
desarrollo productivo

El proceso hidrometalúrgico de lixiviación en pilas y el desarrollo de la minería cuprífera en Chile

Jorge Beckel



NACIONES UNIDAS



Red de Reestructuración y Competitividad
División de Desarrollo Productivo y Empresarial

Santiago de Chile, mayo 2000

Este documento fue preparado por el señor Jorge Beckel, consultor del proyecto “Minería y formación de *clusters*”, de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial, de la CEPAL.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la Organización.

El autor agradece especialmente la colaboración prestada por la Dirección de Estudios de la Comisión Chilena del Cobre, Sociedad Minera Pudahuel y a los señores Esteban Domic, Raúl Montealegre y Gregorio Waissbluth.

Publicación de las Naciones Unidas

LC/L.1371-P

ISSN: 1020-5179

ISBN: 92-1-321603-3

Copyright © Naciones Unidas, mayo 2000. Todos los derechos reservados

N° de venta: S.00.II.G.50

Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse al Secretario de la Junta de Publicaciones, Sede de las Naciones Unidas, Nueva York, N. Y. 10017, Estados Unidos. Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Sólo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Índice

Resumen	5
Introducción	7
I. Innovaciones en la hidrometalurgia de cátodos de cobre: la ruta tecnológica de lixiviación en pilas por capas delgadas (tl), extracción por solventes y electro-obtención	9
A. El origen de la lixiviación en pilas por capas delgadas (tl) y de las otras fases de la nueva ruta tecnológica	9
B. Características de la lixiviación en pilas	11
C. La evolución de la producción de cobre según los procesos de lixiviación, extracción por solventes y electro-obtención	12
II. El desarrollo de la lixiviación en pilas tl y del proceso de lixiviación en pilas tl, extracción por solventes y electro-obtención en la sociedad minera Pudahuel...	15
A. El origen de la sociedad minera Pudahuel y del proyecto Lo Aguirre	15
B. La búsqueda de alternativas metalúrgicas	16
C. El inicio de los desarrollos tecnológicos propios de SMP y la construcción de la planta Lo Aguirre	17
D. La creación del Departamento de Investigación y Desarrollo en SMP y el desarrollo de la lixiviación bacteriana.....	19
E. El proceso de aprendizaje.....	20
F. La reestructuración de la actividad de investigación y desarrollo en la SMP y su declinación	22

III. Los aportes del “cluster” minero local al desarrollo tecnológico de SMP	23
A. Centros de investigación tecnológica	23
1. Las investigaciones del INTEC en el campo de la extracción por solventes	23
2. Las investigaciones contratadas a centros de investigación tecnológica en relación con la lixiviación bacteriana	24
B. “Pool” de ingenieros, otros profesionales y gerentes	25
1. Recursos humanos de la mina La Africana	
2. Ingenieros contratados para la ingeniería, puesta en marcha y operación del proyecto Lo Aguirre	25
3. Ingenieros contratados para dedicación específica a investigación y desarrollo	26
4. Reclutamiento de capacidad gerencial del cluster minero	27
C. Firmas de ingeniería y proveedores de equipos y materiales	27
1. Etapa de construcción, puesta en marcha y optimización operacional de la planta Lo Aguirre	27
2. Construcción de la segunda planta de extracción por solventes en Lo Aguirre	28
3. Soluciones aportadas a las plantas piloto manejadas y supervisadas por SMP	28
IV. Efectos de la actividad de investigación y desarrollo tecnológico de la SMP en el “cluster” minero local	29
A. La aplicación de la lixiviación en pilas TL en los nuevos proyectos mineros del país en la década de los noventa	29
1. Período de vigencia de la patente (1990–1995)	29
2. Período de post-vigencia de la patente (1996–2000)	30
B. El efecto sobre la competitividad internacional de la minería del cobre de Chile	32
C. La creación de servicios de consultores, ingeniería especializada y pruebas en plantas piloto y enriquecimiento de los curriculares académicos en hidrometalurgia	34
1. Consultores	34
2. Firmas de Ingeniería	34
3. Servicios de pruebas metalúrgicas	34
4. Enseñanza académica	35
D. Estímulo a la investigación aplicada: el proyecto del PNUD en el campo de la biotecnología	35
V. Estrategia empresarial de comercialización de tecnología y desenvolvimiento del sector minero local ante la evolución económica e institucional, 1980-1999	37
A. Promoción comercial de la tecnología desarrollada, 1981–1986	38
B. Venta de tecnología, 1987–1994	40
C. Comercialización del acervo tecnológico, 1995–1999	41
VI. Conclusiones	43
Anexo Estadístico	47
Bibliografía	57
Serie Desarrollo Productivo: Números publicados	59

Índice de cuadros

Cuadro 1	Producción mundial de cobre por distintos procesos de lixiviación, 1990 y 1998	13
Cuadro 2	Chile: aportes tecnológicos de Sociedad Minera Pudahuel a proyectos de LX – SX EW en el decenio de los 90	31

Resumen

El presente trabajo está basado en una investigación de las relaciones que hubo en Chile entre el desarrollo tecnológico del proceso hidrometalúrgico de lixiviación en pilas por capas delgadas, incluido el proceso bacteriano, y el *cluster* de la minería cuprífera del país. El documento comienza con una descripción de la historia de este desarrollo tecnológico, su primera aplicación industrial y posterior comercialización por parte de Sociedad Minera Pudahuel Ltda. desde fines de los años setenta hasta fines de los noventa.

