

Distr.  
RESTRINGIDA

LC/R.1592  
31 de diciembre de 1995

ORIGINAL: ESPAÑOL

---

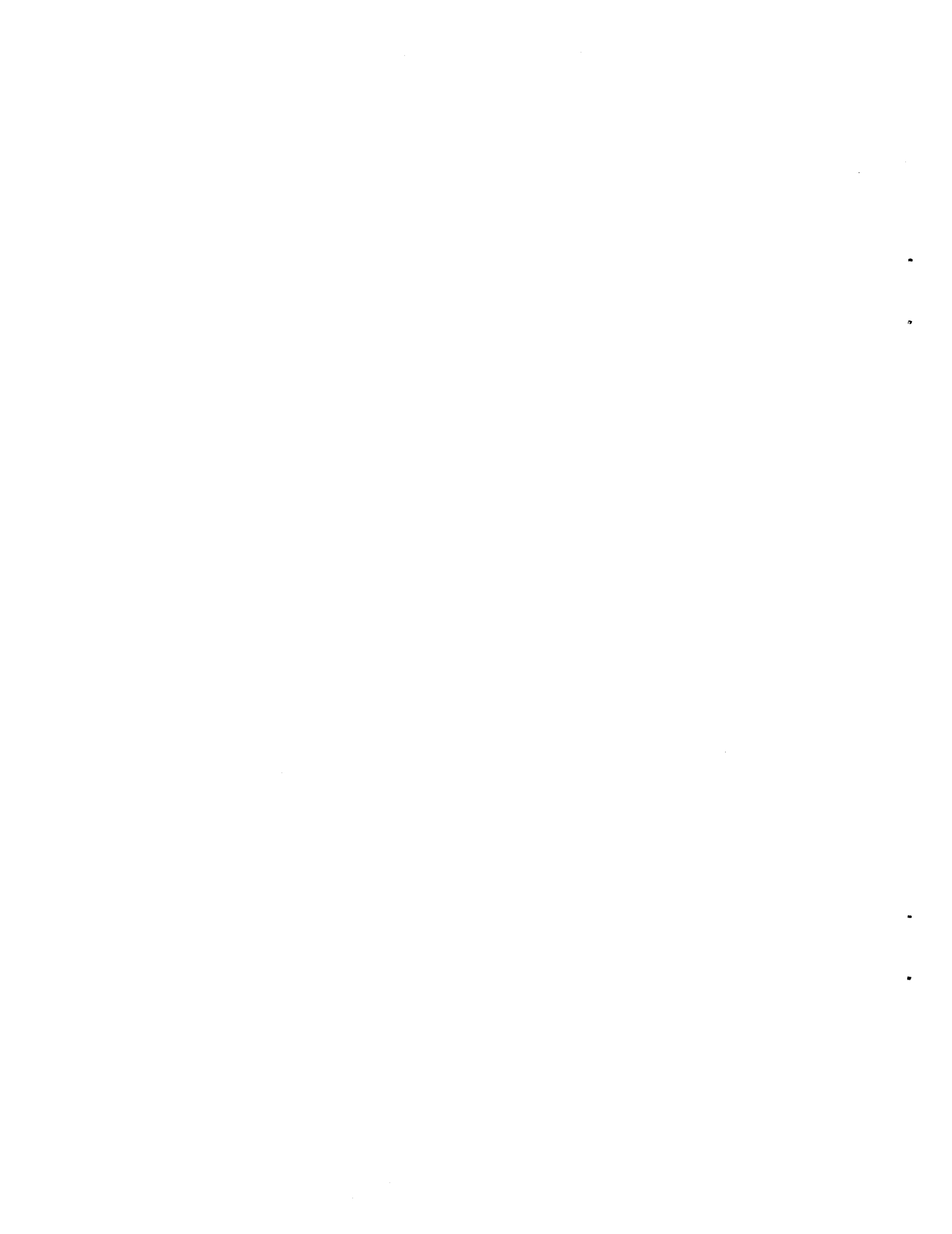
C E P A L

Comisión Económica para América Latina y el Caribe

**COMPETITIVIDAD E INCORPORACIÓN DEL PROGRESO TÉCNICO  
EN LA MINERÍA DE ORO Y COBRE**

*\*/* Informe elaborado por la Sra. María Chappuis, consultora, Unidad de Recursos Naturales y Energía, División de Medio Ambiente y Desarrollo. Las opiniones expresadas son de la exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la Organización. Este trabajo no ha sido sometido a revisión editorial.

95-12-1511



## ÍNDICE

	<u>Página</u>
SÍNTESIS Y CONCLUSIONES .....	1
CAPÍTULO I NOCIÓN Y DINÁMICA DE LA COMPETITIVIDAD MINERA	5
A. COMPETITIVIDAD Y LOCALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN MINERA .....	8
B. EL ENTORNO ECONÓMICO Y LA INVERSIÓN MINERA .....	14
C. LOS METALES FAVORITOS: COBRE Y ORO .....	17
D. TECNOLOGÍA Y COMPETITIVIDAD .....	18
E. POLÍTICAS DE INVERSIÓN DE LAS GRANDES EMPRESAS MINERAS .....	19
F. PROTECCIÓN AMBIENTAL Y COMPETITIVIDAD ...	22
CAPÍTULO II LA EXPLORACIÓN COMO FACTOR ESENCIAL PARA EL DESARROLLO DE LA COMPETITIVIDAD .....	24
A. CRISIS Y RESURGIMIENTO DE LA EXPLORACIÓN MINERA .....	25
B. EL NUEVO CICLO EXPLORATORIO EN AMÉRICA LATINA .....	26
C. AVANCES TECNOLÓGICOS EN LA EXPLORACIÓN ..	27
CAPÍTULO III EL DESARROLLO TECNOLÓGICO EN LA MINERÍA DE ORO	32
A. EL AUJE DE LA EXPLORACIÓN AURÍFERA .....	32
1. Liberación de los precios .....	32
2. Desarrollo de nuevas técnicas de exploración .....	32
3. Nuevas tecnologías de extracción ...	32
B. DESARROLLO DE LA MINERÍA AURÍFERA .....	33
1. La reestructuración de la minería aurífera en los Estados Unidos .....	36
2. La minería aurífera en América Latina .....	38

C.	DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS METALÚRGICAS .....	40
1.	Lixiviación en pilas .....	40
2.	Biolixiviación .....	46
CAPÍTULO IV	EL PROGRESO TECNOLÓGICO EN LA MINERÍA DE COBRE	51
A.	MINADO Y METALURGIA DEL COBRE .....	51
B.	COMPETITIVIDAD Y COSTOS .....	54
C.	PRINCIPALES CAMBIOS TECNOLÓGICOS .....	57
1.	Descripción de las técnicas metalúrgicas .....	58
2.	Ventajas de los procesos hidrometalúrgicos de lixiviación ...	68
3.	Importancia para la competitividad regional .....	68
4.	Perspectivas para el mercado de ácido sulfúrico .....	70
CAPÍTULO V	CAMBIO TECNOLÓGICO EN LA MINERÍA DE AMÉRICA LATINA: ANÁLISIS DE CASOS .....	74
A.	INCORPORACIÓN DEL PROGRESO TÉCNICO EN LA MINERÍA AURÍFERA .....	74
1.	La mina Yanacocha en Perú .....	74
2.	La Mina Korikollo en Bolivia .....	77
3.	El Proyecto Las Cristinas en Venezuela .....	80
4.	La Mina Sao Bento en Brasil .....	84
B.	INCORPORACIÓN DEL PROGRESO TÉCNICO EN LA MINERÍA DE COBRE .....	88
1.	La mina Quebrada Blanca en Chile ..	88
2.	La mina Escondida en Chile .....	91
Notas .....		94
Bibliografía .....		98

## SINTESIS Y CONCLUSIONES

El propósito central de este informe fue analizar en qué medida la mayor competitividad de la minería de los países de América Latina y el Caribe tiene como una de sus explicaciones fundamentales la revalorización de las ventajas naturales a partir de la incorporación de los nuevos adelantos tecnológicos.

Para estos efectos se tomaron, como casos más representativos, la minería aurífera y cuprífera que dan cuenta del 80% de los gastos del nuevo ciclo exploratorio que tiene vigencia en la región. En ambas minerías se concentran además, los nuevos proyectos de inversión y el foco de atención de las principales empresas mineras del mundo.

Se estima también, que como resultado de las nuevas inversiones, la región producirá a fines de este siglo el 45% del cobre consumido en el mundo, lo que revela un aumento considerable en la competitividad regional, si se recuerda que a comienzos de los setenta la participación de la región en la producción mundial de cobre, era de sólo 16%.

Este crecimiento se explica esencialmente por la gestación de nuevas iniciativas de inversión, especialmente extranjeras, a partir de la segunda mitad del decenio de los ochenta. Por otro lado, cabe destacar que en Argentina, Chile y Perú se concentra el 95% de la inversión cuprífera mundial.

Las perspectivas de crecimiento de la minería aurífera son también muy promisorias, en la medida que no hay país en la región que no reporte actividades de exploración o minado de nuevos yacimientos, al extremo que se considera que se ha desencadenado una nueva "fiebre del oro", fenómeno que tiene lugar, con mayor intensidad, en Bolivia, Chile, Perú y Venezuela.

Se pone especial atención también, en el papel que juegan las empresas transnacionales en la difusión e incorporación de las nuevas innovaciones tecnológicas. En este sentido, se analizan los nuevos métodos de explotación, a partir de la incorporación de las tecnologías tales como la lixiviación en pilas y los diferentes tipos de extracción con carbón activado en la metalurgia del oro; y el proceso de biolixiviación que utiliza bacterias para extraer los metales que constituye a su vez, la mejor alternativa para la puesta en operación de los depósitos de oro refractario.

Asimismo, se destacan las más recientes innovaciones tecnológicas que se han incorporado al desarrollo cuprífero de la región, poniendo énfasis en la lixiviación en altura, usando agua de mar, y en la lixiviación amoniacal.

El informe describe, en su última parte, los más recientes desarrollos mineros, derivados de la incorporación de dichas tecnologías, destacando la significación de su aporte tecnológico respecto de la competitividad regional, tomando en cuenta los casos de Yanacocha (Perú), Korikollo (Bolivia), Escondida y Quebrada Blanca (Chile), Las Cristinas (Venezuela). La selección de estos casos se explica porque en dichas operaciones se están aplicando procesos no convencionales, susceptibles de ser incorporados en otros depósitos de la región cuyas ventajas naturales se han revalorizado debido a los cambios tecnológicos señalados anteriormente.

Es importante precisar que para el desarrollo de la investigación se tomaron en cuenta algunas hipótesis de trabajo que se estiman como muy relevantes para explicar el renovado auge de la minería regional.

Se asume que las ventajas naturales no son un factor estático sino más bien dinámico, en la medida que el cambio tecnológico permite utilizarlas, revalorizarlas o cancelarlas, según el caso. Así por ejemplo, la disponibilidad de nuevas tecnologías permite explotar yacimientos que con los procesos convencionales no eran rentables y por ende, no podían considerarse como reservas económicamente factibles.

En sentido contrario, dadas las nuevas tecnologías para minado de grandes volúmenes, muchas operaciones subterráneas resultan menos atractivas que las explotaciones a "tajo abierto". Desde esta perspectiva, se advierte un interesante proceso de sustitución de reservas mineras que interrelaciona el cambio tecnológico con la factibilidad económica de los proyectos.

El estudio asume también, que la minería opera bajo una lógica internacional concordante con lo que se ha dado en llamar, más recientemente, la "globalización" de los mercados.

Dentro de esta lógica, la localización de la producción minera no depende solamente de las disponibilidades naturales sino de los factores (políticos, económicos, jurídicos etc.) que condicionan sus costos de explotación. Estos factores pueden ser de diferente naturaleza pero lo importante es que se interrelacionan entre sí otorgando un carácter "sistémico" a la competitividad minera.

Las estrategias empresariales ponderan, de acuerdo a su orientación e intereses, dichos factores determinando una localización de carácter flexible en el largo plazo, por lo que la competitividad minera debe entenderse como un fenómeno relativo que

depende de consideraciones de tiempo (cambio tecnológico) y espacio (disponibilidad de recursos y condiciones de explotación).

En este sentido, las estrategias empresariales privilegian las inversiones en los países con mayor estabilidad política y económica, con mayor seguridad jurídica y con más bajo costo de explotación. Dichas estrategias otorgan además, una especial consideración a la difusión e incorporación del progreso técnico ya que siendo la minería una actividad "tomadora de precios internacionales", la eficiencia empresarial se traduce en manipulación de costos y no de precios.

El factor "metal" y el "riesgo país" resumen, en última instancia, a un conjunto de indicadores específicos que son tomados en cuenta para decidir entre proyectos y localizaciones alternativos, siendo necesario precisar que la minería se caracteriza por una alta inversión inicial con períodos de recuperación largos que aumenta el riesgo, lo que induce a las empresas a un análisis muy riguroso y conservador que externamente se percibe como frío y poco audaz.

Dentro de este contexto analítico, el estudio arroja las siguientes conclusiones:

1. El renovado auge de la minería en América Latina se explica no sólo por las ventajas naturales existentes sino esencialmente por su grado de compatibilidad y funcionalidad con los principales cambios tecnológicos. Si bien, la mayor estabilidad política y económica relativas, las reformas y las privatizaciones, así como el menor grado de intervención estatal y el mayor protagonismo privado, han creado progresivamente un ambiente favorable a la inversión, ésta no hubiera crecido significativamente si es que no se diera la condición anterior.

2. El auge en la exploración y el aumento considerable en la cartera de proyectos, especialmente de cobre y oro, es resultado principalmente, de la convergencia de seis factores:

a) Cambios en los criterios para ponderar favorablemente las ventajas naturales y restricciones ambientales que afectaron las estrategias empresariales en algunos países de minería desarrollada.

b) Nuevas estrategias corporativas y "alianzas estratégicas", entre empresas mineras, para asegurar una mayor disponibilidad de recursos compatible y funcional con las nuevas tecnologías.

c) Mayor disponibilidad de reservas como resultado de las nuevas técnicas y mayores presupuestos de exploración derivados especialmente, del nuevo dinamismo de la inversión extranjera.

d) Revalorización de las ventajas competitivas de los depósitos existentes en la región, como consecuencia de los cambios tecnológicos que experimentaron la extracción y el procesamiento.

e) Operaciones a costos atractivos y ambientalmente controlables.

f) Reformas en los marcos regulatorios, privatizaciones, mayores garantías (Overseas Private Investments Corporation, MIGA y otros) y medidas de promoción de la inversión privada.

3. Las políticas mineras deberían ser compatibles con los criterios de globalización que gobiernan la industria.

Debería evitarse que las diversas regulaciones y el manejo de los instrumentos de la política económica incidan negativamente en los costos de la actividad minera. Al no poderse trasladar a los precios se afecta la competitividad del país en cuestión respecto de la localización de inversiones.

La intensidad de capital y el largo período de maduración demandan además, condiciones de estabilidad política, jurídica y económica para ampliar la cuota de participación del país en las inversiones mundiales.

4. Políticas mineras basadas en el libre cateo y prospección y acceso a las concesiones sin más restricciones que el respeto a las pertenencias existentes y mecanismos que garanticen la seguridad jurídica de los derechos otorgados, así como la puesta en marcha de programas promocionales de exploración, concertando la iniciativa pública y privada y captando la cooperación internacional, resultan las más adecuadas para elevar las ventajas competitivas, sustentadas en la mayor capacidad endógena de gestión de las potencialidades mineras.

Dentro de este marco, el grado de acondicionamiento y articulación interna del territorio nacional es tal vez uno de los factores más importantes, en la medida que reduce las dificultades físicas para ingresar a las zonas potenciales.

5. El acelerado cambio tecnológico genera constantes desafíos a las empresas para sostener sus ventajas competitivas respecto del ranking mundial de costos. Ello es indispensable para resistir los ciclos adversos en el comportamiento de los precios. La alta velocidad del cambio tecnológico, de otro lado, está derivando en el desarrollo de una infraestructura minera, más simple y de menor tamaño óptimo, que no ofrece mayores dificultades para su reemplazo posterior.

## CAPITULO I

### NOCION Y DINAMICA DE LA COMPETITIVIDAD MINERA

En este trabajo se define la competitividad minera como la capacidad de una empresa, país o región para ocupar una fracción cada vez mayor en las transacciones que se realizan en el mercado mundial. Tratándose de un recurso natural la competitividad minera dependería de la capacidad para explorar las potencialidades del patrimonio natural, ampliando las reservas económicamente factibles; y de la posibilidad de captar recursos de inversión para ponerlas en explotación.

La competitividad en la exploración podría medirse considerando los cambios en la participación del país o región en cuestión en los gastos mundiales de exploración mientras que la competitividad de la explotación registraría los cambios que experimentaría su contribución a la producción y ventas mundiales.

La competitividad minera depende obviamente de factores naturales (disponibilidad y calidad o ley de los recursos; mineralogía que determina la facilidad metalúrgica; localización geográfica que influye en el impacto ambiental; facilidades de acceso a la exploración y explotación etc.) pero también, de factores ligados al grado de estabilidad política, características de las economías y a su grado de absorción del progreso técnico (definiciones políticas respecto al acceso a los recursos, nivel del conflicto social, situación macroeconómica, disponibilidad de capital, acumulación de conocimientos tecnológicos, nivel de aprendizaje empresarial, disponibilidad y calidad de la mano de obra etc.).

Ambos factores se interrelacionan de manera dinámica dependiendo de consideraciones de tiempo (estado de la ciencia y la tecnología) y espacio, que definen un cierto derrotero histórico en la conformación de los niveles de competitividad. Estos son relativos y se ven influenciados decisivamente por la incorporación del progreso tecnológico.

En este sentido, la competitividad minera presentaría rigideces en el corto plazo, en la medida que el conocimiento de los recursos naturales disponibles requiere de un tiempo de

maduración mientras que la factibilidad de su puesta en operación podría verse afectada por la conformación del espacio en que se realizaría la explotación (acceso y disponibilidad de infraestructura de transporte, energética, etc.) y por las características del mercado mundial.

En el corto plazo factores como el volumen de los yacimientos, el contenido de metal, su ubicación geográfica y las dificultades para manipular los precios, derivadas de la institucionalidad de los mercados mundiales, crean rigideces para ampliar la oferta e incrementar la participación en el mercado mundial.

Además, la industria minera tiene algunas particularidades que afectan su competitividad como es por ejemplo el "costo hundido" o la inversión inicial inamovible, en que es necesario incurrir para abrir una mina o construir una fundición, a lo que se agrega el largo período de maduración de las inversiones.

Por otro lado, el producto principal no es el único que decide la factibilidad de las operaciones. Los depósitos generalmente contienen varios productos mineros, recuperables comercialmente, por lo que el nivel de los "subproductos" influyen en la ponderación para seleccionar alternativas de inversión. Así por ejemplo, si a comienzos de los setenta la contribución de los subproductos en la industria cuprífera occidental era de 29% a fines del decenio de los ochenta alcanzaba al 48%

Los aspectos mencionados anteriormente diferencian a la minería de otras industrias en que la competitividad podría ser inducida mediante criterios selectivos en la aplicación de los instrumentos de la política económica o a través de las políticas de precios y de diferenciación de productos dentro de las estrategias de mercadeo de las empresas.

Los precios no pueden ser manejados por los productores aunque en ciertos momentos surgieron carteles de vida corta. Los productos mineros se venden usualmente bajo contratos de largo plazo, referidos a cotizaciones internacionales que se ven influidas por acontecimientos endógenos (descubrimientos de nuevos depósitos, stocks de productores, paralizaciones técnicas y laborales etc.) y exógenos a la industria minera (cambios en las políticas de inventarios de consumidores, sustitución y miniaturización del consumo, venta de stocks estratégicos, guerras, desastres naturales etc.). ( Véase Cuadro 1.)

Es posible entrar en mayores detalles para analizar la competitividad minera. Además de las cifras gruesas de participación en el mercado mundial interesaría examinar el margen entre los costos y precios internacionales de referencia. Quien es capaz de ampliar su margen, a través de políticas que incidan sobre los costos de producción, tendría una participación menos

vulnerable en un mercado tan fluctuante como es el de los minerales.

Esto reforzaría el "posicionamiento" ante las fluctuaciones del mercado que sería otra forma de examinar la competitividad minera. Es conocido el carácter cíclico de la demanda de los metales que está influenciada por los periodos de expansión o

**Cuadro 1**

**VARIACIONES DE LOS PRECIOS DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS MINEROS EXPORTADOS POR LOS PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (Tasas a precios de 1985)**

Metales	Tasas promedio anual de crecimiento		
	1970-80	1980-90	1990-95
Aluminio (dólar por tonelada)	1.11%	-3.76%	0.41%
Bauxita (dólar por ton.)	-0.73%	-2.65%	...
Cobre (cent.dólar por libra)	-6.06%	-1.26%	-0.72%
Estaño (cent.dólar por libra)	4.76%	-12.36%	-4.09%
Hierro (dólar por ton.)	-4.79%	-1.84%	-5.15%
Níquel (dólar por ton.)	-2.23%	-0.22%	-3.96%
Oro (dólar por onza troy)	19.35%	-7.66%	-2.66%
Plata (dólar por onza troy)	15.05%	-16.33%	-3.12%
Plomo (cent.dólar por libra)	0.38%	-4.32%	-7.99%
Zinc (cent.dólar por libra)	-1.08%	3.68%	-9.20%

Fuente: CEPAL, elaborado en base a UNCTAD, "Monthly Commodity Price Bulletin, World Bank, "Market Outlook for major primary commodities y World Bureau of Metal Statistics, "World Metal Statistics".

depresión del sector manufacturero donde la construcción, la industria automotriz y la fabricación de maquinaria y equipo, importantes consumidoras de metales, pueden experimentar aún ciclos más agudos.

Los ciclos afectan la participación de las empresas, países o regiones determinando que los productores de alto costo reciban beneficios sólo cuando la demanda, y por consiguiente los precios, están altos. En este contexto pueden producirse paralizaciones, definitivas o transitorias, o rentabilidades que sólo cubrirían el mantenimiento de las operaciones, con el peligro de que se exploten solamente las zonas del yacimiento más ricas ("descreme" de las minas).

Por último, un análisis más fino de la competitividad minera podría considerar también, la posición que ocupan la empresa, país o región en las etapas que se conocen como "greenfield", "brownfield" y "redfield". Esto es respectivamente, la contribución a la construcción de nuevos proyectos y a la oferta esperada en un cierto lapso de tiempo; a la ampliación de las instalaciones existentes y al desempeño de las antiguas instalaciones.

#### **A. COMPETITIVIDAD Y LOCALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN MINERA**

Las ventajas naturales condicionan, sin duda, la localización de la producción minera mundial pero la existencia de los recursos, en sí misma, no es un factor determinante. Importan sobre todo la ley o calidad, las condiciones de acceso a los recursos, la tecnología disponible y por ende su factibilidad de ser explotados económicamente, dadas ciertas condiciones del mercado.

En este trabajo se asume por tanto, que la localización no es un factor estático sino dinámico, cuyo movimiento depende de cómo se vayan alterando los niveles de competitividad de los espacios geográficos en que es factible la explotación, en la medida que las empresas tenderán a posicionarse de los yacimientos de más bajo costo a nivel mundial. Diversos estudios han venido dando cuenta de que esta aseveración corresponde efectivamente a lo que viene ocurriendo en la realidad.

Los intereses de los inversionistas están variando constantemente lo que se expresa en una significativa "exportación" de "puestos de trabajos" del hemisferio norte hacia otras regiones, fenómeno que está beneficiando a algunos de los países mineros de América Latina.

El Mining Resource Alliance estima por ejemplo, que más del 60% de los 3 640 millones de dólares invertidos, en el bienio 1993-1994, por empresas mineras de los Estados Unidos fueron gastados fuera de este país, lo que ocasionó la pérdida de 16 000 puestos de trabajo.

Diversos indicios estarían revelando que la minería de América Latina viene elevando su competitividad internacional si se tienen en cuenta el ritmo de crecimiento de la producción regional y la mayor porción que ocupan en la oferta mundial, especialmente los metales no ferrosos (véanse Cuadros 2 y 3) así como nuestra participación en los flujos mundiales de inversión.

Se aprecia un mayor dinamismo en la exploración de recursos mineros de la región cuyo presupuesto se estima en unos 500 millones de dólares al año mientras que existen en ejecución, dependiendo de la fuente de referencia, nuevas inversiones en desarrollo o en carpeta por un monto que superaría los 10 000 millones de dólares en lo que resta de este siglo (Recuadro 1).

### Recuadro 1

#### La inversión minera en América Latina

No existe una estadística muy rigurosa respecto del comportamiento de la inversión minera mundial y particularmente de América Latina. Las publicaciones especializadas publican solamente una muestra de los proyectos más relevantes en base a información proporcionada por las empresas. Las cifras varían por eso, según el tamaño de la muestra y deben ser ajustadas periódicamente.

Se estima que América Latina absorberá aproximadamente unos 6 500 millones de dólares, lo que representaría el 30% de la inversión mundial prevista hasta fines de siglo. Cerca del 90% de la inversión en Latinoamérica se concentrará en proyectos cupríferos, estimándose que los proyectos auríferos captarían unos 500 millones de dólares.

Esta cifra es sólo referencial ya que muchas inversiones en cobre incluyen oro como subproducto.

Estas cifras coinciden con los estimados del Programa de Recursos del Centro Este-Oeste de Hawai que señala que América Latina captará el 35% de los 18,450 millones de dólares de inversión minera mundial previstos para lo que resta del decenio de los noventa

El cobre concentraría el 51% de la inversión mundial absorbiendo unos 9 540 millones de dólares mientras que en oro se invertirían unos 5 860 millones de dólares y en proyectos de zinc y plomo aproximadamente 1 750 millones de dólares. Cobre y oro son los metales preferidos por los inversionistas y América Latina cuenta con significativas reservas.

---

Fuente: Gareth Bowers & Andrew Thomas, Investment Focus, Mining Magazine. Enero 1995, Pags 27-29...

Obviamente los factores naturales siempre estuvieron presentes. Los factores más importantes parecen ser por un lado, las nuevas tecnologías existentes y por otro el "desbloqueo" de la iniciativa privada, nacional y extranjera, en muchos países de la región, al amparo de las reformas económicas que empezaron a aplicarse desde el decenio de los ochenta.

