desprovistas de otros recursos donde es la única forma de iniciar y mantener la actividad productiva y la población. Además, en el balance comercial del país, la creciente exportación de minerales produce hoy en día un importante ingreso de divisas.

¿Cómo se distribuye el impacto económico de una mina?

Tomando como base el estudio de factibilidad de 1995 se hizo un ejercicio a valores de ese año para determinar como se distribuye la riqueza que genera la mina Bajo de la Alumbra, operada por una empresa de dueños extranjeros y que destina toda la producción a la exportación.

Conviene aclarar que las cifras originales tuvieron importantes cambios a partir de su puesta en marcha en 1997, y en los años siguientes. En efecto la inversión inicial fue considerablemente mayor a la prevista, aumentaron significativamente los precios de los metales, la vida útil se extendió en un par de años, y la cantidad de empleos directos también aumentó. Sin embargo, a pesar de esos cambios, la estructura conceptual del proyecto original

sigue siendo válida y por eso la usamos como ejemplo.

Todas las cifras precedentes están expresadas en dólares. Es importante destacar que el monto total que se paga dentro del país (4.215 millones de dólares) representa el 55,4% de la facturación total del emprendimiento, mientras que los costos que se pagan en el exterior y las utilidades que se giran fuera del país representan un 44,6% de ese total.

Un trabajo posterior sobre el mismo emprendimiento presentado por la Cámara Argentina de Empresarios Mineros en el Congreso Geológico Argentino realizado en La Plata (Di Meglio, 2005) estimó en un 63% los pagos hechos en el país y en un 37% los hechos en el exterior. El aumento del porcentaje de pagos que se hacen dentro del país se debe al reemplazo de ciertos proveedores extranjeros por nacionales.

Además, como ya se dijo antes, el dinero que se paga dentro del país genera nuevas inversiones, actividades y negocios por parte de empresas proveedoras, nuevos puestos de trabajo en estas empresas, que por lo menos triplican a los empleos directos de la mina, y todas estas actividades pagan impuestos. Este efecto multiplicador de la economía tiene mucha importancia aunque no está

incluido en las cifras del proyecto; forma parte de lo que podríamos llamar "externalidades positivas"

También son externalidades beneficiosas las mejoras en infraestructura (carreteras, vías férreas, comunicaciones, energía, etc.) que puedan ser aprovechadas por la comunidad de la zona de influencia, como así también para el inicio de otras actividades.

EL IMPACTO SOCIAL

Si bien los efectos pueden ser más grandes o más pequeños según sea la envergadura del emprendimiento minero, en general se pueden apreciar varios impactos beneficiosos en el aspecto social.

- *Generación de empleos directos e indirectos*, que siempre es visible porque se trata del sostén de las familias involucradas.
- *Mejora en los salarios*. Las empresas, sobre todo las medianas y grandes, ofrecen mejores salarios que los existentes en la región para conseguir la mejor mano de obra posible.
- *Cobertura de salud*. En el mismo nivel de empresas, siempre se instalan

Monto de la facturación total (venta de la producción)	u\$s	7.600.000.000
MONTOS QUE SE PAGAN EN EL PAÍS		
Parte de la inversión inicial que se amortiza en el país	u\$s	350.000.000
Intereses de los créditos internos	u\$s	90.000.000
Costos operativos que se pagan dentro del país (incluye sueldos por un monto de u\$s 400.000.000)	u\$s	2.500.000.000
Porcentaje de utilidades a empresa estatal propietaria de la mina	u\$s	470.000.000
Regalías a la Provincia	u\$s	135.000.000
Impuesto a las ganancias	u\$s	670.000.000
Total montos que se pagan dentro del país	u\$s	4.215.000.000
MONTOS QUE SE PAGAN FUERA DEL PAÍS		
Parte de la inversión inicial que se amortiza en el exterior	u\$s	450.000.000
Intereses de créditos externos	u\$s	110.000.000
Insumos, repuestos y servicios importados	u\$s	1.300.000.000
Utilidades	u\$s	1.525.000.000
Total montos que se pagan en el exterior	u\$s	3.385.000.000

centros de salud o se contratan servicios de obras sociales para que los empleados y sus familias tengan una cobertura adecuada.

- *Trabajo para mujeres.* A diferencia de lo que ocurría en otras épocas, la minería moderna da oportunidades de trabajo a las mujeres. En el Bajo de la Alumbreira se puede ver un número significativo de mujeres en diversas actividades, incluyendo a algunas que manejan los grandes camiones de 230 toneladas.
- *Trabajo para jóvenes.* Un establecimiento minero requiere cubrir muy distintas actividades y existe una preferencia por la contratación de jóvenes que aprenden y se adaptan rápidamente a trabajos que no conocían. De esa forma se detiene o disminuye el crónico éxodo de jóvenes de provincias tradicionalmente "pobres".
- *Capacitación.* Las empresas, para que todos los sectores funcionen eficientemente brinda cursos y talleres de capacitación a sus nuevos empleados, en la especialidad que van a desarrollar.
- *Nuevas oportunidades laborales* en la provisión de servicios a partir del desarrollo de proveedores.
- *Mejoras en la acción comunitaria.* La relación que se establece entre la em-

presa y la comunidad determina que la empresa realice aportes concretos para mejorar ciertos aspectos de la vida de los habitantes del lugar.

- *Cobro de impuestos y tasas.* Al ponerse en producción una mina, los gobiernos (nacional, provincial y municipal) comienzan a cobrar impuestos y tasas por la nueva actividad, y ese dinero vuelve a la población en forma de obras y servicios. El volumen de estos aportes, por lo general, no ha sido valorado en su justa medida. Sin embargo, en el caso de las grandes minas que exportan su producción, las sumas son realmente importantes.

Hay varios estudios económicos publicados (Jerez, 2009) que concluyen que aproximadamente un 50% de las ganancias de esos establecimientos se destinan finalmente al pago de impuestos y regalías. En orden de importancia las imposiciones son las siguientes: impuesto a las ganancias, derechos de exportación (retenciones), regalías a las Provincias, impuesto al cheque y otros impuestos nacionales como el impuesto al valor agregado (solo la parte no asociada a la exportación). Además, todas las empresas proveedoras de servicios, insumos y repuestos pagan impuestos provinciales como ingresos brutos y patentes.

TEMA 6 - IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PROYECTOS MINEROS

EL ANTES Y EL DESPUÉS

No es posible establecer una fecha precisa entre el “antes” y el “después”, pero el período comprendido entre la presentación del Informe Bruntland “Nuestro Futuro Común”, en 1987, y la Conferencia de Río de 1992, en ambos casos en el ámbito de la ONU (Mathus Escoriahuela M., 2006), parece haber sido el lapso en el que la mayoría de las Naciones tomaron real conciencia de la necesidad de cuidar el medio ambiente y disponer de normas para ello.

En nuestro país casi todas las leyes de protección ambiental se dictaron en la década de los años 90, incluyendo el otorgamiento de jerarquía constitucional al derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano (Constitución Nacional, artículo 41º, Reforma de 1994).

Este cambio en la consideración de los temas ambientales es aún muy reciente. En poco tiempo, las chimeneas humeantes de las fábricas que tres décadas atrás eran el “símbolo del desarrollo industrial” se convirtieron en el “símbolo del daño ambiental”.

Tal vez por eso, por ser un tema reciente, todas las cuestiones ambientales han pasado a un primer plano en la atención de muchos ciudadanos que entienden que la contaminación de origen antrópico puede producir efectos nocivos para la humanidad. En el caso de las actividades mineras muestran una receptividad y una sensibilidad particular porque al temor ló-

gico que muestran frente a cualquier posible causa de contaminación se suma el “miedo a lo desconocido”.

Por ese motivo este capítulo tiene un tratamiento algo más extenso y detallado, sin exceder el nivel de divulgación elemental, con el objeto de explicar e informar sobre temas que surgen de las propias inquietudes de la población con respecto a la sustentabilidad del uso de las materias primas minerales en relación con el impacto ambiental de las actividades productivas.

LAS MATERIAS PRIMAS MINERALES Y EL MEDIO AMBIENTE

Antiguamente la cuestión fundamental se centraba en la disponibilidad futura de una determinada sustancia frente a la creciente demanda de una población en aumento. Uno de los ejemplos más conocidos es el del petróleo. Durante la segunda mitad del siglo XX se llegó a la conclusión de que no había suficiente disponibilidad de petróleo (ya sea como reservas o como probabilidad de hallar nuevos yacimientos) para mantener el ritmo de crecimiento del consumo. Se pronosticaron graves problemas para la economía mundial suponiendo que ese consumo creciente no era sustentable en el tiempo porque el petróleo se iba a terminar en un plazo no muy largo.

Los pesimistas pronósticos no se cumplieron porque durante décadas el avan-

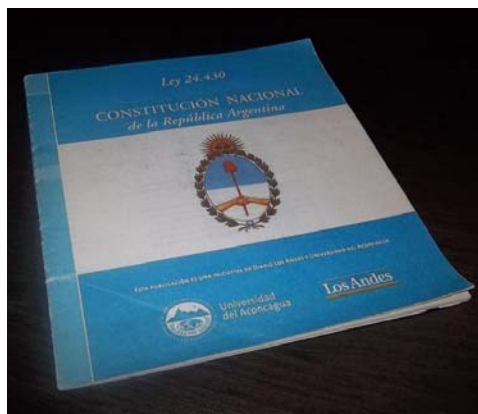


Figura 6.1: Constitución Nacional



Figura 6.2: Chimeneas humeantes

ce científico y tecnológico permitió incrementar las reservas y aumentar la producción, pero a un costo cada vez mayor. Por eso, ahora se piensa que el petróleo no se va a terminar porque, con el correr del tiempo, seguirá aumentando de precio y llegará un momento en el que será tan caro que la sociedad lo cambiará por otro combustible o por otra fuente de energía de menor costo.

Hoy en día el concepto de sustentabilidad no deja de lado su significado económico, pero está muy relacionado con el tipo y grado de impacto ambiental y social que provoca la producción y el uso de una determinada sustancia.

Por ejemplo, a partir de la Segunda Guerra Mundial, se desarrolló el uso de la energía nuclear y hasta se llegó a pensar que era una gran solución en materia de fuentes de energía frente a la "crisis del petróleo". Sin embargo, a medida que avanzaba el desarrollo nuclear y se multiplicaban los ensayos de tipo bélico, fueron surgiendo opiniones cada vez más fuertes en contra del uso de la energía nuclear, basadas en el impacto ambiental que produce la liberación de radiactividad (deliberada o accidental) en algunos lugares en particular, y en la atmósfera en general, y que suponen que harían peligrar las condiciones de vida del planeta. Las quejas lograron detener casi totalmente las pruebas de bombas atómicas (que eran el peor impacto), y el incremento del uso de la energía nuclear ha sido menor que el que se esperaba en un principio.

Este no es un tema sencillo porque tiene componentes científicos, políticos, económicos, sociales y religiosos, pero también generan un llamativo desarrollo de un activismo ideológico, con campa-

ñas publicitarias, consignas e intereses relacionados con las diferentes posiciones existentes al respecto. Por eso, las ideas y expresiones que circulan en la sociedad son muy variadas, con gente que toma partido por una u otra opinión, y las explicaciones razonables quedan enmascaradas en medio de muchas otras que no lo son.

Además, el impacto ambiental es el resultado de la propia actividad del hombre. La evolución del conocimiento del ser humano y su capacidad creciente para aprovechar los recursos y los medios a su alcance, para su beneficio, su bienestar y su progreso, provocó y sigue provocando un impacto cada vez más importante en el medio ambiente en el que desarrolla su vida (Figuras 6.3 y 6.4). Y como la población sigue en aumento no cabe ninguna duda de que la expansión del hombre como especie se hace a costa de algún sacrificio de las otras especies y de alguna afectación a la capacidad de soporte del medio ambiente.

No obstante, el hombre no está dispuesto a abandonar los beneficios que alcanzó a través de su progreso a lo largo de la historia. Nadie quiere volver a vivir desnudo y a la intemperie, y a comer animales chicos cuidándose de no ser comido por animales más grandes.

Por esa razón, todas las actividades humanas, incluyendo las fuentes de producción de materias primas y las industrias, siguen funcionando. Y como esas actividades producen impacto, lo único que razonablemente se puede hacer es estudiar el impacto que produce cada actividad para tratar de reducirlo a un mínimo, y que ese mínimo sea compatible con las condiciones de vida de la población. Todo esto tiene su expresión insti-



Figura 6.3: Orilla del río sin impacto antrópico.



Figura 6.4: Orilla del río con impacto antrópico

tucional mediante leyes, decretos, ordenanzas, reglamentos, que establecen las normas a las que hay que ajustarse en cada caso.

Como ejemplo de la forma en que se maneja el hombre frente a los peligros de los impactos de su propia actividad mencionemos lo que ocurre en una casa familiar. La casa dispone de luz eléctrica mediante la circulación de corriente alterna de 220 voltios, cuya descarga es mortal para el ser humano. También dispone de gas (para cocinas, estufas y calefones) cuya inhalación puede provocar intoxicación y muerte. A pesar del peligro que significan, la familia prefiere seguir disfrutando de los beneficios que le proporcionan la luz y el gas, y los utiliza cumpliendo con las estrictas normas de instalación y de uso existentes, que minimizan la posibilidad de accidentes que los dañe o los mate.

El ejemplo expuesto sirve para entender cuál es el criterio con el que se maneja la mayoría de la gente. En general, la sociedad prefiere tener las fuentes de producción y empleo en las que se fundamentan su progreso y su bienestar, con la condición de que se minimicen los impactos de esas actividades sobre el medio ambiente de tal manera que esos impactos no se transformen en daños a la población.

Este último concepto es básico para entender la diferencia entre impacto y daño. El impacto de las actividades humanas puede minimizarse pero es inevitable. Lo que trata de evitar la sociedad es que esos impactos produzcan daños y por eso la legislación considera al daño ambiental como un delito.

EL RÉGIMEN DE PROTECCIÓN AMBIENTAL PARA LA MINERÍA

La minería fue el primer sector de la producción nacional en tener una regulación para la protección del ambiente, tomando en cuenta la nueva normativa constitucional y las recomendaciones hechas por organismos internacionales. Así fue que, un año después de la reforma de la Constitución Nacional, en un todo de acuerdo con el mencionado Art. 41º, se

sancionó la Ley 24.585 por la cual se agregó la Sección Segunda del Título 13º del Código de Minería (T.O. Decreto 456/97) que establece los presupuestos mínimos a cumplir por la actividad minera en materia de protección ambiental, incluyendo el cierre de la mina y la disposición de residuos de cualquier naturaleza. La Ley Nº 25.675, en 2002, incorporó además la consulta y la audiencia pública, el seguro ambiental y los fondos de restauración y de compensación.

Estas leyes nacionales están complementadas por leyes provinciales y reglamentaciones que, en general, conforman un sólido andamiaje legal que asegura que la minería se desarrolle con las previsiones, obligaciones y controles necesarios para la protección del ambiente.

Las Normas Complementarias para la Implementación de la Ley 24.585 aprobadas por todas las Provincias (COFEMIN, 1996), establecen con sumo detalle los contenidos mínimos que se exigen para cada informe de impacto ambiental. Por ejemplo, para la etapa de explotación, los títulos de los capítulos que debe desarrollar el informe son los siguientes:

- I. Información General
- II. Descripción del Ambiente
- III. Descripción del Proyecto
- IV. Descripción de los Impactos Ambientales
- V. Plan de Manejo Ambiental
- VI. Plan de acción frente a Contingencias Ambientales
- VII. Metodología Utilizada
- VIII. Normas Consultadas

Según el artículo 251 del Código de Minería, cada etapa que se pretende iniciar debe ser precedida por la presentación de un Informe de Impacto Ambiental (IIA). La autoridad ambiental minera provincial es la encargada de evaluar dicho informe y puede requerir mayor información e ir al terreno si fuera necesario. Finalmente puede aprobar o rechazar fundadamente el informe. En caso de aprobación, la autoridad emite un documento que se llama Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Este documento es una especie de autorización con un detalle de obligaciones a cumplir por el minero, y que

serán posteriormente verificadas por la misma autoridad. Es decir que el solicitante no puede iniciar ningún trabajo en el terreno si no se ha emitido la DIA. Una vez iniciada la ejecución del proyecto, la autoridad debe hacer las inspecciones y controles pertinentes para verificar el estricto cumplimiento de las obligaciones del minero y tiene facultades (artículo 264 del Código de Minería) para sancionar al infractor y hasta para clausurar el establecimiento.

Lamentablemente este conjunto de leyes y reglamentos no tuvo la divulgación mínima necesaria para que la población adquiriera un conocimiento adecuado de los derechos y obligaciones que impone y, fundamentalmente, para que se sepa que se están aplicando esas normas con éxito.

IMPACTO AMBIENTAL EN LAS DIFERENTES ETAPAS

Conviene recordar que la actividad minera se realiza en etapas que comienzan con una búsqueda, llamada prospección, que se desarrolla en áreas de gran extensión, con un plazo de vencimiento. Si se produce un descubrimiento se realiza el siguiente trabajo que es la exploración del depósito descubierto, que ocupa una extensión pequeña comparada con la de la etapa anterior. Y si los resultados de la exploración son positivos se construye el establecimiento y comienza la producción.

De la misma manera que se puso énfasis en explicar que la prospección y la exploración son etapas imprescindibles para la sustentabilidad de la provisión de materias primas minerales a las generaciones futuras (ver Tema 3) también es oportuno aclarar que las etapas tienen una consideración diferente de acuerdo al grado de afectación que cada una puede llegar a producir.

El impacto ambiental de las tareas de prospección es insignificante. La mayor parte de los trabajos requieren acceder al terreno con vehículos u otro medio de locomoción, hacer observaciones y determinaciones con instrumental de campo, y sacar muestras para llevar al laborato-

rio. Recordemos que la prospección, aunque está amparada por un derecho minero específico otorgado por la Autoridad Minera, no es un "proyecto". Es una búsqueda que se hace en un área relativamente grande.

La exploración, en cambio, produce un impacto mayor porque consiste en reconocer en las tres dimensiones un depósito o manifestación descubierto en la etapa anterior, y eso implica que en ese lugar se usen máquinas y equipos para perforación y/o laboreo subterráneo, con un campamento, depósitos, provisión de insumos y servicios. Aún así, el impacto es menor al que se da en la etapa siguiente, a partir de la construcción de la mina.

La última etapa consiste en construir y poner en marcha un establecimiento minero - industrial que, por lo general, está compuesto por varias unidades. En esta instancia es cuando adquiere relevancia el conocimiento detallado de cada uno de los impactos para evitar que provoquen daños durante la operación del establecimiento como así también para planificar y llevar a cabo la remediación de los eventuales pasivos al término de la vida útil.