Si bien el concepto original de esta tecnología aplicada al tratamiento de los minerales de cobre se originó en EE.UU., esta empresa minera chilena perfeccionó y modificó sustancialmente el proceso logrando una primera aplicación práctica industrial en su propio yacimiento Lo Aguirre en las cercanías de Santiago de Chile. Aunque el desarrollo tecnológico de Sociedad Minera Pudahuel se realizó en lo esencial internamente hubo aportes importantes desde algunos componentes y recursos de lo que puede entenderse como *cluster* minero local, lo cual se ha tratado de identificar en el informe.

En la década de los noventa se difundió ampliamente en la minería cuprífera chilena la nueva tecnología como parte de una nueva ruta tecnológica que incluía además la extracción por solventes y la electro-obtención de cátodos de cobre. Este cambio tecnológico contribuyó significativamente al fortalecimiento de la competitividad internacional del sector cuprífero chileno en esta década. Otros efectos importantes fueron la introducción de tecnologías de producción limpia en la minería del cobre, innovaciones tecnológicas en maquinaria e instalaciones mineras en el ámbito local, la generación

de nuevos servicios de ingeniería y consultoría entorno a la nueva tecnología y la creación de capacidades de excelencia en investigación y docencia en centros y universidades del país, especialmente en el campo de la hidrometalurgia.

Por último se retrata el ambiente económico e institucional así como la estrategia empresarial dentro de los cuales tuvo lugar el desarrollo tecnológico de Sociedad Minera Pudahuel y su difusión al *cluster*. Se señala que la creación, básicamente en la primera parte de la década de los ochenta, de un marco legal y normativo estable, provocó luego grandes inversiones privadas extranjeras y nacionales en proyectos mineros cupríferos del país, circunstancia que fue uno de los factores decisivos para la difusión privilegiada de la nueva tecnología en el *cluster* cuprífero local.

Introducción

En los últimos veinte años la participación de Chile en la producción mundial de cobre de mina aumentó fuertemente al punto de desplazar a EE.UU. como primer productor mundial. Este avance del país como productor mundial del metal rojo estuvo acompañado de una profunda transformación de su minería cuprífera. Una de las manifestaciones importantes fue un marcado cambio en la estructura de la propiedad del sector como consecuencia de un masivo ingreso de capitales privados, tanto nacionales como extranjeros, junto con la realización de grandes inversiones en exploración y desarrollo minero. Otro aspecto sustantivo del cambio en la minería cuprífera del país fueron algunas innovaciones tecnológicas y, entre ellas, particularmente las que se generaron en el campo de la hidrometalurgia extractiva del cobre. En este campo, una empresa minera mediana, la Sociedad Minera Pudahuel (SMP), inició a fines de los años setenta un desarrollo tecnológico que en las décadas siguientes iba a repercutir profundamente en la estructura de producir cobre a partir de mineral. Este desarrollo consistía básicamente en el perfeccionamiento del concepto y en la aplicación industrial de dos tecnologías de lixiviación: una se denomina “lixiviación en pilas por capas delgadas” o, usando un término en inglés, “lixiviación en pilas TL” —figurando TL como abreviatura de *Thin Layer*; la otra, complementaria a la anterior, se conoce como “lixiviación bacteriana” o lixiviación BTL— *Bacterial Thin Layer*- y ésta fundamentalmente era el resultado de un sostenido esfuerzo de investigación y desarrollo sobre los mecanismos de intervención de bacterias en los procesos de lixiviación de minerales sulfurados.

El presente informe resume los resultados de un análisis relativo a estos desarrollos tecnológicos y su relación con el *cluster* de la minería cuprífera de Chile. En el trabajo se enfocaron en particular el proceso de innovación tecnológica realizada por Sociedad Minera Pudahuel y los estímulos o aportes que el *cluster* cuprífero proporcionó a este proceso. Además se investigaron los efectos que tuvo este desarrollo tecnológico en la formación y transformación de este *cluster*. En este contexto se ha considerado que forman parte del *cluster* de la minería cuprífera las siguientes actividades, organizaciones, estructuras productivas y recursos:

- Las empresas cupríferas mineras y metalúrgicas del país junto con sus establecimientos productivos, que se ubican desde la I hasta la VI Región, incluida la Región Metropolitana. Estas actividades y recursos se extienden sobre una franja de territorio de más de 2,000 km de largo. Las justificaciones para incluir un conjunto geográficamente tan disperso de actividades dentro del concepto de un *cluster* fueron fundamentalmente dos: la primera fue la gravitación que tiene la minería cuprífera en la economía de estas regiones. La segunda fueron las relaciones profesionales que mantienen los ingenieros y otros profesionales que trabajan en las empresas mineras y organizaciones relacionadas con el sector del país. Estas relaciones se formaron durante el paso por la universidad, en el trabajo como investigadores en centros de investigación tecnológica o como ejecutivos en las empresas y a través de la participación en congresos y grupos de trabajo.
- Los centros de investigación tecnológica y sus departamentos especializados así como laboratorios especializados de universidades.
- Firmas de ingeniería y montaje así como consultores ligados a la minería.
- Proveedores y fabricantes de equipos y materiales. Por otra parte no se ha identificado en el estudio otras instituciones que idealmente forman parte de un *cluster* como ser instituciones financieras especializadas.