El Estado jugó un papel importante en el desarrollo de la infraestructura física (energía, carreteras, puertos) y en algunos países, cumplió un papel destacado en la puesta en operación de nuevos yacimientos y en el mayor grado de procesamiento de la producción (ampliación de la capacidad de fundición y refinación).

Sin embargo, numerosas empresas fueron nacionalizadas y las empresas públicas acapararon muchas concesiones, entre las décadas de los cincuenta y setenta, lo que desalentó la inversión extranjera y la desvió hacia otras regiones.<sup>1/</sup> En esto influyeron también, las políticas económicas intervencionistas y en general, las restricciones al movimiento de los flujos financieros de las empresas (controles de cambios, a las remesas de utilidades etc.) y en algunos casos, la estatización de la comercialización internacional de los minerales, que perturbó la gestión de financiamiento.

Cuadro 2

## TASAS DE CRECIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DE LOS PRINCIPALES METALES (%)

	Promedio de los ochenta	Primer quinquenio de los noventa
BAUXITA		
América Latina y Caribe	0.51	3.16
Total mundial	2.16	-0.24
ALUMINIO PRIMARIO		
América Latina y Caribe	8.13	2.48
Total mundial	2.17	-0.42
COBRE		
Mina		
América Latina y Caribe	2.98	6.83
Total mundial	1.41	1.52
Refinado		
América Latina y Caribe	3.96	2.52
Total mundial	1.54	1.02
HIERRO		
Mineral bruto		
América Latina y Caribe	3.53	1.48
Total mundial	0.35	-0.02
NÍQUEL		
Mina		
América Latina y Caribe	4.14	-0.30
Total mundial	1.77	-1.41
Refinado		
América Latina y Caribe	7.23	0.49
Total mundial	1.58	-0.56
ORO		
Mina		
América Latina y Caribe	12.23	0.17
Total mundial	5.76	0.50

Cuadro 2

## TASAS DE CRECIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DE LOS PRINCIPALES METALES (%)

	Promedio de los ochenta	Primer quinquenio de los noventa
PLATA		
Mina		
América Latina y Caribe	3.45	1.99
Total mundial	2.96	-2.88
ESTAÑO		
Mina		
América Latina y Caribe	5.52	-2.44
Total mundial	-1.10	-4.70
Refinado		
América Latina y Caribe	6.91	-7.08
Total mundial	-0.40	-4.05
PLOMO		
Mina		
América Latina y Caribe	-0.10	-0.15
Total mundial	-1.33	-3.25
Refinado		
América Latina y Caribe	0.05	-0.38
Total mundial	-0.05	-0.35
ZINC		
Mina		
América Latina y Caribe	3.13	3.16
Total mundial	1.37	-1.29
Refinado		
América Latina y Caribe	3.85	4.10
Total mundial	0.66	0.85

Fuente: CEPAL, elaborado con cifras del World Bureau of Metal Statistics, "World Metal Statistics Yearbook" y UNCTAD, Estadísticas sobre el Mineral de Hierro.

Cuadro 3

## PARTICIPACION DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE EN LA PRODUCCION MUNDIAL DE LOS PRINCIPALES METALES (%)

	1970	1980	1990	1994
ALUMINIO				
Producción bauxita	40.8	27.0	23.0	26.3
Producción aluminio primario	1.6	5.2	9.2	10.4
COBRE				
Producción mina	15.5	21.4	24.9	30.6
Refinado	7.6	12.4	15.7	16.6
ESTAÑO				
Producción mina	16.8	15.3	29.2	32.1
Refinado	2.5	11.7	23.7	20.8
HIERRO				
Producción mina	10.7	14.7	19.8	23.0
NIQUEL				
Producción mina	6.0	9.1	11.5	12.0
Refinado	3.4	5.5	9.5	9.9
ORO				
Producción mina	2.4 <sup>a/</sup>	5.2	9.4	9.3
PLATA				
Producción mina	30.2 <sup>a/</sup>	33.4	35.0	42.6
PLOMO				
Producción mina	12.6	11.9	13.5	15.3
Refinado	7.8	7.8	7.8	7.8
ZINC				
Producción mina	12.5	14.1	16.7	20.0
Refinado	3.7	5.5	7.5	8.5

Fuente: CEPAL, en base a World Bureau of Metal Statistics, "World Metal Statistics Yearbook". Metallgesellschaft "Metal Statistics". UNCTAD, Estadísticas sobre mineral de hierro.

a/ 1974.

## Recuadro 2

### Políticas para incrementar la competitividad de la minería

Para elevar la competitividad de la minería en América Latina se requiere de acciones simultáneas y coherentes que apunten a los siguientes propósitos:

- 1) Incrementar la información y conocimientos sobre el potencial minero existente.
- 2) Garantizar, con la mayor extensión jurídica posible, las concesiones mineras.
- 3) Captar una mayor proporción de los flujos internos y externos de capital para poner en producción las reservas económicamente factibles.
- 4) Reducir los costos de producción y neutralizar los sesgos anti-exportadores de la política económica.
- 5) Promover la constitución de sistemas de innovación empresarial favoreciendo la mayor difusión e incorporación del progreso técnico.
- 6) Ampliar y operar a costos internacionales la infraestructura disponible (puertos, carreteras, energía etc.)

Para estos efectos resultan de gran significación los siguientes impulsores gubernamentales.

#### A. Impulsores vinculados a la gestión del potencial minero

- 1) Fortalecimiento de las instituciones: servicios geológicos, de investigación minero-metalúrgica,

administración y registro de concesiones etc.

- 2) Libre cateo, prospección y exploración: No deberían existir mayores restricciones para la identificación del potencial minero, respetando los derechos vigentes.

- 3) Modernización del régimen de concesiones para garantizar la seguridad y estabilidad de los derechos mineros.

- 4) Libre acceso a las concesiones eliminando las barreras de entrada y los criterios de exclusividad.

- 5) Libre explotación y comercialización

- 6) Mayor disponibilidad y uso no restringido de recursos conexos y de infraestructura.

- 7) Normas ambientales preventivas y participatorias: las empresas son parte del problema pero también de la solución.

#### 2. Impulsores vinculados a la gestión macroeconómica

Los impulsores más relevantes son los comerciales, cambiarios, financieros y tributarios que configuran el ambiente nacional que condiciona la inversión e influyen en los márgenes entre precios y costos.

Si la minería es "tomadora de precios" los instrumentos de la política económica no deberían incidir negativamente en los costos de explotación.

Fuente: Fernando Sánchez Albavera, "Las reformas mineras y los desafíos de la globalización", documento presentado al Seminario Regional sobre "Modernización de la legislación minera". LC/R.1464, CEPAL, Santiago, Chile, noviembre de 1994.

## B. EL ENTORNO ECONÓMICO Y LA INVERSIÓN MINERA

El ambiente para la inversión minera está cambiando radicalmente con las reformas económicas, los programas de privatización de empresas y concesiones y con los avances que han experimentado los programas de estabilización económica.<sup>2/</sup>

El Estado está dejando de ser el protagonista de la producción, en algunos países, acelerando los programas de privatización y en otros, aunque mantiene la propiedad de importantes empresas mineras, incrementa sus niveles de inversión, promueve la inversión privada y estimula la participación de empresas, nacionales y extranjeras, sea en nuevas operaciones o concertando "alianzas estratégicas".

Las políticas económicas de libre mercado son funcionales al desarrollo de una actividad que, como la minería, se concibe, desde antaño, en un contexto internacional fenómeno que hoy se interpreta como de globalización creciente. En este marco, el Estado se concibe como impulsor de la iniciativa privada y como gestor de una mayor competitividad minera nacional.

La mayoría de los países de la región ha reformado el régimen de tratamiento a las inversiones extranjeras, evitando un tratamiento discriminatorio respecto de las nacionales, suprimiendo las "barreras de entrada" en casi todos los sectores productivos, suscribiendo convenios de garantías a la inversión y en general, otorgando estímulos para captar mayores flujos externos de capital.

Todo ello junto con la liberalización de las economías y con la nueva "señal" de las privatizaciones ha contribuido a que un buen número de países de América Latina sean considerados como "mercados emergentes". Sin embargo, persisten todavía algunas dificultades para el financiamiento de los proyectos mineros vinculadas a las negociaciones de la deuda externa.

Los bancos privados son ahora más prudentes que en los setenta para conceder préstamos dirigidos a financiar proyectos de inversión en los países de la región. Además, si bien se han concretado algunas operaciones de cambio de deuda por inversión, esta mecánica para financiar las privatizaciones tiene límites respecto del objeto y la proporción en que podría ser utilizada.

Chile fue un país pionero, iniciando reformas económicas, a mediados de los setenta, que fomentaron una economía de mercado y otorgaron incentivos a la inversión extranjera, promulgándose además, en la primera mitad de los ochenta una nueva Ley de Minería.

Por eso, lo sustantivo de la inversión minera empezó a materializarse recién a partir del segundo quinquenio de este

decenio pero su ritmo de crecimiento fue mucho mayor en lo que va de los noventa. Así entre 1985 y 1989 se concretaron 1 679 millones de dólares y entre 1990 y 1994 unos 4 468 millones de dólares.<sup>3/</sup>

En este decenio, la mayoría de los países mineros de la región han reformado también sus leyes de minería con el objeto de incrementar la inversión privada mientras que en algunos países las privatizaciones adquirieron mayor prioridad.

Los gobiernos de Perú y Bolivia decidieron privatizar sus propiedades mineras (empresas y concesiones) considerando factores tales como los siguientes: menor rendimiento de las operaciones públicas, obsolescencia de las instalaciones, falta de capital para modernizar las empresas públicas o emprender nuevos proyectos y la dificultad para incorporar tecnologías que permitieran explotaciones a costos más reducidos.

En el caso de Bolivia, el ritmo de exploración se redujo considerablemente desde la nacionalización de las principales minas de estaño en 1952, a pesar que se estima que su potencial minero es muy significativo.

Problemas vinculados a la inestabilidad política y económica desalentaron el gasto en exploración, a lo que se sumaron las crisis recurrentes en el mercado del estaño y las constantes paralizaciones, por diversa índole, en COMIBOL, lo que generó una tensión social muy frecuente en las zonas mineras, así como incertidumbre respecto del acceso a las concesiones.

El retorno a la estabilidad económica y las reformas emprendidas desde la segunda mitad de los ochenta han reanimado el interés de los inversionistas en productos no tradicionales como zinc, plomo, plata y más recientemente oro.

A esto han contribuido también, los cambios en el régimen fiscal y la reforma del Código de Minería. Así por ejemplo, las "regalías" fueron reemplazadas por impuestos a la renta y las reservas estatales de exploración fueron suprimidas, lo que ha generado nuevas oportunidades para los inversionistas privados.

El desarrollo del proyecto de Korikollo, la mayor mina de oro de Bolivia - y la entrada en operación de la mina Bolívar, el primer "joint-venture" entre Comibol y el sector privado, han constituido, sin duda, una buena señal para reactivar el interés de los inversionistas, estimándose que más de 40 empresas mineras extranjeras están explorando actualmente en el país andino.

En otros países mineros el ritmo privatizador ha sido más lento. En Brasil se anunció a mediados de 1995 que Vale do Rio Doce (CVRD) - la mayor compañía minera de América Latina y una de las cinco más grandes del mundo - sería vendida en 1996, lo que constituirá probablemente, la mayor privatización de este siglo,

por cuanto su valor, incluyendo 40 subsidiarias, se estima en unos 12 000 millones de dólares.

De otro lado, la Corporación Venezolana de Guayana (CVG), que incluye una serie de empresas mineras y metalúrgicas, trasladó al Fondo de Inversiones de Venezuela las acciones de seis de estas empresas, abriendo el camino para su eventual privatización en el futuro.

En Chile, en cambio, la privatización de los yacimientos e instalaciones en operación de la Corporación del Cobre (CODELCO) ha sido descartada en el corto plazo, pero el Gobierno la autorizó a negociar los yacimientos, que no son de reposición, para su venta a privados o para constituir con éstos "asociaciones estratégicas".

El interés de los inversionistas no se ha concentrado solamente en los países que han profundizado la liberalización de sus economías. Cuba está siendo considerado también, como un "país minero emergente". Ha promulgado una nueva ley de minería que abre el juego a la participación privada, flexibilizó su política frente a la inversión extranjera y eliminó las restricciones a los flujos financieros derivados de las operaciones de estos inversionistas.

Dentro de este marco, el gobierno de Cuba ha suscrito una serie de convenios que están permitiendo explorar, con técnicas modernas, el potencial existente. Aún cuando en el pasado el mayor interés se concentró en los yacimientos de níquel, se presume que existen buenas posibilidades de encontrar cobre, cromo y oro.

Por otro lado, en Argentina se ha incrementado sustantivamente el ritmo exploratorio. En 1989, habían solamente cuatro empresas explorando mientras que al concluir el año 1995 se encuentran registradas más de sesenta, estimándose los gastos anuales en unos 55 millones de dólares.

Bajo la nueva legislación minera los inversionistas tienen una garantía de estabilidad tributaria por treinta años y pueden deducir el íntegro de sus gastos en prospección y exploración de su ingreso imponible. Existe además, un régimen especial para la amortización de las inversiones en infraestructura, maquinaria y equipo minero, que a su vez están liberados de los derechos de importación.

Estos incentivos han atraído a importantes empresas mineras de Norteamérica, Europa y Australia, destacando el proyecto de oro/cobre de "Bajo de la Alumbreira", a cargo de un consorcio liderado por Mount Isa Mines que entrará en producción a mediados de 1996 con una inversión del orden de los 580 millones de dólares para producir, inicialmente, unas 90 000 toneladas anuales de concentrados. Asimismo, empresas de gran dimensión, como Angloamerican y Placer Dome tienen en sus manos importantes prospectos mineros.

Puede concluirse, a la luz de estos acontecimientos, que América Latina ha elevado su competitividad de manera importante frente a otras regiones en desarrollo, respecto de la captación de capitales con fines de desarrollo minero. Sin embargo, los incrementos en la competitividad regional registran todavía un fuerte grado de heterogeneidad, tanto a nivel de países como de productos específicos.

### C. LOS METALES FAVORITOS: COBRE Y ORO

Las perspectivas de un mayor desarrollo minero se concentra en un número limitado de países y los metales favoritos, en el nuevo ciclo de inversiones que se ha iniciado en los noventa, son básicamente cobre y oro. De allí que este trabajo concentre su atención en la incorporación del progreso técnico en estos metales.

Según las muestras de proyectos en marcha y en carpeta realizadas por publicaciones especializadas lo sustantivo de la inversión mundial minera, en lo que resta de este siglo, se concentrará en estos dos metales.

Las reformas económicas y los cambios en las legislaciones mineras están haciendo de América Latina uno de los protagonistas principales de las nuevas inversiones proyectadas.

En ello han influido, sin duda, además de estos factores, la elevada disponibilidad de yacimientos de cobre y oro de alta calidad, los menores gastos de infraestructura que algunos países requieren para operar estos yacimientos (Chile por ejemplo) y el desarrollo de nuevas tecnologías de explotación.

Este es justamente el caso del oro. Su resurgimiento como uno de los metales más atractivos es consecuencia de la disponibilidad de tecnología para explotar depósitos de leyes muy bajas, con procesos de recuperación relativamente simples y lo que es más importante, con bajos costos de producción que representan, muchas veces, menos de la mitad de los actuales precios promedio del mercado internacional. Esto ha permitido que las operaciones auríferas de empresas polimetálicas han ayudado a éstas a enfrentar la depresión de los precios.

En el caso del cobre la producción mundial continúa creciendo pero dentro de un proceso de reestructuración en el que el nivel de los costos es uno de los factores determinantes de la relocalización de las inversiones.

Así por ejemplo, la producción ha descendido en Zaire y Zambia habiendo desaparecido en Uganda y Japón, mientras que la producción norteamericana, después de la crisis de los años setenta, viene recuperándose.

En este contexto reestructurador Chile ha incrementado sustantivamente su producción debido a sus mayores ventajas naturales (yacimientos de gran volumen y alta ley) y menores gastos de infraestructura, acompañado de productores relativamente nuevos como Indonesia, Papua Nueva Guinea, Polonia y Mongolia.

Si bien las tasas promedio de crecimiento del consumo mundial son menores que en décadas anteriores, el dinamismo de los nuevos países industrializados, especialmente del sudeste asiático, ha contribuido para que se absorban las nuevas disponibilidades, sin fluctuaciones abruptas de los precios, al menos en lo que va de los noventa.

Los precios no han sido excepcionales pero sin duda, no han sido bajos, dados los costos de los productores más dinámicos. Empero los márgenes entre costos y precios podrían estrecharse por lo que la reestructuración del mercado con su consecuente relocalización de inversiones continuará en el futuro.

#### **D. TECNOLOGÍA Y COMPETITIVIDAD**

Los períodos de crisis convencieron a las empresas mineras de que la ventaja competitiva en base a yacimientos de alta ley es muy importante pero no suficiente: tanto y quizás más relevante es mantener una alta productividad.

Las empresas que sobrevivieron a las crisis fueron reestructuradas en términos productivos y organizacionales, con medidas orientadas a la modernización de las instalaciones, reducción de los costos operativos y laborales, cierre de operaciones marginales y racionalización administrativa y financiera.

Los programas de reducción de costos de exploración incorporaron por ejemplo, desde hace un buen tiempo, adelantos tecnológicos tales como las imágenes satelitales para focalizar las zonas a explorar mientras que los de explotación priorizaron las operaciones a tajo abierto y de bajo costo de inversión y de operación como los procesos hidrometalúrgicos así como el empleo de fusión continua, cuando se utiliza procesos pirometalúrgicos; la instalación de equipos más grandes y eficientes en minas y plantas; el uso de plantas de chancado dentro de las minas; y nuevas alternativas para el transporte de los minerales como fajas y tuberías entre otros.

En América Latina algunos productores pudieron enfrentar los períodos de crisis debido a sus bajos costos de producción. Sin embargo se fue generando también, una creciente preocupación por mejorar la eficiencia en las operaciones mineras mediante la adopción de tecnologías de punta, aspiración que se concretó fundamentalmente en las operaciones manejadas por empresas extranjeras.

#### **E. POLÍTICAS DE INVERSIÓN DE LAS GRANDES EMPRESAS MINERAS**

Las grandes empresas mineras, especialmente las transnacionales, tienen especial preocupación por el planeamiento de largo plazo con el objeto de incrementar sostenidamente la productividad y reducir consecuentemente los costos de sus operaciones a escala mundial. Ello les permite mayores resguardos respecto de los fenómenos cíclicos que afectan la estabilidad de los precios.

En este sentido, para elegir entre alternativas de inversión, centran su atención en el "posicionamiento" del proyecto dentro de la curva de costos de largo plazo. Si éste se encuentra en los cuartiles inferiores de costo, las seguridades respecto de la rentabilidad esperada del proyecto son mayores debido a que en definitiva, la curva de costo de largo plazo, está asociada con la evolución futura del precio en el mismo período.

En la medida que el precio de largo plazo debe cubrir los costos de los productores marginales para satisfacer la demanda, la ubicación en los cuartiles inferiores de costo garantiza la rentabilidad del proyecto.

En el caso de los proyectos de cobre por ejemplo, los inversionistas están buscando actualmente proyectos cuyos costos operativos directos - que cubren hasta la etapa del producto refinado puesto en el mercado, descontando los créditos por subproductos y excluyendo la depreciación y gastos financieros - se sitúen por debajo de US\$0.50/lb.

Se estima inclusive que, a fines de este siglo, el 45% de la producción mundial de cobre será producida a costos menores. Esta es una de las razones por la que se ha intensificado la búsqueda e

### Recuadro 3

#### Perfil corporativo de Placer Dome Inc.

Placer Dome Inc, constituida en 1987 mediante la fusión de varias empresas mineras, es una compañía minera mundial cuyo principal objetivo es la producción de oro. Estamos comprometidos con el desarrollo productivo a largo plazo. El valor agregado de nuestra compañía se obtendrá a través de la inversión en estrategia y en nuestro personal cuya combinación de habilidades nos encauzará hacia actividades de exploración, de adquisición de propiedades y de desarrollo y operación de minas.

Desde 1987 los principales logros han sido los siguientes:

- \* Elevar la producción de oro de 800 000 onzas a 1 825 000 onzas fijando una meta de 2 500 000 onzas anuales para el año 2 000.

- \* Incrementar las reservas de oro de 8.5 millones de onzas a 19 millones ( probadas y probables) y completar la construcción de seis minas.

Para alcanzar nuestras metas y objetivos para el año 2,000 haremos uso de las oportunidades en metales básicos seleccionados si es que incrementan el flujo de caja a largo plazo. Placer Dome operará como una compañía descentralizada pero sus prioridades de exploración serán dirigidas en forma centralizada.

Priorizamos regiones metalogénicas que den cabida a depósitos de oro y de oro/cobre. Creemos que el mejor lugar para hallar nuevas reservas minerales es en las zonas adyacentes a nuestras minas en operación.

Creemos que un "enfoque mundial" de exploración minera es esencial para el desarrollo futuro de una exitosa compañía minera. Este enfoque debe ser revisado constantemente para adecuarlo al cambiante mundo de los negocios.

Una estrategia de exploración a largo plazo, dotada de un presupuesto adecuado y consistente, es parte esencial de nuestra estrategia de desarrollo. Creemos que la exploración es la clave para adquirir mayores reservas de alta calidad y de bajo costo.

Nos interesa mantener el liderazgo en la industria convirtiendo los recursos mineros explotables en operaciones de costo eficiente realizando los mejores esfuerzos para minimizar el impacto ambiental. Una responsabilidad ética por el medio ambiente es la clave de nuestra existencia y éxitos futuros.

Procuraremos lograr relaciones de cooperación con las agencias reguladoras, a las que consideramos como un recursos de la Compañía.

Tenemos una gran preferencia por los acuerdos amistosos pero preferimos siempre mantener control sobre cualquier entidad en la que tenemos participación. Adoptaremos posiciones de propiedad en otras compañías, sólo si existen oportunidades de obtener un beneficio directo a través de una propiedad a futuro, participación de riesgo compartido u otra forma directa de participación....

---

Fuente: Tomado de Placer Dome Inc. Perfil Corporativo 1994. " Incrementar la producción de oro invirtiendo en las habilidades del personal", abril 1994.

Cuadro 4

## PRINCIPALES CORPORACIONES MINERAS

Empresas	País	Participación en el valor de ventas mundiales (%)
Anglo American Corp.	Sudáfrica	8.3
RTZ Corp.	Reino Unido	4.6
Codelco + Enami	Chile estatales	2.7
Vale do Rio Doce	Brasil estatal	2.3
Broken Hill Proprietary	Australia	2.1
Inco Ltd.	Canadá	1.7
Brascan Ltd/Noranda Inc.	Canadá	1.6
MIM Holdings Ltd.	Australia	1.5
Phelps Dodge Corp.	Estados Unidos	1.3
Asarco	Estados Unidos	1.3
Estado Francés (Pechiney, SNEA & Otros)	Francia	1.2
Gencor Ltd.	Sudáfrica	1.2
Western Mining Corp.	Australia	1.2
Gecamines	Zaire estatal	1.1
Placer Dome Inc.	Canadá	1.1

Fuente: "Mining Engineering", Setiembre 1993

inversión en yacimientos susceptibles de ser tratados mediante procesos como los de lixiviación, extracción por solventes y electrodeposición, debido a su más bajo costo.

En el caso de proyectos de oro, los inversionistas buscan depósitos que tengan un contenido mínimo de un millón de onzas, con una ley superior a 0.5 gramos/tonelada ya que un proyecto con una calidad inferior arrojaría rentabilidades marginales.

Tanto en cobre como en oro, la estrategia de las grandes empresas mineras es concentrar sus esfuerzos de inversión en el desarrollo de yacimientos grandes y de alta calidad ubicados además, en distritos mineros dónde se puedan encontrar otros depósitos que reemplacen las reservas explotadas, adquiriendo pertenencias mineras de otras empresas o realizando directamente nuevos programas exploratorios.

Esta orientación es muy importante para la localización de sus inversiones debido a que la minería debe pensarse en el largo plazo por cuanto carece de la movilidad de otras industrias. Dentro de este marco analítico tiene alta prioridad la ubicación geográfica de los yacimientos, los subproductos que contienen, la infraestructura de servicios disponibles y sus costos, así como la disponibilidad de mano de obra calificada.

Las políticas y regulaciones del país anfitrión merecen también, especial consideración premiándose o castigándose el "riesgo país" con puntos más o menos en la tasa de retorno exigida a los proyectos de inversión.

#### **F. PROTECCIÓN AMBIENTAL Y COMPETITIVIDAD**

Los noventa deberían ser considerados como la década del "ajuste ambiental", en todos los sectores productivos y con mayor razón en la industria minera.

Sin embargo, la cuestión ambiental merece un tratamiento diferente si se trata de actividades existentes o de nuevos proyectos.

Frente a los estándares de protección y control ambiental que empiezan a exigirse internacionalmente es probable que las actividades minero metalúrgicas antiguas, sobre todo en las naciones en desarrollo, estén en desventaja respecto de las que están en operación en los países desarrollados debido a que deberán internalizar costos de inversión para alcanzar su correspondiente "ajuste ambiental".

La insuficiencia de capitales para incorporar las tecnologías requeridas o la depresión de los precios internacionales podrían afectar la posición competitiva de estas empresas, si es que el ajuste requerido eleva sus costos de producción, a diferencia de la

mayoría de las operaciones de empresas de los países desarrollados que ya tienen sus costos ambientales incorporados.

En el caso de nuevos proyectos, hay quienes consideran que los países en desarrollo podrían aceptar niveles de contaminación superiores a los permitidos en los países desarrollados, a fin de estimular la inversión.

Esta posición debería ser descartada. Las presiones internacionales y la institucionalidad ambiental que se ha venido gestando, especialmente en los dos últimos decenios, hace cada vez menos viable este planteamiento. Para que los nuevos proyectos de las principales empresas mineras sean viables, las tecnologías que incorporen para la explotación de nuestros recursos deberán ser de última generación las mismas que además de satisfacer las estrictas regulaciones ambientales que están vigentes en sus países de origen, ofrecen costos de operación menores.

La flexibilización de las normas ambientales no es un factor importante para promover la inversión ya que la transferencia de tecnología que las empresas realicen incorporará, de todas maneras, los nuevos estándares de preservación ambiental, salud ocupacional y seguridad del trabajo, aún cuando las legislaciones locales no lo exijan. Por las presiones que existen en sus países de origen y también, por su alto costo, las principales empresas tienen poco interés en utilizar las viejas tecnologías (contaminantes) en las nuevas inversiones.