LA RESPONSABILIDAD PROFESIONAL EN LOS PROYECTOS

El proyecto y su construcción, instalación, funcionamiento y cierre debe ser hecho bajo la dirección técnica de profesionales idóneos y debe cumplir obligatoriamente con las normas de protección ambiental y demás reglamentaciones vigentes. Salvo algunas excepciones que se dan en la minería artesanal o muy pequeña, en estas tareas interviene un equipo multidisciplinario (con un coordinador responsable) debido a la amplitud y variedad de los aspectos involucrados. Como contraparte, la autoridad ambiental minera también debe contar con un equipo de profesionales para evaluar correctamente el proyecto y ejercer los controles adecuadamente.

En las provincias en las que se desarrollaron proyectos mineros de envergadura se implementó esta forma de operar

y, después de una o dos décadas de actividad según el caso, han acumulado una importante experiencia que se aplica en sus propios territorios y puede capitalizarse en otras provincias con posibilidades mineras. De hecho, en los últimos veinte años han ocurrido algunos accidentes de poca magnitud que pusieron a prueba el sistema implementado y en todos los casos respondió con eficacia.

¿QUÉ SON LAS SUSTANCIAS TÓXICAS?

En muchas oportunidades se ha hecho mención al uso de “sustancias tóxicas” en minería. Tanto es así que algunas Legislaturas Provinciales incorporaron esa expresión en leyes destinadas a impedir la concreción de ciertos proyectos mineros, como la Ley 7.722 de la Provincia de Mendoza.

Vale la pena aclarar que esa calificación lleva una carga de intencionalidad sin ninguna justificación porque las mismas sustancias que en cualquier actividad son llamadas “drogas” o “reactivos químicos”, en este caso puntual pasan a llamarse “sustancias tóxicas”. Es una denominación despectiva particular para insumos y herramientas de uso diario en un sinnúmero de actividades que tienen que ver con la química.

En realidad cualquier sustancia puede producir intoxicación si se maneja o se usa mal. En la Argentina hemos tenido víctimas intoxicadas por tomar vino de damajuanas o por comer hamburguesas. También hubo personas que se suicidaron tomando una sobredosis de medicamentos. Aún así, no se nos ocurre decir que una vinería, un restaurante o una farmacia sean negocios donde se venden “sustancias tóxicas”.

En minería, las drogas o reactivos químicos no se usan en las labores de extracción sino en las plantas industriales de tratamiento donde se procesan los materiales extraídos de las minas. La elección de las drogas a utilizar y sus formas de almacenamiento, uso y manejo son hechas de acuerdo a las reglas del arte de la ingeniería química y metalúrgica, y a las normas ambientales y de higiene y seguridad vi-

gentes para cada caso. Posteriormente se explicarán algunos aspectos más específicos sobre este tema.

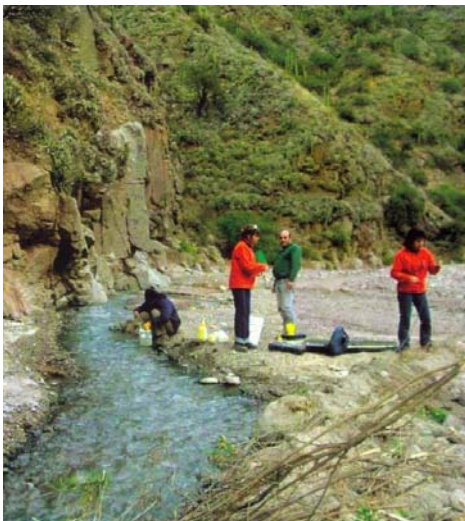


Figura 6.5: Inspectores de la Autoridad Ambiental Minera controlan la calidad del agua en las áreas de influencia de cada emprendimiento



Figura 6.6: Equipo para monitorear la cantidad de polvo en suspensión en el aire



Figura 6.7: El Complejo Minero Sierra Pintada (uranio), en San Rafael, Mendoza, es un establecimiento que siempre estuvo controlado en materia ambiental. De acuerdo a los informes del Ministerio de Ambiente de Mendoza, nunca produjo daños ambientales en su entorno.



Figura 6.8: Guanacos pastando cerca de una labor a cielo abierto en la mina Cerro Vanguardia, en Santa Cruz. El cumplimiento de las normas ambientales asegura el cuidado de la biodiversidad en el entorno de los establecimientos mineros.

ALGUNOS EJEMPLOS DE IMPACTO

Tomando en consideración las preocupaciones de mucha gente que no ha recibido información sobre los impactos reales de la minería y las normas y controles que se aplican, haremos una descripción breve de impactos y la forma como se evita que esos impactos se transformen en daños.

El lector interesado en conocer con mayor detalle las normas y controles vigentes puede hacerlo en los capítulos IV (Descripción de los Impactos Ambientales), V (Plan de Manejo Ambiental) y VI (Plan de Acción frente a Contingencias Ambientales) del ANEXO III de las Normas Complementarias para la implementación de la Ley N° 24.585 (COFEMIN, 1996)

1. Cambios en el paisaje

La construcción de un nuevo establecimiento minero produce cambios en el paisaje. Se trata de un impacto fundamentalmente visual, dado por la implantación de la actividad minera en medio de un paisaje natural. Las unidades visuales del emprendimiento son varias.

La apertura de labores mineras (huecos de distinta forma y tamaño) produce un impacto evidente, ya sea en forma de una o varias "canteras", que es el caso de minas a cielo abierto, o de un cierto número de socavones, rampas o pozos.

Tanto en minería subterránea como a cielo abierto, para acceder al yacimiento y arrancar el mineral de interés económico, es muy común que se tenga que extraer material estéril (cubierta, rocas de caja) en forma de trozos de roca de distinto tamaño. Este material se dispone en la superficie, cerca de las labores mineras, en lugares previamente elegidos, constituyendo las escombreras.

Pero además de las labores y las escombreras, hay otras partes del establecimiento que suelen afectar mayores superficies. Aquí debe contabilizarse la construcción de infraestructura (caminos, acueductos, vías férreas, líneas de comunicación o energía, etc.) y de edificios, galpones, viviendas, instalaciones, servicios, plantas industriales de tratamiento y depósitos o diques de colas. (Figura 6.12). Toda esa superficie puede haber sido producto del desmonte o de la eliminación de cubierta vegetal y en zonas con mucho viento conviene tomar precauciones como el riego o la revegetación para disminuir el levantamiento de polvo de esas superficies.

2. Impacto físico y químico de la mina propiamente dicha

En este caso usamos la palabra mina para referirnos al lugar o ámbito donde se extrae el mineral del yacimiento, las labores, máquinas, vehículos, servicios, escombreras y demás instalaciones relacionadas exclusivamente con la extracción.

a) Apertura de labores

Las llamadas labores de la mina son los huecos o excavaciones que se hacen para acceder y extraer las reservas del yacimiento, porque la explotación de la mina consiste en la extracción del recurso de su lugar de yacimiento y su traslado a la planta de tratamiento o de industrialización. Esto significa que por cada metro cúbico de material que se extrae se genera un hueco de ese mismo tamaño, y en la medida que la operación continúa, el hueco se hace cada vez más grande. Cuando se agotan las reservas del yacimiento, como mínimo habrá huecos de un volumen similar al

de los materiales extraídos. Es decir que si se extrajeron todas las reservas de un yacimiento que tenía cien millones de metros cúbicos, el o los huecos resultantes tendrán por lo menos ese mismo volumen.

Tanto la apertura de huecos como la generación de escombreras son consecuencias inevitables de la extracción minera. En apariencia, puede ser más llamativo el impacto de las minas a cielo abierto (Figuras 1.17 y 1.18) pero, como las labores subterráneas son pozos, galerías o rampas (Figura 6.9) interconectadas con rajos de explotación (todos huecos hechos debajo de la superficie) también comprometen la estabilidad de los terrenos ubicados por encima y, finalmente, los impactos de ambas modalidades son comparables.

La remediación de estos impactos cuando la mina (o un sector de la mina) deja de operar depende de las características de cada proyecto y de cada lugar geográfico. En general se trata de eliminar cualquier factor de peligro para las actividades futuras de ese lugar (construcción de lagunas, relleno y/o estabilización de labores subterráneas y sellado de accesos) y se recomponen las formas, el suelo y la vegetación para que el sitio remediado armonice con el paisaje existente alrededor.

b) Escombreras

Las escombreras (Figura 6.10) son rocas fragmentadas y apiladas como nuevas formas que se agregan o modifican el paisaje pre-existente. Deben hacerse de acuerdo a una geometría que asegure su estabilidad y forme parte del diseño de ingeniería del proyecto en la planificación del cierre del establecimiento.

En la mayoría de los casos, por tratarse de rocas comunes, las escombreras son químicamente inocuas desde el punto de vista de la contaminación ambiental. El principal impacto de las escombreras es físico y debe preverse su correcta ubicación para que no provoque efectos perjudiciales (endicamiento de corrientes de agua, erosión violenta y avalanchas, etc) y que al término de la vida útil



Figura 6.9: Rampa de acceso a una mina subterránea

de la mina se armonice con el paisaje circundante, incluyendo la revegetación de su superficie.

Hay algunas excepciones como las escombreras de rocas con muchos sulfuros o con sales solubles, en climas húmedos, con las cuales hay que tomar las medidas necesarias para evitar la contaminación química de suelos y aguas. En estos casos conviene aislar el depósito con un tratamiento previo del piso con materiales de baja permeabilidad como, por ejemplo, arcillas, y prever canalizaciones para drenar el agua de lluvia hacia receptáculos que puedan almacenarla o conducirla a sitios donde se puedan neutralizar.

Otra cosa importante a tener en cuenta con los depósitos tipo escombrera es su estabilidad física. Por ejemplo, si la escombrera se deposita sobre un terreno de alta pendiente se pueden generar condiciones favorables para un posible deslizamiento a favor de la pendiente. Por eso es conveniente evitar este tipo de disposición o prever la forma de hacerlo de tal manera que se asegure su estabilidad a lo largo del tiempo.

Si las escombreras tienen una altura significativa también debe asegurarse la estabilidad de los taludes y evitar las construcciones e instalaciones en sus cercanías.

c) Efluentes de la mina

En cualquier caso, las labores mineras son huecos que se abren y avanzan



Figura 6.10: Escombrera en Calingasta, San Juan. Cuando no existían normas ambientales, estas escombreras se depositaron en el ancho cauce del río de los Patos sin ninguna protección. Hoy no se permite este tipo de disposición sin haber tomado todas las precauciones para proteger el recurso hídrico

hacia abajo de la superficie del terreno. A cierta profundidad, que varía con la región geográfica, las labores atraviesan el “nivel freático”, que es el nivel por debajo del cual los poros, intersticios y aberturas de las rocas están saturados de agua. Es el “agua subterránea”, que puede ser abundante en rocas porosas y permeables, y muy escasa en rocas de baja permeabilidad. Cuando la labor atraviesa el nivel freático, el agua subterránea fluye hacia ese hueco abierto.

En la práctica, cuando las labores avanzan en profundidad, el agua que ingresa debe extraerse para mantener secos los lugares de trabajo y también para evitar la posibilidad de accidentes debido a su presencia. La operación se hace con equipos de bombeo y el agua que se extrae se conduce hacia afuera de la mina, como efluente o como agua para uso interno del establecimiento.

En nuestro país hay muchos yacimientos de minerales industriales (baritina, calcita, caolín, talco, bentonita, etc.) que no producen ningún efecto contaminante sobre el agua que ingresa a la mina y por ello tampoco generan un problema ambiental si la vierten como efluente.

En cambio, si los yacimientos son masas de sulfuros metálicos, la acción del oxígeno y la circulación de agua genera lo que se llama drenaje ácido (agua con pequeña cantidad de ácido sulfúrico y con hierro disuelto o en suspensión coloidal). Este drenaje ácido existe naturalmente en cualquier lugar donde afloran rocas con sulfuros, como es el caso del río Amarillo del Nevado del Famatina donde existe desde hace varios miles de años (Zappettini, 1999b). Ese drenaje ácido natural puede haber sufrido algún incremento cuando se abrieron las labores subterráneas del Distrito La Mejicana, entre el siglo XVIII y el XX.

En el pasado hubo minas metalíferas que dejaban salir sus efluentes hacia zonas aledañas o hacia el arroyo más cercano. Hoy en día no se permite hacer eso. Hay tecnología disponible para tratar y neutralizar cualquier efluente que se derive hacia afuera del área de la mina. Además, si no existen inconvenientes locales que lo impidan, es preferible recuperar el agua que se extrae de la mina y destinarla para su uso dentro del mismo establecimiento. En otras palabras, las minas de sulfuros metálicos en actividad no deberían tener efluentes pero, si por alguna circunstancia los tuvieran, deberían tratarse y neutralizarse antes de su vertido final.

d) Sustancias químicas en las minas

La “mina” propiamente dicha es el lugar donde se extrae el mineral del yacimiento y esto se hace comúnmente por métodos físicos. En la extracción no participan sustancias químicas salvo las que componen los explosivos con los que se hacen las “voladuras”.

Las voladuras sirven para fragmentar las rocas del yacimiento en su lugar y así poder extraerlas con excavadoras, cargarlas y llevarlas a la planta de tratamiento. Los gases que produce una voladura suelen contener una pequeña parte de monóxido de carbono y óxido nitroso (ambos gases tóxicos) que provocan problemas en ambientes cerrados. Por eso en las minas subterráneas hay sistemas de ventilación que extraen los gases antes de la entrada del personal al lugar de trabajo. En la minería a cielo abierto, en

cambio, no traen ningún problema porque se disipan en la atmósfera de la misma manera que los fuegos de artificio, las bombas de estruendo y demás explosivos y pirotecnia que conocemos.

La elaboración de explosivos, incluyendo a los destinados a minería, está sujeta a estrictas reglamentaciones y controles, y su formulación debe ser balanceada de tal manera que, luego de la detonación, la concentración de gases nocivos esté por debajo de los valores internacionalmente aceptados. Para ello existen autoridades de aplicación específicas dentro del Gobierno Nacional (RENAR - Registro Nacional de Armas y Explosivos: <http://www.renar.gov.ar>).

e) Las voladuras y la producción de polvo

A veces se atribuye a las voladuras la producción de grandes cantidades de polvo capaces de formar nubes invadiendo a zonas cercanas al establecimiento. En realidad las voladuras se hacen mediante un diseño de ingeniería que consiste en fragmentar el material en el lugar y no en "hacerlo volar por los aires", de manera que su aporte a la generación de polvo es bastante menor de lo que se supone.

La producción importante de polvo coincide siempre con la presencia de fuertes vientos que levantan el polvo de cualquier sector del establecimiento minero (camino internos y de acceso, terrenos desforestados, escombreras) con el aporte de la circulación de vehículos y el funcionamiento de máquinas como las cintas transportadoras y los circuitos de trituración y clasificación. Estos efectos se minimizan mediante sistemas de humectación y de riego.

Tanto las empresas como las autoridades ambientales que hacen los controles usan medidores de calidad de aire, y en particular de partículas en suspensión para determinar si se cumple con las normas vigentes (COFEMIN, 1996, y normas provinciales ad hoc). Se hace especial hincapié en controlar la cantidad de partículas comprendidas en la "fracción respirable", que son las menores de 10 micrones y se consideran perjudiciales si superan el máximo previsto en la misma normativa.

f) ¿Minería a cielo abierto o minería subterránea?

En el Tema 4 se explicó que si el yacimiento aflora o se encuentra muy próximo a la superficie, se elige la explotación a cielo abierto, y que a partir de cierta profundidad se aplica el método de explotación subterránea.

Sin embargo, en la última década se difundieron cuestionamientos y consignas para rechazar la minería a cielo abierto, a tal punto que algunas Legislaturas Provinciales redactaron y aprobaron leyes para su prohibición (por ejemplo la Ley N° 7.879 de Tucumán). Las motivaciones, en general, no responden a criterios científicos ni tecnológicos. En efecto, una parte de la población parece convencida de que el impacto de la minería metalífera a cielo abierto es mayor que el que produce la subterránea. Esto no tiene justificación porque la magnitud del impacto ambiental de un establecimiento minero no depende del método de extracción sino de la escala de trabajo y producción. En cualquiera de los casos, si se trabaja a escala de gran minería, el impacto será grande, y si el emprendimiento es de pequeña minería, el impacto será pequeño.

Para explicarlo con un ejemplo concreto veamos qué ocurriría si la mina Bajo de la Alumbra (la mina más grande de nuestro país) se explotara por labores subterráneas en lugar de la actual extracción a cielo abierto.

La figura 6.11 es una imagen satelital anterior a 1996, antes de la construcción del establecimiento minero, y la figura 6.12 es una imagen de 2001 con la mina en plena producción. La comparación entre ambas imágenes sirve para ver cuál es el impacto visual o paisajístico del emprendimiento dentro de un sector de unos 25 kilómetros cuadrados de extensión.

En la figura 6.12, en la parte inferior izquierda se ve el "hueco" de la explotación a cielo abierto, en la parte central y más arriba se ubican la pila o stock de mineral a concentrar, la planta de concentración, el campamento y las demás construcciones e instalaciones del establecimiento y las escombreras de material estéril, y a la derecha, mas abajo se ubica el dique o depósito de colas.



Figura 6.11: Mina Bajo de la Alumbraera (Catamarca), antes de 1996



Figura 6.12: Mina Bajo de la Alumbraera (Catamarca) mayo de 2001

El yacimiento que se está explotando es un cuerpo irregular que, groseramente, puede considerarse como un cuerpo vertical redondo, de unos mil metros de diámetro, cubicado entre la superficie y los 450 metros de profundidad.

Si en lugar de extraerlo a cielo abierto se hubiera optado por una explotación subterránea, se hubiera usado el método de "hundimiento de bloques" que es el que se aplica en distintos lugares del mundo para cuerpos más profundos pero de similar tamaño y características.

Este método requiere desarrollar una gran cantidad de labores subterráneas por afuera del yacimiento y extraer "desde abajo" sus reservas. A medida que se va

extrayendo el mineral desde abajo, la superficie del yacimiento descende por colapso hasta que se ha extraído por completo el cuerpo cubicado. El resultado final sería un hueco de mil metros de diámetro por los 450 metros de profundidad, es decir un impacto visual similar al que se ve actualmente. Además, todo el material estéril extraído de las labores subterráneas debería apilarse en escombreras similares a las que hoy existen.

Las demás construcciones e instalaciones (planta de concentración, campamentos, servicios, dique de colas, etc.), serían las mismas porque el mineral a tratar es el mismo y todas las partes del establecimiento funcionarían de manera idéntica a como lo hacen actualmente.

En definitiva, desde el punto de vista del impacto visual no habría ninguna diferencia significativa si se hubiera optado por una explotación subterránea. Lo único que se conseguiría de esa forma es aumentar los costos de explotación (la explotación subterránea es más cara) y afectar la rentabilidad del proyecto, sin obtener ventaja alguna en lo que hace al impacto ambiental.