El primero de los cinco capítulos del informe describe en forma general los distintos procesos de lixiviación y en particular la lixiviación en pilas TL, incluida la versión bacteriana. Este capítulo incluye también un recuento histórico de su desarrollo y aplicación a la minería de cobre. En el segundo capítulo se relata el proceso de investigación y desarrollo tecnológico que impulsó la Sociedad Minera Pudahuel en el ámbito de la lixiviación en pilas y de la lixiviación asistida por bacterias. En el tercero se analizan los distintos aportes del *cluster* minero al desarrollo tecnológico de SMP: apoyos brindados por centros de investigación tecnológica, aportes del *pool* de ingenieros, otros profesionales y gerentes mineros y contribuciones de las firmas de ingeniería y proveedores de equipos y materiales. En el cuarto capítulo se pone de relieve los efectos del desarrollo tecnológico de SMP en el *cluster* minero. Para este fin se consideran sucesivamente el panorama de la difusión que tuvo la lixiviación en pilas TL en el desarrollo minero del país, el efecto con relación a la competitividad internacional de la minería cuprífera del país, la creación de servicios especializados en el ámbito de la consultoría, ingeniería y pruebas en plantas piloto y, por último, el estímulo proporcionado a la investigación aplicada y la docencia universitaria. En el quinto capítulo se trata de completar el análisis de los capítulos III y IV a la luz de algunas consideraciones sobre la estrategia empresarial de comercialización de tecnología, la evolución del sector minero local y el contexto del cambio económico e institucional del país. En las conclusiones se resume los principales resultados del estudio.

I. Innovaciones en la hidrometalurgia de cátodos de cobre: la ruta tecnológica de lixiviación en pilas por capas delgadas (tl), extracción por solventes y electro-obtención

A. El origen de la lixiviación en pilas por capas delgadas (tl) y de las otras fases de la nueva ruta tecnológica

Hacia fines del año 1980 entra en funcionamiento en Lo Aguirre, cerca de Santiago de Chile, una planta de fabricación de cátodos basada en una nueva ruta tecnológica que combinaba un novedoso proceso de lixiviación en pilas TL, con operaciones de extracción por solventes y electro-obtención de cátodos (LX - SX - EW). Esta planta sería la primera en el mundo que aplicara en escala comercial el proceso de lixiviación en pilas TL. Además sería la primera aplicación comercial en Chile del proceso de extracción por solventes y electro-obtención de cobre. En las décadas de los años ochenta y noventa, tanto la lixiviación en pilas TL como la ruta completa LX - SX - EW se convirtieron en una de las innovaciones importantes de la minería y metalurgia del cobre no solamente en Chile sino en el ámbito global.

La lixiviación de minerales de cobre, que consiste en una disolución de los compuestos de cobre en soluciones ácidas, es un proceso hidrometalúrgico bastante antiguo que se aplicaba originalmente a minerales oxidados. El incentivo para desarrollar los procesos hidrometalúrgicos provenía del hecho que los minerales oxidados de cobre de baja ley no eran susceptibles de ser concentrados por la operación convencional de flotación. Actualmente existe el incentivo adicional de evitar por esta vía la contaminación ambiental causada por los procesos metalúrgicos convencionales basados en fundiciones. El primer proceso de lixiviación que se aplicó en gran escala fue la lixiviación en bateas en los años veinte. En este proceso la lixiviación se producía por inundación de los minerales en contenedores (bateas) de grandes dimensiones y el cobre se recuperaba mediante precipitación con chatarra de hierro —proceso que se conoce como cementación— o vía electro-obtención directa. En ambos casos el producto era impuro y requería su procesamiento en una fundición. En la actualidad la mayoría de estas plantas han sido modificadas a operaciones modernas de lixiviación en pilas. Tempranamente se comenzó a utilizar también los líquidos lixiviados en forma natural que se formaban en los botaderos de las minas a tajo abierto. En estos casos el cobre se obtenía por cementación. De estas operaciones se derivaron los métodos modernos de lixiviación en forma de lixiviación en pilas, lixiviación de colas, tostación —lixiviación— electro-obtención y lixiviación *in situ*.