Además, el financiamiento de los proyectos está crecientemente condicionado por las regulaciones ambientales. Que los estudios de impacto ambiental arrojen resultados favorables para proceder a la explotación es una condición indispensable para obtener los recursos que demandan las inversiones, así como también la observación de las normas ambientales durante el desarrollo de las operaciones, que son fiscalizadas por las instituciones financieras con la realización de auditorías ambientales constantes.

La competitividad de las empresas, países o regiones estará por eso, no solamente influida por las ventajas naturales y el entorno económico y político, sino también, por la capacidad endógena de gestión de la cuestión ambiental.

## CAPÍTULO II

### LA EXPLORACIÓN COMO FACTOR ESENCIAL PARA EL DESARROLLO DE LA COMPETITIVIDAD

La exploración es la primera fase del negocio minero y no cabe duda que el nivel y el grado de acierto de las exploraciones de hoy son un importante factor de la competitividad de mañana.

Esta fase comprende un rango amplio de actividades que van desde explorar zonas aledañas a depósitos conocidos pasando por la detección de potencialidades mineras que no fueron consideradas en operaciones en marcha hasta la identificación de "zonas vírgenes" sin mayores antecedentes.

El nivel de exploración de un país está determinado por la interrelación de factores geológicos, tecnológicos, económicos e inclusive políticos. Así como es obvio que los recursos mineros no surgen de la voluntad o decisión gubernamentales también es evidente que ciertas políticas pueden aumentar el interés por su búsqueda.

Políticas mineras basadas en el libre cateo y prospección preliminar y el acceso a las concesiones sin más restricciones que el respeto a las pertenencias existentes; mecanismos que garanticen la seguridad jurídica de los derechos otorgados; así como la puesta en marcha de programas promocionales de exploración, concertando la iniciativa pública y privada y captando la cooperación internacional, han servido para que muchos países desarrollen ventajas competitivas sustentadas en su mayor capacidad endógena de gestión de sus potencialidades mineras.

Dentro de este marco, el grado de acondicionamiento y articulación interna del territorio nacional es tal vez uno de los factores más importantes, en la medida que reduce las dificultades físicas para ingresar a las zonas potenciales.

La experiencia muestra que los países que han sustentado sus políticas mineras en la imposición de barreras de entrada y en la exclusividad pública no han podido sostener en el tiempo su esfuerzo exploratorio considerando que esta labor demanda gastos con un alto riesgo y retorno incierto.

El estímulo a la iniciativa privada no es incompatible con el esfuerzo público para recolectar información geológica básica. Las empresas prefieren explorar en aquellos países en que el Estado ha desarrollado una capacidad endógena (mapas metalogénicos, catastros etc.) que permita detectar las potencialidades existentes.

La cantidad y sobre todo la sistematización y acceso libre a la información geológica básica determina las ventajas comparativas

de una nación para acceder a los recursos financieros que las empresas mineras asignan a sus presupuestos y planes de exploración.

#### **A. CRISIS Y RESURGIMIENTO DE LA EXPLORACIÓN MINERA**

La larga recesión del sector minero, desde mediados de los setenta hasta casi finalizar el decenio pasado - caracterizada por la sobrecapacidad y bajos precios - hizo diferir los presupuestos de exploración de las grandes empresas especialmente en los países en desarrollo, considerados como "lejanos" de sus núcleos centrales de operación.

Durante este período se produjeron una serie de cambios tecnológicos que alteraron los mercados tradicionales de los principales metales, reduciendo de manera significativa las tasas de crecimiento del consumo.

Así por ejemplo, el cobre experimentó una dura competencia sustitutiva en segmentos usuarios convencionales como la industria eléctrica cuyas transmisiones de larga distancia dieron paso a los cables de aluminio con alma de acero. En las telecomunicaciones, las fibras ópticas ingresaron a competir en la fabricación de cables telefónicos. Los tubos de evaporación y condensación en los equipos de aire acondicionado fueron ganados por el aluminio, al igual que parte de los motores y los radiadores en la industria automotriz mientras que en la construcción el plomo cedió terreno frente a los plásticos.

Por otro lado, según el caso, las empresas mineras tuvieron que absorber los mayores costos derivados de las regulaciones ambientales; enfrentar a productores de alta ley y bajos costos; decidir el cierre de minas de alto costo cuya reapertura exigió nueva administración, costos laborales más bajos y reglas de trabajo más flexibles; y mantener la producción por razones políticas en algunos países, aun cuando sus costos estaban por encima de los precios.

Como en todo período difícil, la atención de las empresas estuvo circunscrita a bajar los costos incrementando la eficiencia de sus operaciones corrientes y en recomponer los balances financieros lo cual afectó la asignación de recursos para nuevas exploraciones.

Si bien éstas fueron diferidas hubo excepciones. Los productores auríferos, por ejemplo, fueron los primeros en salir a explorar en países lejanos. Su interés se despertó por la escasez de propiedades a precios aceptables o conflictos con poblaciones indígenas en Norteamérica y Australia y por la eliminación de los privilegios fiscales para la exploración de oro en Canadá y Australia.

Sin embargo, dicho interés guarda relación con las características de la actividad aurífera. En efecto, las necesidades de capital en la minería de oro son menores debido a su alta relación de valor intrínseco a peso unitario que minimiza por ejemplo, las insuficiencias de la infraestructura física en la elección de alternativas de inversión. Además, la vida útil promedio de un depósito de oro y el tiempo de recuperación de la inversión es menor a la media de la industria minera.

Por otro lado, la exploración en metales básicos comenzó a resurgir a partir de 1987, cuando se pronosticaba una demanda creciente, particularmente de cobre. Este factor determinó que el porcentaje de gastos exploratorios dirigidos a depósitos de cobre creciera en los años siguientes. Así entre 1990 y 1992, dicha proporción aumentó de 18% a 33% en los presupuestos de las grandes compañías.

Con este renovado interés en el "metal rojo", se destinaron mayores esfuerzos de exploración en países de gran potencial como Chile e Indonesia mientras que algunos focos exploratorios en Australia, Canadá, y Papua Nueva Guinea fueron descartados por los litigios con los pobladores indígenas del lugar.

## **B. EL NUEVO CICLO EXPLORATORIO EN AMÉRICA LATINA**

En los decenios de los setenta y ochenta más del 50% de los gastos exploratorios se concentraban en Australia, Canadá y Estados Unidos. En los noventa, existe en cambio un importante renacimiento de la exploración en América Latina.

En un análisis de estrategias de exploración de 151 compañías que gastaban 2 100 millones de dólares en exploración, equivalentes al 80% de los gastos mundiales, el Metals Economic Group encontró que, en 1994, y por primera vez, algunos países de la región recibían la mayor proporción de los fondos asignados: Sudamérica 26%, Australia 21%, Estados Unidos 16%, Canadá 14% y la región Pacífico 8%.

**Recuadro 4****América Latina: Principales áreas de exploración minera**

Las principales áreas de exploración en América Latina, en lo que concierne a la minería cuprífera y aurífera, son las siguientes:

\* El cinturón de cobre porfirítico chileno al norte y sur de Antofagasta.

\* Los cinturones auríferos a lo largo de la frontera chileno-argentina donde se ubican yacimientos como El Indio y Maricunga.

\* El norte de Argentina con importantes potencialidades de oro asociado al complejo pre-cámbrico y pórfidos de cobre.

\* El sur de Argentina dónde se ubican dos regiones con extensos afloramientos volcánicos.

\* Perú, uno de los principales distritos mineros que cuenta con una gran cantidad de yacimientos polimetalicos. En el norte del Perú y Ecuador existen yacimientos de oro y de oro/cobre.

\* Panamá dónde se ha encontrado oro en asociación a yacimientos de cobre porfirítico.

\* El escudo pre-cámbrico de Guayana, mejor conocido por el "boom" aurífero del distrito "Kilómetro 88" en Venezuela.

\* El escudo pre-cámbrico brasileño que tiene un enorme potencial aunque la exploración de campo puede ser difícil en algunos sectores.

A éstos se suma Bolivia, que también registra un potencial interesante.

Fuente: "Still in the limelight Central & South America" Mining Journal, Londres, Marzo 21 1995, Volume 324, No. 8319.

El año anterior se había gastado en labores exploratorias sólo 331 millones de dólares, lo que revelaba el inicio de un nuevo ciclo de exploraciones, en el que América Latina empezaba a jugar un destacado papel, por cuanto el presupuesto de 1994 había experimentado un crecimiento de 64%.

**C. AVANCES TECNOLÓGICOS EN LA EXPLORACIÓN**

El nuevo ciclo exploratorio que se ha iniciado está estrechamente asociado a los grandes avances científicos que se produjeron durante los últimos decenios, lo que hace posible actualmente localizar yacimientos que tienen una capa post-mineral y analizar extensas áreas sin mayor contacto con el terreno.

Las nuevas tecnologías como la teledetección satelital permiten que los geólogos de exploración operen en sus gabinetes

concentrándose en áreas específicas, estudiando sus características geológicas que ofrecen los satélites y manejando, con ayuda de la informática, innumerables variables que permiten una evaluación y dimensionamiento más precisos reduciendo así el trabajo de campo.

Este progreso técnico permite disponer de información más certera y rápida y a costos relativamente reducidos, considerando el volumen de datos que pueden procesarse, siendo también posible manipular diversas alternativas de diseño para las minas.

#### Recuadro 5

##### **Placer Dome: Más importante que comprar es explorar nuevas minas**

La compañía Placer Dome destina actualmente entre US\$15 y 20 millones para la exploración de proyectos de oro en Argentina, Brasil, Ecuador y Perú, como parte de su programa de expansión en América Latina.

"La base del negocio del oro es encontrar nuevos recursos, por eso es más importante explorar que comprar minas en operación", afirmó William Hayes, Presidente de Placer Dome para la región, en declaraciones a la agencia Reuter en Santiago de Chile.

Hayes señaló que la competencia minera en Chile es mucho más fuerte: "En Chile hay menos espacio para buscar recursos mineros y hay muchas empresas".

Placer Dome se está orientando por eso, hacia países de la región que por ahora, tienen un menor desarrollo minero pero que han comenzado a ofrecer reglas más estables para los inversionistas extranjeros.

Según Hayes, "Varios países han cambiado sus reglas de juego y ahora no es riesgoso invertir en ellos".

Fuente: William Hayes, declaraciones publicadas por el Diario Gestión, edición del 3 de agosto de 1995. Lima, Perú.

Sin embargo, debe precisarse que no es posible detectar la importancia metalogénica de una zona sin el apoyo de cartas geológicas básicas. Es decir, mapas que muestren en detalle la conformación del territorio en base al tipo de rocas, de suelos, fallas, edades geológicas, rasgos geomorfológicos como relieve, fallas, afloramientos, etc. De allí la importancia del desarrollo de las capacidades endógenas nacionales a que se hizo alusión anteriormente.

La teledetección satelital se basa en el recorrido, que cada doce horas, realizan los satélites "Landsat" de Estados Unidos y "Spot" de la Comunidad Europea sobre el continente, tomando la información necesaria con siete sensores diferentes que "leen" la

composición, la morfología y datos diversos del terreno, captando cada uno de ellos información diferente y grabándola en una banda propia, en forma separada.<sup>4/</sup>

Más tarde las cintas - que se adquieren en un centro de ventas en Brasil - se introducen en una unidad de lectura magnética para apreciar en la pantalla de un computador las imágenes del satélite elegido.

Esta tecnología ofrece la versatilidad de poder elegir cualquiera de las bandas grabadas por los sensores del satélite o la combinación de varias de ellas a la vez. Como cada sensor ha captado un diferente rango del espectro, la combinación de los siete sensores produce una imagen con gran riqueza de información, obviamente mucho mejor que la que se podría obtener "a pie" en trabajo de campo.

Graduando la intensidad de un lente especial, los geólogos pueden deducir características geológicas importantes y con frecuencia determinar zonas de probable mineralización.

Los expertos en sensores remotos pueden determinar también, factores geoquímicos interesantes a partir de las lecturas digitales de diferentes longitudes de onda lo que permite detectar lo que en medios mineros se denomina como "cuerpos ciegos".<sup>5/</sup> Es decir, depósitos que no afloran en superficie y que por ende, no son susceptibles de ser identificados bajo métodos directos ya que se encuentran a grandes profundidades.

Se ha patentado recientemente, una técnica de alta sofisticación de manipulación digital que mejora la resolución de las imágenes satelitales, lo que hace posible apreciar alteraciones asociadas a mineralizaciones más sutiles para elaborar mapas temáticos de extensas áreas <sup>6/</sup> e identificar con mayor precisión aún, las zonas interesantes para una evaluación posterior en el terreno.

Las labores exploratorias prosiguen con el muestreo sistemático y mapeo sobre el terreno, y dependiendo del tipo de yacimiento, se seleccionan las labores de geofísica a realizar.

La labor de los geólogos no finaliza con la estimación de reservas. Otra actividad importante es el modelamiento geológico de los tajos, que se realiza con la ayuda de diferentes programas computacionales, como el DATAMINE y el MEDSYSTEM, que permiten simular la explotación de la mina, a diferentes niveles de producción, con el consiguiente listado de volúmenes de producción, leyes, y flujos de caja estimados.

Para ello se requiere entre otros aspectos de la información de los archivos magnéticos aportada por los sondajes. Los programas de simulación son capaces de "plotear" (dibujos efectuados por un

### Recuadro 6

#### Estimación de reservas de la Mina Candelaria en Chile

La estimación de reservas de la mina Candelaria se basó en la interpretación aportada por 135.2 kilómetros de sondajes, de 325 pozos y mas de 75 mil medidas de densidad sobre 80 mil análisis para cobre, oro y plata.

16 km2 de mapeo de superficie y la construcción de 45 secciones transversales y 25 secciones longitudinales respaldaron su ubicación.

El estudio geofísico de polarización inducida para localizar en profundidad otros cuerpos mineralizados indicó la presencia de una anomalía a cientos de metros de profundidad.

Es interesante precisar que aún pequeñas cantidades de minerales metálicos presentes en el terreno pueden ser "cargadas" por el campo eléctrico, produciéndose la polarización inducida.

En este sentido, un campo eléctrico puede ser creado en el terreno pasando una determinada cantidad de corriente eléctrica a través de él usando dos electrodos y un generador.

Midiendo el voltaje causado por este campo con un segundo par de electrodos a cierta distancia, el geofísico puede calcular la resistividad del terreno que determina la propiedad eléctrica.

---

Fuente: "Candelaria, Una Mina donde Todo Comienza", Minería Chilena, No. 163, Enero 1995.

plotter) curvas de isovalores de la base de datos geológicos, a partir de varios miles de metros de sondajes diamantinos; y del "ploteo" de secciones mostrando la estratigrafía, la geología estructural y los tipos de mineral.

Para confeccionar la estimación final de reservas, desempeñan un papel importante las técnicas geoestadísticas y los criterios de categorización efectiva de reservas del yacimiento, mientras que para el diseño de la mina son imprescindibles los análisis relativos a la mecánica de rocas del yacimiento. Ello involucra un levantamiento de fallas/fracturas en la superficie a través de sondajes orientados y diversas pruebas de laboratorio, como por ejemplo las de secciones, para determinar algunos parámetros físicos de la roca y producir un modelo geomecánico en tres dimensiones para buscar una correlación entre la llamada "rock quality dissemination" (diseminación de la calidad de la roca) y "la resistencia a la penetración" de la roca que son importantes para el diseño del ángulo final del tajo, las plantillas de voladura y la selección del equipo de perforación.

La información proporcionada por los sensores remotos o la teledetección satelital además de facilitar la prospección de recursos naturales, permite detectar problemas de deforestación y desertificación, realizar inventarios forestales más precisos, planear mejor el uso de los suelos, observar el movimiento de las placas tectónicas y de la actividad volcánica, controlar plagas y pestes y planificar mejor el desarrollo urbano.

### CAPÍTULO III

#### EL DESARROLLO TECNOLÓGICO EN LA MINERÍA DE ORO

La exploración minera en el decenio de los ochenta estuvo dominada por la búsqueda de yacimientos de oro. En Australia, Canadá y los Estados Unidos, la exploración de este metal precioso demandó más de la mitad de los gastos totales de exploración de minerales metálicos.

##### A. EL AUGE DE LA EXPLORACIÓN AURÍFERA

Pueden identificarse tres razones fundamentales para el auge de las actividades auríferas:

###### 1. Liberación de los precios

Entre 1934 y 1968 el precio de la onza oro estuvo fijado en US\$ 35.00. A partir de esa fecha los precios del oro dejaron de ser controlados y fluctuaron libremente las cotizaciones, las que llegaron a alcanzar niveles superiores a los US\$ 800 por onza.

Con una cotización elevada vinculada a las fuerzas del mercado y por ende libre de controles derivados de las políticas monetarias, muchos depósitos considerados de factibilidad económica cuestionable, se hicieron atractivos. Así, por la re-exploración de depósitos antes descartados y los altos precios se incrementaron notablemente las reservas mineras auríferas, iniciándose también la identificación de nuevos focos exploratorios.

###### 2. Desarrollo de nuevas técnicas de exploración

Los avances en las técnicas de exploración descritas en el capítulo anterior permitieron mejorar la capacidad para ubicar y evaluar depósitos auríferos.

Así también, nuevos modelos geológicos que fueron desarrollados para determinar ocurrencias de oro en rocas volcánicas y sedimentarias permitieron identificar áreas con altas probabilidades de albergar depósitos auríferos. Asimismo, los avances en la prospección geoquímica - que es una herramienta muy útil para detectar la ubicación de yacimientos auríferos - facilitaron la realización de mediciones más confiables de elementos químicos, asociados a la mineralización aurífera en rangos de partes por billón, lo que ha destacado la ventaja de esta técnica y difundido su utilización.

###### 3. Nuevas tecnologías de extracción

El desarrollo de técnicas de extracción, especialmente la lixiviación y el "carbón en pulpa" redujeron los costos operativos,

permitiendo la explotación de yacimientos de baja ley, como los diseminados, que tienen leyes de 1 gramo por tonelada.

En el pasado, el oro se extraía de "placeres" que son yacimientos ubicados a orillas de los ríos o lagos dónde el oro se encuentra libre en forma de "pepas" o "charpas" o de "vetas", en que se concentra en calidades de 3-25 gr/t.

Las nuevas técnicas no solamente facilitaron la detección de nuevos yacimientos sino que además, permitieron revalorizar las ventajas comparativas de muchas zonas mineras, a la vez que determinaron una aplicación más eficiente de los presupuestos de exploración.

Sin embargo, el rango de costos para encontrar nuevas reservas auríferas es muy amplio. Un estudio elaborado por el "Natural Resources Industry Institute" que considera diferentes aspectos tales como ubicación, período y tipo de proyecto; y que diferencia las exploraciones entre zonas desconocidas y la de los alrededores de minas en producción, dio como resultado un rango de 4-76 dólares por onza de oro encontrada.

El estudio indicó también, que las zonas aledañas a los depósitos en explotación arrojaban menores costos debido a sus mayores probabilidades de éxito.

De otro lado, el estudio realizado en 1992 por MacKenzie y Doggett denominado "Worldwide Trends in Gold Exploration", comparó los costos y resultados de las exploraciones auríferas en diferentes países. Los resultados arrojaron importantes diferencias: en Sudáfrica los costos fueron de US\$ 15/oz, en Brasil de US\$ 20/oz, en Estados Unidos y Australia de US\$ 35/oz y en Canadá de US\$ 65/oz.

#### B. DESARROLLO DE LA MINERÍA AURÍFERA

La incorporación del progreso técnico tuvo un impacto decisivo en el desarrollo de la minería aurífera. Entre 1984 y 1993, la producción de mina del mundo occidental se incrementó en 725 toneladas, lo que representó un crecimiento de 62% en dicho lapso.

Lo interesante es que si bien Sudáfrica se mantuvo como el productor más importante, prácticamente la totalidad del crecimiento provino de otros países, lo que indica que la incorporación del progreso tecnológico tuvo un efecto favorable respecto de la desconcentración de la producción mundial.

Sudáfrica sigue siendo el primer productor mundial aun cuando ha reducido su producción y por tanto su participación se ha reducido considerablemente. Si en 1970 produjo 1 000 toneladas de oro, dando cuenta de casi el 70% de la producción mundial, en 1993 su nivel de producción fue de 620 toneladas contribuyendo solamente

con el 27%, a pesar de que la información disponible señala que cuenta con el 44% de las reservas mundiales de oro (40 000 t).

El hecho de que no se pongan en producción nuevas reservas podría explicarse por la inestabilidad política que predominó durante el período en cuestión mientras que la disminución en la producción se explica por el deterioro de la productividad de sus minas, debido a su antigüedad; menores leyes y mayores costos por la profundidad de la extracción. Debe advertirse, para aclarar este último factor, que la profundidades de algunas están entre los 2 000 y 3 000 metros.

Otros productores importantes son Australia, Estados Unidos y Canadá. La minería aurífera australiana recibió apoyo gubernamental en la forma de liberación de pago de tributos a las utilidades entre 1987-1990. Esta exención tributaria contribuyó en forma importante al incremento de la producción.

Igualmente en Canadá, entre 1983 y 1988 la inversión en exploración recibió un crédito tributario. Por cada tres dólares en gastos exploratorios, al inversionista se le permitía deducir un dólar extra de las utilidades imponibles, lo que contribuyó, de manera importante, a la búsqueda de nuevos yacimientos.

En cambio, en los Estados Unidos, el auge estuvo ligado a las nuevas tecnologías que permitieron la explotación masiva de los yacimientos epitermales de Nevada, lo que significó que se cuadruplicará la producción en 10 años.

Brasil es el único productor aurífero de la región que figura entre los más grandes del mundo, ocupando el quinto lugar. La producción brasileña alcanzó un máximo de 102 toneladas en 1988, para declinar a los actuales niveles de 70-80 toneladas.

El auge en la producción se debió a los atractivos precios y a los "premios" que las autoridades gubernamentales otorgaron por encima de las cotizaciones internacionales. Esto incentivó la extracción de oro por cuenta de los "garimpeiros" que son pequeños mineros artesanales que lavan oro en los ríos.

El mercado de oro ha mantenido un relativo equilibrio en los últimos años (Cuadro 5). Lo fundamental de la demanda se concentra en la industria de joyería pero se ha producido un cambio, de gran significación, en el comportamiento de los actores gubernamentales.

En efecto, tradicionalmente los Bancos Centrales eran los principales demandantes de oro cuando existía el patrón oro, llegando a adquirir el 44% del oro que llegó al mercado entre los años 1948 y 1964. Desde 1965, cambiaron su rol pasando a ser vendedores netos pero siguen siendo actores importantes del mercado ya que sus reservas equivalen al 50% del oro atesorado en la actualidad.

**Cuadro 5**  
**OFERTA Y DEMANDA OCCIDENTAL DE ORO**  
**(en toneladas)**

	1991	1992	1993	1994
<b>Oferta</b>				
Producción de Mina	1 789	1 872	1 903	1 889
Ventas Países del Este	231	75	186	124
Ventas oficiales	26	622	445	78
Antiguos residuos de oro	451	449	534	573
Préstamos en oro	-	-	-	-
Ventas adelantadas	96	164	214	122
Opciones de Cobertura	15	103	-	23
Desinversiones	261	-	-	199
<b>Total</b>	<b>2 868</b>	<b>3 284</b>	<b>3 282</b>	<b>3 018</b>
<b>Demanda</b>				
<b>Fabricación</b>				
Joyería	2 149	2 491	2 318	2 349
Electrónica	152	143	155	166
Otros	289	257	290	252
<b>Fabricación total</b>	<b>2 590</b>	<b>2 891</b>	<b>2 763</b>	<b>2 767</b>
Compras oficiales	-	-	-	-
Reserva monetaria	233	243	123	198
Préstamos en Oro	45	85	65	52
Opciones de cobertura	-	-	31	-
Inversiones	-	65	300	-
<b>Total</b>	<b>2 868</b>	<b>3 284</b>	<b>3 282</b>	<b>3 018</b>
Precio del Oro (US\$/oz)	362.26	343.95	359.82	384.15

**Fuente:** "Gold 94", Suplemento de "Mining Journal", Londres, Mayo 26, 1995.

### 1. La reestructuración de la minería aurífera en los Estados Unidos 7/

Durante el decenio de los ochenta, la minería aurífera de los Estados Unidos tuvo una significativa expansión. Los bajos precios de los otros metales indujeron a que muchas empresas se interesaran en la exploración aurífera. Sin embargo, el factor más importante de la expansión radicó en el desarrollo de las nuevas tecnologías compatibles con la elevada disponibilidad de depósitos superficiales, susceptibles de ser minados a tajo abierto (con equipos de alta productividad) y la incorporación de la lixiviación en pilas, tecnología metalúrgica que tiene costos más bajos.

La posibilidad de usar como aglomerante el cemento ayudó también al desarrollo de muchos yacimientos. Diferentes métodos de lixiviación con cianuro (CIL y CIP) fueron desarrollados para procesar mineral con alto contenido de arcillas.

Estos cambios tecnológicos hicieron rentable el minado de depósitos de leyes bajas y la aparición de operaciones de gran producción, de larga vida y con una mejor utilización de la ley de corte permitiendo estabilizar la proporción de oro recuperado.

Sin embargo, durante el decenio de los ochenta se produjo una caída del 50% en la relación reservas/producción. Esta relación es muy importante por cuanto mide el grado de adecuación de las reservas económicas para mantener un determinado nivel de producción.

La relación reservas/producción fue de 26.5 en 1981 mientras que en 1991 era de sólo 12.8, lo que reflejó que el esfuerzo explorador no permitía reemplazar lo que se extraía de las minas.

Por otro lado, el US Bureau of Mines analizó las tendencias de reservas, producción y leyes de la minería aurífera de los Estados Unidos, en el período 1981-1991, encontrando que mientras la producción de oro y las reservas crecieron, las leyes de producción y de las reservas decrecieron.

El análisis estadístico demostró que la ley de cabeza había caído en un 57% en el período analizado, (de 3.56 a 1.52 g/t) cayendo además, en 33% la ley promedio de las reservas.

Asimismo, el número de operaciones mineras cayó de 229 a 139 pero la producción creció. Estaba operando consecuentemente, un proceso de reestructuración de la minería aurífera que sacó a muchos productores del mercado: habían menos productores pero trabajando en depósitos más grandes y más eficientes.