Prohibir la minería metalífera a cielo abierto (Ley N° 5.001 de Chubut) es como prohibir la minería en general, porque, salvo algunos casos muy particulares, la minería siempre empieza desde la superficie. Nuestro Código de Minería en su artículo 68 establece que, para registrar un descubrimiento, el descubridor tiene un plazo para hacer una labor de diez metros para poner de manifiesto el yacimiento, y aclara que no hace falta extenderse hasta los diez metros si antes se puede demostrar dicha circunstancia. Esta disposición es coherente con el trabajo de investigación geológica que se hace para la búsqueda de yacimientos que parte de la base de obtener datos de la superficie. Y no hay ninguna duda que todas estas tareas se hacen "a cielo abierto". Los geólogos no caminan "bajo tierra" y ninguno se va al campo con una perforadora para explorar en profundidad si antes no se hizo un descubrimiento o se encontró alguna evidencia concreta en superficie.

Vale la pena agregar que la historia de muchos emprendimientos nos demues-

tra que la explotación avanza desde arriba hacia abajo, comenzando con labores a cielo abierto y pasando posteriormente a laboreo subterráneo, en la medida que se va comprobando la continuidad del yacimiento en profundidad. Algunos ejemplos de este pasaje de una a otra modalidad se citan a continuación.

La mina Aguilar (plata plomo y zinc, de Jujuy) comenzó con una explotación a cielo abierto en 1936 y luego cambió por labores subterráneas que hoy siguen extrayendo mineral a mil metros de profundidad. La mina Esperanza, cercana a la anterior, tuvo similar evolución a partir de 1990. La mina Cerro Vanguardia (oro y plata, de Santa Cruz) comenzó con labores a cielo abierto en 1997 y hoy ya se encuentra trabajando en labores subterráneas. Lo mismo ocurrió con las minas Casposo y Gualcamayo (oro, de San Juan).

3. Impacto de plantas industriales de tratamiento

a) Cantidad de agua que se usa

El agua es un insumo imprescindible en los procesos de tratamiento de menas metalíferas (concentración por flotación, gravitacional, hidrometalúrgica, etc.). En menor cantidad también se la necesita como agua potable del establecimiento y como agua de riego de espacios verdes y para mitigar el levantamiento de polvo. Por eso, muchas personas piensan que la minería consume cantidades exageradamente grandes de agua. Sin embargo, las cifras estadísticas demuestran que el consumo es relativamente pequeño si se compara con otras actividades productivas.

En efecto, en Chile, un país eminentemente minero, del agua superficial disponible, la minería consume un 4,5%, la actividad agropecuaria un 84,6%, el abastecimiento de agua potable 4,4% y la industria 6,5% (datos de la Dirección General de Aguas, 2007). En los Estados Unidos, la industria minera consume menos del 1% (USGS, 2005).

En la Provincia de San Juan, considerando las minas de oro actualmente en producción (Veladero, Gualcamayo y

Casposo), las concesiones de agua representan en conjunto un 0,96% del agua superficial disponible. El detalle de las concesiones de agua en San Juan, según datos del Ministerio de Minería y de la Dirección de Hidráulica (2011), es el siguiente: Agricultura 91,92%, Hidroenergía 4,28%, Abastecimiento Población 2,8%, Minería 0,96%, Actividades Recreativas 0,03%, Industria 0,01%.

En Mendoza se encuentra el proyecto que más agua va a consumir en el país, Potasio Río Colorado, en una cantidad autorizada de un metro cúbico por segundo. Este proyecto usará el agua como medio de extracción del mineral a producir ya que inyectará agua para disolver sales de potasio y extraerlas en forma de salmuera y por eso consumirá más agua que cualquiera de los emprendimientos metalíferos. Aún así, se trata de una zona donde el recurso hídrico es abundante y el consumo de la mina será muy inferior al 1% del agua superficial disponible en esa zona.

b) Efluentes

Salvo algunos casos particulares, las plantas modernas de tratamiento de minerales metalíferos trabajan en circuitos cerrados y no tienen efluentes que deriven al entorno o a cursos de agua cercanos. El agua de proceso se recupera y se recicla. La única pérdida importante es por evaporación que en zonas desérticas puede superar el 30%. Con el reciclado se disminuye mucho el consumo de agua fresca y se elimina la posibilidad de contaminación en los alrededores.

Las plantas de concentración de minerales generalmente consisten en un conjunto de máquinas, equipos e instalaciones que se usan para separar la mena de la ganga. La mena separada es el concentrado, el producto comercial que se vende. Todo el material que se desecha recibe el nombre de colas.

Según el caso, las colas pueden estar compuestas por partículas de rocas químicamente inertes y en otros casos pueden tener cierta cantidad de sulfuros, por ejemplo, que son inestables en presencia de oxígeno. La disposición de estos desechos en el dique o depósito de colas puede hacerse de dos maneras:

a) Conduciéndolos por cañerías, utilizando la misma agua de proceso como medio de transporte.

En este caso, el agua con los reactivos químicos disueltos es recuperada mediante bombeo y enviada nuevamente a la planta para volver usarla. De esta forma en el depósito de colas solamente se almacenan partículas sólidas.

b) Recuperando el agua de proceso en la planta y transportando las colas al depósito, ya sea como residuos secos o en pasta.

En cualquiera de los casos puede haber "restos" de los reactivos del proceso adheridos a las partículas y, por eso, el depósito de colas debe estar aislado del entorno (particularmente de aguas superficiales y subterráneas) y en condiciones que aseguren su estabilidad física.

Vale la pena agregar que los procesos metalúrgicos no recuperan el 100% del mineral de interés sino que algún porcentaje de la mena queda mezclado con la ganga en el depósito de colas. Por ejemplo, en la mina de oro y plata Veladero (prov. de San Juan) se recupera un porcentaje importante de oro pero alrededor del 90% de la plata queda en las colas. En este caso particular, el depósito de colas es un yacimiento de plata para el futuro, para cuando se desarrolle algún nuevo proceso metalúrgico más eficaz y se pueda recuperar esa plata.

Si bien se ha dicho que las plantas de

tratamiento de minerales metalíferos por lo general no generan efluentes, hay que mencionar que existe un caso particular que es el de la mina Bajo de la Alumbreira, en Catamarca. Este establecimiento trabaja en circuitos cerrados y recupera el agua para su reutilización, pero realiza el transporte del concentrado hasta la estación de ferrocarril más próxima, en Tucumán, a través de un caño (mineraloducto) de unos 300 kilómetros. Para que el concentrado fluya por la cañería debe contener un cierto porcentaje de agua y ésta debe separarse en la estación de embarque. El agua separada del concentrado es procesada en una planta de tratamiento (Figura 6.13) antes de verterla a un canal público destinado a recibir efluentes industriales debidamente tratados. El proceso consiste en la neutralización y/o degradación y/o eliminación de sustancias disueltas que se consideran contaminantes para que el efluente cumpla con las normas vigentes sobre calidad del agua. En este caso particular, es interesante poner de relieve que a los controles que realizan las respectivas autoridades ambientales se sumó la participación de organismos científicos como las Universidades Nacionales de Santiago del Estero y de Tucumán.

c) Producción de polvo en las plantas

En la minería de minerales industriales se usan circuitos impulsados por aire y procesos de molienda en seco que pueden producir polvos. Debe minimizarse ese efecto y evitar su propagación por el aire hacia el entorno. Los controles son los mismos ya descritos en un título anterior.

d) Algunas sustancias químicas que generan preocupación

En todas las actividades económicas (y también en nuestros hogares) se usan sustancias químicas que, en caso de hacer un listado, las contaríamos por miles. Si bien en nuestros hogares no tenemos que rendir cuentas del uso que hacemos de las sustancias químicas (grasas, aceites, combustibles, detergentes, lavandinas, adhesivos, disolventes, des-



Figura 6.13: Planta de tratamiento del agua del mineraloducto proveniente de la mina Bajo de la Alumbreira, en Cruz del Norte, Tucumán.

odorantes, insecticidas, ácidos, drogas, pinturas, etc.) en todas las industrias se requiere que su manejo sea hecho bajo la responsabilidad de profesionales idóneos y tienen controles periódicos por parte de una autoridad de aplicación.

Si las sustancias químicas que usa una industria son contaminantes (la gran mayoría lo son) no se deben liberar efluentes de los procesos a las redes públicas de distribución de agua ni al entorno sin un tratamiento previo que asegure que el agua devuelta es apta para consumo. Como ya se dijo, en los establecimientos modernos de tratamiento de minerales por lo general el agua se recicla y se vuelve a utilizar. "No hay efluentes".

Entre los miles de reactivos químicos que se usan en todas las industrias, hay un pequeño grupo de sustancias que se utilizan en el procesamiento de minerales que ha sido reiterado motivo de preocupación en la comunidad y eso amerita que hagamos una descripción explicando sus formas de uso, manejo y controles. Son los que se mencionan a continuación.

Arsénico (As)

Posiblemente por motivo de alguna confusión en determinados momentos se asoció al arsénico con los procesos de tratamiento de minerales de oro y plata. Es una información errónea. Esta sustancia es tóxica y se usa en varias industrias (aleaciones, semiconductores, pesticidas, pigmentos) pero no se utiliza en la minería argentina.

En diferentes lugares de nuestro país se han identificado aguas (superficiales o subterráneas según el caso) con contenidos de arsénico superiores a los límites permitidos para el agua potable. Un ejemplo conocido desde hace mucho tiempo es el del río Jáchal, en San Juan, que contiene boro y arsénico en exceso. Esos elementos son aportados naturalmente por los tributarios de cabecera en la alta Cordillera de La Rioja y norte de San Juan que transcurren sobre formaciones geológicas que tuvieron un aporte extraordinario de boro y arsénico relacionado con el volcanismo del Terciario Superior. En éste y en los demás casos no hay ninguna

relación entre esas impurezas y la actividad minera.

Mercurio (Hg)

En la minería formal de la Argentina no se usa mercurio en el tratamiento de minerales. En el río Mendoza, en el año 2010 se produjo una importante contaminación con mercurio (Los Andes, 17-04-10) pero dicho accidente fue provocado por una industria química (productora de agua lavandina) totalmente ajena a la minería.

En otras épocas el mercurio fue ampliamente usado para amalgamar y separar partículas de oro y plata de los minerales de ganga, pero esa práctica tiende a desaparecer. La tecnología moderna ha sustituido el uso de mercurio para ese fin y hoy en día se usan máquinas de concentración gravitacional para la separación física de partículas libres de oro o de plata o se recurre a la disolución selectiva de esos metales mediante el uso de soluciones cianuradas, compuestas por agua y cianuro de sodio en bajas concentraciones (del orden de 250 mg por litro)

Cabe agregar que el consumo de mercurio ha disminuido en todo el mundo con la sola excepción de la industria que produce lámparas fluorescentes (llamadas de bajo consumo), que contienen de 3 a 5 mg de mercurio en su interior. En la minería informal aún se utilizan pequeñas cantidades para la separación artesanal de oro que se sigue practicando en algunos países, pero no en la Argentina (Brooks W., 2011)

Acido sulfúrico (H₂SO₄)

Es una sustancia altamente corrosiva y por eso su manipulación, su transporte y su almacenamiento deben hacerse con sumo cuidado y de acuerdo a normas específicas. Aún, con esas precauciones, es el ácido más usado en el mundo, en numerosas y variadas actividades, a tal punto que su consumo es uno de los indicadores del desarrollo industrial de los países.

Como reactivo químico común puede usarse en diferentes procesos del trata-

miento de minerales cumpliendo con las normas de higiene, seguridad y de medio ambiente existentes al respecto.

Uno de los procesos más generalizados consiste en usarlo como disolvente selectivo de ciertos minerales metalíferos (sales y óxidos de cobre, vanadio, uranio) para separarlos de la ganga. Esto se hace poniendo el mineral triturado en tanques o en "pilas de lixiviación" por las que se hace circular el agua con el disolvente. El metal disuelto es llevado a otro sector de la planta donde es precipitado y recuperado a modo de "concentrado", que es el producto a comercializar.

Al contrario de lo que ocurre en otros procesos industriales, la disolución de minerales en pilas o tanques no requiere de altas concentraciones de ácido sulfúrico, sino que se hace con agua y pequeñas cantidades de ácido, del orden de unos 10 gramos por litro de solución.

Tanto los tanques como las pilas son parte de un circuito cerrado y no hay efluentes de estos procesos. Las colas de las pilas y de los tanques (la ganga que no se disuelve) se disponen finalmente en un depósito o dique de colas, debidamente aislado del entorno y de cualquier circulación de agua. Si hubiera algún resto de solución ácida se neutraliza muy fácilmente con cal o con piedra caliza.

Cianuro de sodio (CNNa)

El cianuro es una sustancia venenosa, no es la única pero es la más "famosa" porque tanto en la vida real como en las novelas y las películas, fue usada para envenenar personas, para matar.

Como reactivo químico se utiliza en todo el mundo, en diferentes industrias. Alrededor de un 18% se destina a la metalurgia del oro y la plata, y el 82% a otras industrias (Logsdon M., Hagelstein K, Mudder T., 2001)

El oro (y en menor medida la plata) se usa como valor monetario o de respaldo en los Bancos Centrales de los diferentes países del mundo. Aproximadamente un 21% del oro producido hasta la fecha se encuentra en esas instituciones. Una cantidad mayor, no menos del 65% es destinada a la fabricación de joyas. Si bien las joyas son habitualmente consi-

deradas como elementos de uso suntuario, vale la pena aclarar que los principales consumidores del mundo son los pobladores de la India y la China, quienes las atesoran como forma de ahorro familiar y, de esa manera, también le asignan un valor monetario. Un volumen menor es destinado a la industria electrónica y a la medicina

Atesorar oro como valor monetario es algo que viene ocurriendo desde los albores de la historia porque es un metal "noble" y se considera indestructible. De hecho solo hay unas pocas sustancias, todas artificiales, capaces de disolverlo y entre ellas se encuentra el cianuro.

El cianuro se comenzó a usar a fines del siglo XIX (Peele R., 1963) y si bien se han hecho pruebas para reemplazarlo por alguno de los otros disolventes (tiourea, tiosulfato, tiocianato, bisulfuro, amoníaco, haluros y nitrilo malónico), se ha demostrado que las soluciones cianuradas son las más eficaces y las de manejo más seguro desde el punto de vista ocupacional y ambiental (Gos S., Rubo A. y Domínguez Pérez A., 2000).

En los últimos años se ha difundido (en ámbitos no idóneos) un concepto que habla de la "minería a cielo abierto con uso de cianuro". Esta expresión, que en algunos casos ha sido incorporada en leyes provinciales (Ley N° 7.879 de Tucumán), tiende a provocar confusión porque a partir de ella hay personas que se imaginan a los mineros "regando con cianuro las rocas de una mina". Lógicamente, si esto fuera cierto, provocaría un daño ambiental. Pero no es cierto.

Las minas son los lugares donde se extrae el mineral por métodos físicos y puede ser a cielo abierto o subterránea. La elección de una u otra forma de operación depende de la ubicación del yacimiento. Si el depósito mineral es aflorante o está cerca de la superficie, se hace laboreo a cielo abierto. En cambio, si el yacimiento está a cierta profundidad se hace laboreo subterráneo. En cualquiera de los casos las operaciones están a cargo de profesionales competentes y desde el punto de vista ambiental no hay ninguna razón de peso para afirmar que una explotación subterránea sea preferible a una de cielo abierto.

El mineral que se extrae es llevado a la planta industrial de tratamiento que es una unidad separada que funciona en circuito cerrado, cumpliendo con estrictas normas y con controles permanentes. En caso de usarse solución cianurada para disolver el oro y la plata se hace enteramente dentro del mencionado circuito. Además, las normas actualmente vigentes exigen medidas de seguridad para que en cualquier caso de accidente (rotura de un caño o de una membrana, por ejemplo) se eviten daños que puedan derivarse de esa contingencia.

La forma en que se opera con una solución cianurada es parecida a la descrita para las soluciones con ácido sulfúrico, es decir que el mineral a tratar se puede colocar en tanques por donde circule una solución cianurada que disuelve y lixivia selectivamente el oro y la plata, o se puede hacer lo mismo pero en "pilas de lixiviación". Ambas instalaciones cumplen la misma función y son parte del circuito cerrado de la planta de tratamiento, pero las pilas de lixiviación son habitualmente más grandes.

Para armar cada pila se prepara sobre el terreno una especie de "recipiente" impermeabilizado con arcilla y membrana. Sobre la superficie impermeable se acumula el mineral extraído de la mina y triturado, conformando una acumulación de baja altura, con una terminación plana hacia arriba. Con un sistema similar al de riego por goteo se hace circular la solución cianurada desde arriba hacia abajo para disolver y lixiviar los metales preciosos. En estos casos, la concentración de cianuro en la solución es baja, del orden de los 250 miligramos por litro, y se trabaja con un pH entre 10 y 11 (básico) para evitar cualquier posible emanación de gas cianhídrico que es tóxico.

En la parte inferior de la pila un sistema de cañerías conduce la solución enriquecida a la planta de proceso donde se hace precipitar el oro y la plata. Una vez separados selectivamente los metales, el resto del mineral contenido en los tanques o en las pilas, que se consideran "agotados", son las colas que se disponen en depósitos o diques de colas.

Los reactivos químicos se recuperan y se reciclan en el mismo circuito (Figura

6.14). Sin embargo el proceso es imperfecto y siempre hay una pequeña parte de los reactivos que no se pueden recuperar y deben ser degradados o neutralizados antes de que las colas se depositen en su sitio de disposición final.

La degradación de los restos de cianuro se hace para que no haya problemas en el lugar, especialmente con la fauna. Esto es particularmente necesario cuando las colas son transportadas con agua hasta el dique, porque aunque el agua se bombea para su reciclado, siempre hay una pequeña laguna a la que van a beber las aves (y otras especies) de la zona. Los estándares de las normas argentinas para estos casos están establecidos detalladamente en el ANEXO IV de las Normas Complementarias para la Implementación de la Ley N° 24.585 (COFEMIN, 1996)

La operación de procesos para degradar el cianuro se ve muy facilitada porque hay empresas que ofrecen varias alternativas de servicios destinados a ese fin en cualquier parte del mundo. En el Anexo 2 se explica con detalle uno de los métodos que se usa en el establecimiento Cerro Vanguardia

Una característica del cianuro es que su toxicidad es muy alta pero no permanece en esa condición a través del tiem-



Figura 6.14: Esquema de la circulación en circuito cerrado de la planta de tratamiento de la mina de oro Veladero, San Juan.



Figura 6.15: Interior de la planta de flotación de la mina Bajo de la Alumbrera

po porque es inestable ante la luz y el oxígeno, de modo que se va degradando casi por completo en plazos relativamente cortos, de unos 100 días (Logsdon M., Hagelstein K, Mudder T., 2001). Esto impide que se pueda formar alguna acumulación peligrosa para el futuro.