En cambio la lixiviación en pilas TL aparece en la minería del cobre más recientemente. Esta tecnología se basa en un invento patentado en 1975 en EE.UU. y en el año siguiente en Chile por la firma norteamericana de ingeniería Holmes & Narver y en modificaciones patentadas en 1981 en Chile por la Sociedad Minera Pudahuel. Además hubo posteriormente un sustancial refinamiento operacional del proceso por parte de la Sociedad Minera Pudahuel donde se generó un *know-how* importante adicional a los inventos patentados. Esta tecnología de lixiviación en pilas TL se caracteriza por la mayor trituración a que se someten los minerales, seguida de un pretratamiento con ácido sulfúrico concentrado para su aglomeración y la posterior formación de pilas rectangulares del mineral pretratado. La solución ácida que se aporta mediante aspersion se enriquece de cobre durante la percolación de las pilas siendo recogida en el fondo para pasar a la próxima etapa del proceso.

La tecnología de extracción por solventes fue desarrollada en EE.UU. durante la Segunda Guerra Mundial para la obtención del uranio como parte del proyecto Manhattan. En los años posteriores la desclasificación de esta tecnología permitió estudiar su aplicación civil y, en particular, su uso en la hidrometalurgia del cobre. La tecnología permite extraer en forma selectiva el ión cobre de las soluciones enriquecidas de lixiviación – que también contienen numerosas impurezas, y entregarlo a continuación a un electrolito puro que es tratado en la etapa de la electro-obtención. De esta manera se evita la contaminación del electrolito con metales diferentes al cobre, impurezas que son disueltas simultáneamente en la fase de lixiviación y así se logra obtener cátodos de alta calidad.

La electro-obtención, un proceso convencional, es similar a la electro-refinación. A diferencia de lo que sucede en esta última, en la electro-obtención el ánodo es inerte, normalmente de una aleación de plomo, y el cobre se introduce mediante el electrolito. Este proceso se caracteriza por tener un consumo de energía eléctrica bastante más elevado que la electro-refinación. Antes del advenimiento de la extracción por solventes, la electro-obtención era directa, es decir la misma solución enriquecida de lixiviación constituía el electrolito, lo que obligaba a someter los cátodos a una refinación para obtener un producto de calidad aceptable.

¿Cuáles fueron las razones que condujeron al desarrollo de la lixiviación en pilas TL y de la ruta tecnológica LX - SX - EW en la mina Lo Aguirre y a la difusión posterior de estos procesos en la minería y metalurgia del cobre de Chile y el mundo? En primer lugar, Lo Aguirre era un yacimiento pequeño y mineralógicamente complejo, no explotable económicamente mediante las

tecnologías convencionales de la época. En cambio, la lixiviación en pilas TL lograba acelerar el proceso y por ende generaba mayores rendimientos y eficiencia. Además, la investigación y desarrollo que se efectuó en Lo Aguirre permitió finalmente tratar en forma simultánea y sucesiva en una misma instalación minerales oxidados y sulfurados mientras que según los procesos clásicos se hubiesen requerido dos rutas tecnológicas distintas, una para los óxidos y otra para los sulfuros, con una duplicación de las inversiones (véase gráficos 1 y 2 en anexo). Además algunas operaciones de estas rutas tecnológicas, particularmente la cementación usando chatarra de hierro, generaban residuos minerales líquidos que se consideran altamente contaminantes y, en particular, peligrosas para la agricultura y cuenca hidrográfica de Santiago. Una otra razón fue que los productos que hubiese podido producir Lo Aguirre según los procesos tradicionales habrían sido concentrados y cemento de cobre; estos productos que son de tipo intermedio se hubiesen tenido que vender a las fundiciones debido a que el proyecto Lo Aguirre no permitía la construcción de una fundición propia por razones de escala de producción y motivos ambientales. En un plano más general se puede mencionar que en un determinado período la chatarra de fierro experimentó alzas de precios y el cobre bajas de precios, factores que comprometían la rentabilidad económica del proceso tradicional de obtención de cobre a partir de óxidos por vías de lixiviación tradicional y de cementación. Por su parte, la combinación de la extracción por solventes con la electro-obtención permitió producir un producto de calidad premium eliminando la necesidad de una refinación posterior en fundiciones externas. Por último, el perfeccionamiento de las técnicas de lixiviación como parte del desarrollo de la lixiviación en pilas TL y en otros lugares tuvo por resultado un aprovechamiento mayor de minerales descartados en botaderos, desmontes, pilas y relaves e incluso el retratamiento de ripios mediante la nueva ruta tecnológica, lo que significó a numerosas explotaciones mineras la viabilidad económica de procesar minerales disponibles, aunque fueran de muy baja ley, con costos de extracción minera ya pagados.