El agotamiento de los depósitos se refleja en el incremento de la participación del oro refractario cuya participación se elevó del 6% a 21% en el total de la producción nacional.

La reestructuración conlleva el desarrollo de operaciones con mayor sofisticación tecnológica observándose que las operaciones en minas subterráneas tienden a desaparecer. En efecto, en 1981, habían 56 minas subterráneas en operación mientras que en 1991 solamente 13 estaban activas.

En ello influye el incremento de los costos del minado subterráneo que se refleja en el correspondiente aumento de las leyes trabajadas, que pasó de 5.76 a 7.65 g/t, a diferencia de lo que sucede la minería de tajo abierto. Aquí las economías de escala funcionan mejor, determinando una disminución en las leyes de cabeza que pasaron de 2.88 g/ton. a 1.47 g/t.

Si las leyes de mineral continúan decreciendo, se requiere extraer mayores tonelajes por lo que es importante el hallazgo de nuevas reservas. En los Estados Unidos, los proyectos que se estudian son cada vez más complejos y el descubrimiento de depósitos de bajo costo es raro, mientras que la legislación exige mejores estándares ambientales.

Este es uno de los factores más importantes que está estimulando a que muchas empresas se interesen en buscar yacimientos en América Latina.

#### Cuadro 6

##### 1993: PRINCIPALES PRODUCTORES DE ORO

Compañía	Toneladas	Compañía	Toneladas
Anglo American	283	Homestake	57
GfSA	122	JCI	51
Barrick/Lac	85	Newmont	53
Gencor	70	RTZ	43
Placer Dome	57	Anglovaal	42

Fuente: Gold Fields Mineral Services Ltd.

## 2. La minería aurífera en América Latina

La minería aurífera se explota desde México hasta la Patagonia habiendo experimentado un considerable desarrollo desde mediados de la década de los ochenta. En efecto, de acuerdo con cifras de Gold Fields Mineral Services, la producción de oro de la región se incrementó en un 46% desde 1984 hasta 1993.

Se espera que la producción aumente aún más en el futuro considerando que los informes del Metals Economic Group señalan que los gastos de exploración, orientados a la búsqueda de depósitos de oro en la región, crecieron de 166 millones en 1993, a 354 millones de dólares en 1994.

La explotación aurífera presenta algunas ventajas respecto del desarrollo de otros metales. Los gastos de infraestructura (como suministros de energía, carreteras o puertos) tienen menor significación, comparados con la explotación de otros yacimientos, lo que acrecienta el margen entre precios y costos de extracción.

De otro lado, los procesos metalúrgicos de oro que pueden incluir incluso la refinación "in situ", requieren de menores escalas de producción, lo que disminuye los requerimientos de capital. Esto diferencia el tratamiento aurífero de los procesos pirometalúrgicos del cobre que exigen grandes dimensiones. Así por ejemplo, una fundición de cobre no debería ser construida para una producción menor a 60 000 toneladas finas.

Además, los buenos resultados que muestran las operaciones de minas como Yanacocha (Perú), Korikollo (Bolivia); La Coipa y El Indio (Chile) y Omai (Guyana), han aumentado significativamente el interés por la región de las más importantes auríferas del mundo (Cuadros 7 y 8 ).

## Cuadro 7

## ORO PRIMARIO EN AMÉRICA LATINA

País	Número Total de Proyectos	Proyectos Pre- Producción	Proyectos con Factibilidad	Reservas (MM TC)	Ley Promedio (OZ/TC)	Oro contenido (M OZ)
Chile	7	3	4	325 760	0.034	11 078
República Dominicana	1	1	0	79 365	0.120	9 523
Venezuela	1	0	1	235 892	0.037	8 728
Perú	2	1	1	243 982 *	0.016 *	3 949
México	8	2	6	30 997	0.085	2 627
Nicaragua	3	0	3	18 926	0.133	2 516
Costa Rica	5	1	4	25 219 *	0.048 *	1 202
Panamá	1	1	0	13 668	0.044	601
Ecuador	1	0	1	23 544 *	0.025 *	576
Uruguay	1	0	1	6 280	0.070	439
Guyana	2	0	2	25 803 *	0.017 *	432
Colombia	1	1	0	708	0.320	226
Brasil	1	1	0	3 306	0.029	95
Aruba	1	0	1	125	0.120	15
<b>Totales</b>	<b>35</b>	<b>11</b>	<b>24</b>	<b>1 033 578</b>	<b>0.040</b>	<b>42 013</b>

Fuente: CEPAL, en base a reportes oficiales.

\* Se incluye un proyecto tipo placer con reservas y ley medido en yardas cúbicas, que tiene como impacto el reducir la ley promedio.

Cuadro 8

## PRINCIPALES MINAS DE ORO EN AMÉRICA LATINA

Mina	Empresa	Producción Anual (oz)	Fecha de inicio
Alumbrera (Argentina)	MIM/Musto	nueva mina 540 000	1998
Yanacocha (Perú)	Newmont/Buenaventura	expansión a 535 000	1997
El Indio (Chile)	Barrick Gold	expansión sobre 345 000	1995
Omai (Guyana)	Cambior	expansión a 300 000	1996
KoriKollo (Bolivia)	Battle Mountain/EMUSA	expansión a 295 000	1996
Las Cristinas (Venezuela)	Placer Dome/CVG	nueva mina 275 000	1997
La Coipa (Chile)	Placer Dome/TVX	expansión a 275 000	1995
Refugio (Chile)	Amax/Berna	nueva mina 230 000	1996
Andacollo (Chile)	Dayton Mining	nueva mina 125 000	1996

## C. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS METALÚRGICAS

1. Lixiviación en pilas

La lixiviación en pilas (LP) es una técnica hidrometalúrgica que fue desarrollada en los últimos años de la década de los sesenta por el United States Bureau of Mines (USBM), para la explotación de minerales de baja ley de oro, desmonte de minas o depósitos pequeños.

Se trata de un proceso de concentración por vía líquida que consiste en la separación de los minerales valiosos mediante su disolución con solventes apropiados. Los lixiviantes utilizados son la solución diluida de cianuro, que es el más común, y la thiourea.

El proceso de selección posterior al de lixiviación (purificación) depende de la forma que adquiera la ocurrencia del oro, de las características físicas y mineralógicas del mineral y de las escalas de operación.

a) Ventajas

Una importante ventaja es que el proceso es relativamente fácil de controlar desde el punto de vista ambiental, pero lo más atractivo de esta técnica es que tanto la inversión como los gastos de operación son relativamente bajos.

Las instalaciones son muy simples y los minerales no precisan ser molidos, pudiendo ser tratados tal como salen de la mina o después de un chancado primario. Además, el proceso puede concluir en una etapa intermedia, para reducir aún más los costos, despachando el oro y la plata contenidos, en carbón cargado o en precipitado de zinc, para ser tratados en otras plantas, con mayor intensidad de capital.

**Cuadro 9**

**CLASIFICACIÓN METALÚRGICA DE LOS MINERALES DE ORO**

- |    |  |
|----|--|
| 1) | Oxidos simples que contienen partículas finas de oro nativo en una ganga de cuarzo o caliza.                                     |
| 2) | Sulfuros simples en los cuales el oro está asociado con menores cantidades de pirita o arsenopirita.                             |
| 3) | Material aluvial o de placeres.  |
| 4) | Minerales refractarios o complejos en los que los minerales que contienen oro no son fácilmente solubles en solución de cianuro. |
| 5) | Minerales de metal base complejos en donde los metales preciosos son constituyentes económicamente importantes.                  |
| 6) | Minerales de metales base en donde los metales preciosos son de menor valor y son subproductos de tratamiento.                   |

Fuente: "Metalurgia del Oro", Fidel S. Misari, Centro de Estudios y Promoción en Ciencias de la Tierra - CEPECT, Vol I.

b) Aplicación

Solamente los óxidos simples y ciertos minerales sulfurados, así como el oro de yacimientos tipo placer (yacimientos en los meandros de ríos, morrenas glaciares) son apropiados para la lixiviación en pilas (LP).

Los minerales adecuados para ser tratados por esta técnica deben poseer las siguientes características:

i) Los minerales que contienen oro y plata son lixiviables por cianuración.

ii) El tamaño de la partícula de oro debe ser extremadamente pequeña.

iii) La roca "madre" debe ser porosa y permeable a la solución de cianuro durante el ciclo de lixiviación.

iv) Las partículas de oro en los minerales de baja porosidad, deben ser liberadas o expuestas por fracturamiento o chancado.

v) El mineral debe estar libre de materiales carbonáceos ya que absorben el cianuro de oro causando una prematura precipitación.

vi) El mineral debe estar relativamente libre de "cianicidas" o sustancias que destruyan el cianuro ó interfieran con las reacciones de cianuración de oro, como podrían ser los sulfuros parcialmente oxidados de antimonio, zinc, fierro, cobre y arsénico contenidos en los minerales.

vii) El mineral no debe contener excesivas cantidades de "finos" o arcillas que impidan la percolación de la solución.

viii) El mineral debe estar relativamente libre de elementos que formen ácido ya que ello causaría un alto consumo de cal.

c) Descripción del proceso

El proceso no requiere de molienda. El mineral que sale de la mina es "chancado" y dispuesto formando una pila determinada (pirámide truncada), sobre un suelo impermeabilizado, utilizándose cianuro como solvente para regar el material.

El suelo impermeabilizado tiene una pendiente para que las soluciones percoladas se dirijan hacia una canaleta de recolección de soluciones. La solución lixiviante, al atravesar las capas de mineral va disolviendo los metales y escurre desde la base de la pila hasta la canaleta de recolección. De allí va hacia un estanque de soluciones ricas, de donde es bombeada a la planta de extracción.8/

Durante el chancado se agrega cal al mineral, para controlar el pH del proceso. Algunos minerales son difíciles de tratar por su alto contenido de arcillas o finos, que a veces se generan durante el chancado. Estos componentes demoran la percolación al producir canalizaciones, lo que incide en una extracción pobre. Para corregir este problema se aglomera el mineral con cemento portland.

Otro aspecto importante es la preparación y el revestimiento de las canchas de lixiviación para evitar una posible contaminación del suelo y pérdidas de oro en la solución de lixiviación.

Para su instalación se requiere limpiar primero el suelo de todo material orgánico. Luego se retira la capa superficial del suelo y se almacena para su posterior uso en los trabajos de restauración preparándose un revestimiento de tierra con alto contenido de arcillas compactado de 300 milímetros de grosor colocándose un revestimiento plástico encima de esta base preparada.<sup>9/</sup>

Encima de este revestimiento se ponen capas del mismo espesor de roca finamente triturada (como protección) y de roca más gruesa (como drenaje), situándose posteriormente el mineral sobre esta última capa. De igual modo, las pozas que se emplean para mantener las soluciones de lixiviación se preparan cuidadosamente y se revisten con plástico polietileno de alta densidad (HDPE). En este caso, se realiza un triple revestimiento para asegurar que la solución no se escape del sistema.

Las soluciones lixiviadas que drenan de la pila, conteniendo oro y plata, son procesadas en columnas de carbón activado para recuperar los metales o son tratadas por el método de precipitación con polvo de zinc (Merril Crowe).

i) Proceso Carbón en Pulpa (CIP). El carbón ha sido conocido a través de la historia por su capacidad de adsorción (retención de un gas o un líquido en los poros de un cuerpo) y su uso data de varios siglos A.C. Recuérdese que los antiguos hindúes filtraban el agua con carbón. En el siglo XIII, se usaron materiales de carbón en un proceso para purificar soluciones de azúcar y más tarde en el siglo XVIII, el químico alemán Scheel descubrió las capacidades de adsorción del carbón sobre ciertos gases.

Los primeros usos del carbón en un sistema metalúrgico se aplicaron a la extracción del oro después de la "clorinación", proceso en que el oro es solubilizado usando cloro gaseoso y luego filtrado a través del carbón.

El uso de carbón activado (CA) para la extracción de oro fue patentado por Johnstone en 1897. El CA puede ser preparado calentando cualquier material carbonáceo (hueso, semillas de coco, madera, semillas de melocotón, carbones bituminosos, etc.) en una atmósfera suavemente oxidante.<sup>10/</sup> Durante el proceso de "activación", el carbón genera una estructura grafitica porosa de dimensiones moleculares con un área superficial interna extraordinariamente grande sobre la cual puede tener lugar la adsorción.

El proceso desarrollado por Scheel disuelve el oro y la plata en una solución de cianuro de potasio que atraviesa una serie de

filtros de carbón siendo necesaria la fundición de tales filtros para la recuperación final de los metales preciosos .

El proceso de carbón en pulpa (CIP) que se emplea actualmente, se basa en los principios desarrollados por Scheel y se utiliza especialmente para minerales de baja ley de oro, aunque también puede ser usado para concentrados.

El mineral que sale de las minas entra al circuito de chancado y molienda. La pulpa que sale es espesada a un nivel de 45%-50% de sólidos antes de entrar al circuito de lixiviación, y se le acondiciona con agua y cal por varias horas. En cada tanque de lixiviación se añade una mezcla de cal, cianuro de sodio y se insufla aire a presión.

El oro es capturado por el cianuro que lo disuelve. La pulpa fluye desde el circuito de lixiviación hacia el circuito de carbón en pulpa (CIP) que opera en contracorriente, fluyendo por ende en dirección opuesta a la pulpa lixiviada.

A medida que el carbón avanza a través del circuito CIP, adsorbe cianuro de plata y oro. Cuando está suficientemente cargado, es removido por medio de un puente aéreo desde el primer tanque CIP y tamizado. Este carbón cargado, es entonces transportado al circuito de disolución y la pulpa estéril, después de pasar a través del circuito CIP, es descargada como desecho.

El circuito de disolución está formado por recipientes con soluciones calientes de NaCN-NaOH para eluir los metales preciosos. La solución cargada es entonces bombeada hacia celdas electrolíticas donde el oro y la plata son depositados sobre cátodos de lana de acero.

Una vez que la lana ha sido suficientemente adsorbida o cargada, el cátodo es removido para ser fundido. El carbón disuelto es transportado a un horno de calcinación donde la superficie del carbón es reactivada y se mezcla con carbón "fresco", para regresar al circuito CIP previo tamizado.

Una variante es el **Proceso Carbón en Lixiviación (CIL)**. Esta técnica es una modificación del método CIP para procesar minerales auríferos con gran docilidad a la cianuración, teniendo la particularidad de que el contacto pulpa-carbón se realiza simultáneamente a la lixiviación.

### Recuadro 7

#### Bolivia: Lixiviación en la mina Korikollo

En el yacimiento de Korikollo, el mineral que es extraído de la mina es chancado, molido y clasificado, utilizándose una chancadora giratoria primaria de 42 x 68 pulgadas y de 400 HP.

El material chancado alimenta un circuito de molino semiautógeno (SAG) de 8.5 x 3 Mt. y de 7,500 HP. provisto con un "trommel" en la descarga con aberturas de 12mm. La descarga con mayor granulometría es reciclada, mientras que el material fino pasa a una caja de descarga de donde es bombeado hacia una batería de 20 hidrociclones de 15", que trabajan en circuito cerrado con dos molinos de bolas (5 x 9 mt, 5,500 HP) dispuestos en paralelo.

El efluente es una pulpa con 40% de sólidos, que es bombeada al circuito de lixiviación, que se efectúa en 12 tanques donde se permite un tiempo total de retención de pulpa de 32 horas. La lixiviación se realiza por agitación, añadiéndose cianuro en el primer tanque e insuflándose aire constantemente.

Los últimos 6 tanques CIL contienen carbón activado ( Concentración: 10 gr/lt de pulpa) y es aquí donde se lleva a cabo la adsorción del oro y la plata .

Este carbón fluye en contracorriente al flujo de la pulpa entre los tanques No.12 y No.7. Del tanque No.7 (primer tanque CIL) es transferido a la columna de lavado ácido siendo al último tanque (tanque No. 6 CIL) al que se añade carbón reactivado.

Luego de un lavado ácido del carbón, donde se remueven las impurezas, éste se transfiere a los tanques de adsorción para realizar el proceso Zadra de solubilización de los metales preciosos, donde el carbón es recuperado en dos columnas de presión .

El oro y la plata son recuperados por electrodeposición en 8/18-celdas de cátodos. Los cátodos son entonces fundidos en metal "doré" (15-20% oro, 80-85% de plata).

Fuente: Reportes de Minera Yanacocha y Minera IntiRaymi

ii) Proceso Merrill Crowe. Este proceso se aplica para "soluciones claras" (menos de 1 ppm en suspensión) y fue introducido, junto con el proceso de lixiviación con cianuro, resultando ser el proceso más económico y eficiente para el tratamiento de grandes toneladas de soluciones de baja ley, producidas por la separación líquido/sólido de pulpas lixiviadas; y para el tratamiento de soluciones con alto contenido de plata.

Para que el proceso sea eficiente se requiere de-airar o remover el oxígeno disuelto de la solución clarificada ya que la presencia de oxígeno aumenta el consumo de zinc, siendo necesario controlar el pH y las concentraciones de cianuro, ya que si éste es insuficiente pueden acumularse los sulfuros y los óxidos sobre la superficie de zinc, lo que reduciría la eficiencia de la precipitación.<sup>11/</sup>

El precipitado obtenido es filtrado y se extrae el mercurio de la retorta antes de fundir el metal en la forma de "doré" (2 partes de oro por una de plata), empleándose el proceso "Inco" para destruir el cianuro.

El polvo de zinc precipita el oro en soluciones acuosas debido a su carga altamente electronegativa.

## 2. Biolixiviación

Este proceso también conocido como bio-oxidación, se aplica en la explotación de los yacimientos refractarios que tienen gran importancia en la minería aurífera, ya que se estima que el 30% de las reservas mundiales de oro están contenidos en yacimientos de este tipo.

Estos depósitos se denominan refractarios porque el mineral que contiene oro no puede tratarse satisfactoriamente con una concentración básica gravitacional o por cianuración simple, teniendo un promedio de recuperación inferior al 80%.

El origen de la refractoriedad puede deberse a un encapsulamiento del oro en mineral de pirita o arsenopirita o por la presencia de carbón orgánico o reacciones secundarias consumidoras de cianuro que accionan a la manera de barreras que recubren las superficies de las partículas de oro o los compuestos de oro insolubles en cianuro (teluros).

### a) Descripción del proceso

Los procesos para el tratamiento de sulfuros auríferos refractarios comprenden tres etapas básicas: concentración, rompimiento de la matriz del sulfuro y extracción del oro.

La parte más importante es el rompimiento de la matriz del sulfuro, donde está encapsulado el oro, que puede realizarse a través de tres procesos alternativos: tostación, oxidación química a una presión elevada, y oxidación bacteriana (bio-oxidación).

i) Tostación. La ruta de tostación es la más antigua y fue en un tiempo la única alternativa comercial a pesar de tener costos intensivos de capital y operativos.

Este proceso comprende dos etapas. La primera es una operación que promueve la sublimación del arsénico bajo condiciones reductoras mientras que en la segunda se oxidiza el azufre bajo condiciones de oxidación.

Ambas etapas son necesarias para liberar al oro. Estos procesos producen SO<sub>2</sub>, el que puede convertirse en ácido sulfúrico y trióxido de arsénico.

Para estos efectos se utilizan dos tipos de tostadores: Edwards y los del tipo Fluosólidos. Los tostadores Edwards tienen las desventajas de contar con una baja capacidad unitaria y dificultad para recuperar el arsénico y el SO<sub>2</sub> de sus emisiones

gaseosas mientras que los tostadores del tipo fluosólidos no pueden tratar concentrados con alto contenido de arsénico (más de 8% As).

Desde el punto de vista ambiental este proceso produce emisiones gaseosas y líquidas que deben ser controladas ya que el arsénico recuperado de los gases, que no puede ser vendido, tiene que ser dispuesto con gran precaución.

ii) Lixiviación a presión elevada. La lixiviación a presión se realiza en autoclaves ofreciendo la ventaja de una mayor recuperación de oro, además de que permite procesar el mineral que sale directamente de la mina, a diferencia de los tostadores que deben ser alimentados de concentrados.

Sin embargo, la alta abrasión de este material en las áreas de bombeo, cámaras de presión etc. ha determinado la conveniencia de fijar una etapa previa de concentración en el proceso.

Este proceso tiene la desventaja de que la complejidad estructural de la planta y la necesidad de contar con una planta de oxígeno determinan que sea un proceso intensivo en capital. Por otro lado, sus costos operativos son relativamente más elevados dadas las medidas de seguridad que deben tomarse debido a las altas presiones y temperaturas involucradas, requiriendo además, de personal con mayor entrenamiento.

Con la aplicación de esta técnica no se producen subproductos aunque existe la posibilidad de obtener azufre elemental.

Los únicos efluentes son líquidos que pueden ser tratados con técnicas de precipitación utilizando sulfato férrico y cal para obtener un precipitado de arsenato férrico, estable en el tiempo y por lo tanto inocuo. Sin embargo, si el mineral es refractario por la presencia de carbón orgánico, no se aconseja el empleo de autoclaves sugiriéndose más bien la alternativa de la tostación.

iii) Lixiviación bacteriana. La lixiviación bacteriana se diferencia de los anteriores en que es un proceso natural y no inducido, que consiste en disolver los minerales que contienen oro en cianuro, utilizando bacterias que rompen la estructura química del mineral al alimentarse con el azufre contenido en éstos, fenómeno que acelera la reacción química de los minerales ante la lixiviación ácida.<sup>12/</sup>

**Recuadro 8****Patente Gencor: Biolixiviación de depósitos refractarios**

La tecnología para la bio-oxidación de minerales refractarios de oro fue desarrollada y patentada por la EMPRESA MINERA GENCOR de Sudáfrica.

El proceso consiste en utilizar la habilidad bacteriana para oxidar minerales sólidos en formas solubles ácidas, de sulfuros, hierro y metales como arsénico, cobre, zinc, níquel y cobalto, que encapsulan al oro.

El mineral es chancado y molido a un tamaño suficiente como para liberar los sulfuros de la ganga, los que posteriormente son concentrados por flotación, con un contenido de 5-10% de la masa original y más del 90% del oro.

Este concentrado es usualmente remolido para su alimentación a una serie de tanques agitadores que albergan una suspensión densa de bacterias en una solución pobre de ácido sulfúrico, configurados para obtener una óptima producción de bacterias.

Las principales variables de control del proceso GENCOR son la temperatura, PH, potencial reductor, concentración de oxígeno disuelto, nutrientes

para bacterias, concentración de metal soluble y tiempo de retención en los reactores.

El tiempo de residencia promedio es de 4-5 días. Después de este período el material es lavado en una serie de espesadores en contra-corriente y tratado en una planta convencional de cianuración.

Los efluentes que salen de los espesadores son neutralizados y el arsénico, disuelto durante la oxidación, es precipitado en la forma de arsenato básico férrico, compuesto inerte y estable ambientalmente.

La primera planta comercial de bio-oxidación de minerales auríferos entró en funcionamiento en 1986 en la mina Fairview en Sudáfrica para tratar concentrados (35 t/d).

Este proceso resolvió el problema ambiental de emisión de dióxido de azufre y trióxido de arsénico que se producía por el uso de tostadores Edwards.

En América Latina la mina Sao Bento en Brasil (150 t/d) utiliza este proceso.

---

Fuente: CEPAL, en base a publicaciones especializadas.

Este proceso fue estudiado observando el comportamiento de la bacteria *Thiobacillus Ferrooxidans* presente en las aguas ácidas, de bajo pH porque tienen iones metálicos disueltos como cobre, que fluyen a través de las minas.

Se trata de una bacteria bastante versátil que oxidiza el hierro y el azufre bajo condiciones ácidas, creciendo rápidamente en la presencia de minerales como la pirita, arsenopirita y chalcopirita.

En los últimos años esta bacteria empezó a cultivarse en laboratorios para encontrar las cepas más adecuadas para un uso industrial.

b) Ventajas de la biolixiviación

La bio-oxidación o biolixiviación es el camino más económico y ambientalmente seguro para tratar minerales auríferos refractarios, o de yacimientos pequeños, que son anti-económicos con tratamientos convencionales que requieren una alta inversión de capital.

En este sentido, por ejemplo, la bio-oxidación permite convertir en reservas muchos yacimientos de leyes inferiores a 2 g/t de oro.

Los costos de capital y de operación de una planta de bio-oxidación son bastantes menores que los de una de oxidación a presión de la misma escala, como puede apreciarse en el cuadro 10, que compara el caso de una planta concentradora canadiense con capacidad de 50 t/día.

**Cuadro 10**

**PLANTAS DE OXIDACION: COSTOS COMPARATIVOS EN 1994**

	Costos Operativos C\$/t	Costos de Capital C\$ millón
Oxidación a Presión	176	17.2
Bio-oxidación	97	6.0

Los mayores componentes de los costos de capital y operativos están determinados por el contenido de azufre del mineral o concentrado y la oxidación requerida del sulfuro para liberar al oro.

Un estudio más amplio de comparación de costos fue llevado a cabo por Gencor, comparando los costos de capital y operativos estimados de los tres procesos convencionales existentes, obteniéndose los resultados que se muestran en el Cuadro 11.

**Cuadro 11****COSTOS OPERATIVOS Y DE CAPITAL POR PROCESOS****(en dólares por tonelada)**

	Costos Operativos	Costos de Capital
Bio-oxidación	1.00	1.00
Tostación	1.11	1.92
Oxidación a Presión	1.14	2.38

Por último, debe señalarse que una planta de bio-oxidación ofrece la ventaja de que requiere menor tiempo de construcción, que las de tostación u oxidación a presión.

**CAPÍTULO IV****EL PROGRESO TECNOLÓGICO EN LA MINERÍA DE COBRE**

La oferta de cobre experimentó importantes cambios en su localización geográfica en los últimos 30 años derivados de la entrada en producción de nuevos depósitos en zonas tradicionales (Chile), del surgimiento de nuevos productores y de la incorporación de nuevas tecnologías. Estas arrojaron como resultado un cambio en el peso relativo de los costos de extracción y procesamiento, alterándose también el tipo de oferta de refinados con la aparición de los cátodos en reemplazo de la convencional barra de cobre (wirebar).