Actualmente el cianuro es una de las sustancias químicas sujetas a mayor cantidad de normas y controles a nivel nacional e internacional, especialmente desde que se formuló el “Código Internacional para el Manejo del Cianuro para la Producción, el Transporte y la Utilización del Cianuro en la Explotación de Oro”, en 2002, con la dirección del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Consejo Internacional de Metales y el Medio Ambiente.

Vale la pena agregar que en la minería argentina se ha utilizado cianuro en la recuperación metalúrgica de oro y plata en forma continua en los últimos cuarenta años y no se registra ninguna víctima ni accidente o evento dañino relacionado con ese proceso.

Xantatos

El xantato de sodio ($R-O-C-S_2Na$ - en la que R representa a una cadena de hidrocarburos) forma parte de una familia de compuestos orgánicos que se usan hace unos cien años en miles de plantas de tratamiento de minerales que hacen concentración por flotación en todo el mundo. Esta sustancia fue cuestionada en una recopilación de opiniones hecha en Mendoza a raíz de un proyecto cuprífero, por la posibilidad de contami-

nación por emisión de disulfuro de carbono, un compuesto considerado tóxico (U. N. de Cuyo, 2010). Sin embargo, un informe posterior del Colegio Argentino de Ingenieros de Minas (CADIM, 2010) se encargó de explicar detalladamente que ese cuestionamiento era infundado.

Es posible que el cuestionamiento haya sido producto de alguna confusión relacionada con la temperatura de trabajo dado que el disulfuro de carbono se puede disociar a alta temperatura (en un horno, por ejemplo) pero en las plantas de flotación se trabaja a temperatura ambiente. Además, es muy importante decir que si hubiera una emisión peligrosa los primeros perjudicados serían los operarios (profesionales, técnicos u obreros) que manejan y controlan el funcionamiento de la planta.

En efecto, las celdas de flotación son recipientes abiertos en los cuales la mezcla de mineral molido y agua con una pequeña cantidad de xantatos (no más de 100 gramos por tonelada de mineral procesado) se agita permanentemente y separa la mena de la ganga por “rebalse”, de manera que cualquier emisión tóxica afectaría directamente a esas personas (Figura 6.15). Sin embargo, no tienen problemas en trabajar allí cotidianamente. Aquí hay que agregar que, por imperio de las normas laborales y de salubridad vigentes, los ambientes de trabajo están sujetos a inspecciones del ministerio respectivo y los trabajadores tienen un régimen de controles y revisiones médicas periódicas que los previenen y/o protegen de cualquier factor perjudicial para su salud en el ámbito laboral.

Por último, también hay que tener en cuenta que los xantatos son compuestos orgánicos biodegradables (CADIM, 2010) de manera que tampoco existe la posibilidad de que se forme alguna acumulación de esas sustancias si pequeñas cantidades se adhieren a las "colas" que se disponen en los depósitos o diques del establecimiento.

En consecuencia, no hay efectos perjudiciales para los empleados y tampoco problemas que puedan afectar al entorno.

Metales pesados tóxicos

Bajo esta denominación se incluyen mercurio, plomo, cadmio, arsénico, cobre, selenio y otros. Las normas del Código Alimentario Nacional establecen los límites máximos tolerables para estos metales disueltos en el agua. Por ejemplo, en un litro de agua potable no debe haber más de un miligramo de cobre, no más de tres miligramos de zinc y no más de 0,01 miligramos de plomo. Si superan esos límites el agua se considera perjudicial para la salud.

El hecho de que el Código Alimentario ponga límites máximos se debe a que estos elementos no están ausentes en el agua. Cuando definimos lo que es un yacimiento (Tema 2) dijimos que en las rocas están presentes todos los elementos químicos naturales, aunque algunos están contenidos en proporciones insignificantes. Y como el agua disuelve los componentes de las rocas, cualquier análisis de agua va a detectar la presencia de metales pesados pero si sus contenidos están por debajo de los límites fijados, su origen es natural y no se debe atribuir a ninguna contaminación de origen antrópico.

La mención del zinc, del plomo y del cobre no es caprichosa, porque varias décadas atrás, cuando no existían las normas ambientales, hubo establecimientos industriales (fundiciones) que produjeron contaminación.

Hoy en día, las minas que producen concentrados de plomo y zinc (como Mina Aguilar) o de cobre (como Bajo de la Alumbrera) están controladas y no producen

efluentes que puedan contaminar su entorno.

e) Diques o depósitos de colas

Si bien hace mucho tiempo que las buenas prácticas de la ingeniería aconsejan disponer las colas de las plantas de tratamiento en diques o depósitos preparados y seguros para ese fin, no todos los establecimientos procedieron de esa forma en el pasado. Por ejemplo, hubo establecimientos que echaron sus colas a campo abierto en cualquier lugar ubicado mas abajo que la planta. En otros casos se construyeron y operaron depósitos que no alcanzaban los requisitos necesarios en materia de estabilidad y seguridad. Todo esto se hizo antes de la sanción de las leyes y demás normas ambientales que regulan estas actividades desde la década de los años noventa. A partir de la nueva normativa, los depósitos de colas que se hacen en la Argentina requieren un diseño de ingeniería adecuado y forman una parte importante de los costos en la inversión en el proyecto.

Este tema reviste singular importancia porque las estadísticas de accidentes ambientales ocurridos en el mundo, relacionados con la minería (39 en 30 años, Botz M. y Mudder T., 2004), muestran que el 74% tuvo que ver con fallas en los diques de colas. Por eso, ésta es una instalación que en nuestros actuales proyectos merece una atención particular en sus aspectos ingenieriles y ambientales.

Los informes técnicos sobre los accidentes mencionados confirman que en la mayoría de los casos las instalaciones que fallaron habían sido hechas en ausencia de normas y obligaciones como las que hoy tenemos, y tampoco se tuvieron en cuenta parámetros de ingeniería y geotecnia para asegurar las condiciones de estabilidad y aislamiento del depósito (Actis R., 2006).

Hay dos casos, cuya difusión ha dado la vuelta al mundo, que representan buenos ejemplos de lo que no se debe hacer: la mina Aznalcollar o Los Frailes (1998), en Sevilla, España, y la reexplotación de relaves de minas más antiguas por parte de la Fundición Aurul (2000) en Baia Mare, Rumania.

En el primer caso se trata de una mina polimetálica con muchas décadas de existencia y una historia que alternó períodos de actividad con otros de inactividad, incluyendo cambios de dueños. Las colas de la planta tenían una cantidad significativa de pirita (sulfuro de hierro) y se disponían en diques compartimentados manteniendo esas colas cubiertas de agua para que la pirita no reaccione con el oxígeno del aire. Esta práctica es muy eficaz desde el punto de vista químico pero no lo es para su comportamiento geotécnico. Por eso fue que, a raíz de alguna pérdida de agua hacia las rocas donde se apoya el dique, se alteraron sus condiciones de estabilidad, disminuyendo la cohesión de las rocas, y provocaron el deslizamiento de un sector de 50 metros del paredón generando un derrame de 6,5 millones de metros cúbicos de colas pendiente abajo (Coleman T., Perales A., 1998) el 25 de abril de 1998.

Si bien las contaminaciones de este tipo son siempre reversibles mediante trabajos de remediación adecuados, el costo de esas tareas puede ser muy alto. En efecto, para que la zona afectada por este grave accidente volviera a la normalidad se invirtieron 90 millones de euros (Montilla A., 2007).

El segundo caso es un emprendimiento metalúrgico que formaba parte de un proyecto de tipo urbanístico y ambiental para relocalizar las colas de una planta de tratamiento que había funcionado anteriormente en el lugar. Como las colas tenían un contenido remanente de oro y plata se instaló una nueva planta destinada a procesar esos desechos y recuperar los metales preciosos trabajando con soluciones cianuradas en un circuito cerrado con un depósito de colas ubicado junto a la planta. Estas nuevas colas, una vez neutralizadas iban a llevarse a su nuevo sitio de disposición, a siete kilómetros de la ciudad (GUIAR, 2000).

A causa de condiciones meteorológicas extremas (hielo y nieve en grandes cantidades) las colas del nuevo dique se llenaron de agua y afectaron la estabilidad de la instalación. El 30 de enero de 2000 se produjo una rotura de un paredón y las colas (unos 100.000 metros cúbicos de barro y aguas residuales con pequeñas

cantidades de cianuro) se derramaron por rebalse de un segundo depósito, no preparado para esas circunstancias.

La consecuencia fue una contaminación importante aguas abajo, particularmente en el río Tisza, un afluente del Danubio, con una notable mortandad de peces.

Los dos accidentes descriptos tienen varios elementos en común que es interesante rescatar para tener en cuenta como experiencia. En la faz técnica de los proyectos se podrían mencionar varios defectos, como la suma de vicios de actividades anteriores y la falta de rigor científico en los diseños de ingeniería, pero quizá lo más importante fue la falta de previsión sobre la incidencia de la presencia y manejo del agua en el depósito, y en lo referente a las autoridades, según la bibliografía citada, en ambos casos las autorizaciones y controles estaban divididos en diferentes organismos, siendo así casi imposible saber quién es responsable ante algo que se hizo mal. Esta última cuestión es fundamental en lo político y administrativo de cualquier gobierno. Siempre debe haber una sola autoridad de aplicación que se haga responsable de la aprobación, seguimiento, controles y cierre.

Afortunadamente, el diseño, la construcción y la operación de depósitos de colas es una de las especialidades de la ingeniería que más y mejor evolucionó en las últimas dos décadas, como respuesta a normas ambientales cada vez más exigentes al respecto. (Actis R., 2006).

En la Argentina no hay ninguna instalación que se parezca a las siniestradas. Los diques y depósitos de colas están diseñados y operados de acuerdo a los últimos adelantos científicos y tecnológicos, y cada Provincia tiene una autoridad específica que se responsabiliza por los controles pertinentes. De hecho, a partir de la implantación de las normas ambientales no se constató ningún daño ambiental atribuible a depósitos de colas mineras.

4. Minería y glaciares

En directa relación con preocupaciones relacionadas a posibles impactos de

la minería en zonas cordilleranas, en el año 2010 se sancionó la Ley Nacional 26.639 que establece un Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial. Su objetivo formal es la preservación de glaciares y ambiente periglacial como reservas estratégicas de recursos hídricos, y entre sus prohibiciones específicas se destaca la actividad minera e hidrocarbúrfera.

Sobre este tema se ha hablado mucho y también se han exagerado y tergiversado muchos datos de la realidad. Por eso, para evitar malentendidos, es necesario aclarar algunos puntos referidos a esa ley, a los recursos hídricos y a la minería.

- a) En la Argentina no hay ninguna mina que afecte cuerpos de hielo que se puedan considerar reservas de recursos hídricos. Más aún, hay ejemplos emblemáticos de conservación de glaciares en la Cordillera. Por ejemplo, desde hace varias décadas se sabe que debajo de los glaciares del cerro Aconcagua (en Mendoza) y del cerro Mercedario (en San Juan) hay depósitos de sulfuros metálicos (Plan Cordillerano, 1968) y los respectivos gobiernos provinciales se encargaron en su momento de protegerlos poniendo sus valores naturales por encima de los intereses mineros.
- b) La información proporcionada por el Instituto Argentino de Nivología y Glaciología (IANIGLA) en su asesoramiento científico a los Senadores del Congreso Nacional define tres clases de cuerpos con entidad para ser considerados como recursos hídricos: los glaciares descubiertos, los glaciares cubiertos y los glaciares de escombros. Son cuerpos de hielo que tienen una clara delimitación espacial a los efectos de definir las áreas protegidas.
- c) La ubicación de los recursos hídricos (incluyendo los glaciares) y su protección forman parte de la información que deben contener los Informes de Impacto Ambiental (COFEMIN, 1996) de cualquier proyecto minero, y son datos fundamentales de la evaluación

que debe hacer la Autoridad Ambiental Provincial encargada de autorizar o no la realización de cada proyecto. En la práctica, las autoridades no autorizan la instalación de un establecimiento minero encima de un glaciar y, en el caso de proyectos cercanos a un glaciar, deben demostrar que no habrá perjuicios.

- d) Es erróneo considerar a los suelos congelados (permafrost) de la Cordillera como recursos hídricos. En general todos los suelos pueden contener una pequeña cantidad de agua (adsorbida o capilar) que es importante para la evolución física y química de ese terreno, pero eso no convierte al suelo en un acuífero al que se le pueda extraer agua y, por lo tanto, no es un recurso hídrico.
- e) El agua de los ríos cordilleranos proviene fundamentalmente de las precipitaciones niveas que caen en invierno y primavera, y se funden en verano. Su aporte promedio en Mendoza es de un 85% del total. El de los glaciares es de un 15%.

5. Seguridad. Contingencias. Accidentes. Monitoreo.

Una preocupación de las comunidades, sobre todo si están aguas abajo de un emprendimiento minero, se refiere al grado de seguridad de las instalaciones ante eventos poco comunes

En los establecimientos modernos el proyecto se diseña con la planificación de todas las tareas para que no haya problemas pero, aún así, también se hacen provisiones ante la posibilidad de que se produzcan contingencias o accidentes que pongan en riesgo las condiciones de funcionamiento y seguridad de las instalaciones. Se hacen monitoreos periódicos para control y ajustes o reparaciones, y se toman medidas de seguridad para aplicar en caso de accidentes. Las empresas deben tener manuales de uso y capacitar a su personal para las contingencias (COFEMIN, 1996).

El criterio con que se trabaja es el de una comunidad que, por ejemplo, toma todas las medidas de seguridad para que no se produzcan incendios pero aún así

tiene un cuerpo de bomberos preparado para una contingencia inesperada.

Cada Provincia posee una autoridad específica para la habilitación y el control de los establecimientos mineros (Código de Minería, artículo 250°) cumpliendo y haciendo cumplir todas las normas vigentes, realizando las inspecciones y monitoreos necesarios para ese fin.

Una experiencia muy interesante que ya se puso en práctica en varios lugares de nuestro país es la participación de vecinos en el monitoreo ambiental de los establecimientos mineros. Esta participación posibilita que la población del lugar esté correctamente informada sobre el funcionamiento del emprendimiento minero y particularmente sobre el cumplimiento de las normas y compromisos vigentes.

Un aspecto que, curiosamente, no ha sido tenido en cuenta en la mayoría de las crónicas, debates y otras manifestaciones relacionadas con la promoción del cuidado ambiental, es la salubridad y la seguridad del ambiente en que desempeñan sus tareas los trabajadores mineros. Si en un establecimiento minero se dejan de cumplir las normas y se hacen las cosas mal, los primeros perjudicados por cualquier factor de peligro son los empleados. Esta circunstancia habilita la aplicación de otras normativas y controles relacionados con las leyes laborales, que en definitiva se suman para prevenir o evitar daños dentro o fuera de la mina.

Este no es un tema menor porque involucra directamente la salud y la vida de los trabajadores e indirectamente a sus familias. Los mineros son los primeros

interesados en que las empresas cumplan con todas las normas. Para eso están agremiados y en las mesas de discusión de los convenios colectivos de trabajo (paritarias) no solo se tratan y acuerdan temas salariales sino todos los asuntos que tienen que ver con las condiciones de higiene y seguridad industrial, y de un ambiente apto para el trabajo.

La suma de exigencias y controles tiene sus frutos porque, en casi dos décadas de aplicación de las normas de protección ambiental no se han registrado daños ambientales atribuibles a los nuevos proyectos mineros. En el mismo lapso se verificaron unos pocos accidentes menores que sirvieron para comprobar la eficacia de las normas y medidas de prevención y remediación existentes. Cabe agregar que también hubo algunas denuncias de daño ambiental pero las actuaciones de la justicia, basadas en peritajes específicos, descartaron la existencia de los daños denunciados (La Gaceta, 2009).

6. Cierre de minas. Remediación paisajística y de otros pasivos.

Cuando se agotan las reservas del yacimiento, ya no hay más mineral para extraer y se debe proceder al cierre de la mina.

En otras épocas, los establecimientos se "desguazaban" para recuperar todo lo que tuviera valor y finalmente la mina se abandonaba en el estado que se encontraba. Por eso, en la Argentina como en otras partes del mundo, hay cientos de minas abandonadas y, aunque la gran

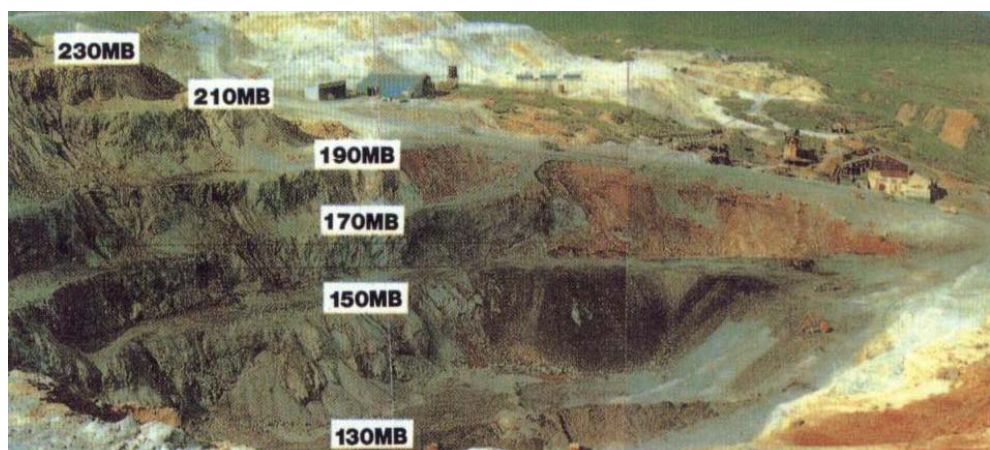


Figura 6.16: Mina de azufre y sulfuros Matsuo (Japón) antes de la remediación



Figura 6.17: Mina de azufre y sulfuros Matsuo (Japón) después de la remediación

mayoría son de pequeña magnitud, cada una de ellas es un pasivo desde el punto de vista ambiental.

Hoy en día ya no se permite ese tipo de abandono. La legislación vigente obliga a diseñar el cierre de la mina como parte del proyecto, incluyendo las medidas de rehabilitación, restauración o recomposición del medio alterado (Código de Minería, artículos 249 y 262).

Esto significa que, antes de iniciar la explotación, el proyecto debe tener previstas la forma y las características que tendrá el lugar al término de las operaciones mineras. Es decir que el plan de cierre se ejecuta desde el principio de la explotación y cada cosa que se hace está en relación directa con ese cierre planificado. El objetivo es recomponer el paisaje afectado, neutralizar o aislar los residuos potencialmente contaminantes, y evitar que el agua, el suelo o el aire de la zona sean dañados en el futuro por los restos de la actividad minera.

Las obligaciones citadas se complementan con otras, no menos importantes para asegurar su cumplimiento, como la de constituir una previsión especial, un importe anual de dinero, destinado a subsanar alteraciones en el medio ambiente (Ley Nacional 24.196, artículo 23) y la de contratar seguros ambientales o integrar un fondo de restauración ambiental para instrumentar acciones de reparación (Ley Nacional 25.675, artículo 22).