B. Características de la lixiviación en pilas

Una de las principales características distintivas de la lixiviación en pilas según el concepto TL es el pretratamiento de los minerales. Esta operación consiste generalmente en una trituración del mineral, a un alto grado de fineza –al punto que resultaba imposible su procesamiento posterior con las tecnologías existentes, la aglomeración de los finos en torno a las partículas mayores con agua y ácido sulfúrico concentrado, operación esta última que se conoce bajo el nombre de “curado”. Mediante este proceso se ha logrado elevar la resistencia del material mientras se mantiene una buena permeabilidad del lecho del mineral con el fin de alcanzar alturas de pilas adecuadas, mejorar los índices de recuperación de cobre y acortar los ciclos de lixiviación. En las operaciones modernas la altura de las pilas suele variar entre 2 y 8 metros en contraste con la lixiviación en botaderos donde las alturas son generalmente mucho más altas. En consecuencia, varían también los ciclos de lixiviación y las posibles extracciones de cobre final. En la lixiviación en pilas TL ocurren ciclos de menos de 90 días para minerales oxidados y de 4 a 18 meses para los sulfurados, mientras en la lixiviación en botaderos los ciclos pueden durar entre 2 y 25 años con recuperaciones muy inferiores.

Otra característica de la lixiviación en pilas TL radica en el tipo de minerales que pueden ser procesados. Normalmente se procesan por esta vía óxidos y sulfuros secundarios para minerales de leyes bajas, intermedias o altas en el rango de 0,3 a 1,5%. En la lixiviación en botaderos, en cambio, se tratan minerales de baja ley del orden del 0,1 al 0,5%, incluidos sulfuros primarios. Por otra parte, la lixiviación por agitación se aplica únicamente a minerales finos tales como concentrados, calcinas y colas, para la recuperación de óxidos. La topografía y la preparación del piso es otra característica que distingue a la lixiviación en pilas. El piso, que debe ser esencialmente plano, es impermeabilizado con membranas plásticas para facilitar la recolección de los lixiviados, evitar pérdidas y prevenir la

contaminación de las napas subterráneas de agua. En la lixiviación en botaderos, la situación es distinta. Frecuentemente se explotan botaderos antiguos que se establecieron, sin que se hubiese considerado la posibilidad de una operación de lixiviación, en cañones o laderas que permitieran una disposición fácil de los residuos. Por lo tanto los pisos suelen ser inclinados y no llevar ninguna preparación excepto la necesaria en los perímetros para recoger los líquidos percolados. Relacionado con las características topográficas y mineralógicas está el tipo de tecnología utilizado en las operaciones de transporte y disposición de los minerales. En el caso de la lixiviación en pilas suelen emplearse actualmente correas transportadoras unidas a apiladoras de diseño especial para la formación de las pilas y cargadores frontales o excavadoras para su retiro y traslado. En el caso de la lixiviación en botaderos, los minerales son dispuestos con camiones volquetas y una vez terminado el ciclo de lixiviación los materiales quedan en el mismo lugar.

Como se ha mencionado anteriormente, los procesos hidrometalúrgicos asociados con la electro-obtención para el procesamiento de los sulfuros presentan la ventaja de evitar los problemas ambientales de emisiones de óxidos sulfurados y de polvo que produce la ruta clásica de fundición pirometalúrgica. Naturalmente los procesos hidrometalúrgicos no están exentos de riesgos ambientales aunque estos son más fáciles de prevenir o corregir que los provocados por los gases de las fundiciones. También es necesario prevenir descargas accidentales de licores desde la planta o el sitio de la mina ya sea al subsuelo o al sistema de drenaje de la superficie. Además existen riesgos ambientales asociados al transporte del ácido sulfúrico que consume el proceso. Por otro lado se puede señalar que los procesos de lixiviación presentan un mercado para el ácido sulfúrico que generan las instalaciones de las fundiciones de cobre como parte de las medidas de descontaminación.

Una característica que comparte la lixiviación en pilas TL junto con la lixiviación en botaderos y la lixiviación *in situ* es la acción aceleradora de bacterias en el proceso de tratamiento de minerales sulfurados, tales como calcocita, covelita, bornita y calcopirita, acompañada de pirita. La presencia de bacterias con acción oxidante de sulfuros tales como *Thiobacillus ferrooxidans* y *Leptospirillum ferrooxidans* ha sido reconocida desde hace bastante tiempo y el potencial de la lixiviación bacteriana es aprovechado actualmente en la mayoría de las modernas operaciones. La viabilidad técnico-económica del proceso de lixiviación bacteriana fue demostrada por primera vez en la mina Lo Aguirre mediante un extenso programa experimental. Las condiciones operacionales del proceso dependen en general de las características particulares de los minerales. Como resultado de estos trabajos experimentales se logró diseñar una metodología de optimización del proceso considerando variables tales como flujos de soluciones, concentración de ácido y pH, nivel de impurezas en las soluciones de lixiviación y altura de las pilas. Desde el punto de vista del mineral el grado de trituración es fundamental para el acceso de las bacterias hasta las partículas mineralizadas. Además es importante asegurar una permeabilidad adecuada de los minerales a las fases gaseosas y líquidas. Esta combinación de alta trituración y buena permeabilidad en realidad es uno de los aspectos claves del proceso de lixiviación en pilas TL.