Sin embargo, la mayor capacidad de refinación en los países en desarrollo, no se tradujo en cambios significativos en el grado de procesamiento y por ende, en el tipo de concurrencia al mercado mundial. En efecto, la producción y comercialización de productos semifabricados de cobre continuó estando concentrada en los países industrializados.<sup>13/</sup>

La exploración de depósitos porfiríticos de cobre fue muy intensa durante los sesenta y comienzos de los setenta, descubriéndose un gran número en todo el mundo. En este tipo de yacimientos el cobre se encuentra en roca granítica ígnea, con un contenido que varía entre 0.5%-2.0%.

La entrada en producción de estos depósitos, junto con la caída de la demanda contribuyeron a la depresión de los precios, lo que provocó que las misiones exploratorias fueran diferidas desde fines de los setenta y gran parte de los ochenta.

La excepción relativa fue Chile que, a partir de mediados del decenio pasado, recibió un numeroso grupo de empresas que recorrieron su territorio, ubicando ricos depósitos que comenzaron a ser explotados y que han ubicado a este país como el primer productor de este metal (Recuadro 9).

**A. MINADO Y METALURGIA DEL COBRE**

Existen diferentes etapas en la conversión del mineral de cobre en metal utilizable. La ubicación e importancia relativa de estas etapas han cambiado de acuerdo a las innovaciones tecnológicas.

El método principal para la fabricación de cobre metálico comprende tres etapas: minado, molienda y concentración; fundición, y refinación que pueden ser realizadas en la misma localidad, con operaciones integradas, o físicamente separadas y que dan origen, cada una por si misma, a sus formas de introducción en los mercados mundiales (concentrados, blíster, cátodos)

El minado de mineral de cobre y su molienda más flotación para producir un concentrado, eleva el contenido de cobre de un típico 0.5-5% a unos 25%-40%, rango que exigen las fundiciones para recibir los concentrados.

Algunos sub-productos como plomo, zinc, níquel, molibdeno y cobalto son separados del cobre en esta etapa. Pero otros como oro, plata, y selenio generalmente permanecen junto con el cobre en el concentrado y son extraídos en la etapa de refinación; es rara la mina que sólo produce cobre.

### Recuadro 9

#### Inversión cuprífera en Chile

En Chile está teniendo lugar uno de los más grandes auges de la inversión minera de este siglo.

Gigantes multinacionales como Broken Hill Proprietary Corp. de Australia; Mitsubishi Corp. de Japón; Minorco, de Sudáfrica; y Phelps Dodge Corp. de Estados Unidos están invirtiendo más de 10 000 millones de dólares para duplicar la producción al concluir la década de los noventa, y eso que Chile ya es el mayor productor del mundo.

Los inversionistas están aprovechando las grandes ventajas comparativas de Chile. Sus nuevas minas son de tan alta calidad, tan grandes y eficientes que serían muy rentables incluso si el precio del cobre cayera a US\$0.61 por libra como ocurrió entre 1984 y 1986.

Sólo algunas minas de los Estados Unidos podrían sobrevivir a estos precios. La mayoría de los productores de Africa, Australia, Canadá y la antigua

Unión Soviética no tendrían posibilidad alguna de sobrevivir.

Como dice Gary Loving, gerente general de La Candelaria, una nueva mina chilena propiedad de Phelps Dodge y Sumitomo..." los que se salven de la próxima caída van a ser los que tengan metales de alta pureza"... " y el mineral de alta calidad está en Chile, no en Estados Unidos".....

Para George Corona, jefe del sindicato de la mina San Manuel (Arizona) el nuevo rumbo tomado por las empresas americanas de focalizar sus exploraciones en América del Sur es irreversible. Cyprus Amax y Phelps Dodge en el desierto de Atacama (Chile), mientras que Asarco y Magma lo hacen en el sur del Perú.

Las empresas norteamericanas sobrevivirán a la próxima caída de precio del cobre pero no sus trabajadores en los Estados Unidos.

Fuente: Extracto de "U.S. Copper Producers are Deeply Worried as Chile Surges Ahead", J. Friedland, B. Ortega; The Wall Street Journal, Agosto 8, 1995.

En la segunda etapa, el concentrado de cobre es fundido para producir un ánodo o "blister" que contiene un mínimo de 98% de cobre. Parte de este "blister" es derivado a las plantas de refinación donde mediante procesos electrolíticos se produce un cátodo de alta pureza (99.99%).

Una proporción menor de mineral de cobre es procesado químicamente. Sin embargo el porcentaje de mineral de cobre que se procesa con métodos de lixiviación se está incrementando notablemente en los últimos años.

El cobre es extraído de las soluciones lixiviadas con extracción por solventes (SX) y los cátodos son producidos por un proceso de electro-obtención (EW).

Estos procesos no pueden ser universalmente aplicables, siendo especialmente indicados para climas secos y cálidos como el del norte chileno, o del sur-oeste norteamericano.

#### Cuadro 12

##### PROYECCIÓN DE LA PARTICIPACIÓN DE SX-EW EN LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE COBRE (%)

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<b>Latinoamérica</b>	18.5	23.1	25.0	28.3	29.6	28.8
<b>Mundo</b>	11.3	13.3	14.3	16.0	16.9	16.9

Fuente: Comisión Chilena del Cobre

En la década de los ochenta el proceso SX, al combinarse con la lixiviación con ácido sulfúrico y la EW, se convirtió en la tabla de salvación para la industria minera de los Estados Unidos, acosada por las regulaciones ambientales y los bajos precios internacionales de los metales.<sup>14/</sup>

En menos de 25 años el cobre producido por SX-EW creció prácticamente de cero a una cifra superior al 10% de la producción de cobre de mina. Esta tendencia continuará fuertemente a lo menos hasta fines de este siglo, momento en que se estima que el cobre proveniente de SX-EW representará aproximadamente un 17% por ciento de la producción mundial. (Cuadro 12.)

Su aplicación en América Latina tuvo como pioneros a Cerro Verde en Perú, Cananea en México y a la Sociedad Minera Pudahuel, (mina Lo Aguirre) y la empresa Molibdenos y Metales (Molymet) en Chile. Esta última utilizó la SX para recuperar el renio, a partir de los gases de tostación de los concentrados de molibdenita.

Casi todos los nuevos proyectos chilenos - con excepción de La Candelaria - consideran una planta LX-SX-EW. En 1993, Chile producía sólo 60 000 ton de cátodos que equivalían al 3% del total de cobre producido, mediante procesos LX-SX-EW habiendo saltado en 1994 a 300 000 toneladas de cátodos electroobtenidos, lo que representa aproximadamente un 13% del total.

Las proyecciones para 1998 estiman que la producción chilena por este método será superior a 800 000 toneladas (un 28% del total).

### B. COMPETITIVIDAD Y COSTOS

La competitividad relativa de la industria minera está básicamente gobernada por sus características geológicas, geográficas y técnicas.

Dentro de un país, las operaciones individualmente pueden tener grados diferentes de competitividad debido a factores tales como la naturaleza y profundidad del yacimiento, la composición física y química del mineral y de la roca huésped, la ley del mineral, la planta usada, la antigüedad de las operaciones, la calidad y experiencia de la gerencia y la ubicación geográfica.

**Cuadro 13**

#### **COSTOS PROMEDIOS PONDERADOS DE PRODUCCION DE COBRE**

(en cent. US\$/lb de cobre)

	1991	1993
Australia	71.4	64.2
Estados Unidos	60.4	55.1
Indonesia	63.6	53.6
Perú	54.0	52.0
Chile	50.0	47.5

Fuente: AME Mineral Economics.

Las minas subterráneas tienen costos más altos que las de tajo abierto. Sin embargo, esta desventaja es cubierta con leyes de metal más altas y/o contenido de subproductos. Los costos comparativos de los tipos de minado a fines del decenio de los ochenta pueden observarse en el Cuadro 14.

Cuadro 14

**COBRE : COSTOS PROMEDIOS DE OPERACION SEGUN TIPO DE MINA  
(en US dólares)**

	Tajo Abierto	Subterránea
Costo Operativo por tonelada molida	5.6	19.9
Créditos por Sub-Productos por tonelada molida	2.9	33.5
Ley de mineral procesado (%)	0.6	1.1

Fuente: RTZ, Sistema de Información Minera.

La ley del yacimiento es uno de los factores más importantes para determinar costos relativos y competitividad. A nivel mundial se registra una tendencia decreciente en los valores promedios de las leyes aún con la entrada en producción de minas de alta ley como Neves Corvo (8% Cu) en Portugal, ó Escondida (2.8% Cu) en Chile.

Este declive muestra el aumento del minado de depósitos porfiríticos de cobre y de yacimientos que utilizan procesos de lixiviación que aún tienen menores leyes.

Los sub-productos son importantes cuando se mide la rentabilidad de algunos proyectos. Cambios tecnológicos recientes han alentado un incremento de la participación de los subproductos en los ingresos de un proyecto, por ejemplo a través de mejores recuperaciones del molibdeno. Contrariamente, la tecnología de lixiviación limita la extracción de sub-productos, por lo que los residuos deben ser reprocesados.

Dos minas pueden tener idénticos tipo de roca, ley de metal y subproductos y tecnología empleada pero sus costos pueden diferir sustancialmente si sus requerimientos de infraestructura son diferentes.

La distancia geográfica de la mina a la fundición y a los mercados internacionales es muy importante. Países como Chile y Filipinas, que tienen rutas de transporte cortas de las minas a puertos de aguas profundas mantienen una considerable ventaja sobre países como Zambia y Zaire, situados en medio de un continente. En épocas de precios bajos, las operaciones mineras y metalúrgicas situadas lejos de puertos corren el peligro de ser clausuradas.

#### Cuadro 15

#### COSTOS DE EXPLOTACIÓN DE LAS PRINCIPALES MINAS DE COBRE DE AMÉRICA LATINA (US\$/lb Cu)

Mina	Costo Total (*)	Crédito por Subproductos (*)	Costo Neto 1997 (**)
Collahuasi (Chile)	0.64	1.115	(0.478)
El Indio (Chile)	1.18	1.172	(0.257)
Escondida (Chile)	0.41	0.000	0.386
Cuajone (Perú)	0.66	0.043	0.568
Caridad (México)	0.61	0.048	0.586
Chuquicamata (Chile)	0.63	0.046	0.695
El Teniente (Chile)	0.82	0.022	0.711

Fuente: "La Curva de Oferta del Cobre y Tendencias de la Industria", Estudio de Pincock, Allen & Holt, Inc. Minería Chilena, Diciembre 1992.

(\*) Valores Año 1991 Incluye Mina, Planta, A&G, Transporte, Fundición & Refinación.

(\*\*) Valores estimados, incluye subproductos.

### C. PRINCIPALES CAMBIOS TECNOLÓGICOS

Aun cuando muchos de los principios aplicados en el procesamiento de minerales que se utilizan hoy en día fueron descubiertos hace mucho tiempo, el desarrollo de la tecnología en el presente siglo ha sido acelerado registrando una mayor sofisticación y un incremento en la magnitud de la escala óptima de operación de los procesos.

La fundición del cobre debe tener una antigüedad de seis a ocho mil años y la lixiviación en pilas de mineral chancado fue usado en la mina Río Tinto en España en 1670; aunque se conoce que los romanos ya habían observado la presencia de cobre en el agua que drenaba de las minas. Lo que ha cambiado son simplemente las técnicas para hacer lo mismo.

Uno de los factores determinantes para el desarrollo de nuevas tecnologías ha sido la presión que ejercen las nuevas regulaciones que exigen constantemente a los productores que minimicen el impacto de sus operaciones al ambiente. Otro aspecto importante es el precio y la disponibilidad de energía, porque el proceso metalúrgico es altamente intensivo en consumo de energía.

Asimismo, el agotamiento de los depósitos de alta ley y la necesidad de explotar yacimientos complejos y de bajos contenidos metálicos, sumado a la volatilidad y la tendencia a la baja del precio de los metales en el largo plazo, han determinado que los productores busquen un mejoramiento continuo de las tecnologías que utilizan a fin de mantener su competitividad.

Los desarrollos más significativos en los últimos veinte años para el caso del cobre han sido los siguientes:

a) reemplazo de los hornos reverbero por hornos de fusión continua ("flash smelting");

b) rápido crecimiento de la producción a través de la lixiviación (lix), la extracción por solventes (SX) y la electro-obtención (EW), y

c) uso de cátodos de acero inoxidable en electrorrefinación y en electro-obtención.

Asimismo se ha mejorado marcadamente la recuperación del anhídrido sulfuroso y la producción de ácido sulfúrico, de las operaciones pirometalúrgicas.

## 1. Descripción de las técnicas metalúrgicas

El cobre se encuentra en tres estados en la corteza terrestre:

- Cobre nativo, que es el de mayor pureza natural y el más escaso de encontrar.

- Menas de cobre oxidadas, que se encuentran a mediana profundidad, y que son concentrados mediante procesos de lixiviación, obteniéndose de ellos precipitados 15/ o cátodos de cobre.

- Sulfuros que se ubican en capas más profundas que las capas oxidadas; algunos sulfuros se presentan del tipo de enriquecimiento secundario (p.e. Calcosina 79.9% Cu), y a mayor profundidad se encuentran los sulfuros primarios de menor concentración de cobre (p.e. Calcopirita 34.6% Cu).

Los procesos metalúrgicos que se aplican dependen de las características mineralógicas de los depósitos, según sean sulfuros, óxidos o una mezcla de éstos. Así mientras los sulfuros son de carácter altamente insolubles en ácido sulfúrico, los minerales oxidados pueden ser solubilizados en este ácido.

Utilizando esta característica, para la concentración de los óxidos se utiliza el proceso de lixiviación, él que es seguido por extracción por solventes (SX) y electro-obtención (EW).

El proceso de flotación se aplica a minerales de carácter insoluble y consiste en separar a partir de una pulpa con mineral en suspensión finamente molido, las partículas de mineral que se desea recuperar, mediante una inyección de aire que produce burbujas.

Las partículas con contenido metálico se adhieren selectivamente a las burbujas, pudiendo de esta forma ser separadas. A partir de este proceso se obtienen concentrados de cobre, que es el producto de valor, y relaves que son descartados y almacenados en canchas.

En la etapa siguiente, los concentrados deben ser tratados por procesos pirometalúrgicos, eliminándose en los hornos gases con altos contenidos de SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, polvo, etc., considerados dañinos al medio ambiente.

Cuadro 16

## GEOLOGÍA, MINERALOGÍA Y METALURGIA DE LOS YACIMIENTOS DE COBRE

Geología	Ley (% Cu)	Proceso
Zona lixiviada	<0.5 LIMONITA	Lixiviación en Botadero
Zona oxidada	0.5 - 1.5 Brochantita Malaquita Crisocola	Lixiviación en Pilas
Zona Enriquecimiento Secundario (Fuerte)	0.5 - 3.0 CC ( $\pm$ PY)	Flotación Lixiviación en Pilas
Zona Enriquecimiento Secundario (Débil)	CC + CPY/BN ( $\pm$ PY)	Flotación
Zona Sulfuro Primario	<0.5 - 1.0 CPY + BN CPY + PY	Flotación
<u>Nota:</u> BN: Bournita CC: Calcosina CPY: Calcopirita PY: Pirita		

Fuente: Zárate, Gabriel, "Hidrometalurgia: Beneficio de Minerales de Cobre", Minería Chilena, septiembre 1994, N°159.

a) Lixiviación ácida

La lixiviación en pilas que es el proceso hidrometalúrgico más conocido se utiliza para el procesamiento de minerales oxidados y recientemente también, para sulfuros chalcocíticos (secundarios).

El efluente de solución de cobre es enviado a la planta de extracción donde se recuperan los metales por adsorción con carbón activado; por precipitación con metales como zinc, fierro, etc.; ó por extracción por solventes.

La solución "pobre" que es descartada en esta planta (a la que se le ha extraído los metales), es enviada a regar nuevamente las pilas, recirculando continuamente.

Cuadro 17

## CONTENIDOS DE ELEMENTOS EN MINERALES TÍPICOS DE COBRE

<b>Sulfuros</b>		
Calcosina	$\text{Cu}_2\text{S}$	79.9% Cu 20.1% S
Bornita	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	63.3% Cu 11.1% Fe 25.6% S
Calcopirita	$\text{CuFeS}_2$	34.6% Cu 30.4% Fe 35.0% S
Covellita	$\text{CuS}$	66.4% Cu 33.6% S
Tetrahedrita	$4\text{Cu}_2\text{S} + \text{Sb}_2\text{S}_3$	53.9% Cu 25.8% Sb 23.8% S
Tennantita	$4\text{Cu}_2\text{S} + \text{As}_2\text{S}_3$	
Enargita	$\text{Cu}_3\text{AsS}_4$	48.3% Cu 19.1% As 32.6% S
Bournonita	$\text{CuPbSbS}_3$	13.0% Cu 42.4% Pb 24.9% Sb
<b>Oxidos, Cloruros, Carbonatos y Sulfatos</b>		
Cuprita	$\text{Cu}_2\text{O}$	88.8% Cu 11.2% O
Atacamita	$\text{ClCu}_2(\text{OH})_3$	14.9% Cu 55.9% CuO 16.6% Cl 12.7% $\text{H}_2\text{O}$
Azurita	$(\text{CO}_3)_2\text{Cu}_3(\text{OH})_2$	69.2% CuO 25.6% $\text{CO}_2$ 5.2% $\text{H}_2\text{O}$
Antlerita	$\text{SO}_4\text{Cu}_3(\text{OH})_4$	67.3% CuO
Brocantita	$\text{SO}_4\text{Cu}_4(\text{OH})$	22.5% $\text{SO}_3$
Calcantita	$\text{SO}_4\text{Cu} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	10.2% $\text{H}_2\text{O}$

Fuente: "Mineralogía", Dana.

Cuadro 18

## EXTRACCIÓN DE COBRE POR LIXIVIACIÓN DE SULFUROS

Mineral	Recuperación (%)	Ciclo (Días)
Oxidos	80	18
	90	150-210
Calcosina	40	18
	80-85	150-120
Bornita	30	18
	70-76	150-210

Fuente: Zárate, Gabriel, "Hidrometalurgia: Beneficio de Minerales de Cobre", Minería Chilena, septiembre 1994, N°159.

i) Extracción por solventes. La extracción por solventes (SX) es un proceso del tipo líquido-líquido, que elimina impurezas de la solución lixiviada y aumenta la concentración de cobre en esta solución.16/

La solución lixiviada de las pilas de lixiviación contiene cobre disuelto, ácido sulfúrico residual (del proceso de lixiviación) y otros minerales en solución, incluyendo hierro, cuya presencia no es deseable en la producción de cobre catódico.

El cobre es retirado en forma selectiva de esta solución mediante el uso de reactivos líquidos de intercambio iónico. Los reactivos de intercambio iónico no son solubles en agua por lo que son utilizados en el proceso disueltos en kerosene. La mezcla de kerosene con los reactivos es llamada solución orgánica.

El cobre que entra con la solución de lixiviación se mezcla con la solución orgánica y reacciona con el reactivo de intercambio iónico. Este reactivo es altamente selectivo para con el cobre y deja pasar los otros elementos como el hierro en la solución acuosa. Luego de su mezcla, se dejan decantar ambas soluciones y como el kerosene es menos denso que el agua, flota en la superficie con el cobre incorporado.

Así, el cobre es retirado en forma selectiva de la solución de lixiviación por decantación, en conjunto con la solución orgánica. El cobre ahora debe ser retirado de la solución orgánica y ésto es logrado al hacerlo entrar en contacto con una solución de ácido sulfúrico de 170 g/lt.

La mayor acidez de esta solución invierte la reacción anterior y el cobre es transferido una vez más a una solución acuosa, de la cual es extraído por electrólisis.

ii) Electro-obtención o electrowining (EW). La electro-obtención o electrowinning (EW) es un sistema de refinación basado en una precipitación electroquímica de los metales contenidos en soluciones provenientes de un proceso hidrometalúrgico.

La solución que viene de la SX fluye por los tanques, donde se aplica una corriente eléctrica que causa una reacción electroquímica o intercambio iónico determinando que el cobre se deposite a ambos lados de un cátodo, proceso que toma 6 días por lo general. La pureza del cátodo alcanza el 99.9997 por ciento.17/

La extracción por solventes (SX) no es una novedad reciente desde el punto de vista científico, puesto que ya en el siglo pasado fue usada a nivel de laboratorio. Lo novedoso es su uso industrial, que data inicialmente de la segunda guerra mundial, cuando la SX fue aplicada a la producción de sales puras de uranio.18/

La introducción de un nuevo grupo de reactivos extractantes ketoxímicos -la serie Lix- de acción muy rápida y fuerte, fue lo que revolucionó los procesos SX. Estos reactivos permitieron reducir el número de etapas de extracción en los circuitos y bajar el tiempo de residencia.

La difusión masiva de estos procesos comenzó en la década del sesenta, cuando se empezó a usarlos en la recuperación de uranio de menas uraníferas.

A fines de esa década había unas veinte plantas en el mundo, que utilizaban este proceso, la mayoría para concentrar uranio; y se inició su aplicación en otros metales como el cobre. La primera aplicación industrial de la extracción por solventes al cobre se realizó en la mina Blue Bird (Estados Unidos) en 1967.

A diferencia de los adelantos que se introdujeron en el proceso de SX no han habido muchos cambios recientes en la electro-obtención (EW) desde su primera aplicación en Chuquicamata (Chile) en 1912, aunque debe reconocerse que el diseño y la eficiencia han experimentado una sustancial mejora, derivados del empleo de nuevos materiales en la construcción de las pozas y la instalación de sofisticados equipos para el manejo de los cátodos.

Con el afinamiento de los procesos SX la EW se tornó más atractiva, pues el ingreso de una fase orgánica entre la solución de lixiviación y la solución de electrolito (EW), permite la limpieza química de impurezas y una concentración mayor de los metales deseados, previa a la EW.

Cuadro 19

## LIX-SX -EW: ESTRUCTURA DE COSTOS OPERATIVOS PROMEDIO

	Sulfuros de Baja Ley	Oxidos
	%	%
Mano de Obra y Supervisión	4.3	4.0
Mantenimiento (MO y Mtls)	19.4	2.6
Energía Eléctrica	17.0	29.6
Acido Sulfúrico	38.3	54.9
Reactivos	9.0	3.1
Otros Materiales	12.0	5.8

Fuente: Chuquicamata Lixiviación de Sulfuros de Baja Ley (Reporte de Codelco). Corocohuayco, Lixiviación de Oxidos (Reporte de EME Tintaya).

b) Lixiviación con agua de mar

Debido a la ausencia de agua fresca, algunos proyectos mineros han tenido que considerar el uso de agua altamente salina, como agua de mar, para procesos de lixiviación. El proyecto Lince, situado al norte de Chile, por ejemplo, emplea exitosamente agua de mar en su proceso de lixiviación SX-EW.19/

En este caso, se requiere un aditivo depresor adicional para eliminar el cloro de la solución orgánica preñada, en la etapa SX. El proceso EW puede tolerar bajos niveles de cloro solamente cuando utiliza cátodos permanentes de acero inoxidable.

Recientemente el proyecto Manto Verde (de Mantos Blancos, subsidiaria de Anglo American) situado cerca al puerto de Chañaral (Chile) anunció que utilizará agua de mar desalinizada para producir 42 000 toneladas anuales de cátodos de cobre.

Con este fin, el proyecto considera la captación de 120 litros de agua por segundo en Bahía Flamenco, ubicada a 36 km de la mina y con una diferencia de nivel de 725 m. La planta desalinizadora procesará 136 m<sup>3</sup> de agua por hora para producir 63 m<sup>3</sup> por hora de agua con un contenido de cloro de menos de 20 ppm.20/

c) Biolixiviación Cuprífera: El "Proceso Pudahuel"

El proceso de lixiviación bacteriana de capas delgadas desarrollado por Sociedad Minera Pudahuel (SMP) de Chile, es una modificación del proceso tradicional que ha sido usado exitosamente para tratar minerales oxidados, mixtos y sulfuros secundarios en los depósitos chilenos Lo Aguirre y La Cascada desde 1980.

Recientemente se implementó este proceso en Cerro Colorado y en Quebrada Blanca, minas situadas en el norte chileno.

El proceso Pudahuel tiene las siguientes etapas:

i) El mineral es chancado a un tamaño determinado, que varía dependiendo de su mineralogía. Posteriormente es aglomerado utilizando agua, ácido sulfúrico ó solución refino, en un tambor de curado, para ser posteriormente depositado en pilas. La formación de material aglomerado permite una coexistencia estable de las fases sólida, líquida y gaseosa en las camas de mineral.

ii) Las pilas de mineral aglomerado son lixiviadas con el riego de una solución lixivante que percola a través de las camas de mineral sin inundarlas, creando una película fina alrededor del mineral aglomerado lo que hace posible el transporte de los agentes lixiviantes a los puntos de reacción y la transferencia de los productos de la reacción a la solución.

Los factores claves del proceso son la etapa de curetaje-aglomerado y la lixiviación en camas no inundadas. La SMP realizó un largo período de pruebas, midiendo los diferentes factores que afectan estas etapas y ha formulado modelos y métodos para cuantificarlos.

El desarrollo de este proceso fue largo y requirió un análisis cuidadoso de factores como concentración de ácido, temperatura, y elección de las cepas más adecuadas para mejorar la eficiencia general del proceso.

La recuperación de cobre obtenida alcanzó valores de 90% para tiempos de lixiviación de 7 a 11 meses. Como consecuencia del desarrollo de esta variación tecnológica, en la actualidad diez plantas productoras de cobre chilenas están empleando el proceso TL para óxidos y BTL para sulfuros de cobre, entre ellas Quebrada Blanca, Cerro Colorado, Lince, El Soldado, ENAMI.

Las características más relevantes son menor inversión que los procesos convencionales, menor costo de producción, operación a bajas temperaturas, proceso no contaminante y simple.

Sin embargo, tiene el inconveniente de no ser un proceso selectivo, esto es que se recupera el cobre pero no así otros elementos valiosos como el molibdeno. En este caso, el proceso

convencional de flotación es una excelente alternativa para ciertos minerales, porque ofrece mejores recuperaciones, lo que es más atractivo que lixiviar en épocas de precios altos.

Los programas de desarrollo futuro de SMP contemplan la optimización de los procesos actuales, mejora en el tratamiento de los efluentes industriales, la lixiviación de minerales de calcopiritas y desarrollo de procesos apropiados para la pequeña minería.

La optimización de los procesos actuales se encuentra determinada fundamentalmente por la velocidad de multiplicación de las bacterias.