Cabe agregar que lo que aquí llamamos genéricamente “remediación” puede tener diferentes formas y modalidades y no necesariamente se trata de borrar todo vestigio del establecimiento. De hecho hay minas que se convirtieron en museos, en escuelas de minería o en centros de atracción turística.



Figura 6.18. Planta de concentración de la mina Angela (polimetálica, Chubut), antes de la remediación



Figura 6.19. Sitio donde estaba emplazada la planta de concentración de la mina Angela (polimetálica, Chubut), después de la remediación

TEMA 7 - APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL

La minería es "madre de industrias" y la industria es el "motor del desarrollo". Países como Alemania, Francia, Suecia, Gran Bretaña y Japón crecieron industrializando todas las materias primas minerales que producían sus propias minas, hasta llegar a un punto de casi agotamiento de esos recursos en sus territorios. Hoy en día es difícil encontrar nuevos yacimientos en esos países pero sus industrias siguen funcionando, poniendo en evidencia que el crecimiento económico depende en gran medida del valor agregado que esas industrias dan a las materias primas minerales.

Otros países, más extensos, como Estados Unidos, Canadá, Australia o China, figuran entre los principales productores mineros del mundo pero también poseen importantes industrias que sostienen sus respectivos crecimientos.

Al inicio ya se puntualizó que casi todo lo que tenemos y usamos se hace con minerales a fin de mostrar la impor-

tancia que tiene la actividad minera para la sociedad. Pero vale la pena aclarar que las cosas que tenemos y usamos nos llegan después de uno o varios procesos industriales y eso nos hace perder de vista el verdadero origen de las materias primas con que se hicieron.

Por ejemplo, cuando compramos una batería para el automóvil no se nos ocurre pensar qué procesos fueron necesarios para fabricar la parte sustancial de esa batería que son las placas y bornes de plomo. En realidad, el plomo fue extraído de una mina donde está mezclado con otras sustancias y fue sometido a un primer proceso industrial de concentración para obtener un concentrado de sulfuro de plomo. El concentrado pasó a otra industria que es la fundición en la que se produjo el plomo metálico. Posteriormente, el plomo metálico se usó para fabricar las placas y los bornes. Y finalmente, en otro proceso, se usaron las placas y bornes fabricados para armar la batería que ha de salir a la venta (Figuras 7.1 a



Figura 7.1: La Mina Aguilar (Jujuy) produce minerales de plomo, plata y zinc.

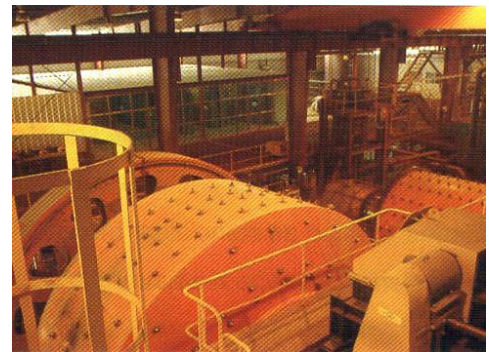


Figura 7.2: En la planta de concentración se separa el sulfuro de plomo de los otros minerales.



Figura 7.3: En la planta de fundición se obtiene el plomo metálico



Figura 7.4: Con el plomo metálico se fabrican las placas y bornes, y finalmente se arma la batería.

7.4). Además, las placas de la batería deben estar sumergidas en un compuesto químico capaz de almacenar y ceder energía. Ese compuesto, generalmente es ácido sulfúrico que se obtiene como subproducto en las fundiciones de minerales de cobre.

A continuación se describen esquemáticamente algunas de las industrias básicas más importantes y las materias primas minerales que se usan en cada caso.

Se calcula que hoy en día se utilizan no menos de 500 especies minerales como

APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE LOS MINERALES			
INDUSTRIA	MATERIA PRIMA	COMPOSICION	COMENTARIOS
SIDERURGIA (ACERO)	HEMATITA MAGNETITA HULLA CALIZA DOLOMIA	Fe_2O_3 Fe_3O_4 C Roca de $CaCO_3$ Roca de $CaMg(CO_3)_2$	Se importa Se importa Se importa Producción interna Producción interna
FERRO ALEACIONES (para hacer aceros especiales)	PIROLUSITA PSILOMELANO CUARZO CROMITA PENTLANDITA	MnO_2 $MnO_2 \cdot nH_2O$ SiO_2 $FeCr_2O_4$ (Ni,Fe)S	Se importa Se importa Producción interna Se importa Se importa
METALURGIA DE: COBRE ALUMINIO PLOMO ZINC ESTAÑO	CALCOPIRITA CALCOSINA BORNITA COVELINA CUPRITA MALAQUITA AZURITA BAUXITA GALENA BLENDA CASITERITA	$CuFeS_2$ Cu_2S Cu_5FeS_4 CuS Cu_2S $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ $2 CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ PbS ZnS SnO_2	Se importa cobre metálico y manufacturas Se producen y exportan concentrados de sulfuros de cobre Se importa alúmina Producción interna Producción interna Se importa metal
PLASTICOS	CALIZA Y CARBÓN PETRÓLEO Y GAS	$CaCO_3 + C$ Hidrocarburos	Se importan productos derivados
ACIDO SULFÚRICO	PIRITA CALCOPIRITA AZUFRE	FeS_2 $CuFeS_2$ S	 Se importa
FERTILIZANTES Y ENMIENDAS	SILVITA FOSFORITA NITRÓGENO Cacita, yeso y otros	KCl Fosfatos N	Próxima producción local Se importa Se importa Producción local
ABRASIVOS	CALCITA CUARZO CARBÓN RESIDUAL BAUXITA	$CaCO_3$ SiO_2 $Al_2O_3 \cdot nH_2O$	Producción interna Producción interna Se importa
INDUSTRIAS QUE REQUIEREN CARGAS MINERALES	CALCITA CALIZA Y MARMOL TRAVERTINO - ONIX YESO TALCO CAOLINITA PIROFILITA	$CaCO_3$ Roca de $CaCO_3$ Ídem $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ Silicato de Mg Silicato de Al	Producción interna
CARBONATO DE SODIO	CALIZA HALITA TRONA	Roca de $CaCO_3$ NaCl Carbonato de sodio	Se importa carbonato de sodio
CEMENTO	CALIZA ARCILLA YESO	Roca de $CaCO_3$ Silicato (Al,Fe) $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Producción interna
CAL	CALIZA	Roca de $CaCO_3$	Producción interna
YESO	YESO	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Producción interna
VIDRIO	CUARZO ARENA CUARZOSA BORAX FELDESPATO CALIZA DOLOMIA CARBONATO DE SODIO	SiO_2 $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ $KAlSi_3O_8$ Roca de $CaCO_3$ Roca de $CaMg(CO_3)_2$	Producción local Se importa carbonato de sodio

materias primas para las diversas industrias que producen todo lo que tenemos y usamos.

Un ejemplo muy caro a nuestros sentimientos es nuestra propia casa. Para construir una vivienda se requiere un mínimo de 30 minerales que se producen en 30 minas o canteras diferentes. En el Anexo 3 se detallan las distintas partes que componen la casa y los insumos necesarios para construirlas.

Lo que sigue son algunos ejemplos de productos que normalmente no asociamos de ninguna manera a la minería y, sin embargo, están hechos con materias primas minerales.

SILICONAS

Plásticos que se hacen con cloruro de metilo (derivado de la sal y el petróleo) y cuarzo.

TEFLÓN

Hecho con freones obtenidos a partir de tetracloruro de carbono, derivado de varias materias primas minerales, y ácido fluorhídrico, hecho con fluorita.

CARGAS MINERALES

Minerales finamente molidos que se agregan, como sustancias inertes, a pin-

turas, papel, caucho, plásticos y otros. Esto incluye desde los "excipientes" de cualquier remedio o dentífrico hasta los polvos que integran un insecticida o un alimento balanceado. Los minerales más usados son: calcita, yeso, caolín, bentonita, talco, pirofilita.

CRISTALES PIEZOELECTRICOS

Cristales de cuarzo, generalmente cultivados a partir de cuarzo natural.

LIQUIDO CONTRASTANTE

Líquido blanco hecho a base de bari-tina, "opaco" ante los rayos "X".

CARBORUNDUM (Carburo de silicio)

Abrasivo artificial que reemplazó al esmeril. Se hace con cuarzo y carbón.

CLARIFICANTES

La transparencia de los buenos vinos se debe al uso de bentonita para eliminar su turbidez natural.

POLVO LIMPIADOR

Es calcita (también puede ser cuarzo) molida muy fina.

FIBRA ÓPTICA

Se obtiene mediante complejos procesos a partir de cuarzo.

TEMA 8 - POLÍTICA Y ECONOMÍA MINERA

LA REALIDAD MINERA PREVIA A 1990

La inversión realizada por el Estado en programas de investigación y prospección ejecutados durante varias décadas, especialmente desde los años sesenta hasta los ochenta, demostraron que la República Argentina posee condiciones geológicas muy favorables para el hallazgo de yacimientos metalíferos de importancia.

Sin embargo la minería tenía un escaso desarrollo, con algunas empresas del Estado que se ocuparon de ciertas actividades consideradas estratégicas, como la minería del hierro, del carbón, del uranio y del cobre, y empresas privadas que se dedicaron a la "minería inducida", esa que provee fundamentalmente materiales de construcción y algunos minerales industriales.

El sector tenía una baja incidencia en el producto bruto interno (0,3%) y un déficit crónico en el balance comercial. Además en muchas provincias alejadas de la pampa húmeda existía la esperanza de un crecimiento económico a partir de la explotación de sus minas, pero ese desarrollo no se concretaba y la mayoría de sus jóvenes emigraba hacia las grandes ciudades.

En general, los empresarios argentinos no incursionaban en inversiones de riesgo, como las necesarias para la exploración de prospectos de gran minería, y los empresarios foráneos consideraban inestables y poco atractivas a las reglas de juego del país.

El Gobierno Nacional intentó promover la inversión mediante leyes y mecanismos destinados a favorecer a las empresas de capital nacional, como la Ley de Promoción Minera, que estuvo vigente desde 1973 hasta 1993. Ese Régimen tuvo un costo fiscal (exenciones impositivas) de u\$s 321 millones y se otorgaron préstamos del "Fondo de Fomento Minero" (a riesgo del Estado) por u\$s 23 millones.

Los resultados no fueron los esperados ya que, paradójicamente, las es-

tadísticas de la Dirección Nacional de Minería indicaron que la participación del PBI minero en el Total Nacional bajó desde 0,38% en 1974 hasta 0,22% en 1990.

UNA NUEVA POLÍTICA MINERA

Esa realidad llevó a los dirigentes del sector a formular una nueva política minera. Existía el convencimiento de que, siendo las Provincias las dueñas de sus recursos minerales, la única forma de diagramar una política minera adecuada a la realidad del país consistía en lograr el consenso de todas las Provincias, como así también la participación de todas las partes interesadas (cámaras empresarias, agrupaciones profesionales, gremios, etc.). Por eso, el punto de partida fue la firma del Acuerdo Federal Minero, gestado en el seno del Consejo Federal de Minería, y firmado por todos los Gobernadores y el Presidente de la República, el 6 de mayo de 1993.

Es necesario mencionar que, a principios de los años 90, el Gobierno Nacional había derogado todas las disposiciones que diferenciaban a la inversión extranjera de la nacional y eliminados los avales del estado para la financiación externa. Esas medidas tuvieron una gran incidencia en la evolución del sector porque, ante la escasez de inversores nacionales, se puso a los inversores foráneos en las mismas condiciones que los argentinos para promover la entrada de capitales de riesgo.

Otro punto importante era lograr que la nueva política fuera estable en el tiempo, habida cuenta de que la minería es una actividad de largo plazo. Por eso se acordó establecer las reglas de juego mediante un conjunto de leyes específicas para el sector, consensuadas y sancionadas casi todas por unanimidad por el Congreso Nacional.

El grado de consenso alcanzado, dejando de lado intereses partidarios o sectoriales, permitió que la política minera continuara vigente a pesar de los cambios políticos ocurridos. De esta forma,

la política minera tuvo la continuidad de una verdadera política de Estado.

Las leyes que definen esa política son las siguientes:

Régimen de inversiones mineras.

La primera de las leyes fue la Ley de Inversiones Mineras, N° 24.196 (1993), que derogó definitivamente la Ley de Promoción Minera, N° 22.095. La Ley de Inversiones Mineras establece, entre otras cosas:

- a) Estabilidad fiscal por 30 años para los proyectos mineros.
- b) Deducciones en el impuesto a las ganancias de montos invertidos en exploración, investigación y estudio de factibilidad.
- c) Amortización acelerada de inversiones al efecto del impuesto a las ganancias.
- d) Avalúo y capitalización de reservas, sin efectos impositivos.
- e) Exención de derechos, gravámenes y tasas aduaneras para importación de bienes de capital, equipos e insumos para desarrollar proyectos mineros.
- f) Fija un tope de 3% del valor boca mina para el cobro de regalías.
- g) Establece la obligación de constituir una previsión especial para prevenir y subsanar impactos ambientales.

Es importante destacar que la Ley de Inversiones Mineras otorga beneficios fiscales a cambio de inversiones, es decir que las empresas primero deben hacer la inversión para poder acceder al beneficio. Esto fue especialmente mencionado en un informe de la CEPAL (Prado O., 2005) porque por cada peso que el estado deja de recaudar por el otorgamiento de un beneficio impositivo, pasa a cobrar \$ 2,80 por los nuevos impuestos que genera la inversión. En otras palabras, los beneficios fiscales no son un regalo, sino una forma práctica de inducir a las inversiones genuinas para la creación de nuevas fuentes de producción y trabajo, y la multiplicación de la actividad económica a su alrededor, con cobro de impuestos incluido.

Pequeñas modificaciones a la Ley de Inversiones Mineras

Por Ley N° 24.296 se incorporó a la producción de piedra partida como beneficiaria de esta Ley, y por Ley N° 25.161 (1999) se definió el valor boca mina a utilizar para el pago de regalías. Por Ley N° 25.429 (2001), se introdujeron modificaciones destinadas fundamentalmente a aclarar y precisar el alcance de varios artículos del texto de la Ley N° 24.196.

Ley de Reordenamiento Minero, N° 24.224

Esta ley, sancionada en 1993, tiene tres partes:

- a) Dispone la ejecución de las cartas geológicas y temáticas en todo el territorio de la República, y designa a la Secretaría de Minería como Autoridad de Aplicación.
- b) Crea el Consejo Federal de Minería (COFEMIN) como organismo asesor de la Secretaría de Minería de la Nación, dando existencia formal a esta agrupación que venía funcionando desde la década de los años ochenta.
- c) Reforma un par de aspectos del Código de Minería: fija nuevos valores para el canon que se abona como condición de amparo de las propiedades mineras y de los permisos de exploración, e incrementa el tamaño de los permisos de exploración y de las pertenencias mineras, en beneficio de la gran minería.

Es importante aclarar que esta ley, al reformar solamente un par de aspectos no sustanciales del Código de Minería, en forma implícita, y a manera de señal política, ratificó la continuidad de la vigencia del Código de Minería sancionado en 1886, reputado en diversos ámbitos como un ordenamiento legal adecuado para la seguridad jurídica del sector.

Ratificación del Acuerdo Federal Minero

La Ley N° 24.228 (1993) ratifica el Acuerdo Federal Minero (posteriormente

te ratificado por todas las Legislaturas Provinciales) que tiene una serie de disposiciones que son la base, junto con el funcionamiento del Consejo Federal de Minería, para establecer una política minera consensuada. Dado que los recursos minerales pertenecen a las Provincias, el COFEMIN se transformó en la mesa de consenso obligada para todos los acuerdos políticos relacionados con la minería, y de esa manera contribuyó a que la política minera alcance el rango de política de estado, aceptada por todos.

Financiamiento para el pago del IVA

La Ley N° 24.402 (1994) es un régimen de financiamiento para el pago del IVA que favorece a las operaciones de compra o importación definitiva de bienes de capital nuevos, en tanto sean destinados a procesos productivos orientados a la venta en el mercado externo, y las inversiones en obras de infraestructura física para la actividad minera, para sujetos acogidos a la Ley N° 24.196. Como alternativa del beneficio antes mencionado, si la empresa no accede al financiamiento del IVA, puede pedir la devolución de este impuesto en el caso de nuevos proyectos mineros incluidos en el régimen de la Ley N° 24.196 (Manassero C., 1998).

Reformas al Código de Minería

Por Ley N° 24.498, llamada de Actualización Minera (1995), se introdujeron reformas al Código de Minería, con el objeto de simplificarlo y mejorarlo. Entre otras cosas se eliminaron figuras en desuso o problemáticas, como nuevo mineral y nuevo criadero, estacas minas, minerales abandonados, y el régimen de remate de minas caducas. También se introdujeron innovaciones como el Catastro Minero, con uso de coordenadas, y la investigación con uso de aeronaves. Además, restableció la concesibilidad de los minerales nucleares.

La Ley N° 24.585, de Protección Ambiental (1995), agregó una nueva sección al Código de Minería en la que se esta-

blecen todas las normas a cumplir por la actividad minera en materia de protección ambiental. Esta sección fue reglamentada en 1996 por el Consejo Federal de Minería a través de las Normas Complementarias para la Implementación de la Ley 24.585, con el objeto de aplicar estas disposiciones de manera uniforme en todas las Provincias. Posteriormente, en 2002, la Ley N° 25.675, Ley General del Ambiente, adicionó las instancias de Consulta y/o Audiencia Pública para las actividades que puedan generar efectos negativos y significativos sobre el ambiente, el seguro ambiental y otras normas.

La Ley N° 26.909, promulgada el 3 de diciembre de 2013, derogó el artículo 239 del Código de Minería. Este artículo, que prohibía el trabajo de las mujeres dentro de las minas, en realidad hacía mucho tiempo que no se aplicaba.

Integración con Chile

Es importante mencionar el Tratado de Integración y Complementación Minera firmado por los Gobiernos de Argentina y Chile en 1997, aprobado por ambos Congresos unos años después (el Congreso Argentino lo aprobó por ley N° 25.243) y ratificado definitivamente por ambos presidentes en diciembre de 2000. Este tratado, en la práctica, elimina las limitaciones creadas por las hipótesis de guerra de épocas pasadas, que durante décadas desalentaron las inversiones en áreas limítrofes, y facilita la realización de emprendimientos de empresas de ambos países en cualquier zona de la extensa frontera binacional, incluyendo a yacimientos ubicados en el mismo límite entre ambos países.

Otras leyes, reintegros patagónicos y combustible minero

En la misma década se sancionaron las Leyes N° 24.466, por la que se creó el Banco Nacional de Información Geológica, y la N° 24.523, de creación de un Sistema Nacional de Comercio Minero.