C. La evolución de la producción de cobre según los procesos de lixiviación, extracción por solventes y electro-obtención

En el período 1990-1998 la producción mundial de cátodos que se originaba en procesos de lixiviación de todo tipo, extracción por solventes y electro-obtención aumentó de 708.000 toneladas a 2.013.000 toneladas. La participación que tuvo la producción de cobre por esta vía en la producción total del mundo occidental de cobre proveniente de mineral pasó en este período del 9,6% al 19,8% (véase cuadro A-4 del anexo). De esta manera, el 46,7% del aumento de la producción mundial de cobre entre ambos años provino de estos procesos hidrometalúrgicos. En el

cuadro 1 se presenta una estimación de la producción de cátodos según distintos procesos de lixiviación entre 1990 y 1998. Como puede observarse, la producción de cátodos por la vía lixiviación en pilas, extracción por solventes y electro-obtención se incrementa desde una cantidad muy pequeña en 1990 hasta 1,100,000 toneladas en 1998, alcanzando en este último año el 55% del conjunto de los procesos hidrometalúrgicos considerados. En cambio, la producción hidrometalúrgica de cobre vía otros procesos de lixiviación aumentó sólo en un 37% en términos aproximados. Por lo tanto, en el año 1998, la producción de cobre electro-obtenido vía de lixiviación en pilas y extracción por solventes habría alcanzado aproximadamente un 11% de la producción mundial de cobre proveniente de mineral.

Cuadro 1
PRODUCCIÓN MUNDIAL DE COBRE POR DISTINTOS
PROCESOS DE LIXIVIACIÓN, 1990 Y 1998
(en miles de toneladas / año)

	1990	1998
Lixiviación en pilas	43	1 100
Otros procesos de lixiviación	665	900
TOTAL	712	2 000

Fuente: estimaciones en base de datos proporcionados por la Dirección de Estudios de la Corporación Chilena del Cobre

II. El desarrollo de la lixiviación en pilas tl y del proceso de lixiviación en pilas tl, extracción por solventes y electro-obtención en la sociedad minera Pudahuel

A. El origen de la sociedad minera Pudahuel y del proyecto Lo Aguirre

En el año 1969, un grupo empresarial chileno, con vinculaciones industriales y financieras, tomó la decisión de encauzar tecnología y recursos financieros hacia el sector minero de la economía. El objetivo de este grupo era incorporar al desarrollo de la minería a empresas chilenas que históricamente no habían estado ligadas a este sector y cuyo concurso y aporte se visualizaba podían llegar a ser valiosos. Para este efecto se fundó la Sociedad Minera Pudahuel Ltda. y Cía. C.P.A. (SMP) que adquirió los yacimientos La Africana y Lo Aguirre a la Santiago Mining Company, una subsidiaria de The Anaconda Co. Esta nueva sociedad continuó la explotación de la mina La Africana, al tiempo que amplió la capacidad de la planta de concentración y mejoró las condiciones ambientales para sus trabajadores. Al mismo tiempo se empezó a estudiar el proyecto “Lo Aguirre” con fines de explotación de este yacimiento. En el período 1971 a 1973 la sociedad fue intervenida por el gobierno. Cuando en 1974 la sociedad vuelve a recuperar su propiedad, sigue la explotación

de la mina La Africana hasta 1978, año en que se paralizan las faenas extractivas por agotamiento del yacimiento.

El yacimiento Lo Aguirre está ubicado 30km al oeste de Santiago a un costado de la carretera a Valparaíso cerca del lugar donde se encontraba originalmente la mina y la planta de La Africana. Se trata de un yacimiento antiguo que fue explotado incluso durante algún tiempo en la época colonial. En 1914 fue redescubierto y explorado por William Braden. Más tarde se retomaron las exploraciones, primero por parte de Anaconda y luego por SMP. El yacimiento constituía para SMP un verdadero desafío cuando lo adquirió en 1969. En particular, el hecho de encontrarse cerca de una ciudad y en una de las mejores regiones agrícolas del país implicaba considerar medidas especiales de prevención de contaminación ambiental. Además, aunque la ley de cobre era uniforme y, siendo ligeramente superior a 2%, bastante buena, la mineralización no era muy adecuada para un tratamiento por los procesos convencionales. El yacimiento en sí mismo presentaba también algunos problemas debido a una distribución irregular de óxidos, sulfuros secundarios y mezclas de ambos. Las reservas fueron determinadas en aproximadamente 10 millones de toneladas con un corte de minerales cuya ley de cobre era inferior al 0,8%. La explotación se haría a tajo abierto y se proyectaba una producción diaria de 2.800 toneladas de mineral con una remoción de 6.900 toneladas diarias de lastre en promedio.

Con estos antecedentes se evaluó la tecnología existente, lo que evidenció las siguientes dificultades: en primer lugar, elevadas inversiones por la necesidad de prever rutas de tratamiento diferentes para cada una de las dos calidades de minerales. Con los procesos convencionales se iba a obtener cemento cobre y concentrados de sulfuros, productos intermedios ambos considerados de baja calidad. En segundo término, contaminación de las áreas circundantes debido a la necesaria descarga de aguas contaminadas provenientes de la recuperación del cobre vía cementación. Por último, bajos índices de recuperación y bajos grados de concentración de cobre debidos a un elevado índice de trabajo de las rocas y a un grano extremadamente fino de los compuestos de cobre, lo que habría exigido una molienda sumamente fina del mineral y significado, por lo tanto, un alto consumo de energía eléctrica.