Las investigaciones se han centrado en la manipulación genética de las bacterias para obtener especies más resistentes a las condiciones ambientales, que sean capaces de desarrollarse con más rapidez.

En la medida en que se logre aumentar la velocidad de reacción, la lixiviación bacteriana abrirá la posibilidad de tratar sulfuros primarios de cobre por esta vía, eliminando la alternativa de flotación, fundición y refinación. Incluso dependiendo de la naturaleza del material, puede que se elimine la etapa del chancado, importante consumidora de energía.

#### d) Lixiviación en altura

La lixiviación bacteriana de sulfuros de cobre en pilas (TL) que Sociedad Minera Pudahuel (SMP) había desarrollado para sus minerales oxidados, fue ampliada a una lixiviación en pilas con participación de bacterias (BTL) en la mina Lo Aguirre.

El funcionamiento de este proceso no había sido confirmado bajo condiciones de temperatura, contenido de oxígeno en el aire, presión, humedad y radiación que existe en altura, como Quebrada Blanca (Chile).

Con este fin se construyó una planta piloto, que supuso una inversión de US\$ 1.3 millones, la que operó más de un año. SMP tuvo a su cargo los estudios metalúrgicos necesarios, lo que la llevó a participar en la sociedad con un 5% sin contribuir al financiamiento del proyecto.

La innovación tecnológica radica en la utilización de procesos de biolixiviación en altura, lo que demanda un calentamiento del mineral en las tolvas de alimentación al aglomerador y de las soluciones de lixiviación, mediante un diseño especial de riego para evitar que las soluciones y el mineral en la pila de lixiviación se enfríen. Esto se complementa con un diseño especial para disminuir la pérdida de calor (durante el transporte de mineral calentado y aglomerado a la pila) para así mejorar los resultados metalúrgicos.

Para estos procesos se utiliza todo el calor residual de los grupos generadores, siguiendo un proceso patentado por Cominco Ltd. de Canadá.

Es interesante destacar que por primera vez se está utilizando en Chile el proceso ISA, que emplea cátodos iniciales permanentes de acero inoxidable, los que son despegados en forma mecanizada.

Superior Oil - antiguo propietario de Quebrada Blanca - había propuesto el uso de flotación convencional para producir concentrados de cobre; contrariamente, Cia. Minera Quebrada Blanca decidió procesar los sulfuros secundarios usando la ruta TLB de Sociedad Minera Pudahuel, seguido de SX-EW.

Esta decisión implicó una menor inversión de capital y menores costos resultando un cátodo de alta calidad que puede ser vendido directamente. Este proceso ofrece también la ventaja de usar menos agua que los procesos convencionales y de emplear ácido sulfúrico de una fundición cercana - Chuquicamata.

e) Lixiviación Amoniacal

En enero de 1994 fue inaugurada la planta de lixiviación amoniacal para tratamiento de concentrados de cobre de Minera Escondida en el puerto de Coloso (Chile). La producción nominal de la planta es de 80 000 tpa (toneladas por año) de cátodos, a partir de una alimentación de 500 000 tpa de concentrados. Esta planta es la primera en el mundo que lixivia cobre a partir de concentrados.

Esta tecnología innovadora es el resultado de extensos estudios y ensayos realizados en 1991 en los laboratorios de BHP Minerals en California, cuando se consiguió desarrollar un proceso alternativo al conocido método Arbiter.21/

El proceso consiste en una lixiviación con agitación "batch" (en lotes) de concentrado en una solución de amoníaco y ácido sulfúrico que se realiza no en pilas sino en tanques cerrados de acero inoxidable, con un tiempo de residencia de la pulpa de una hora por estanque.

La lixiviación amoniacal se efectúa bajo condiciones de oxidación y a temperatura ambiente. El oxígeno es suministrado como aire que se insufla en los tanques, por debajo de los agitadores de turbina.

El producto es una solución rica en cobre y el remanente un concentrado lixiviado. La primera pasa a una etapa convencional de extracción por solventes (SX) 22/ y electro-obtención (EW), que permite recuperar el amoníaco.23/

En tanto que el concentrado lixiviado es derivado a un espesador de residuos de lixiviación (provisto de una cúpula para evitar la salida a la atmósfera de residuos de amoníaco gasificado); de donde continúa a una reflotación (que eleva la ley), para pasar luego a un espesador covelítico, cuya descarga va a la planta de filtros y sigue el curso normal para los concentrados (hacia las canchas de almacenamiento).24/

Este sulfuro entrega un átomo de cobre que se incorpora a una solución con amoníaco, dejando un remanente sólido con menor contenido de cobre correspondiente a la covelina ( $\text{CuS}$ , 66.4% Cu).25/

El uso de amoníaco y de sales amoniacaes como lixiviantes específicos para el cobre es conocido hace muchos años. Hace 20 años Anaconda realizó extensas investigaciones en este campo. Sin embargo, antes de la planta de Minera Escondida en Coloso (Chile) no se había construido ninguna instalación industrial que utilizará este proceso en el mundo.

Aun cuando el concentrado es relativamente de alta ley (45% Cu), mediante este proceso se puede obtener un mayor ingreso económico al vender concentrados y cátodos.

El cátodo de alta pureza producido es de mayor valor agregado y se exporta a los mercados mundiales. El residuo de la lixiviación (concentrado) se reflota para aumentar su contenido de cobre a un nivel cercano a aquél del concentrado de alimentación, obteniéndose un producto con contenidos promedio de mercado.

Este proceso puede ser aplicado a concentrados donde predominan minerales monovalentes, como calcocita y bornita, porque sólo es posible disolver la porción rápidamente soluble del mineral de cobre.26/ La disolución total de cobre es 40%-50%, si bien sólo necesita ser más de 25% para que el proceso sea económicamente viable.

La lixiviación amoniacaal ofrece la ventaja sobre los otros procesos de lixiviación de ser selectiva, esto es que actúa principalmente sobre un mineral, en este caso la calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ , 79.9% Cu); la no producción de relaves, y el ser ambientalmente seguro.

En la planta Coloso se proyectaba lixiviar más o menos, el 40% del concentrado producido por Minera Escondida. Sin embargo por dificultades técnicas 27/ sólo operó al 24% de capacidad el primer año, y 60% el segundo año. La lentitud en la optimización de este proceso metalúrgico refleja su complejidad.

## 2. Ventajas de los procesos hidrometalúrgicos de lixiviación

Los nuevos métodos hidrometalúrgicos de lixiviación, extracción por solventes (SX) y electro-obtención (EW) han modificado los parámetros de la industria, permitiendo la explotación de depósitos anteriormente considerados marginales, o de reserva (inclusive rípios y botaderos), con costos que son hasta un tercio menores que los procesos tradicionales cuando las plantas LIX-SX-EW coexisten con plantas de concentración y fundiciones.

Sus costos se sitúan a menudo en el rango de US\$ 0.25 a US\$ 0.30 por libra de cobre cuando se trata de operaciones en paralelo con métodos de molienda y flotación; y cercano a los US\$ 0.50 por libra de metal en operaciones "stand alone", en las que hay que cubrir los costos de minado y la totalidad de los gastos generales de la operación minera.

Actualmente esta tecnología está limitada a óxidos y sulfuros secundarios de cobre, sin embargo las grandes ventajas que ofrece están impulsando al estudio de su empleo en sulfuros primarios (yacimientos de mayor volumen).

Tienen la ventaja adicional de tener una extraordinaria eficacia ambiental, porque las emisiones gaseosas y el material desechado son mínimos. El no utilizar la etapa de fundición evita una de las etapas más contaminantes del proceso de producción de minerales, ya que es allí donde se produce la emisión de gases dañinos como el dióxido de azufre.

En el caso de la lixiviación en pilas, el impacto ambiental es reducido porque el material está dispuesto sobre superficies aisladas con capas plásticas y de arcillas. Sin embargo, los planes de remediación pueden ser costosos para minerales sulfurosos que tenderán a proseguir espontáneamente el proceso de biolixiviación en el tiempo.

Entre las desventajas se podría señalar que demandan una alta potencia energética, lo que puede incrementar la inversión inicial, si el yacimiento no cuenta con una buena infraestructura cercana.

Asimismo, la disponibilidad y el costo del ácido repercute fuertemente en la rentabilidad de la operación, especialmente si se tratan óxidos. En el caso de la lixiviación de sulfuros, éstos no consumen mucho ácido pues generan el propio.

## 3. Importancia para la competitividad regional

El uso de los procesos LIX-SX-EW en lugar de la vía de concentración y fundición tiene grandes ventajas en la minería latinoamericana ya que existe una buena cantidad de depósitos en

los que es posible aplicar esta tecnología permitiendo por tanto, convertir las reservas potenciales en reservas económicamente factibles.

Asimismo, las innovaciones tecnológicas que se vienen implementando con los procesos de lixiviación bacteriana, para tratar depósitos de enriquecimiento secundario que son muy comunes en la región; y con la utilización de agua de mar donde este recurso es escaso o la lixiviación amoniaca, cuando es preciso hacer una lixiviación selectiva, están permitiendo la entrada en operación de mayor número de depósitos y mejorar la rentabilidad de otros.

Por otro lado, desde el punto de vista ambiental los procesos LIX-SX-EW permiten aprovechar el ácido sulfúrico producido por las fundiciones locales.

Otra gran ventaja para su empleo en la región, además de los bajos costos operativos mencionados, es la flexibilidad de la escala de operación ya que el tamaño óptimo es considerablemente menor a los de las tecnologías convencionales, lo que reduce la inversión inicial ("el costo hundido") facilitando el financiamiento.

Finalmente, hay que destacar que el hecho de producir productos finales en el lugar de operación disminuye considerablemente los gastos de infraestructura inicial como carreteras de acceso y reduce el costo de transporte de material.

Un concentrado de cobre por lo general tiene un contenido de 30% de cobre y 10% de humedad. Por lo que el transporte de cátodos es considerablemente más barato, aun cuando los costos unitarios son mayores.

El desarrollo futuro de innovaciones tecnológicas para lixiviar los sulfuros primarios o calcopiríticos permitirá elevar la competitividad de la minería regional ya que se estima que el 90% de las reservas potenciales está compuesta por este tipo de minerales.

Por ejemplo el mayor yacimiento de CODELCO, Chuquicamata (Chile), está entrando a la zona de mineral primario, por lo que la cantidad de calcopirita está aumentando a medida que el tajo abierto se profundiza.

Chuquicamata sólo aplica lixiviación bacteriana a óxidos, relaves y material estéril (sulfuros de baja ley) acumulado por años en un botadero. Son yacimientos primarios también Andina y su vecina Disputada de Las Condes (Chile).

#### 4. Perspectivas para el mercado de ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es una de las principales materias primas industriales que se requiere en la cadena productiva de casi la totalidad de los productos manufacturados, como por ejemplo: en la industria de fertilizantes fosfatados (64% del consumo total); en la industria del papel y la celulosa; en la elaboración de jabones y detergentes; en la fabricación de pinturas y pigmentos inorgánicos; y en la elaboración de explosivos, entre otros.

Un sector que ha experimentado un fuerte crecimiento en el uso del ácido sulfúrico es la lixiviación de mineral de cobre. En el mundo se producen anualmente cerca de 160 millones de toneladas de ácido sulfúrico, de los cuales aproximadamente el 60% son elaboradas a partir de azufre elemental. El resto del ácido se produce a partir de piritas y gases de fundición.

Hace menos de una década el gran problema de las fundiciones en la región, y su reticencia a instalar plantas de oxígeno, era la poca demanda para las grandes cantidades de ácido sulfúrico que podían producir a partir de la captación de los gases de las fundiciones.

Ahora el efecto es en contrario. Los numerosos proyectos de lixiviación de cobre que se desarrollan en Chile, han convertido al ácido sulfúrico en insumo fácilmente vendible.

La creciente demanda ayuda a las fundiciones a cumplir con la exigencia ambiental que las obliga a una determinada captación de los gases que emiten.

En un reporte reciente de CRU International se resalta que esta exigencia es creciente, por lo que se espera una alta oferta de ácido en los próximos cinco años.

Esto afectará los ingresos de las fundiciones de alto costo como las japonesas (15% de la producción mundial), que llegan a cubrir el 20% de sus costos de operación (alrededor de 4 c/lb) con la venta local de ácido. En Japón, el ácido tiene un alto precio debido a las restricciones para su importación.<sup>28/</sup>

El mercado del ácido sulfúrico tiene como característica especial un bajo valor comercial y un elevado costo de transporte; por lo que el 95.6% del volumen total se produce y consume internamente en cada país.

El comercio intrarregional representa sólo un 3.7% y el comercio interregional, un 0.8%. Los grandes comercializadores internacionales de ácido son Interacid y Boliden Chemtrade, quienes han instalado facilidades portuarias adecuadas para el desembarco de ácido en el norte chileno.

Entre los años 1998 y 2000, el consumo anual de Chile será del orden de 3.5 millones de toneladas. La producción nacional en tanto alcanzará a 2.8 millones de tal modo que se prevé un déficit de 700 000 toneladas.

El precio actual se sitúa en un rango de US\$ 54-US\$ 61 por tonelada de ácido puesto en puerto chileno. El costo de producción de ácido sulfúrico estimado de una fundición de cobre, que utiliza el proceso Outokumpu, con una capacidad de 150 000 tpa, fluctúa entre US\$ 30-US\$ 35/t.

Sin embargo, no siempre es posible vender el ácido sulfúrico que se produce, tanto por razones ambientales (por ejemplo en el norte de Canadá no se puede utilizar ácido sulfúrico) como porque la calidad del ácido es considerada deficiente por sus concentraciones elevadas de mercurio, arsénico, etc.

Cuadro 20

## PROYECTOS DE COBRE SX/EX EN AMERICA LATINA

Empresa	Proyecto	Capacidad Inicio (1000 t/año)	Año de inicio
<b>MEXICO</b>			
Mexicana De Cobre	La Caridad	30	1996
<b>PERU</b>			
SPCC	Toquepala	50	1996
Cyprus Mines	Expansión Cerro Verde	30	1997
Mantos Blancos	Quellaveco	100	1997
<b>CHILE</b>			
Codelco El Salvador Oxidos	Quebrada M	12,5	1994
	Quebrada M, Etapa II	12,5	1995
	Quebrada M, Etapa III	15	1996
Codelco Chuquicamata	Sulfuros Baja Ley	12,5	1994
	Ripios, Etapa II	40	1996
	Relave Talabre	36	1999
Codelco El Teniente	Quebrada Teniente	10	1996
Codelco Div. R. Tomic	Radomiro Tomic	150	1995
Joint Venture Codelco/Cyprus-Amox	El Abra	120	1997
Quebrada Blanca	En proceso	75	1994
Cerro Colorado	En proceso	45	1993
	Expansión	15	1995
BHP Escondida	Concentrados Oxidos	80	1996
		80	1998
Outokumpu/Placer Equatorial	Zaldivar	120	1996
	Leonor	30	1995
Michilla	Lince Etapa I	5	1993
	Expansión Lince	30	1995
Punta Del Cobre	S.P.C. en proceso	7	1993
Mantos Blancos	Manto Verde	42,5	1995
	Santa Bárbara	33	1995
	Expansión de baja ley	33	1997

Cuadro 20

## PROYECTOS DE COBRE SX/EX EN AMERICA LATINA

Empresa	Proyecto	Capacidad Inicio (1000 t/año)	Año de inicio
Mantos Blancos	Residuos de lixiviación	33	1999
Minera Rayrock	Iván/Zar	12	1996
Eulogio Gordo	Caleta El Cobre	12	1995
C.M. Doña Inés	Collahuasi	225	1997
Cyprus Copper	Chimborazo	50	1998
Minera San Martín	Tuina	10	1994
Sahli Hochschild	Venado Sur	10	1996
Minera Doña Ada	Sierra Gorda	10	1996
Enami	Reestruct.de Plantas	10	1996

Fuente: Arthur Lynch, Alan Taylor, Carlos Avendaño, "Solvent Extraction Boom in Latin America", Engineering & Mining Journal, diciembre 1994

## CAPÍTULO V

CAMBIO TECNOLÓGICO EN LA MINERÍA DE  
AMÉRICA LATINA: ANÁLISIS DE CASOS

## A. INCORPORACIÓN DEL PROGRESO TÉCNICO EN LA MINERÍA AURÍFERA

1. La mina Yanacocha en Perú

Yanacocha está ubicada a 20 km al norte de la ciudad de Cajamarca, a una altitud de 4 000 metros sobre el nivel del mar. El clima de la zona es frío y lluvioso. El área fue explotada por los incas, y por los españoles en el siglo XVI. En las décadas de los sesenta y ochenta, varias compañías mineras se interesaron en la zona debido a su mineralización potencial de cobre, sin encontrar vestigios de oro.

Usualmente, para prospectar yacimientos auríferos, se analizan las muestras tomadas, concentrando los granos de oro en bateas o platos. Sin embargo, como el oro de Yanacocha es de un grano muy fino flotaba junto con el material estéril y no había señal alguna de su presencia.

a) Desarrollo de las operaciones

En 1980, geólogos del "Bureau des Recherches Géologiques et Minières" (BRGM) de Francia, visitaron la zona y notaron una intensa silicificación, que es un tipo de alteración de roca asociada frecuentemente a yacimientos metálicos.

El análisis de las muestras de superficie analizadas arrojó indicios principalmente de plata con muy bajas concentraciones de oro. Fue entonces que se decidió hacer sondajes diamantinos, que confirmaron la presencia de estos metales.

En 1984, los actuales socios, Newmont Mining Corporation, de Estados Unidos (38%); Cía. de Minas Buenaventura, de Perú, (32.3%); y el Bureau des Recherches Géologiques et Minières (BRGM), de Francia, (24.7%) iniciaron la exploración de la zona. La International Finance Corporation adquirió el 5% del accionariado cuando financió el proyecto.<sup>29/</sup>

El gran atractivo de este yacimiento se centra en la ley de su mineral (1.86 grms. de oro por tonelada corta) y en sus características físicas.

El oro se presenta diseminado en partículas microscópicas distribuido en la roca. No se presenta como es usual en vetas o filones. En el caso de Yanacocha se trata de una toba volcánica de la era terciaria, altamente silíceo (Sílice 69%-97%, alunita 8%-23%) sumamente porosa.

Esta roca fue utilizada hace pocas generaciones para filtrar el agua. Los geólogos dicen que esta roca porosa debe haber estado sometida a la circulación de gases y soluciones volcánicas, producto de la etapa final de la actividad volcánica.

Estos gases y soluciones contenían sílice y oro. La sílice invadió la roca produciendo un amplio proceso de silicificación reemplazando los minerales de la roca original y el oro finalmente se depositó en los poros de la roca.

La alta porosidad de la roca hizo innecesario la construcción de instalaciones de chancado y aglomeración, lo que significó un ahorro significativo en el monto de inversión inicial.

Los gastos de desbroce también fueron despreciables debido a que el mineral está expuesto en superficie. La mina produjo su primera barra de oro en agosto de 1993.

Durante ese año se refinaron 81 500 onzas de oro, de tres pequeños tajos abiertos de la zona de Carachugo. Al año siguiente, en octubre de 1994, un nuevo tajo fue abierto en la zona de Maqui-Maqui, donde se encuentran el 70% de las reservas estimadas.

Debe resaltarse que la producción esperada para 1993 era de sólo 60 000 onzas y para 1994 de 216 000; por lo tanto las cifras reales obtenidas en 1993 superaron en 40% a las programadas, debido fundamentalmente a que se iniciaron las operaciones antes de lo previsto.

El costo neto obtenido en 1994 fue US\$ 138/oz, mientras que el costo promedio que obtuvo Newmont en sus operaciones alrededor del mundo fue de US\$ 205.

La inversión total de Yanacocha alcanzará hacia fines de 1995 a 113 millones de dólares, destinándose US\$ 9 millones adicionales para exploración.

#### b) Aporte tecnológico

Yanacocha es el primer yacimiento epitermal de oro que se ha encontrado y es el primer proyecto de lixiviación en pilas a gran escala y la primera inversión extranjera en 20 años en Perú.

La importancia de la puesta en marcha del proyecto Yanacocha radica en que antes de su descubrimiento no se conocía la existencia de este tipo de yacimientos en territorio peruano, ni la tecnología de extracción asociada.

Cuadro 21			
DATOS TECNICOS DE YANACOCHA			
1994-1995 (*)			
<u>Reservas (1994):</u>		Contenido oro (millones oz)	
	Probadas	4.0	
	Probables	4.2	
<u>Operaciones:</u>	<u>Nivel de producción</u>	<u>1994</u>	<u>1995</u>
	Oro (oz/año)	304 600	450 000
	Mineral (tpd)		
	-Carachugo		20 000
	-Maqui-Maqui		17 800
	Desmonte (tpd)		17 800
	<u>Costo (US\$/oz):</u>	138	130
	<u>Proceso:</u>	Lix pilas/Merril Crowe	
(*) Valores proyectados			
<u>Fuente:</u> Reportes de Minera Yanacocha S.A.			

Esta tecnología, que tuvo como pionero a Newmont, permitió el florecimiento de la actividad aurífera en el Estado de Nevada, el más importante en la producción aurífera mundial después de Sudáfrica.

Cabe resaltar que esta inversión por su alta rentabilidad ("pay back" estimado de 11 meses) ha sido el imán que ha atraído a varias compañías mineras que se encuentran explorando intensivamente en las zonas aledañas, como Barrick Gold, Southern Peru, Solitario Resources y los propietarios de Yanacocha.

Por una serie de circunstancias (terrorismo e inestabilidad económica entre las principales) en el Perú no se habían realizado mayores exploraciones en las décadas de los setenta y ochenta.

De las nuevas exploraciones, el proyecto en marcha más importante es Cerro Corona donde se planean extraer 7 toneladas de oro anualmente. Este yacimiento está situado a unos 40 km de Yanacocha.

Las reservas estimadas son de 400 millones de toneladas con leyes promedio de 1.2 g/t de oro y 0.6% de cobre, siendo los propietarios Barrick Gold y el Grupo Gubbins de Perú.

Cabe destacar que Barrick Gold es la mayor productora de oro de Norteamérica y la tercera en el mundo. Recientemente confirmó sus planes de expandir sus operaciones en América Latina mientras que anunciaba la venta de cuatro de sus propiedades en Norteamérica para financiar estas actividades. Barrick, que es propietario de las minas El Indio, Tambo y Nevada en Chile y además del proyecto Cerro Corona en Perú, ha iniciado prospecciones en el altiplano de Bolivia.

#### Recuadro 10

#### YANACOCCHA: UNO DE LOS COSTOS MAS BAJOS DEL MUNDO

La empresa Minera Yanacocha S.A. que opera el yacimiento del mismo nombre en Cajamarca, en la sierra norte del Perú, excedió las expectativas en el primer semestre de 1995 produciendo 235,000 onzas de oro, volumen superior en 104.7% al que registró en el mismo período del año anterior, con un costo menor a los 100 dólares la onza.

" Esto significa que Yanacocha es ahora no sólo la mina de oro más grande de Sudamérica sino que además puede convertirse en la empresa productora de oro más barata del mundo"... " Creemos que el costo de producción se ubica entre los dos o tres más bajos del mundo", afirmó Thomas Conway, director gerente de la empresa.

Fuente: Diario Gestión, Lima, Perú, 1 Agosto 1995.

## 2. La Mina Korikollo en Bolivia

Korikollo significa literalmente en quechua "montaña de oro". Este yacimiento fue conocido desde la época de los incas y fue explotado por ellos y posteriormente también durante la colonia.

A principios de este siglo llegaron al distrito minero de La Joya, mineros bolivianos que abandonaron rápidamente su empresa

porque las características del mineral no permitían una recuperación económica por métodos convencionales.

A partir de 1930, mineros holandeses reiniciaron la explotación, la que finalmente fue interrumpida en 1946 por razones similares.

a) Desarrollo de las operaciones

A fines de 1979, la Empresa Minera Unificada S.A. de Bolivia (EMUSA) adquirió los derechos sobre las concesiones e inició la exploración de la zona. Posteriormente EMUSA se asoció a la empresa norteamericana Westworld Resources, constituyéndose Empresa Minera Inti Raymi S.A.

En 1988 Battle Mountain Gold Company (BMGC) de Estados Unidos se convirtió en socio manteniendo actualmente el 88% del accionariado mientras que Zeland Mines S.A., de Bolivia, tiene la diferencia.

El yacimiento está ubicado en el altiplano del sudeste boliviano, a 46 km de la ciudad de Oruro, y a 200 km de la ciudad de La Paz, a orillas del Río Desaguadero, en la parte central del altiplano boliviano, a una elevación de 3 700 metros sobre el nivel del mar.

El depósito fue originalmente desarrollado por Inti Raymi como una operación de lixiviación en pilas de óxidos. En 1986 produjo 9 400 onzas de oro, en una planta que trataba 1 200 t/día.

Al año siguiente la producción aumentó a 17 500 onzas y la planta fue ampliada a 4 000 t/día. Cuando los óxidos se agotaron, BMGC desarrolló un plan para minar los sulfuros subyacentes.

El estudio de reservas estimó la existencia de 64 millones de toneladas como reservas minables con una ley promedio de 2.26 y 14.5 gr/t de oro y plata, respectivamente.

La empresa viene desarrollando un programa de exploración en las zonas favorables alrededor de Korikollo, buscando nuevas reservas que puedan extender la vida del yacimiento más allá del año 2005, proyectado como cierre de la mina, si se tienen en cuenta las reservas actuales.

El minado se realiza usando métodos estándar a cielo abierto explotándose 14 bancos, cada uno de 8 metros de altura y la construcción de la planta se inició en diciembre de 1991. El periodo de prueba de la planta se completó un año más tarde y la primera barra doré se extrajo el 30 de enero de 1993.

El molino de Korikollo es hoy día una de las mayores instalaciones de este tipo operando fuera de Sudáfrica.

El proyecto requirió un financiamiento de US\$ 95 millones que fueron aportados por el Overseas Private Investment Corporation (US\$ 40 millones), la International Finance Corporation (US\$ 40 millones) y la Corporación Andina de Fomento (US\$ 15 millones), además de un aporte de la empresa de US\$ 50 millones.