La ley N° 23.018, de 1983, prorrogada por la ley N° 24.490, de 1995, era una

norma para promover el desarrollo económico de la Patagonia, al sur del río Colorado, consistente en el otorgamiento de reembolsos a las exportaciones de los productos locales, embarcados por puertos de la misma zona. Era un beneficio general para toda la producción de la Patagonia destinada a la exportación. Establecía una escala de porcentajes para cada uno de los nueve puertos, desde un máximo de 12% para Ushuaia y un mínimo de 7% para San Antonio Oeste y Puerto Madryn. Además, era una escala decreciente, con una disminución de un uno por ciento por año, de modo que sus beneficios están ya extinguidos.

El Decreto N° 377/98 del Gobierno Nacional, reglamentó el alcance de la Ley N° 24.698 con respecto al "combustible especial para minería". Esta disposición autoriza el empleo de un sustituto del "fuel oil" para usar únicamente en máquinas fijas (motores de una usina, por ejemplo) en zonas de la Puna y de la Cordillera donde, por las elevadas alturas y las bajas temperaturas, los destilados pesados del tipo fuel oil son inutilizables. Fuera de esos casos muy especiales, la industria minera debe usar los mismos combustibles, y a los mismos precios, que usa cualquier ciudadano.

RESULTADOS DE LA POLÍTICA MINERA

En general se considera que la política minera implementada ha sido exitosa. En efecto, se produjeron grandes inversiones en exploración y en proyectos productivos, con una importante afluencia de capitales desde el exterior, se aumentó la producción y hubo un sustancial incremento de las exportaciones, y se crearon nuevas fuentes de producción y trabajo.

En el gráfico de barras y en el cuadro explicativo que siguen se relacionan las inversiones en exploración y en procesos productivos desde 1991 hasta 2012. Los años 1991 y 1992 representan los niveles normales de inversión antes de la política minera descripta. A partir de 1993 comenzó un nuevo ciclo caracterizado por un aumento significativo en los montos anuales de inversión.

Conviene aclarar que la serie muestra altibajos de un año al otro, con algunos máximos notables separados por valores de menor cuantía. Esto es así porque el grueso de la inversión en esta actividad coincide con el momento de la construcción y puesta en marcha de los proyectos productivos, sobre todo los más importantes como Bajo de la Alumbrera, Cerro Vanguardia y Mina Fénix, durante 1996 y 1997, y las minas Veladero, San José, Pirquitas y otras entre 2004 y 2006.

PAÍS CON MINERÍA

Uno de los problemas crónicos de la minería argentina hasta los años 90 había sido la falta de inversión, en especial en exploración. El Estado había hecho importantes esfuerzos (carbón, hierro, uranio, petróleo) pero no había conseguido que los empresarios argentinos asumieran inversiones de riesgo.

Los cambios producidos en las reglas de juego para promover la inversión consiguieron atraer capitales de las empresas multinacionales, tanto las que manejan los grandes negocios mineros del mundo como otras más chicas llamadas empresas exploradoras ("*juniors*"). Así se produjeron importantes inversiones en exploración y en proyectos productivos, inversiones que cambiaron el tradicional perfil de país netamente importador de sustancias minerales.

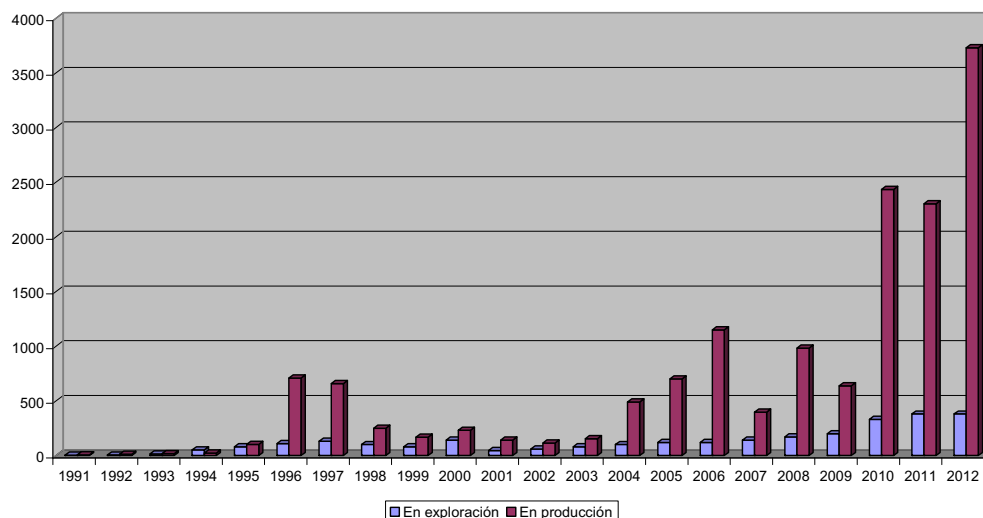
Con una inversión total de más de 18.000 millones de dólares, ocurrida entre 1995 y 2012, se exploraron, factibilizaron y pusieron en producción importantes yacimientos como Bajo de la Alumbrera (cobre, oro) y Mina Fénix (sales de litio) en Catamarca, Cerro Vanguardia (oro, plata), Mina Martha (plata), Manantial Espejo (plata y oro), y San José (oro y plata) en Santa Cruz, Loma Blanca (boratos) y Pirquitas (estaño y plata) en Jujuy, Veladero, Casposo y Gualcamayo (las tres de oro y plata) en San Juan, como así también canteras y plantas de granitos y mármoles en Córdoba y San Luis, de yeso en Mendoza y de pórfidos en Chubut y Río Negro.

Aunque todavía no alcanzaron a la etapa productiva, se exploraron y factibi-

INVERSIONES EN EXPLORACIÓN Y EN PROYECTOS PRODUCTIVOS

(en millones de dólares)

Fuente: Dirección Nacional de Minería de la Secretaría de Minería



MONTOS DE LAS INVERSIONES EN EXPLORACIÓN Y EN PRODUCCIÓN (en millones de dólares)

Fuente: Dirección Nacional de Minería – Secretaría de Minería de la Nación

Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Expl.	4	5	15	51	80	110	130	100	80	140	47
Prod.	7	12	17	23	101	708	658	249	167	231	142
Total	11	17	32	74	181	818	788	349	247	371	189

MONTOS DE LAS INVERSIONES EN EXPLORACIÓN Y EN PRODUCCIÓN (en millones de dólares)

Fuente: Dirección Nacional de Minería – Secretaría de Minería de la Nación

Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Expl.	60	80	120	130	145	140	170	200	330	380	(n/d)
Prod.	115	154	490	700	1.155	397	982	637	2433	2.302	(n/d)
Total	175	234	610	830	1.300	537	1152	837	2773	2.682	4.110

lizaron otros proyectos no menos importantes como Pascua Lama (oro y plata) y Pachón (cobre) en San Juan, San Jorge (cobre), Don Sixto o La Cabeza (oro y plata) y Potasio Río Colorado (sales de potasio) en Mendoza, Cordón de Esquel (oro y plata) y Navidad (plata y plomo) en Chubut, Agua Rica (cobre y molibdeno) en Catamarca.

Los cambios operados en la política económica argentina a partir del siglo XXI, han procurado mejorar la ecuación económica de las empresas nacionales dedicadas fundamentalmente a la producción

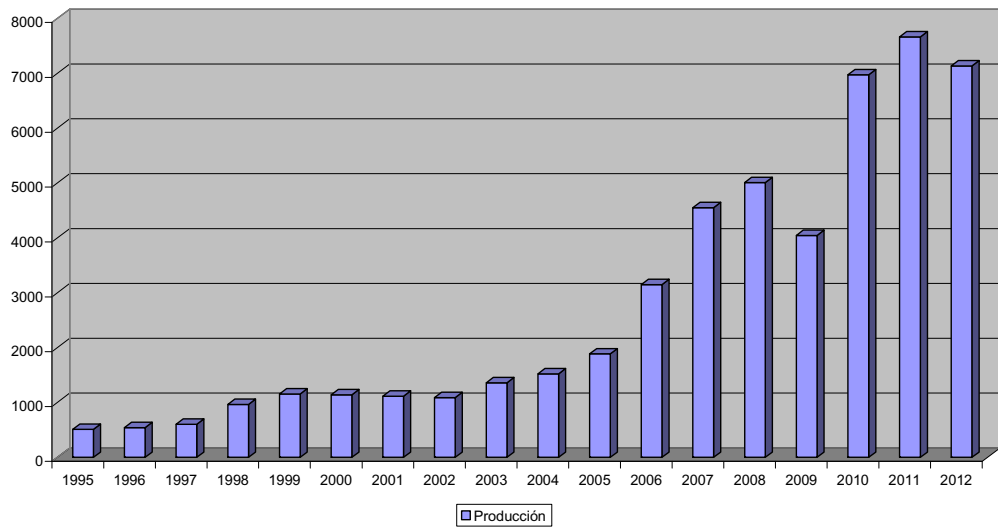
de minerales industriales y se ha puesto énfasis en incrementar la producción, sustituir importaciones y aumentar las exportaciones. Coincidentemente, las cifras de inversión, de producción y de exportación se vienen incrementando de tal manera que en el año 2012 llegaron a niveles record para la historia minera del país.

De esta manera, de considerarse un país sin minería, Argentina pasó a ser un país con minería. No debe confundirse este concepto con el de un país minero. Argentina no es ni será un país minero

PRODUCCIÓN MINERA NACIONAL

(En millones de dólares)

Fuente: Dirección Nacional de Minería - Secretaría de Minería de la Nación



PRODUCCIÓN NACIONAL (Estimada en millones de U\$S)

Fuente: Dirección Nacional de Minería – Secretaría de Minería de la Nación

1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
513	542	604	967	1.157	1.141	1.116	1.089	1.360

PRODUCCIÓN NACIONAL (Estimada en millones de U\$S)

Fuente: Dirección Nacional de Minería – Secretaría de Minería de la Nación

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1.523	1.887	3.150	4.551	5.009	4.046	6.975	7.664	7.137

EXPORTACION DE SUSTANCIAS MINERALES Y PRODUCTOS DERIVADOS

Valor FOB en millones de U\$S

Fuente: Dirección Nacional de Minería – Secretaría de Minería de la Nación

1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
260	252	302	659	774	710	861	989	1.062

porque tiene una economía altamente diversificada.

En el cuadro y en el gráfico de barras que siguen se representa la evolución de la producción minera argentina desde 1995 hasta el 2012.

Puede verse con toda claridad el crecimiento del sector. Desde 1995 hasta 2012 (18 años) el valor de la producción aumentó 1.400 %

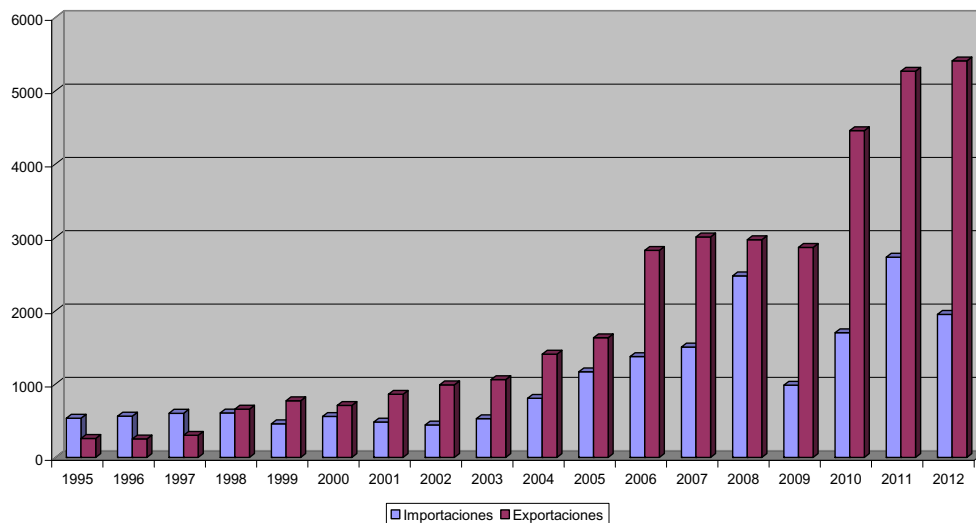
Con respecto a la generación de empleos, las cifras oficiales estiman que, entre empleos directos e indirectos, habría actualmente unas 500.000 personas dependientes de la actividad minera.

A continuación, los cuadros y el gráfico correspondientes a las exportaciones e importaciones muestran de qué manera la Argentina transformó su tradicional déficit (pérdida de divisas) en el balance

IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN

(En millones de dólares)

Fuente: Dirección Nacional de Minería - Secretaría de Minería de la Nación



EXPORTACION DE SUSTANCIAS MINERALES Y PRODUCTOS DERIVADOS

Valor FOB en millones de U\$S

Fuente: Dirección Nacional de Minería – Secretaría de Minería de la Nación

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1.409	1.631	2.825	3.007	2.969	2.865	4.456	5.278	5.407

IMPORTACION DE SUSTANCIAS MINERALES Y PRODUCTOS DERIVADOS

Valor CIF en millones de U\$S

Fuente: Dirección Nacional de Minería – Secretaría de Minería de la Nación

1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
536	563	603	606	460	558	483	442	529

IMPORTACION DE SUSTANCIAS MINERALES Y PRODUCTOS DERIVADOS

Valor CIF en millones de U\$S

Fuente: Dirección Nacional de Minería – Secretaría de Minería de la Nación

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
807	1.167	1.376	1.507	2.477	985	1.701	2.732	1.951

comercial minero, que en 1995 era de u\$s 276 millones, en un amplio superávit (ganancia de divisas) que en 2012 llegó a u\$s 3.456 millones.

Por último hay que señalar el incremento de las reservas producido como consecuencia de la inversión en exploración que se viene realizando. Esos datos no están expresados en los cuadros anteriores pero son los resultados más signi-

ficativos de esta política minera, con visión de futuro.

Por ejemplo, en 1990, nuestras reservas de cobre (por todo concepto) no alcanzaban a 10 millones de toneladas. La exploración llevada a cabo hasta ahora llevó ese nivel de reservas a unas 60 millones de toneladas. Incrementos igualmente impactantes se lograron con las reservas de molibdeno, oro,

plata, plomo, estaño, sales de litio y sales de potasio. Este aumento de las reservas es de gran importancia porque a través del tiempo se irán poniendo en marcha nuevos establecimientos productivos, asegurando la continuidad y la sostenibilidad del desarrollo minero y de su aporte a la economía nacional.

BENEFICIOS IMPOSITIVOS Y RECAUDACIÓN TRIBUTARIA

Anteriormente se hizo alusión a los beneficios impositivos que otorga la Ley de Inversiones Mineras y también se mencionó que por cada peso que el Estado "pierde" al otorgar beneficios impositivos, "gana" 2,8 pesos cobrando los impuestos que las nuevas actividades generan (Prado O., 2005).

La explicación de este concepto es de fundamental importancia porque se trata de un mecanismo que es tan sencillo como eficaz. El Estado quiere desarrollar una actividad económica que no existe y si no existe tampoco genera puestos de trabajo, no requiere de proveedores ni paga impuestos. Por eso ofrece beneficios fiscales para quienes invierten en exploración, habida cuenta de que la exploración es la etapa que descubre yacimientos y los pone en condiciones de producir. Una vez que una mina está en producción, durante un corto lapso desgrava el monto de los beneficios otorgados y después debe pagar sus impuestos durante toda la vida útil del yacimiento. Las empresas proveedoras de insumos, repuestos y servicios también pagan los suyos. De esta manera, el Estado parece perder dinero en un primer momento pero en realidad se asegura una recaudación por montos varias veces superiores mediante el cobro de impuestos a todas las actividades generadas por este mecanismo.

Por eso, aunque existen exenciones impositivas dadas por la legislación vigente, los montos que ingresan al Estado en forma de impuestos son muy importantes. Por ejemplo, las cifras de recaudación estimadas por la Dirección Nacio-

nal de Minería para el ejercicio 2010 son las siguientes:

<i>Impuesto a las ganancias</i> \$ 1.997.571.542
<i>IVA compras (se devuelve la parte que se exporta)</i> \$ 2.117.583.004
<i>Derechos de exportación (retenciones)</i> \$ 1.153.808.606
<i>Otros impuestos nacionales</i> \$ 110.627.678
<i>Regalías (a las Provincias)</i> \$ 367.791.957
<i>Participación de empresas del Estado</i> \$ 822.239.343

LAS INSTITUCIONES DE LA MINERÍA

En cada Provincia hay una Autoridad Minera que, en la mayoría de los casos, pertenece a la estructura del Poder Ejecutivo. Lo más frecuente es que esté incluida en reparticiones con el rango de Dirección de Minería, aunque en las provincias donde la actividad minera es importante hay Secretarías o Ministerios.

En unos pocos casos la Autoridad Minera es un Juez de Minas, dependiente del Poder Judicial (como en Salta) o del Poder Ejecutivo (como en Jujuy). Vale la pena recordar, como se dijo en un capítulo anterior (Tema 1), que la Autoridad Minera es la responsable de la aplicación del Código de Minería en su respectiva Provincia y su funcionamiento se parece al de un juzgado de primera instancia.

También en cada Provincia hay una Autoridad Ambiental Minera, que es la responsable de aplicar la Sección Segunda del Título 13 del Código de Minería referido a la Protección Ambiental, incorporada por la Ley 24.585 en 1995.

En el ámbito nacional, la Autoridad de Aplicación en materia de minería es, actualmente, la Secretaría de Minería, dependiente del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Su faz operativa comprende una Dirección Nacional de Minería y un organismo descentralizado (con administra-

ción propia) que es el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).

El Consejo Federal de Minería (COFEMIN) es el organismo asesor del Gobierno Nacional en materia de política minera. Está constituido por un representante de cada Provincia y uno de la Nación. En la práctica, considerando la organización federal del país, es una mesa de consenso político importante. El Consejo Asesor Productivo Minero (CASEPROM) es otro organismo asesor integrado por el sector oficial y los empresarios.

Las empresas están agremiadas en Cámaras o Centros empresarios locales y provinciales, y también existen Cámaras a nivel nacional que agrupan a las ante-

riorios. También se crearon varias Cámaras empresarias de proveedores a la minería.

Los trabajadores están agrupados en un sindicato que es la Asociación Obrera Minera Argentina (AOMA).

El último organismo formado es una organización interprovincial que tiene como objetivo coordinar y unificar normas del sector que permitan generar un marco de sustentabilidad ambiental y sostenibilidad social. Es la OFEMI (Organización Federal de Estados Mineros) creada en febrero de 2012, que integran las provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja, San Juan, Mendoza, Neuquén, Río Negro, Chubut y Santa Cruz.