B. La búsqueda de alternativas metalúrgicas

Al terminar la intervención de la sociedad hacia fines del año 1974, el proyecto se pone nuevamente en marcha. En primer lugar se actualizó el estudio inicial y se buscaron nuevas técnicas metalúrgicas aplicables al mineral. En vez del proceso de cementación se consideró utilizar la ruta de extracción por solventes y electro-obtención (SX - EW). Entre las técnicas de lixiviación que debían ser examinadas, se incluyó la lixiviación TL (*Thin Layer*) o de capa delgada de la firma Holmes & Narver (H & N), California. Esta tecnología, si bien aún no aplicada industrialmente, presentaba las siguientes ventajas: bajos costos de inversión y de operación; proceso sencillo, lo que permitiría alcanzar buenos rendimientos de recuperación; fácil disposición de los rípios y combinación eficiente con el proceso SX - EW. En 1975, el laboratorio Hazen Research Inc. de Arizona, EEUU., sometió muestras de mineral de Lo Aguirre a ensayos metalúrgicos para evaluar la lixiviación en pilas TL comparándola con la lixiviación en bateas y la de agitación. Estos estudios indicaron que un método combinado de lixiviación en pilas TL, extracción por solventes y electro-obtención para la fracción de los óxidos junto con un proceso de flotación para la fracción sulfurada de los minerales podría ser técnicamente factible y económicamente rentable. En consecuencia se contrató un estudio de factibilidad a la firma Holmes & Narver Inc., que además de ser dueño de una patente de la lixiviación TL, era un especialista mundial en la técnica de extracción por solventes. Las conclusiones de este estudio indicaron que con las nuevas tecnologías hidrometalúrgicas se podía maximizar la rentabilidad del proyecto en un período de explotación de 10 años. Sin embargo, la tecnología de lixiviación en pilas TL no había

sido probada aún sino en el ámbito de laboratorio y H & N, que pedía el pago de 1 millón de dólares por concepto de licencia, no ofreció ninguna garantía real en cuanto a los resultados que se podían lograr. No obstante, considerando el prestigio en ingeniería que gozaba el oferente de tecnología, SMP le otorgó un contrato de ingeniería, asesoría de construcción, adquisición de equipos y asesoría de puesta en marcha.

En este momento el proyecto preveía la construcción de dos plantas: una de lixiviación en pilas, extracción por solventes y electro-obtención para los óxidos de cobre y minerales mixtos y otra planta de molienda y flotación para los sulfuros de cobre. Esta última procesaría tanto los minerales sulfurados puros como las colas de lixiviación de los minerales mixtos. La inversión inicial necesaria fue estimada en 31 millones de dólares incluidos los costos de ingeniería, desarrollo de mina, equipos, construcciones, capital de trabajo, puesta en marcha e intereses durante el período de construcción. La construcción de la planta concentradora, con una inversión adicional de 7,8 millones de dólares, fue diferida hasta el tercer año de operaciones cuando comenzarían a explotarse los minerales mixtos.

En el curso del año 1975, la gerencia de SMP tomó conocimiento de los resultados de una investigación centrada en el tema de la extracción por solventes que se había realizada en el Instituto de Investigaciones Tecnológicas (INTEC) de la Corporación de Fomento (CORFO). Se trataba de una investigación efectuada como parte de una tesis de grado del ingeniero metalúrgico Esteban Domic, egresado de la Universidad de Chile. Con el objeto de reforzar su equipo de técnicos y de preparar la incorporación de tecnologías que eran completamente desconocidas en Chile, SMP incorporó a fines de ese año al ingeniero Domic a su planta de personal. Un año más tarde, cuando H & N ya había completado el 85% de la ingeniería básica del proyecto, el proyecto fue suspendido a raíz de problemas internos que habían surgido en el seno de SMP. Sin embargo, el equipo técnico de SMP continuó los trabajos experimentales que se habían iniciado anteriormente con el objeto de conocer mejor la tecnología seleccionada.