Korikollo es la mina más importante de Bolivia en la actualidad produciendo cerca de 9 toneladas al año, lo que representó, en 1994, dos tercios de la producción aurífera nacional.30/

Cuadro 22			
DATOS TECNICOS DE KORIKOLLO			
1994-1995 (*)			
<u>Reservas (1994):</u>		Contenido oro (millones oz)	
	Probadas	4.0	
<u>Operaciones:</u>	<u>Nivel de producción</u>	<u>1994</u>	<u>1995</u>
	Oro (oz/año)	280 000	322 000
	Mineral (tpd)		14 000
	Desmante (tpd)		15 500
	<u>Costo (US\$/oz):</u>	180	
	<u>Proceso:</u>	C I L	
	<u>Vida mina (años)</u>	11	
<u>(*) Valores proyectados</u>			
<b>Fuente:</b> Reportes de Inti Raymi S.A.			

b) Aporte tecnológico

El desarrollo de la mina Korikollo constituye un hito en el desarrollo tecnológico de la minería aurífera de la región. Se trata de la primera operación a "tajo abierto" y además, fue la primera mina boliviana donde se aplicó el proceso de lixiviación en pilas con cianuro de sodio.

Korikollo es un yacimiento epitermal, que pudo desarrollarse debido a la incorporación de las nuevas tecnologías, lo que ha estimulado la exploración de nuevos yacimientos con las mismas características en Bolivia y otros países de la región.

Es el caso de la mina Escala en Los Lipez, al sur del altiplano, a cargo Barrick Gold. Esta fue originalmente una pequeña mina considerada de sólo plomo-plata pero que debido a recientes prospecciones geológicas se descubrió que contenía un yacimiento de oro diseminado.

En esta zona presenta un buen potencial para el desarrollo de la minería aurífera. De allí el gran interés que generaron las licitaciones convocadas por la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), de propiedad estatal que tiene unas 172 000 ha de terreno mineralizado. Otro prospecto interesante es Cachi Laguna, de propiedad de RTZ/Comsur en el altiplano. Esta asociación está estudiando la explotación de las reservas de oro de Puquio Norte, en Santa Cruz.

En este mismo departamento se encuentra el yacimiento Don Mario, de cobre y oro, situado en la zona de Chiquitos, de propiedad de Emusa y Billiton International, consorcio que estudia una inversión del orden de los 50 millones de dólares en lo que se considera el depósito más importante del Precámbrico boliviano.

Se estima que en Bolivia se están gastando entre 20 y 25 millones de dólares en exploraciones mineras. Los mayores presupuestos lo mantienen las empresas Barrick Gold, RTZ, Battle Mountain, EMUSA con Orvana y Echo Bay Mines, así como Teck Corp.

Se espera, por tanto, un mayor desarrollo aurífero en el futuro más cercano si las exploraciones son exitosas, lo que determinaría un cambio significativo en la participación del oro dentro de la producción minera del país.

### 3. El Proyecto Las Cristinas en Venezuela

#### a) Resurgimiento de la minería aurífera

Venezuela ha producido oro desde tiempos precolombinos. Pero fue a partir de 1829 que se inició un significativo auge minero, abriéndose minas alrededor de la ciudad de El Callao, llegando a producir 8.2 toneladas en 1885. Sin embargo, el descubrimiento de los ricos depósitos sudafricanos alteró el interés por esta zona influyendo negativamente en las actividades auríferas en esta región por largo tiempo.

Así, recién con el incremento del precio del oro, a partir de 1971, se reabrieron algunas minas. Minerven, subsidiaria regional del conglomerado estatal Corporación Venezolana de Guayana (CVG), comenzó a realizar labores subterráneas en el yacimiento "Colombia" al sur de El Callao en 1982.

A mediados de los ochenta, el foco de atención de los inversionistas se movió a 190 km al sur de El Callao, en un área situada en el km 88 de la ruta a El Dorado (estado de Bolívar).

A principios de los noventa el Gobierno de Venezuela manifestó una mayor disposición en favor de la inversión privada para estimular el desarrollo aurífero de la zona, que estuvo limitado a las acciones de Minerven y Monarch Resources.

Esta última empresa explota la mina La Camorra, a 10 km al norte de El Dorado, que fue la primera mina subterránea privada que se desarrolló en los últimos cincuenta años, iniciando sus operaciones en junio de 1994, con una producción de 80 000 onzas anuales de oro, siendo considerada una de las minas de más bajo costo en el mundo (US\$ 115/oz), record que alcanza debido a sus elevadas leyes de oro.

La mina posee reservas estimadas en 539 000 toneladas con una ley de 22.4 gr/t de oro y tiene grandes posibilidades de incrementar este potencial en profundidad.

Ista operación y los exitosos resultados de las exploraciones de Placer Dome constituyeron una importante señal para atraer a nuevos inversionistas produciendo una significativa alza en el valor de las concesiones situadas alrededor de estos yacimientos.

Actualmente diferentes empresas exploran en la zona tales como Echo Bay Mines en asociación con Tombstone Explorations; Barrick Gold con Canarc; Homestake, TVX y Teck and Kinross.

Existen grandes expectativas respecto del futuro aurífero de Venezuela al extremo que se espera triplicar la producción actual (15-17 toneladas) de oro para el año 2000 considerándose una inversión potencial del orden de los 5 000 millones de dólares hasta fines de este siglo.

b) Estado del proyecto

El proyecto Las Cristinas está ubicado en la zona "kilómetro 18" del Estado de Bolívar, siendo desarrollado por MINCA, un "joint-venture" entre la Corporación Venezolana de Guayana-CVG (30%) y Placer Dome de Canadá (70%).

La historia de este yacimiento se remonta a principios de siglo cuando se descubrió pepas de oro en el área, surgiendo entonces una extensa actividad minera en la zona.

A partir de 1981, cinco a siete mil mineros informales explotaron los yacimientos aluviales de Las Cristinas en forma descontrolada e irregular, dejando como secuela una extensa cubierta de relaves. Los métodos de extracción y recuperación, que incluían mercurio, deforestaron el bosque y dañaron la tierra.

Ahora se espera que la introducción de tecnologías modernas permita una explotación compatible con el medio ambiente y con mayor rendimiento. Placer Dome fue la primera compañía

internacional, de gran dimensión, que obtuvo derechos mineros en la zona en 1991.

Actualmente está evaluando una serie de aspectos socioeconómicos, incluyendo la propiedad de los derechos mineros, el régimen de comercialización del oro y el estado general de la economía venezolana.

Placer Dome espera finalizar los estudios de factibilidad en 1995, analizando diferentes alternativas de métodos de minado, optimizando procesos y tomando provisiones ambientales. Cabe destacar que desde 1991 Placer Dome se encuentra explorando la zona estimándose que ha invertido en estas labores entre 20 y 25 millones de dólares.

Si las evaluaciones llegan a buen término, este proyecto será la primera mina de oro de gran escala en Venezuela con una inversión del orden de los 400 millones de dólares, un costo estimado en US\$ 210/oz y una vida útil de 13 años.

Cuadro 23		
DATOS TECNICOS DE LAS CRISTINAS		
<u>Reservas (1994):</u>		
Volumen (millones t)		214
Contenido oro (millones oz)		8.6
Ley promedio (g/t)		1.25
<u>Operaciones:</u>	<u>Fecha inicio</u>	1997
	<u>Nivel de producción</u>	
	Oro (oz/año)	380 000
	Mineral (tpd)	30 000
	Desmonte (tpd)	30 000
	<u>Costo(US\$/oz):</u>	210
	<u>Proceso:</u>	C I P
	<u>Vida mina (años)</u>	11
<u>Fuente:</u> Placer Dome, noviembre 1994.		

c) Opciones tecnológicas 31/

El yacimiento de Las Cristinas tiene una cantidad de oro por tonelada de material relativamente baja, en comparación con otros prospectos auríferos. Placer Dome considera realizar la explotación mediante métodos de minado a tajo abierto, porque el oro se presenta directamente en la superficie.

Las menas se consideran complejas pero no se espera encontrar dificultades para usar métodos convencionales. Es posible que para recuperar el oro de las menas se necesiten procesos de tratamiento diferentes para los tres tipos distintos de materiales que contiene el yacimiento.

i) Primera etapa. En la primera etapa se tratará la fracción oxidada de la saprolita en un circuito combinado de molienda semi-autógena y convencional, con molinos de bolas, seguido de una separación gravitacional para recuperar el oro grueso.

A continuación se considera un circuito convencional de lixiviación, en contacto con carbón activado. El oro será disuelto de la mezcla (pulpa) donde se encuentra por acción del cianuro, siendo recuperado al ser adsorbido por el carbón activado. Este oro será refinado, en las etapas subsiguientes, para obtener los lingotes "doré".

ii) Segunda etapa. El circuito para la segunda etapa tratará las menas sulfuradas en la saprolita, en un circuito de molienda y separación gravitacional, similar al de la etapa anterior. Debido a la presencia de sulfuros de cobre, el mineral será sometido a un proceso de flotación para separar dichos sulfuros y el oro mediante el uso de reactivos químicos.

El producto será un concentrado que tendrá una ley estimada de 20% de cobre y 0.01% de oro, que requerirá de un proceso adicional para recuperar el cobre y el oro separadamente.

Un porcentaje significativo del oro deberá aún ser recuperado del mineral mediante un proceso de lixiviación en contacto con carbón activado. Se estima que en esta etapa, un 40% de la producción sería en "doré" y un 60% bajo la forma de concentrado.

iii) Tercera etapa. En esta etapa, la planta procesará la roca primaria, lo que requerirá de una mayor capacidad en los circuitos de trituración y molienda. Los minerales se enviarán a un triturador primario y luego serán procesados, en la misma forma, que los minerales sulfurados de la segunda etapa, obteniéndose una producción de concentrados y lingotes "doré". En esta etapa el oro producido corresponderá en un 48% a "doré" y en 52% a concentrado.

Placer Dome considera indispensable producir un concentrado de cobre (que contiene oro), buscando separar el cobre del oro previamente a la lixiviación, ya que el contenido de cobre en los minerales (que fluctúa entre 0.12% y 0.18%) aumenta considerablemente el consumo de cianuro en el circuito de lixiviación con resultados anti-económicos.

d) Desafío ambiental

Placer Dome considera que debe definirse el estado ambiental antes de proceder a la explotación, a fin de predecir el impacto derivado de la construcción y operación de la mina y prefijar las medidas para minimizar el efecto ambiental.

En Las Cristinas esto adquiere especial relevancia por el gran daño causado al ambiente por los operadores mineros informales en años anteriores. En 1993 y 1994, Placer Dome hizo un estudio para medir la presencia de mercurio en el ambiente concluyendo que si bien está presente en todo el ambiente de Las Cristinas, los niveles son bajos por lo que no se requeriría de mayores tratamientos con fines de descontaminación. Sin embargo, en el método propuesto para procesar las menas no se usará mercurio.

Asimismo, como parte del estudio de impacto ambiental se han hecho análisis de corriente y calidad de las aguas superficiales, calidad de aguas subterráneas, características de suelo, rocas y clima así como una revisión del patrimonio de plantas y animales existentes en la zona.

#### 4. La Mina Sao Bento en Brasil

Este yacimiento de oro está situado entre las ciudades de Santa Bárbara y Barao de Cocais, a 100 km al este de Belo Horizonte, capital del Estado de Minas Gerais, habiendo sido descubierto en 1860.

En 1906, la mina fue abandonada cuando el contenido creciente de mineral sulfurado refractario convirtió en antieconómica la operación. En 1923, se construyó una planta en el lugar pero los resultados continuaron siendo marginales. Entre 1944 y 1947 se realizaron exploraciones en la zona encontrándose que subsistían los problemas metalúrgicos detectados anteriormente.

Nada menos que treinta y dos años después, en 1979, Unamgen, un "joint venture" entre capitales brasileños y Gencor de Sudáfrica, decidió reabrir la mina, para tratar 20 000 toneladas mensuales.

La primera barra fue producida en diciembre de 1986. El proceso escogido fue el de lixiviación a presión ya que, en esos años, la bio-oxidación estaba todavía en etapa de experimentación.

a) Plan de expansión

El Plan de Expansión de Sao Bento se inició en 1990. El objetivo fue alcanzar una producción anual de 120 000 onzas en su planta de oxidación a presión más bio-oxidación.

La oxidación bacteriana o biolixiviación en Sao Bento se lleva a cabo en una serie de tanques agitadores configurados de tal manera de suministrar las condiciones óptimas para la reproducción de las bacterias.

El proceso es continuo, controlándose las variables de temperatura, demanda de oxígeno disuelto, formación de ácido debido a la oxidación de los sulfuros, y la formación de iones ferrosos y férricos como resultado de la oxidación de la arsenopirita y de otros sulfuros con fierro.

Cuadro 24

**DATOS TECNICOS DE SAO BENTO**

Mineralogía	Arsenopirita, pirrotita, pirita Oro en inclusiones en arsenopirita
Contenidos metálicos	Oro: 8 g/t; arsénico: 4.5%; Azufre: 6.2%
Método de minado	Subterráneo, corte y relleno (60% relaves)
Proceso metalúrgico	Biolixiviación más oxidación a presión
Producción anual	120 000 onzas de oro

b) Cambio tecnológico

La novedad de este proceso es la de biolixiviar para pre-oxidar los concentrados de flotación antes de que ingresen a las autoclaves (oxidación a presión) para obtener así el incremento necesario en la capacidad de oxidación.

Esta decisión demandó una menor inversión que la que se hubiera requerido para doblar la capacidad de las autoclaves con la consiguiente ampliación de la planta de oxígeno.

La tecnología empleada por Sao Bento fue desarrollada por Gencor que opera la mina de Fairview en Sudáfrica, que fue la primera planta comercial en el mundo que comenzó a operar oxidación bacterial de concentrados, en octubre de 1986.

La importancia de Sao Bento radica en que fue la primera mina en América Latina y la segunda en el mundo que utilizó oxidación a presión, bio-oxidación, y molienda autógena completa para tratar su mineral aurífero que es altamente refractario.

Después de Sao Bento, Gencor otorgó licencia a Harbour Lights y a Wiluna de ASARCO, ambas en Australia, para utilizar este proceso, y a Sansu-Obuasi de Ashanti Goldfields en Ghana. La bio-oxidación de concentrados refractarios de flotación es usada comercialmente en sólo seis plantas del mundo.

La segunda planta más grande del mundo es Sao Bento que está diseñada para procesar 150 t/día. Cinco de estas plantas utilizan la tecnología desarrollada por Gencor, que usa cultivos mixtos de bacterias tipo Thiobacillus y Leptospirillum a temperaturas entre 40 y 45 grados. Recientemente Gencor se asoció a Lonrho, dueño del 45% de Ashanti Goldfields, para iniciar una serie de proyectos conjuntos utilizando esta tecnología en los países de la ex-Unión Soviética.

La minería aurífera de Norteamérica no ha adoptado el uso comercial de esta tecnología en los últimos 14 proyectos desarrollados en Canadá y Estados Unidos, debido a la mineralogía del material y las dimensiones de las plantas.<sup>32/</sup>

En esto también, influyó la tradicional postura conservadora de la minería norteamericana.<sup>33/</sup> Sin embargo, Newmont Gold ha patentado una tecnología que emplea la biolixiviación en pilas, a fin de pre-tratar minerales marginales refractarios.

Los resultados obtenidos son alentadores en material sulfuroso, con recuperaciones de 60%-70% con un costo estimado unitario en el rango de US\$ 4-US\$ 6 por tonelada tratada. Para mineral sulfuroso-carbonáceo se está estudiando una variación de biolixiviación con thiosulfato. Newmont espera extraer, usando este método, entre 17 000 y 20 000 onzas de la mina Carlin en Nevada, en 1995 y 100 000 onzas en 1997.

Esta empresa, pionera de la lixiviación en pilas, estima que existen 50 millones de onzas de oro en el mundo susceptibles de ser extraídas usando esta técnica que ha demandado 10 años de pruebas y gastos de investigación cercanos a los 11.5 millones de dólares.

#### c) Difusión en América Latina

Se estima que en la región, las recientes innovaciones en la aplicación de la bio-oxidación en temperaturas extremas, en lixiviación en pilas, en la bio-degradación de minerales de sulfuros de metales base altamente refractarios así como la actividad bacteriana - eficiente en ambientes altamente salinos - y el biotratamiento para disminuir la pérdida de oro contenido en

el carbón orgánico, permitirán un uso cada vez más extensivo de la bio-oxidación.

i) Aplicación en Cuba. Gencor ha autorizado a Geominera, empresa del Estado de Cuba, para probar su aplicabilidad en el depósito aurífero Delita, que viene siendo desarrollado por la empresa canadiense Miramar Mining Corp., que tiene dos "joint-venture" (oro y otro de cobre/oro) con empresas estatales cubanas.

ii) Aplicación en Perú. Gencor está en conversaciones con Sociedad Minera Lizandro Proaño de Perú (SMLP) para instalar una planta de biolixiviación que procese los concentrados de la mina Tamboraque, situada en el distrito de Viso-Aruri, a 92 km al Este de Lima.

La inversión de un poco más de 15 millones de dólares, permitirá renovar la antigua planta concentradora, pasando de los actuales 200 a 600 ton./día, para obtener concentrados de arsenopirita con una ley de 1 onza de oro por tonelada.

Además de construir una planta de lixiviación bacteriana (60 ton/día) y otra de cianuración (40 ton/día), se espera invertir en exploración y desarrollo de la mina. Las reservas probables de Tamboraque son 1.5 millones de toneladas, con un potencial de 5 millones de toneladas adicionales.

La historia de Tamboraque se remonta a principios de siglo, cuando en 1906 su propietario decidió construir un horno con una monumental chimenea (que hasta ahora subsiste) para fundir los minerales auríferos. Sin embargo, al notar la gran cantidad de gases arsenicales que emanaban decidió suspender las operaciones.

La mina reabrió sus operaciones en 1979 como explotación polimetálica de zinc y plomo sin poder recuperar el oro que se encontraba finamente diseminado en la arsenopirita, por lo que resultaba imposible extraerlo usando los métodos tradicionales de flotación.

SMLP inició entonces las investigaciones metalúrgicas del mineral refractario de Tamboraque ensayando con procesos de tostación, en los laboratorios del Instituto Geológico Minero del Perú. En 1989 se decidió investigar utilizando procesos hidrometalúrgicos como la oxidación bacteriana seguido de cianuración.

Para realizar estas investigaciones SMLP solicitó asistencia técnica a la agencia de cooperación alemana GTZ en 1992, para la instalación de una planta piloto de biolixiviación. Los resultados alentadores de las pruebas realizadas en esta planta convencieron a SMLP a iniciar conversaciones con Gencor, dueño de la patente.

La tecnología puede tener mayor difusión en otras zonas del Perú. En el distrito Viso-Aruri existen una serie de depósitos que no han sido extensamente explorados debido a que albergan minerales con problemas metalúrgicos similares.

La puesta en marcha de la planta de Tamboraque será determinante para que se reabran una serie de yacimientos auríferos refractarios localizados en una extensa faja del territorio peruano.

La tecnología es eficiente, tiene costos bajos y es ambientalmente adecuada para tratar materiales refractarios. Su difusión e incorporación en América Latina permitirá la explotación de pequeños yacimientos, que no podrían asumir los mayores costos de otros procesos.

## **B. INCORPORACIÓN DEL PROGRESO TÉCNICO EN LA MINERÍA DE COBRE**

### **1. La mina Quebrada Blanca en Chile**

El yacimiento Quebrada Blanca, ubicado en el altiplano de la I Región, entre los 4 200 y 4 400 metros sobre el nivel del mar, constituye la primera experiencia a nivel mundial de lixiviación bacteriana a gran altura y de lixiviación de material predominantemente sulfuroso.

Su experiencia constituye un hito de gran significación para la minería cuprífera de la región ya que permitirá la aplicación de dicha tecnología para la explotación de yacimientos similares en otros países de la región.

#### **a) Antecedentes**

El área donde se encuentra ubicado el yacimiento tiene una larga y antigua historia de explotación minera que data desde principios de siglo. Quebrada Blanca está aproximadamente a unos 30 km de la frontera con Bolivia, y a unos 170 km, al sureste de la ciudad de Iquique (Chile). En las cercanías están ubicados otros dos grandes yacimientos: Cerro Colorado y Collahuasi.

En la década de los cincuenta, una subsidiaria de Anaconda realizó extensas exploraciones ubicando indicios interesantes de enriquecimiento secundario. Luego de la "chilenización" la propiedad minera que amparaba el yacimiento quedó en manos de Codelco. En 1977, se firmó un convenio entre el Estado y cuatro inversionistas extranjeros encabezados por Superior Oil Co. que realizaron exploraciones adicionales y un estudio de factibilidad a un costo de 26 millones de dólares.

En 1982, la propiedad minera fue transferida de CODELCO a ENAMI mientras que posteriormente Superior Oil fue absorbida por Mobil Oil quien decidió, en 1984, abandonar el proyecto.

Enami inició en 1988 la licitación para la formación de una sociedad anónima, aportando esta pertenencia minera, derechos de agua, así como el gasto en sondajes y estudios del yacimiento.

La licitación fue adjudicada al Grupo Cominco. Actualmente la propiedad está repartida de la siguiente forma: Cominco Ltd. controla el 38.25%; Teck Resources International, que es dueña de una parte de Cominco, tiene el 29.25%; y Cominco International Ltd. el 9%. Estas tres empresas canadienses controlan el 76.5% y dos empresas chilenas, Empresa Nacional de Minería, del Estado y Sociedad Minera Pudahuel, privada, 10% y 13.5% respectivamente.

b) Desarrollo del proyecto

El proyecto demandó una inversión de 400 millones de dólares incluyendo la explotación de la zona de enriquecimiento secundario mediante un "tajo abierto" que exigió remover 43 millones de toneladas de estéril.

El mineral extraído es sometido a un proceso de lixiviación bacteriana que utiliza el sistema BTL de Pudahuel seguido por extracción por solventes (SX) y electro-obtención (EW) para obtener cobre en forma de cátodos.<sup>34/</sup>

A partir del séptimo año de producción, se agregará un proceso de lixiviación en botaderos para minerales de baja ley, con el fin de mantener la producción de cobre, compensando así la disminución de la ley del mineral que presentará la mina en el mismo período.

El proyecto ha considerado una serie de medidas para mitigar el impacto ambiental. Entre estos se cuentan sistemas recolectores y supresores de polvo en las etapas de extracción y chancado del mineral y control de los eventuales derrames de ácido y de soluciones orgánicas.

A su vez, las pozas de lixiviación están revestidas con HDPE y se perforaron pozos de monitoreo para detectar posibles filtraciones o fugas. Se ha contemplado además el almacenamiento del barro anódico para su posterior venta a una fundición de plomo secundario para la recuperación del metal y un plan de abandono para el final de la vida útil de la mina.

Cuadro 25		
DATOS TECNICOS DE QUEBRADA BLANCA		
<u>Reservas:</u>	Primario	Secundario
Volumen mineral (millones t)	250	78
Ley promedio (% Cu)	0.50	1.41
<u>Operaciones:</u>	<u>Fecha inicio</u>	1995
	<u>Nivel de producción:</u> (ton.finas/a)	
	Año 1	50 000
	Año 2-13	75 000
	Año 14	66 710
	<u>Tipo de yacimiento:</u>	Pórfido cuprífero con enriquecimiento secundario
	<u>Proceso metalúrgico:</u>	BTL/SX/EW
	<u>Vida mina (años)</u>	14

c) Aporte tecnológico

Por ser la primera experiencia a nivel mundial de lixiviación bacteriana por sobre los 4 000 m de altitud, el proyecto será el punto de partida para la explotación de yacimientos similares altoandinos, como Doña Inés de Collahuasi, vecino de Quebrada Blanca, considerado como un "proyecto estrella" dentro de la cartera de inversiones cupríferas en América Latina, con una producción esperada de 350 000 toneladas anuales de cobre. Collahuasi es el sucesor de La Escondida, uno de los grandes proyectos de cobre del mundo.

### Recuadro 11

#### Collahuasi: La megamina cuprífera

Incluso para las dimensiones colosales de la minería chilena, el proyecto Collahuasi es grande.

La nueva mina aumentará en 15% la producción de cobre en Chile, que ya es el mayor productor del mundo.

El desarrollo de Collahuasi demandará una inversión de unos 1 700 millones de dólares para colocar 380 000 nuevas toneladas anuales de cobre en el mercado mundial.

Collahuasi es la mayor y quien sabe si la última de las "megaminas" que se encuentran en el desierto de Atacama. Es tan grande que ha puesto nerviosos a los comerciantes de metales por el efecto que podría tener en los precios del cobre en los próximos años.

Sin embargo, sus propietarios tienen otra visión.

" El mundo quiere cobre" ...." Si el crecimiento económico mundial se mantiene en 2% al año, se necesitaría un proyecto del tipo Collahuasi

cada 18 meses", afirmó Steve Kesler, ejecutivo en jefe de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi S.A

Kesler considera que habrá una demanda estable de cobre en Europa y América del Norte y que ésta seguirá creciendo en Asia como consecuencia del auge de la economía china.

Ya se han concluido los estudios de factibilidad del proyecto, los que están pasando por los acostumbrados canales internos antes de presentarse a los dueños de Collahuasi, la canadiense Falconbridge y Minorco SA, con sede en Luxemburgo.

La construcción en una meseta árida cerca de la frontera con Bolivia comenzaría a fines de 1996 y concluiría en 1998.

La mina está a la mitad de lo que algunos consideran el "Golfo Pérsico de Cobre", es decir el desierto de Atacama de Chile, país que dentro de unos diez años producirá casi el 40% del cobre del mundo.

Fuente: Diario Gestión, Lima, Perú, Agosto 11, 1995.

## 2. La mina Escondida en Chile

Escondida está ubicada a 160 km al sur-este de Antofagasta, a una altitud de 3 100 mt. Se trata de un yacimiento porfirítico que tiene una longitud de 4.5 km, con un ancho que varía entre 1.5 a 3.0 km. y una profundidad que llega a más de 600 metros debajo de la capa de óxidos que cubre, por lo general, todos los pórfidos de cobre. Las reservas totales alcanzan a 2 117 millones de toneladas con una ley de 1.31% de cobre.

Su experiencia ha sido muy relevante para el inicio de las operaciones de otros megayacimientos similares en el norte chileno.

a) Antecedentes

La historia de este yacimiento comenzó en 1978 cuando Utah International y Getty Mining se asociaron para iniciar un programa de exploraciones de pórfidos de cobre desde la frontera con Perú hasta el paralelo 28°15', entre Copiapó y Vallenar.