BIBLIOGRAFIA

- ACLAN M. (1994) "Minerales de uso común en la construcción de la vivienda y en el menaje de la misma". Rev. Panorama Minero, Bs. As.
- ACTIS R., (2006) "Diques de Colas Mineras, Cálculo, Diseño, Construcción y Operación". F. EMPREMIN, Secretaría de Minería. Bs. As.
- BOTZ M. Y MUDDER T. (2004) "El Cianuro y la Sociedad".
- BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. World Mineral Statistics. Estadísticas anuales de producción mundial. Gran Bretaña.
- BROOKS W. E., (2011) "Mercury" USGS Minerals Yearbook.
- CÓDIGO DE MINERÍA (Texto Ordenado Decreto 456/1997)
- CADIM (2010) "Observaciones del Colegio Argentino de Ingenieros de Minas a algunas consideraciones del informe de la U. N. de Cuyo, respecto al proyecto San Jorge".
- COLEMAN T., PERALES A., (1998) "Boliden Apirsa, Los Frailes Tailings Incident, 25th April 1998". Mining & Environment Research Network, Combined Report, University of Bath, School of Management, United Kingdom
- COFEMIN (1996) "Normas Complementarias para la Implementación de la Ley Nacional 24.585".
- DIARIO LOS ANDES (2010) "Contaminación con mercurio dejó sin agua a Mendoza". Edición 17 de abril, Mendoza.
- DI MEGLIO V. (2005) "Tributación Minera e Impactos Socio/Economicos". Congreso Geológico Argentino, La Plata
- DIRECCIÓN NACIONAL DE MINERÍA. Estadística Minera de la República Argentina. Buenos Aires.
- DIRECCIÓN NACIONAL DE MINERÍA (1960) Normas para la Ejecución de los Estudios Geológico Mineros
- GOS S., RUBO A. Y DOMÍNGUEZ PÉREZ A., (2000). "La Relevancia de Lixiviantes Alternativos en Conexión con Aspectos Técnicos, Seguridad Ocupacional y Seguridad Ambiental". III Sem. Int. Argentina Oro 2000, Bs. As.
- GUIAR - Grupo Universitario de Investigación Analítica de Riesgos (2000) "Accidente de Baia Mare". Informe Universidad de Zaragoza, www.unizar.es/guiar.
- HAMRIN H. (1986) Guía de la Minería Subterránea. Atlas Copco ABH TAB 22, Estocolmo, Suecia.
- IIMC - Instituto Internacional para el Manejo del Cianuro (2002) "Código Internacional para el Manejo del Cianuro para la Producción, el Transporte y la Utilización del Cianuro en la Explotación de Oro".
- JEREZ D. G. (2009) "Estado y empresa ¿Quiénes obtienen beneficios económicos de un proyecto minero?. Los flujos de fondos descontados como herramienta de medida". IX Congreso Argentino de Geología Económica, Catamarca.
- LA GACETA (2009) "La Justicia Federal archivó una causa por contaminación contra Minera Alumbreira". Edición 06 de diciembre, Tucumán.
- LAVANDAIO E., CATALANO E. (editores - 2004) Historia de la Minería Argentina. SEGEMAR, Bs. As.
- LEY NACIONAL N° 24.196 (1993) Ley de Inversiones Mineras
- LEY NACIONAL N° 25.675 (2002) Ley General del Ambiente
- LEY NACIONAL 26.639 (2010) Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial. (B.O. 28/10/10)
- LEY N° 5.001 (2003) "Prohibición Minería Metalífera a Cielo Abierto". Provincia de Chubut
- LEY N° 7.879 (2007) "Prohibición Minería Metalífera a Cielo Abierto". Provincia de Tucumán
- LOGSDON M., HAGELSTEIN K, MUDDER T., (2001) "El Manejo del Cianuro en la Extracción de Oro". Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente (ICME), Ottawa, Notario, Canadá.
- MANASSERO C. (1998) Manual Básico de Aplicación de las Leyes de Inversiones Mineras y de financiamiento y Devolución del IVA.
- MATHUS ESCORIHUELA M. (2006) El Ambiente en el Orden Internacional. Facultad de Ingeniería, U. N. de Cuyo, Mendoza.

- MILLAN U. A. (1996) Evaluación y Factibilidad de Proyectos Mineros. Edit. Universitaria. Santiago de Chile.
- MINISTERIO DE MINERÍA DE SAN JUAN (2011). Concesiones de agua en San Juan
- MONTILLA A. (2007) "Las Heridas del Guadiamar se Cicatrizan". Sur, edic. Impresa, 24-06-07, Andalucía.
- NOVITZKY A. (1978) Prospección, Exploración y Evaluación. Edic. propia, Buenos Aires.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (1996) Energy/WP.1/12. 1/R.70
- PANORAMA MINERO. Compendio de las Industrias de Base Mineral y de la Minería Argentina. Ediciones anuales, Bs.As.
- PEELE R. (1963) "Mining Engineers' Handbook". John Wiley and Sons, N. York
- PLAN CORDILLERANO (1968) "Investigación sobre Mineral de Cobre Porfídico en Mendoza, Neuquén y San Juan" Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Informe inédito.
- PRADO O. (2005) "Situación y perspectivas de la minería metálica en Argentina" - CEPAL (Series, 2005)
- RENAR - Registro Nacional de Armas y Explosivos: <http://www.renar.gov.ar>
- ROSLER H. J., LANGE H. (1972) "Geochemical Tables". Elsevier Publishing Company, Amsterdam, London, New York.
- RUTLAND R. W. R. (1997) The Sustainability of Mineral Use. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics. 17 (1). Camberra, Australia.
- SEGEMAR (1998) "Normativa para las Cartas Minero-Metalogenéticas de la República Argentina". IGRM, SEGEMAR, Buenos Aires. Informe inédito.
- STOCES B. (1963) "Elección y Crítica de los Métodos de Explotación en Minería". Omega, Barcelona
- TAGGART A. (1966) Elementos de Preparación de Minerales. Edic. Interciencia, Madrid, España.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO (2010), "Informe sobre Proyecto Minero San Jorge".
- USGS - United States Geological Survey - (2005) "Water Use in the United States". www.usgs.gov.
- USGS - United States Geological Survey. "Minerals Yearbook, STATISTICAL SUMMARY". Estadísticas anuales de producción mundial
- VILLAS BOAS R., BARRETO M. L. (2000) Cierre de Minas: Experiencias en Iberoamérica. CYTED/IMAAAC/UNIDO, Río de Janeiro, Brasil
- YPF S.A. (2000) La Exploración de Petróleo y Gas en la Argentina: El Aporte de YPF. 2ª Edición., Buenos Aires.
- ZAPPETTINI E. O. (editor) (1999a) Recursos Minerales de la República Argentina. IGRM - SEGEMAR, 217298. Anales 35, Bs.As.
- ZAPPETTINI E. O. (1999b) "Depósito de ocre de Corral Amarillo" en Recursos Minerales de la República Argentina. IGRM-SEGEMAR, Anales 35:1883-1884, Bs.As.

ANEXO 1

MINAS Y DISTRITOS MINEROS IMPORTANTES

Lo que sigue es un simple listado de minas y distritos mineros de importancia, presente o pasada, con algunos datos relevantes sobre cada uno, al solo efecto de mostrar la distribución geográfica de los distintos tipos de minería en la República Argentina. La numeración se relaciona con la ubicación aproximada que consta en el mapa adjunto. La información general del mapa se completa con la ubicación de las cinco cuencas sedimentarias donde se ubican yacimientos de hidrocarburos.

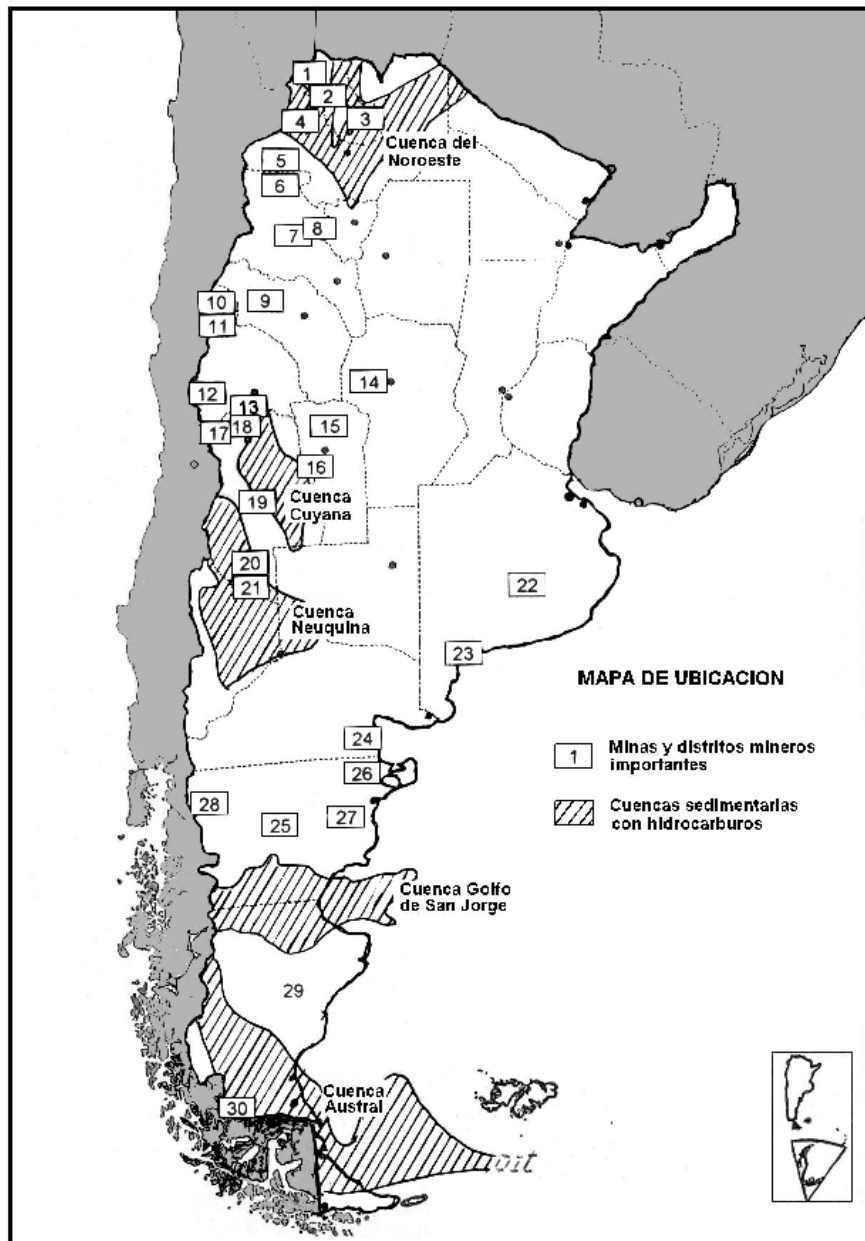
- | | |
|--|---|
| <p>1. MINA PIRQUITAS - Prov. de Jujuy - Estado: en producción
Mineralización diseminada de plata, estaño y zinc - Reservas: 23,9 millones de toneladas con 165 gr/t de Ag, 0,3% de Sn y 0,61% de Zn. Planta de tratamiento produce concentrados. Empleos directos: 660 personas
Empresa: Mina Pirquitas Inc. (de Silver Standard Resources)</p> | <p>4(b). MINA LOMA BLANCA - Prov. de Jujuy. Estado:
Mineralización: Boratos (tincal, inyoíta y ulexita) - Reservas: 20 millones de toneladas
Método de explotación: a cielo abierto - Productos: concentrados de tincal y ulexita</p> |
| <p>2. MINA AGUILAR (Minas Aguilar y Esperanza) - Prov. de Jujuy - Estado: en producción desde 1936.
La producción acumulada es de más de 30 millones de toneladas.
Mineralización: zinc, plomo y plata en yacimiento tipo "sedex". Productos: Concentrados de plomo plata y de zinc. Posee fundiciones propias en Palpalá (Jujuy) y en las cercanías de Rosario
Método de explotación: laboreo subterráneo - Mano de obra ocupada: 820 personas
Empresa: Compañía Minera Aguilar (de Glencore Xstrata International)</p> | <p>4(c). PROYECTO SALAR DE OLAROS - Prov. de Jujuy - Estado: Factibilidad
Mineralización: salmuera con sales de litio y potasio.
Empresa: Sales de Jujuy S.A. (de Orocobre Limited)</p> |
| <p>3. MINAS PUESTO VIEJO Y 9 DE OCTUBRE - Prov. de Jujuy - Estado: inactivas
Mineralización: hierro - Dos décadas atrás proveyeron a Altos Hornos Zapla</p> | <p>5(a). MINA TINCALAYU - Prov. de Salta - Estado: en producción desde hace 50 años. Actualmente también aportan producción otras minas en Sijes y El Porvenir.
Mineralización: Boratos (bórax o tincal, kernita, ulexita y otros).
Planta de tratamiento en Campo Quijano. Productos: borax y otros boratos elaborados
Empresa Borax Argentina S.A. (de Grupo Orocobre Limited).</p> |
| <p>4(a). PROYECTO CAUCHARI - OLAROS - Prov. de Jujuy - Estado: exploración
Mineralización: salmuera con sales de litio y potasio.
Empresa: Lithium Americas Corporation.</p> | <p>5(b). MINA SOL DE MAÑANA - Prov. de Salta. - Estado: en producción.
Método de explotación: a cielo abierto. Mineralización Ulexita, Colemanita e Hidroboracita.
Empresa Ulex S.A.</p> |
| | <p>5(c). MINA SALAR DEL RINCÓN - Prov. de Salta - Estado: en producción.
Mineralización: salmuera con sales de litio. Planta produce carbonato de litio.
Empleos directos: 100 personas
Empresa: Rincón Lithium Limited (de The Sentient Group)</p> |

- 5(d). PROSPECTO CERRO SAMENTA - Prov. de Salta - Estado: exploración
 Mineralización: cobres oxidados.
 Recursos: 40 millones de toneladas
 Empresa: Marifil Mines - cuprífero". Reservas iniciales: 700.000.000 toneladas. Productos: Concentrados de cobre, de molibdeno y metal *doré*
 Empresa propietaria Yacimientos Mineros Agua de Dionisio (YMAD, empresa estatal)
 Empresa operadora: Minera Alumbra LTD. Empleos directos: 1.200 personas
- 5(e). PROYECTO TACA TACA - Prov. de Salta - Estado: Exploración
 Mineralización: cobre, oro y molibdeno tipo pórfido cuprífero
 Recursos indicados: 2.165 millones de toneladas con 0,57% de Cu equivalente
 Empresa: Lumina Copper Corp.
- 5(f). PROYECTO LINDERO - Prov. de Salta - Estado: Prefactibilidad.
 Mineralización: oro diseminado - Reservas: 1,92 millones de onzas de oro y 2,95 millones de onzas de oro en recursos por todo concepto.
 Empresa: Mansfield Minerals Inc.
- 5(g). PROYECTO RÍO GRANDE - Prov. de Salta - Estado: Exploración
 Mineralización: Cobre, oro y plata diseminados.
 Empresa: Minera Antares Argentina S.A. (Regulus Resources Inc.)
- 6(a). MINA FENIX, SALAR DEL HOMBRE MUERTO - Prov. de Catamarca y Salta - Estado: en producción.
 Mineralización: Salmuera con sales de litio - Método de explotación: perforaciones y extracción de salmueras por bombeo. Plantas de tratamiento para producir carbonato de litio y cloruro de litio.
 Empleos directos: 160 personas
 Empresa: Minera del Altiplano S.A. (FMC Lithium Corp.)
- 6(b). PROYECTO SAL DE VIDA - Prov. de Catamarca y Salta - Estado: Exploración.
 Mineralización: salmuera con sales de litio y potasio.
 Empresa: Lithium One Inc.
- 7(a). MINA BAJO DE LA ALUMBRERA - Prov. de Catamarca - Estado: en producción
 Mineralización: cobre, oro y molibdeno diseminados tipo "pórfido
- 7(b). MINA FARALLÓN NEGRO - Prov. de Catamarca - Estado: en producción
 Mineralización: oro y plata en vetas
 Empresa minera: Yacimientos Mineros Agua de Dionisio (YMAD) empresa estatal
 Planta de concentración y fundición. Produce metal *doré*.
8. PROYECTO AGUA RICA - Prov. de Catamarca - Estado: estudio de factibilidad
 Mineralización: cobre, molibdeno, oro y plata diseminados tipo "pórfido cuprífero" .
 Reservas y recursos 1.750 millones de toneladas con ley de cobre de 4,2%
 Empresa minera: Minera Alumbra Limited.
9. PROSPECTO DISTRITO FAMATINA - Prov. de La Rioja - Estado:
 Mineralización: cobre, oro, molibdeno -
 Empresa del Estado Provincial
- 10(a). PROSPECTO VICUÑA (José María y Los Helados). Prov. de San Juan
 Mineralización: oro, plata y cobre
 Empresa DEPROMIN S.A. (NGEx y JOGMEC)
- 10(b). PROYECTO PASCUA - LAMA - Lama es la parte argentina (Prov. de San Juan) y Pascua es la parte chilena (Tercera Región de Atacama) de un mismo yacimiento - Estado: en construcción.
 Mineralización: oro y plata - tipo diseminado - Reservas: 17,8 millones de onzas de oro, 670 millones de onzas de plata y 649 millones de libras de cobre

- Empresa: Barrick Gold Corporation
- 10(c). MINA VELADERO - Prov. de San Juan - Estado: en producción.
Mineralización: diseminada oro y plata - Reservas: 11 millones de onzas de oro y 150 millones de plata.
Empresa: Argentina Gold (de Barrick Gold Corporation) - IPEEM San Juan participa en 5%.
Planta de tratamiento y fundición producen metal *doré* y pequeñas cantidades de mercurio
Empleos directos: 700
11. MINA GUALCAMAYO - Prov. de San Juan - Mineralización: oro y plata.
Estado: en producción
Mineralización: diseminada en brechas de calizas. Reservas y recursos: 3,5 millones de onzas de oro.
Planta de tratamiento y producción de metal *doré*.
Empresa: Minas Argentinas S.A. (de Yamana Gold).
- 12(a). MINA CASPOSO. Prov. de San Juan.
Estado: en producción
Mineralización: oro y plata. Reservas: 2,4 millones de toneladas con 5,8 g/ton de oro y 176 g/ton de plata.
Planta de concentración y fundición: produce metal *doré*.
Empresa Troy Resources Limited.
- 12(b). PROYECTO PACHON - Prov. de San Juan -- Estado: estudio de factibilidad
Mineralización: cobre y molibdeno diseminados tipo "pórfido cuprífero" -
Reservas: 2.740 millones de toneladas con 0,48 % de cobre.
Empresa Pachón S. A. Minera (de Xstrata)
- 12(c). PROYECTO LOS AZULES - Prov. de San Juan - Estado: exploración.
Mineralización: cobre, oro y plata diseminados tipo "pórfido cuprífero". Recursos por todo concepto: 12.500 millones de libras de cobre, 2,3 millones de onzas de oro y 57 millones de onzas de plata
Empresa Mc Ewen Mining Inc.
- 12(d). PROYECTO EL ALTAR - Prov. de San Juan - Estado exploración
Mineralización: cobre y oro diseminados tipo "pórfido cuprífero". Recursos medidos e indicados: 802 millones de toneladas con 0,44% de cobre.
Empresa Minera Peregrine Argentina S.A. (inversora Stillwater Mining Corporation)
13. PRECORDILLERA DE SAN JUAN - Jáchal, Albardón, Sarmiento, Prov. de San Juan -
Mineralización: calizas. Es una región con varias empresas con yacimientos en explotación y plantas elaboradoras de cales comunes y de alta pureza, triturados y carbonato de calcio
14. SIERRAS DE CORDOBA - Prov. de Córdoba - Es una región con importante producción de calizas, mármoles, granitos, cuarzo, feldespato y mica, con plantas elaboradoras.
15. SIERRAS DE SAN LUIS - Prov. de San Luis - Es una región con importante producción de mármoles, granitos, cuarzo, feldespato y mica, con plantas elaboradoras.
16. SALINA DEL BEBEDERO - Prov. de San Luis - Mineralización: sal. Elabora sal de mesa.
17. PROYECTO SAN JORGE - Prov. de Mendoza - Estado: factibilidad
Mineralización: cobre y oro diseminados tipo "pórfido cuprífero" -
Reservas: 381.000.000 toneladas
Empresa: Coro Mining
18. PROSPECTO PARAMILLOS - Provincia de Mendoza - Estado:
Mineralización: diseminada de cobre y oro tipo "pórfido cuprífero" ..
19. MINA SIERRA PINTADA. Prov. de Mendoza. Estado: suspendida y proyecto de reactivación
Mineralización: uranio en areniscas
Empresa Comisión Nacional de Energía Atómica

- 20(a). PROYECTO DON SIXTO (LA CABEZA) - Prov. de Mendoza - Estado: pre factibilidad y suspendido
Mineralización de oro y plata
Empresa Exeter Resources
- 20(b). PROYECTO LOMA DEL PETISO - Prov. de Mendoza - Mineralización: azufre - Estado: exploración
21. MINA POTASIO RIO COLORADO - Prov. de Mendoza - Estado: en construcción
Mineralización: cloruro de potasio - Tipo sedimentario evaporítico - Empresa: Potasio Río Colorado S.A. (de Vale do Rio Doce)
22. OLAVARRÍA - TANDIL - Prov. de Buenos Aires - Es una región con importante producción de calizas, mármoles y granitos, y las mas grandes fábricas de cemento
23. PROSPECTO PUNTAALTA, SAN CLEMENTE Y SAN BLAS - Prov. de Buenos Aires - Estado: estudios preliminares. Mineralización: titanio en arenas de playa.
- 24(a). MINA SIERRA GRANDE - Prov. de Río Negro - Estado: en producción
Mineralización: hierro en yacimiento sedimentario
Empresa: Minera Sierra Grande S.A.. Empresa operadora: MCC (China Metallurgical Group)
- 24(b). PROYECTO CALCATREU - Prov. De Río Negro - Estado: exploración.
Mineralización: Oro y plata en yacimiento vetiforme epitermal. Recursos indicados: 8 millones de toneladas con 2,6 g/t de Au y 26 g/t de Ag.
Empresa Pan American Silver
- 25(a). PROYECTO CERRO SOLO. Prov. de Chubut. Estado: pre factibilidad
Mineralización: uranio.
Empresa: Comisión Nacional de Energía Atómica
- 25(b). PROYECTO NAVIDAD. Prov. de Chubut. Estado: pre factibilidad
Mineralización: Plata y plomo en yacimiento hidrotermal. Recursos: 750 millones de onzas de plata y 3.500 millones de libras de plomo.
Empresa: Minera Argenta S.A. (de Pan American Silver Corporation)
26. PROSPECTO DELTA, GUANACOTE Y CARMEN - Prov. de Chubut - Es una región con importantes yacimientos de fluorita.
27. RIO CHUBUT - Prov. de Chubut - Es una región con varios yacimientos que producen caolín
28. PROYECTO CORDÓN DE ESQUEL - Prov. de Chubut - Estado: factibilidad y suspendido.
Mineralización: oro y plata en vetas epitermales. Reservas: 4,5 millones de onzas de oro y 8 millones de plata.
Empresa: Minera: Yamana Gold.
- 29(a). MINA CERRO VANGUARDIA - Prov. de Santa Cruz - Estado: en producción
Mineralización: oro y plata en vetas epitermales. Reservas y recursos: 18 millones de toneladas con 3,16 g/ton de oro. Planta de concentración y fundición. Produce metal *doré*.
Empresa: Cerro Vanguardia S.A.(Anglo Gold Ashanti y FOMICRUZ).
Empleos directos: 350 personas
- 29(b). MINA VETA MARTHA. Prov. de Santa Cruz. Estado: en producción.
Mineralización: plata y oro en vetas epitermales. Produce metal *doré*.
Empresa: Coeur Argentina S.R.L. (de Coeur D'Alene Mines Corporation)
- 29(c). MINA MANANTIAL ESPEJO. Prov. de Santa Cruz. Estado: en producción.
Mineralización: plata y oro en vetas epitermales. Planta produce metal *doré*.
Empresa: Minera Triton Argentina.
Empresa inversora: Pan American Silver Corporation.
Empleo directo: 480 personas

- 29(d). MINA SAN JOSE. Provincia de Santa Cruz. Estado: en producción. Mineralización de oro y plata en vetas epitermales. Planta produce metal *doré*. Empresa: Minera Santa Cruz S.A. (de Hochschild Mining y Mc Ewen)
- 29(e). MINA CERRO NEGRO. Prov. de Santa Cruz. Estado: en construcción. Mineralización: oro y plata en vetas epitermales. Reservas y recursos: 5,2 millones de onzas de oro y 42 millones de onzas de plata Empresa: Oroplata S.A. (de Goldcorp)
- 29(f). PROYECTO CERRO MORO. Prov. de Santa Cruz. Estado: pre factibilidad
- 29(g). PROYECTO DON NICOLÁS. Prov. de Santa Cruz. Estado Factibilidad Mineralización oro em vetas de alta ley. Empresa Minera IRL Patagonia (de Minera IRL Limited)
30. MINA RIO TURBIO. Prov. de Santa Cruz. Estado: en reactivación para alimentar planta generadora de energía eléctrica en construcción. Mineralización: carbón sub-bituminoso sedimentario. Empresa Y.C.R.T (empresa del Estado)



ANEXO 2

CIANURO – SU USO EN LA MINERÍA DEL ORO

El cianuro (químicamente un anión formado por carbono y nitrógeno) es una sustancia que tiene varios usos industriales. Entre otras cosas, como cianuro de sodio (NaCN) se utiliza como disolvente en el proceso de beneficio del oro en las plantas de tratamiento que operan en minas de ese metal.

Es una sustancia venenosa, altamente tóxica, cuya producción, manejo, transporte y uso requieren una gran cuidado, y están sujetas a normas de seguridad y de protección ambiental muy estrictas

En la Argentina esta sustancia se importa porque no se produce en el país. Desde su arribo al puerto hasta la planta de tratamiento de minerales, se transporta en forma de sólido, en contenedores especialmente preparados para ello, por vía terrestre, cumpliendo estrictas normas nacionales e internacionales relacionadas al transporte de sustancias peligrosas. Esas normas incluyen un plan de contingencias para el caso de un eventual accidente.

La planta de tratamiento que recibe el cianuro debe tener un lugar de almacenamiento sujeto a las mismas normas de seguridad.

Para ser usado en el proceso de beneficio del oro, el cianuro es disuelto en agua alcalina (agua con hidróxido de sodio u otra sustancia alcalina) e introducido en el circuito de la planta. La concentración de la solución es baja, es decir que la proporción de cianuro es pequeña. La alcalinidad también es un requisito de seguridad, y la solución debe mantenerse a un pH 10 o más alto. De esta manera se evita totalmente la aparición del mecanismo de hidrólisis que podría generar la formación de pequeños desprendimientos de ácido cianhídrico (HCN), un gas cuya inhalación puede provocar intoxicación.

En la práctica se usan sensores y alarmas para la detección de cianhídrico al efecto de tener un control permanente de este aspecto y realizar inmediatamente las correcciones que hagan falta ante cualquier inconveniente.

Por otra parte, todos los recipientes que contengan solución de cianuro deben estar dotados de sistemas de contención impermeables para el caso de inesperados derrames.

La mina y la planta de tratamiento

En los últimos años se ha difundido (en ámbitos no idóneos) un concepto que habla de la "minería a cielo abierto con uso de cianuro". Esta expresión, que en algunos casos ha sido incorporada en proyectos de ley, tiende a confundir a la gente que, honestamente, se imagina a los mineros "regando con cianuro las rocas de una cantera". Lógicamente, si esto fuera cierto, provocaría un daño ambiental. Pero no es así.

Las minas son los lugares donde se extrae el mineral por métodos físicos y puede ser a cielo abierto o subterránea. En cualquiera de los casos la operación está a cargo de un profesional competente y desde el punto de vista ambiental (salvo por el efecto visual inmediato) no hay ninguna razón de peso para afirmar que una explotación subterránea sea preferible a una de cielo abierto.

El mineral que se extrae es llevado a la planta industrial de tratamiento que es una unidad separada, también a cargo de un profesional idóneo, que funciona en **circuito cerrado**, cumpliendo con estrictas normas y con controles permanentes. En caso de usarse solución cianurada para disolver el oro y la plata, tanto las pilas o los tanques de lixiviación forman parte del mencionado circuito cerrado y están aislados del suelo en el que se apoyan.

Además, las normas actualmente vigentes exigen medidas de seguridad para que en cualquier caso de accidente (rotura de un caño o de una membrana, por ejemplo) se eviten daños que puedan derivarse de esa contingencia.

Solución y beneficio del oro. Recuperación de cianuro.

Los procesos que se usan en las plantas de beneficio sirven para separar el oro

(generalmente acompañado con plata) de los demás elementos o sustancias con las que está asociado en el mineral de la mina. Esto se consigue con una suma de métodos físicos y químicos. Entre los métodos químicos, uno de los más usados es la disolución con cianuro y la posterior precipitación selectiva del oro usando para ello carbón activado. Después se funde este precipitado y se obtiene el "bullión" (especie de lingote de oro y plata).

El proceso químico recupera y recicla el cianuro disuelto para utilizarlo nuevamente. Sin embargo dicha recuperación no es de un 100%. Debido a circunstancias del proceso técnicamente inevitables hay una parte del cianuro que no se recupera. Por ejemplo, en el caso de la planta de Cerro Vanguardia, esta parte que no se recupera puede alcanzar a un 20% (Recursos Minerales de la República Argentina, 1999).

Dado que el sistema trabaja en circuito cerrado, el porcentaje perdido de

cianuro no se pone en contacto con el entorno. Por el contrario, debe ser tratado, neutralizado y destruido para que no constituya una sustancia de peligro en el dique de colas.

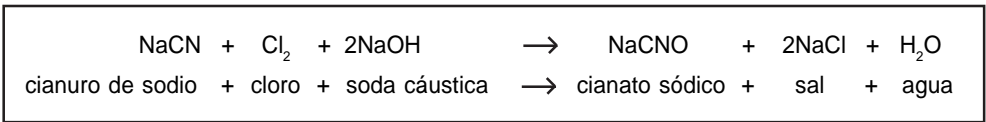
Destrucción del cianuro de los efluentes

El cianuro que no se recupera para su reciclado pasa a formar parte de las colas o desechos de la planta. Este cianuro se puede destruir totalmente antes del almacenamiento en el depósito o dique de colas para que no constituya un problema futuro.

Se conocen varios métodos para destruir químicamente el cianuro y los proveedores habituales también ofrecen las tecnologías adecuadas para llevarlo a cabo. Por ejemplo, una de las que se ofrece en nuestro país (Panorama Minero N° 288, 2003) es el que se describe a continuación.

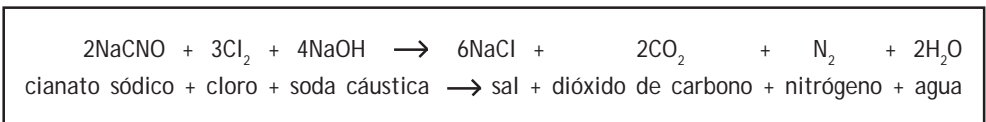
"La solución con el cianuro remanente debe pasar por tres tanques en forma sucesiva.

En el primer tanque se mide el pH y, si hace falta, se agrega soda cáustica (NaOH) para mantener el pH por encima de 10. También se mide el potencial de óxido reducción y se inyecta gas cloro (Cl) para que su valor supere los 400 mV. En esas condiciones, y en un lapso de 5 a 10 minutos se produce la siguiente reacción:



En un segundo tanque se disminuye el pH a valores entre 7 y 8, en un período de 2 a 5 minutos.

En el tercer tanque se inyecta gas cloro para elevar el potencial de oxidación reducción por encima de 600 mV, manteniendo el pH entre 7 y 8. En estas nuevas condiciones y en un lapso de 10 a 15 minutos, se produce la siguiente reacción:



De esta forma el cianuro se convierte finalmente en compuestos inofensivos (sal, dióxido de carbono, nitrógeno y agua), cuya eliminación es sencilla".

ANEXO 3

Minerales de uso común en la construcción de una vivienda Modificado de M. Aclan (Panorama Minero, 2004)

Parte de la casa		Materias primas minerales
1. Estructuras y contrapisos	Hormigón hecho con cemento y áridos	Caliza, arcilla, yeso, puzzolana arena, grava y piedra partida,
	Hormigón armado que es hormigón con acero	Hematita, carbón, caliza, dolomita, psilomelano
2. Muros	Ladrillos	Arcilla, limo
	Bloques de hormigón	Caliza, arcilla, yeso, arena
	Mampuestos de rocas	Varias rocas
	Mortero o argamasa, revoque, enlucido	Caliza, arcilla, yeso, arena
	Pinturas	Cuarzo, mica, titanio, calcita
	Planchas revestimiento	Mármol, granito, lajas
3. Pisos	Cemento enlucido, baldosas	Caliza, arcilla, yeso, arena
	Cerámicos	Arcilla, caolin, fluorita, feldespato.
	Rocas cortadas y pulidas	Granito, mármol, lajas,
	Plásticos	Hidrocarburos, calcita, etc
4. Techos	Tejas	Arcillas varias
	Chapas galvanizadas	Hematita, carbón, caliza, dolomita, psilomelano, blenda
	Chapas de aluminio	Bauxita, criolita
	Cielorrasos	Yeso, pomez
	Membranas	Bauxita y petróleo
	Aislantes	Perlita, tóbas vítreas, vermiculita
5. Aberturas	Acero	Hematita, carbón, caliza, dolomita, psilomelano
	Aluminio	Bauxita, criolita
	Bronce	Calcosina, casiterita
	Vidrio	Cuarzo, trona, caliza, dolomita, bórax, feldespato
6. Cocinas y baños	Cerámicas	Arcilla, caolin, fluorita, feldespato
	Calcáreos	Caliza, arcilla, arena, pigmentos
	Acero	Hematita, carbón, caliza, dolomita, psilomelano
	Acero inoxidable	Cromita, pentlandita
	Enlozado	Feldespato, fluorita
	Mesadas	Granito, mármol,
	Grifería de bronce o de acero galvanizado	Calcosina, casiterita
	Artefactos sanitarios	Hematita, carbón, caliza, dolomita, psilomelano, blenda
	Accesorios plásticos	Arcilla, boratos, feldespato, fluorita
	Espejos	Gas natural, petróleo
7. Instalaciones	eléctricas (cobre, aluminio, acero, plásticos),	Cuarzo, trona, caliza, dolomita, bórax, feldespato, mercurio
	de agua (hierro galvanizado, plásticos, cobre, estaño),	Calcosina, bauxita, gas natural, petróleo y cargas minerales
	cloacas (plásticos).	Calcosina, bauxita, petróleo
		Petróleo, gas, cargas minerales

ANEXO 4

Abundancia promedio de elementos químicos en rocas ígneas más comunes.

Contenidos expresados en partes por millón (ppm), según Vinogradov A.P., 1962
Fuente: Rösler H. J., Lange H. (1972) *Geochemical Tables*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, London, New York.

Elemento	Basaltos	Granitos	Elemento	Basaltos	Granitos	Elemento	Basaltos	Granitos
Plata - Ag	0,1	0,05	Gadolinio Gd	5	9	Renio - Re	0,005(e)	0,005(e)
Aluminio - Al	87.600	77.000	Germanio Ge	1,5	1,4	Rubidio - Rb	45	200
Arsénico - As	2	1,5	Hafnio - Hf	1	1	Azufre - S	300	400
Oro - Au	0,004	0,0045	Mercurio Hg	0,09	0,08	Antimonio Sb	1	0,26
Boro - B	5	15	Holmio - Ho	1	2	Escandio - Sc	24	3
Bario - Ba	300	830	Iodo - I	0,5	0,4	Selenio - Se	0,05	0,05
Berilio - Be	0,4	5,5	Indio - In	0,22	0,26	Silicio - Si	240.000	323.000
Bismuto - Bi	0,007	0,01	Potasio - K	8.300	33.400	Samarrio - Sm	5	9
Bromo - Br	3	1,7	Lantano - La	27	60	Estafío - Sn	1,5	3
Calcio - Ca	67.200	15.800	Litio - Li	15	40	Estroncio - Sr	440	300
Cadmio - Cd	0,19	0,1	Lutecio - Lu	0,6	1	Tántalo - Ta	0,48	3,5
Cerio - Ce	4,5	100	Magnesio Mg	45.000	5.600	Terbio - Tb	0,8	2,5
Cloro - Cl	50	240	Manganeso	2.000	600	Thorio - Th	3	18
Cobalto - Co	45	5	Molibdeno Mo	1,4	1	Titanio - Ti	9.000	2.300
Cromo - Cr	200	25	Nitrógeno - N	18	20	Talio - Tl	0,2	1,5
Cesio - Cs	1	5	Sodio - Na	19.400	27.700	Tulio - Tm	0,2	0,3
Cobre - Cu	100	20	Niobio - Nb	20	20	Uranio - U	0,5	3,5
Erbio - Er	2	4	Neodimio - Nd	20	46	Vanadio - V	200	40
Europio - Eu	1	1,5	Níquel - Ni	160	8	Wolframio - W	1	1,5
Fluor - F	370	800	Fósforo - P	1.400	700	Ytrio - Y	20	34
Hierro - Fe	85.600	27.000	Plomo - Pb	8	20	Yterbio - Yb	2	4
Galio - Ga	18	20	Paladio - Pd	0,019	0,01	Zinc - Zn	130	60
			PraseodimioPr	4	12	Zirconio	100	200

El "Clarke" o "Clarke Value" de un elemento significa la abundancia promedio de un elemento químico en la corteza terrestre. Recientemente, los llamados

"Clarkes regionales han sido determinados en unidades geológicas regionales y "Clarkes locales" en objetos geológicos más pequeños.