Las zonas a explorar fueron seleccionadas a partir de imágenes satelitales seguido de un extenso programa de prospección geoquímica. El 14 de Marzo de 1981, después de dos años de exploraciones, las perforadoras interceptaron el cuerpo principal del yacimiento.

En 1984 Broken Hill Proprietary BHP adquirió Utah International y Texaco hizo lo mismo con Getty Mining. En octubre de 1985, la compañía tenía una nueva estructura accionaria: BHP (57.5%), RTZ (30%), un consorcio japonés liderado por Mitsubishi (10%) y el IFC del Banco Mundial (2.5%).

Los arreglos financieros se concretaron a mediados de 1988 y los primeros concentrados fueron exportados el 31 de diciembre de 1990, nueve y medio años después del hallazgo del yacimiento, en base a una inversión del orden de los 836 millones de dólares.

b) Desarrollo del proyecto

El presupuesto original consideró una inversión de US\$ 1 143 millones, pero se descartó la construcción de una central termoeléctrica y se aceleró la remoción de material estéril (180 millones de toneladas) y la construcción de la planta, que procesaba 35 000 toneladas por día.

El proyecto inicial contempló las instalaciones en la mina, una planta concentradora, un mineroducto (tubería) utilizado para el transporte de mineral, una planta desaguadora de concentrado y un puerto de embarque. Para llevar adelante este proyecto se consideraron, entre otras obras de infraestructura, un campo de pozos para el abastecimiento de agua, una línea de alta tensión, infraestructura vial y un campamento para los trabajadores.

Cuando comenzó su producción la planta producía 320 000 toneladas finas de cobre al año, procesando mineral con una ley de casi 3%, tres veces el promedio de minas similares. Por esta alta calidad se estima que la mina podría generar ganancias incluso si el precio del cobre cayera a US\$ 0.50 por libra.

Durante su corta vida Escondida no ha dejado de realizar ampliaciones. En julio de 1993, al ponerse en marcha la primera expansión de la planta, su capacidad se incrementó a 45 000 toneladas por día y posteriormente en agosto de 1994, se alcanzó una capacidad de 55 000 tpd.

Actualmente la planta concentradora está siendo nuevamente ampliada para procesar 60 000 toneladas por día. La molienda se realiza en dos molinos SAG de 28 x 14 pies y en 4 molinos de bolas de 18 x 24 pies, en circuito cerrado. El concentrado con una ley de 44% de cobre es espesado a un nivel de 60% de sólidos, y bombeado a una planta de filtros situada en el puerto de Coloso, al sur de Antofagasta. La tubería de transporte del concentrado tiene una longitud de 165 km.35/

Escondida esta en vísperas de iniciar la III fase que contempla una inversión de 520 millones de dólares para elevar la capacidad de tratamiento de su planta a 115 000 toneladas por día.

Se trata de la operación de un nuevo molino SAG apoyado por dos nuevos molinos de bolas. La producción actual es del orden de las 480 000 toneladas de cobre fino y se tiene previsto, al término de la III fase, producir alrededor de 800 000 toneladas de cobre fino. Con esta inversión, Minera Escondida va a completar aproximadamente US\$ 2 000 millones de inversión en el proyecto, reinvertiendo sus utilidades.

c) Aporte tecnológico

El desarrollo de Escondida significó un hito en la historia de la minería chilena. Su descubrimiento por sus dimensiones y calidad incentivó las exploraciones en el desierto de Atacama, uno de los distritos cupríferos más ricos del mundo.

Desde la etapa de exploración Escondida demandó la mejor tecnología. En esta etapa se utilizaron las perforadoras rotativas tipo DHD, que por primera vez se introducían en Chile. Este tipo de máquinas son especialmente adecuadas para extraer testigos (muestras de rocas) de gran profundidad.

En 1993, a partir de estudios realizados en Estados Unidos, en los laboratorios de Broken Hill Proprietary, operador de la mina, se desarrolló en el sector de Caleta Coloso, 15 km al sur de Antofagasta, el proyecto de cátodos a partir de lixiviación amoniaca, lo que ayudó a incorporar valor agregado a la producción. Esta planta es la primera en el mundo en utilizar este proceso industrialmente.

Actualmente el 10% de su producción se vende como cobre metálico. En el plan de expansión a 800 000 toneladas de cobre fino, la lixiviación amoniaca de concentrados y el proyecto de óxidos sumarán más de 200 000 toneladas de cobre metálico, 25% del total producido.

No sólo en el aspecto operativo Escondida ha traído a Chile las últimas innovaciones, sino también en el aspecto financiero. Por la envergadura del proyecto se garantizó el financiamiento con contratos de suministro a largo plazo con clientes de Finlandia,

Alemania y Japón. Esta modalidad se vio avalada por la alta ley del mineral que contiene, su vida prolongada de explotación y su gran tamaño. En algunas fundiciones el aprovisionamiento de Escondida es esencial y tiene clientes en Chile y en todo el mundo.

### Notas

1/ En algunos países las nacionalizaciones constituyeron el eje central de la política minera. El Gobierno de Bolivia nacionalizó en 1952 los yacimientos de estaño fundando Comibol. En 1971 el Gobierno de Chile nacionalizó las empresas de la gran minería de cobre: Chuquicamata, El Teniente, Andina y Salvador. En la primera mitad de los setenta el Gobierno del Perú estatizó la empresa polimetálica Cerro de Pasco Corp. y la Marcona Mining Company que era el único productor de hierro, dando origen a las empresas Centromin y Hierro Peru. Asimismo, revirtieron al Estado todas las concesiones que tenían las empresas extranjeras y se estatizó la comercialización internacional de minerales, creándose Minero-Perú Comercial. El estado, a través de Minero-Perú desarrolló el yacimiento de Cerro Verde y construyó las refineries de cobre de Ilo y de zinc de Cajamarquilla, creando posteriormente la empresa cuprífera Tintaya.

2/ El creciente flujo de capitales hacia América Latina es también uno de los más importantes resultados de los avances en materia de estabilización económica. Cinco años atrás la inflación promedio de las siete economías más importantes de la región estaba por encima de 500 % al año mientras que actualmente dicho promedio está por debajo del 20%.

3/ Sergio Hernández Núñez, Subsecretario de Minería, "Principales directrices de la política minera de Chile". Boletín Minero N°1078, Pag.43, Sociedad Nacional de Minería de Chile. Santiago, octubre 1995.

4/ Cada imagen del "Landsat 5" cubre unas 3-4 millones de hectáreas y cada punto detectado en la imagen tiene un área de 30 x 30 m.

5/ La geoquímica identifica y mide trazas de elementos que se acumulan en plantas, agua superficial y suelos en concentraciones superiores a las normalmente encontradas que son indicadores para determinar la existencia de yacimientos.

6/ Por ejemplo, filtrando la información de vegetación y otros efectos es posible mostrar los depósitos de cobre en verde, el hierro en amarillo, la caliza en verde claro y el rojo es una combinación de caliza con fierro.

7/ Esta sección se basa en la información contenida en "Trends in U.S. Gold Reserves, Production and Grade", Engineering & Mining Journal, junio de 1994.

8/ Además de esta poza de recolección se construyen otras que almacenen las soluciones en el caso de una sobreproducción de solución a causa de una tormenta o lluvia inusual.

9/ Este revestimiento se prepara con material de polietileno de muy baja densidad (VLDPE) y es colocado por expertos que ofrecen una garantía mínima de 20 años.

10/ El carbón activado comprende una familia de sustancias para las cuales no hay una fórmula estructural definida y cuyas diferencias están basadas en su relativa capacidad adsorptiva. En muchos sentidos, el carbón activado es un material único con propiedades que no poseen otros tipos de sustancias orgánicas. Debido a que el carbón activado usualmente contiene cantidades considerables de oxígeno e hidrógeno adsorbido, el término "carbón" es quizás mal aplicado. El carbón activado se considera como un polímero orgánico complejo, y no meramente como una forma amorfa del elemento carbón. Sin embargo, difiere de otros polímeros orgánicos por tener un área superficial excepcionalmente grande y ser un buen conductor de electricidad.

11/ La eficiencia del proceso se mejora con la adición de una sal soluble de plomo, usualmente nitrato de plomo. Debiendo conservarse la alcalinidad de la solución a fin de mantener la sal de plomo en solución.

12/ En el caso del cobre la disolución se hace con ácido sulfúrico.

13/ La industria semimanufacturera está condicionada por la política arancelaria de los países desarrollados (aranceles superiores al valor agregado a los metales), como también por la alta disponibilidad de material para reciclar en esos países. Los fletes más altos y la producción especializada favorecen igualmente la instalación de esta industria en los centros industrializados.

14/ Esta crisis hizo que la industria norteamericana no sólo se reestructurara en lo tecnológico sino también en los aspectos administrativos. Sus niveles de productividad se convirtieron nuevamente en el modelo de la industria.

15/ El método de precipitación utiliza al hierro para extraer el cobre de la solución ácida y consiste en vaciar las soluciones de sulfato de cobre a estanques de madera o de concreto que contienen chatarra o polvillo de hierro, reaccionando el sulfato con el hierro para formar el sulfato ferroso, liberándose el cobre que cae al fondo del estanque formando el llamado "Cemento de Cobre", con una ley que varía entre 50%-90%. Este material puede exportarse como cemento o se lleva a las fundiciones.

16/ Estos procesos se realizan en plantas que albergan una serie de reactores del tipo mezclador-decantador, que en esencia constan de una cámara de mezclado en que las fases acuosas y orgánicas entran en contracorriente y se dispersan por efecto de la agitación, pasando a continuación a la cámara o zona de decantación donde se separan las fases.

17/ Los iones de cobre excitados por la carga eléctrica migran hacia electrodos de carga opuesta, donde se depositan a lo largo del tiempo como metal.

18/ La primera planta de este tipo fue construida en 1942, y se dedicaba a la recuperación y producción de uranio usando éter como extractante. Debido a sus aplicaciones atómicas, el proceso tuvo durante años una divulgación restringida.

19/ Este proyecto perteneció a Outokumpu (empresa finlandesa, propietaria de Zaldívar, Chile) que es una de las pocas compañías completamente integradas en el mundo. Esta empresa es la segunda productora mundial de cobre y de aleaciones de cobre (semi elaborados). El rápido agotamiento de sus minas domésticas en años recientes, empujaron a Outokumpu a ser bastante activa en la búsqueda de depósitos en el extranjero, como una manera de asegurar una alimentación a sus fundiciones y refineries en Finlandia, que estan en pleno proceso de expansión. Por este motivo está participando en diferentes proyectos en Sudamérica, como el proyecto Zaldívar en Chile, donde mantiene una asociación 50-50 con Placer Dome de Canadá. La mina Lince pertenece hoy a la Compañía Minera Michilla, fue el primer gran proyecto LIX-ES-EO en Chile, después de Lo Aguirre (Sociedad Minera Pudahuel). Su capacidad inicial de 22 500 toneladas anuales en 1992 ha sido ampliada a 50 000.

20/ El yacimiento está situado cerca del puerto de Chañaral, a unos 100 km en línea recta de la ciudad de Copiapó. El programa anual de extracción es de 5.4 millones de toneladas con una ley promedio de 0.82% de cobre. La vida útil de Manto Verde está estimada en 16 años, durante los cuales se extraerán 83 millones de toneladas de mineral de 0.82% de cobre, 21 millones de toneladas de mineral marginal (0.45% Cu) y 159 millones de esteril.

21/ BHP cuenta con un presupuesto anual de US\$ 200 millones para exploraciones. También amplía sus actividades a través de adquisiciones. Esta empresa ha incrementado sus utilidades anuales a un promedio de 23% durante los últimos 4 años. El cobre es uno de sus principales rubros (controla el 7% de la producción de cobre de Occidente) y espera que Escondida (Chile) sea la mayor productora de cobre mundial.

22/ El extractante utilizado en la etapa SX es el reactivo Henkel Lix 54 (betadiketone), que ha tenido uso comercial, habiendo sido desarrollado para circuitos SX que comprenden limpieza de efluentes. Este extractante es bastante eficiente, y ofrece características de rompimiento rápido, permitiendo que la planta SX sea relativamente pequeña.

23/ El electrolito, proveniente de la fase SX (contenido aproximado de 45 g/l Cu) pasa a través de celdas columnares y filtros de antracita para remover la solución orgánica residual y así asegurar su limpieza para el proceso de EW; lo que se traduce en un cátodo de excepcional pureza (99.999% de cobre).

24/ Las colas de la refluotación, que tienen un alto contenido de pirita y arcillas silíceas, se transportan por tubería al embalse Jarón (15 km al sureste del puerto de Coloso) donde se depositan.

25/ La reacción química que se produce es la siguiente:  

$$\text{Cu}_2\text{S} + 4 (\text{NH}_3) + 1/2 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CuS} + \text{Cu}(\text{NH}_3)_4 + 2 \text{OH}.$$

26/ La reacción que se genera oxidiza el cobre monovalente a divalente y deja al azufre en el residuo de lixiviación.

27/ Las dificultades técnicas encontradas son alto consumo de amoniaco por las dificultades para su recuperación, precipitación de componentes sulfuros solubles que han encontrado a la solución en los intercambiadores de calor, y extracción incompleta de cobre en la solución amoniacal, lo que exigirá la instalación de un equipo adicional (planta de intercambio iónico).

28/ Por disposición de las Rondas de Negociaciones GATT de Uruguay, Japón deberá reducir sus aranceles al cobre refinado; lo que desmejorará aún mas la posición de las fundiciones japonesas.

29/ Newmont está desarrollando un proyecto aurífero en Uzbekistan donde planean producir 5 millones de onzas, en 17 años de operación, a partir de relaves antiguos. Anualmente Newmont por su participación de 50%, recibirá 180 000 onzas. Igualmente está desarrollando dos grandes proyectos en Indonesia: Minahasa y Batu Hijau. Minahasa ha requerido una inversión de US\$ 131 millones, y está planeado que entre en producción en 1996, a un nivel de 140 000 onzas/año. Batu Hijau, es el mayor yacimiento desarrollado por Newmont. Contiene 12.6 millones de onzas de oro, 25 millones de onzas de plata y 4.5 millones de toneladas de cobre.

30/ La diferencia es aportada por pequeños mineros y cooperativistas, especialmente de depósitos aluviales de los ríos Tipuani, Mapiri, Kaka y Challana, en el Departamento de La Paz; de la zona de Araras, cerca de la frontera con Brasil; y del río Madre de Dios, cercano a la frontera con Perú, donde se ha estimado existen 250 dragas en operación.

31/ Esta sección se basa en Placer Dome, "El proyecto de la Mina de Oro Las Cristinas". Documento distribuido en la EXPOGEO MIN 95, Caracas, Venezuela, 5 al 8 de noviembre 1995.

32/ En la mina Tonkin Springs se instaló una planta comercial de biolixiviación para tratar minerales sulfurosos (1 540 tpd) con contenidos de oro de 4 grs/ton, pero cerró debido a problemas financieros.

33/ Plantas pilotos con capacidades 1-10 tpd están probando esta nueva técnica en las minas Cannon Mine, Dickenson Mines, Campbell Red Lake, Congress, Giant Yellowknife, Salmita Mill y Equity Silver Mines.

34/ Las soluciones provenientes de la pila tienen un contenido de cobre de 3.5 gr/lt. La capacidad de la planta SX es de 3 000 m<sup>3</sup> de solución por hora. La planta de electroobtención cuenta con dos circuitos de 132 celdas electrolíticas cada uno donde se producen cátodos de grado "A".

35/ La tubería tiene un diámetro de 7" exterior y espesor de 1". Dos bombas impulsan el material hasta una altura de 3 150 m, desde la cual fluye por gravedad a una velocidad de 150 m/hora.

## BIBLIOGRAFIA

- AME Mineral Economics, 1995, "Too Much Copper?", Mining Journal, Londres, enero 20.
- Aplan, Frank, 1995, "A Modest Proposal for Improving Recovery from Gold & Silver Heap-Leaching Operations", Engineering & Mining Journal, junio.
- Arenas, Alonso, 1994, "La Hidrometalurgia del Cobre en Chile", Minería Chilena, No. 159, septiembre.
- Balfour Holdings, 1992, Exploration or Extinction? An Analysis of the Supply Crisis Facing the U.S. Gold Mining Industry, marzo.
- Baxter, Peter, 1994, "Geology and Gold Mineralization of the El Callao District, Bolivar State, Venezuela", III Simposio Internacional del Oro en Venezuela, Caracas, octubre 2-4.
- Brierley, Corale L., 1995, "Bacterial Oxidation Master Key to Unlock Refractory Gold Ores?", Engineering and Mining Journal, New York, mayo.
- Central & South America, Mining Journal, Londres, marzo 24, Vol. 324, No. 8319.
- Comisión Chilena del Cobre, 1995, "Balance Nacional del Acido Sulfúrico", Visión Minera, junio.
- Cortés, Ricardo, 1994, "Tecnología que Revoluciona la Producción de Cobre", Minería Chilena, No. 158, Agosto.
- Dobra J., Bigler L., 1995, "Cost of Acquisition and Finding vs U.S. Mineral Lands Value", Engineering & Mining Journal, Nueva York, junio.
- Duyvesteyn Willen & Subacky B.J., 1993, "The Escondida Process for Copper Concentrates", The Paul W. Queneau International Symposium on the Extractive Metallurgy of Copper, Nickel and Cobalt, Denver, abril.
- Harris L., 1995, "Minera Yanacocha Un Modelo de Inversión en la Industria Minera Peruana", Conferencia Minería en Perú, Lima, abril 24-26.
- Jara A., Marshall I., Elliot G., Oppenheimer J., Guzmán R., 1993, Consideraciones Estratégicas y Técnico Económicas para la Priorización de Proyectos, Seminario Gestión de Proyectos de Inversión Pública en Empresas Mineras, Santiago, agosto 5-6.
- Kennedy, Alan, 1995, "The Guiana Shield", Mining Magazine, Nueva York, marzo.
- Lynch, Arthur J.; Taylor, Alan; Avendaño-Varas, Carlos; 1994, "Solvent Extraction Boom in Latin America", Engineering & Mining Journal, diciembre.
- Mackenzie B., Doggett M., 1992, Worldwide Trends in Gold Exploration, Centre for Resource Studies, Queens University, Kingston, Ontario, enero.
- Metals Supplement, 1995, "Gold 94", Mining Journal, Londres, mayo 26.
- Metals Supplement, 1995, "Major Gold Projects-Top 15 Mining Developments", Mining Journal, Londres, mayo 26.
- Peck M., Landsberg H., Tilton J., 1992, "Competitiveness in Metals The Impact of Public Policy", Mining Journal Books, Londres.

- Phelps, Richard, 1993, "Where is Mine Finance Going?", Engineering & Mining Journal, agosto.
- Picozzi A., 1994, El Mercado Internacional del Oro, Comisión Chilena del Cobre, Departamento Estudio de Mercados y Organismos Internacionales.
- Pincock, Allen, Holt, 1992, "La Curva de Oferta del Cobre y Tendencias de la Industria", Minería Chilena No. 138, Santiago, noviembre.
- Piret N.L., Castle J.F., 1994, "Scope and Limitations for Application of Selectivity in Oxidation Potential-Controlled Leaching of Metal Sulphides", Symposium Hydrometallurgy 94, Institution of Mining and Metallurgy, Cambridge, Inglaterra, julio 11-15.
- Rosin, Nathalie, 1995, "Investment in Global Emerging Markets", Mining Magazine, enero.
- Sánchez-Albavera, Fernando, 1994, Las Reformas Mineras y los Desafíos de la Globalización, Seminario Regional sobre la Modernización de la Legislación Minera en América Latina y el Caribe, La Habana 14-16 Noviembre, CEPAL, LC/R.1464.
- Silva E., Haines A., Carvalho T., Melo M., Doyle B., 1989, "Process Selection, Design, Commissioning and Operation of the Sao Bento Mineracao Refractory Gold Ore Treatment Complex", World Gold 89.
- Silver, Douglas, 1993, "Exploration Spending", Engineering & Mining Journal, Nueva York, julio.
- Slater, Linda & Ward Douglas, 1994, "Trends in US Gold Reserves, Production & Grade", Engineering & Mining Journal, Nueva York, junio.
- Sutill, Keith R., 1990, "Sao Bento Plans Biox", Engineering and Mining Journal, Nueva York, junio.
- Van Aswegen, Pieter, 1994, "Overview of Bio-Oxidation Treatment of Refractory Gold Ores, Perú", Primer Simposium Internacional del Oro, Lima, mayo.
- Wall Street Journal Americas, 1995, "En Cobre Competidores Temen a Chile", Santiago, julio 26.
- Wall Street Journal, 1995, "U.S. Copper Producers are Deeply Worried as Chile Surges Ahead", Nueva York, agosto 8.
- Zárate, Gabriel, 1994, "Beneficio de Minerales de Cobre", Minería Chilena, No. 159, septiembre.
- Zúñiga, Miguel Angel, 1991, La Minería en Perú, CEPAL LC/R.1024, julio 10.
- 1993, "Anglo American Remains Worlds Largest Mining Company", Mining Engineering, Denver, septiembre.
- 1993, "Gentry Articulates Priorities for SME and the Minerals Industry", Mining Engineering, Denver, abril.
- 1993, "Minorco-Anglo American Apuesta al Cobre en América Latina", Latinominería, noviembre.
- 1993, "Newmont Golds Roaster Plant on Target for 1994 Startup", Engineering and Mining Journal, Nueva York, junio.
- 1993, "Producción de Acido Aumentará en un Millón de Toneladas para 1996", Latinominería, Santiago, noviembre.

- 1993, "Refractory Gold, Float, Roast, Leach, Autoclave, Pick your process to suit your ore", Engineering and Mining Journal, Nueva York, junio.
- 1993, "Venezuela: Factibilidad para Las Cristinas en 1994", Latinominería, Santiago, noviembre.
- 1994, Ammonia Leaching Goes Ahead at La Escondida, CRU International Ltd, Londres, enero.
- 1994, "Bioleach Breakthrough Announced", Engineering and Mining Journal, Nueva York, mayo.
- 1994, "Descifrando los Enigmas del Acido Sulfúrico", Minería Chilena, No. 160, octubre.
- 1994, "Economists Reach a Conclusion", Engineering & Mining Journal, Nueva York, agosto.
- 1994, "Entra en Servicio el más Moderno Puerto Químico", Minería Chilena, No.160, Santiago, octubre.
- 1994, "Gold in Latin America", Engineering & Mining Journal, Nueva York, junio.
- 1994, "Interacid Comercializará 500 Mil Tons de Acido al Año", Minería Chilena, No. 161, noviembre.
- 1994, "Korikollo entre los Grandes de América", Latinominería, noviembre.
- 1994, "Monarch Stronger", Mining Journal, Londres, octubre 26.
- 1994, "Oro en Venezuela - Ardua Búsqueda de El Dorado", Latinominería, Santiago, noviembre.
- 1994, "Principales Proyectos LIX-ES-EO en Chile", Minería Chilena, No. 159, septiembre.
- 1994, "Quebrada Blanca: Pioneros en los Andes", Construcción, Industria y Minería, Santiago, agosto.
- 1994, "Quebrada Blanca Producirá 75 Mil TMA Mediante SX-EW", Minería Chilena, No. 159, Santiago, septiembre.
- 1994, "Relaves de Oro en Tamboraque", Diario Expreso, Lima, agosto 6.
- 1994, "Sulfuros de Baja Ley Aporta 15 Mil t/Año a Chuquicamata", Minería Chilena, No. 157, julio.
- 1994, "Tecnología en la Obtención de Cobre", Construcción, Industria y Minería, Santiago, agosto.
- 1994, "Tecnología Mineral: Exitoso Encuentro Internacional", Minería Chilena, No. 161, Noviembre.
- 1994, "1994 Better than Expected", Mining Journal, Londres, diciembre 23/30.
- 1994, "50 Mil Toneladas de Cobre Producirá Lince en 1995", Minería Chilena, No. 160, octubre.
- 1995, "Andacollo Oro Trabaja a Plena Capacidad", Minería Chilena, No. 166, abril.
- 1995, "Bolivia Hesitant Times", Mining Journal, Londres, marzo 24.
- 1995, "Barrick In Jordex JV", Mining Journal, Londres, abril 7.
- 1995, "Candelaria, Una Mina donde "Todo Comienza"", Minería Chilena, No. 163, enero.
- 1995, "Comibol Bids", Mining Journal, Londres, mayo 19.

- 1995, "Comibol Receives Bids", Mining Journal, Londres, mayo 12.
- 1995, "Costa Ricas Balancing Act", Mining Journal, Londres, abril 21.
- 1995, "Chachacomiri Progress", Mining Journal, Londres, abril 7.
- 1995, "El Particular Mercado del Acido Sulfúrico", Minería Chilena, No. 169, julio.
- 1995, "El Perú a Cuadritos", Minas y Petróleo, Suplemento Diario Expreso, Lima, marzo 4.
- 1995, "Escondida en Problemas", Ingeniero Andino, Vol. IV, No.212, Santiago, julio.
- 1995, "Escondida Plant Problems", Mining Journal, Londres, mayo 26.
- 1995, "Escondida Presidente Frei Inauguró Planta de Cátodos", Minería Chilena, No. 163, Santiago, enero.
- 1995, "More Than Havana Cigars", Engineering & Mining Journal, Nueva York, mayo.
- 1995, "Newmont Studies Bioleaching Ventures", Mining Journal, Londres, mayo 12.
- 1995, "Oro Boliviano", Latinominería, Vol. IV, No.207, Santiago, junio 14.
- 1995, "Mas Oro en La Coipa", Ingeniero Andino, Vol. IV, No.215, Santiago, agosto 9.
- 1995, "Odd Man Out", Mining Journal, Londres, junio 30.
- 1995, "Placer Dome Sets Targets", Mining Journal, Londres, marzo 17.
- 1995, "Planta Concentradora de Michilla Reinicia Operaciones", Minería Chilena, No. 167, Santiago, mayo.
- 1995, "Quebrada Blanca The First SX/EW Project at Over 4000 m Altitude", Engineering & Mining Journal, Nueva York, febrero.
- 1995, "Recent Discoveries Renew Interest in Costa Rica", Engineering & Mining Journal, Nueva York, junio.
- 1995, "The Mining House - a Peep Through the Window", Mining Journal, Londres, abril 7.
- 1995, "U.S. Mining Reform Costs Jobs", Mining Journal, Londres, abril 7.
- 1995, "Who Owns Who in Mining", Mining Journal, Londres, junio 2.