C. El inicio de los desarrollos tecnológicos propios de SMP y la construcción de la planta Lo Aguirre

Durante el año 1977 los trabajos experimentales del equipo técnico de SMP estuvieron orientados a realizar una serie de ensayos con muestras de mineral extraídas de todas las zonas importantes del yacimiento. En particular se realizaron ensayos de lixiviación en columnas de laboratorio como parte de un programa de evaluación de los reactivos que serían empleados en el proceso SX - EW. Estos ensayos permitieron revisar los resultados de los trabajos que anteriormente había efectuado Hazen Research por mandato de H & N al tiempo que se obtuvieron valiosos antecedentes adicionales sobre la tecnología TL. Con el avance de los trabajos de investigación y desarrollo en las instalaciones de la SMP se llegó al convencimiento que el concepto original de la lixiviación de pilas, tal como estaba definido en la patente de invención y los documentos de ingeniería básica de H & N, adolecía de errores fundamentales que harían impracticable su aplicación en escala industrial. En particular, el ingeniero Domic descubrió a raíz de los ensayos conducidos por él que, tal como estaba concebido, el proceso iba a generar un excedente de ácido diluido, que no sería absorbido en la fase de lixiviación durante el período de seis días en que debía realizarse el proceso conduciendo a una progresiva concentración del ácido en las soluciones de lixiviación. Se requería por lo tanto un período más largo de lixiviación. La verificación de estos resultados de laboratorio requería nuevas inversiones en la planta piloto para dotarla de instalaciones de lixiviación.

Hacia fines del año 1977 comenzaron a solucionarse los problemas gerenciales de la compañía. En esa época el directorio decide la contratación de Robert M. Haldeman como gerente

general de la empresa. Haldeman, de nacionalidad norteamericana, que se había desempeñado anteriormente como Vicepresidente Ejecutivo de Braden Kopper Co., subsidiaria de Kennecott Corporation, en la mina El Teniente hasta la nacionalización de la empresa, contaba con una vasta experiencia gerencial en la minería. Una de las importantes decisiones que se tomaron entonces fue la construcción de la planta piloto de lixiviación junto con una invitación extendida a H & N de acompañar la nueva serie de ensayos. Durante los primeros dos meses de ensayos ingenieros de H & N, incluido el Dr. P.H. Johnson, inventor del proceso TL, participaron en ellos. Estos ensayos que se llevaron a cabo en marzo y abril de 1978 comprobaron las tesis de los experimentos de lixiviación conducidos anteriormente por el equipo de SMP en columnas al tiempo que permitieron plantear un perfeccionamiento del proceso original en varios aspectos. Entre otros se elevaron significativamente los índices previstos de recuperación de cobre, tanto en su forma soluble de oxidados como en su forma insoluble de sulfurados.

Como los trabajos de ingeniería del proyecto aún no se reanudaron, SMP continuó las investigaciones en la planta piloto LX - SX - EW tratando de resolver algunos problemas operacionales pendientes y de optimizar el proceso. En cuanto al excedente del ácido generado en los circuitos del proceso se consideraron las siguientes alternativas: (i) incrementar el área destinada a las pilas de mineral, lo que habría significado un aumento de la inversión destinada a las instalaciones de las pilas del orden de dos a tres veces la inversión original; (ii) prever una sangría de las soluciones de ácido para evitar el crecimiento de la concentración de ácido, lo que planteaba el problema de cómo prevenir la contaminación ambiental hídrica; (iii) reducir la cantidad de ácido agregado durante la etapa de curado del mineral pero en este caso la principal ventaja de la lixiviación TL sería comprometida puesto que la recuperación del cobre sería inferior y habría que enfrentar una caída neta en la recuperación de cobre; (iv) elevar el tiempo de retención mediante el aumento de la altura de las pilas por un factor estimado en dos a tres, lo que significaba violentar una de las características fundamentales de la patente original del proceso TL y enfrentar problemas de permeabilidad.

En agosto de 1978 ya se habían logrado algunos adelantos fundamentales que permitieron seleccionar la última de las alternativas como la más atractiva. En primer lugar, estudios microscópicos indicaron que se podría elevar la recuperación de cobre en 2% a 3% adicionales reduciendo el mineral a un menor tamaño de lo originalmente especificado, dentro de las limitaciones de los trituradores que habían sido seleccionado para el proyecto. En cuanto a las fracciones de finos que obstaculizaban la permeabilidad se descubrió que una adición cuidadosamente dosificada de ácido durante la operación de curado producía un aglomerado suficientemente resistente para soportar las presiones de material apilado en mayores alturas y a la vez con una porosidad que facilitaba la acción disolvente de las soluciones de lixiviación. Mediante estos perfeccionamientos se logró formar pilas de 2,5 a 3 metros de altura, alcanzar un balance equilibrado de ácido y aumentar nuevamente la recuperación del cobre contenido en los minerales. El tiempo de lixiviación se estableció en 18 días para la misma planta que H & N había diseñado. Además mediante ensayos adicionales de los rípios resultantes de la lixiviación original se comprobó que se podría alcanzar niveles de recuperación de 45% para los compuestos sulfurados—hasta entonces considerados insolubles— en un segundo ciclo de lixiviación corto. Además, se observó que, al extender el ciclo de lixiviación, se podrían alcanzar para estos compuestos recuperaciones de hasta 85% en total. Estos adelantos permitieron descartar la planta de concentración que había sido concebida originalmente para las fracciones sulfuradas de mineral y lograr un sistema de cero descarga de efluentes que respondía a todas las normas de regulación ambiental. Como consecuencia de estos cambios tecnológicos la inversión total del proyecto fue estimada en un tercio de la cifra correspondiente al proceso convencional. Por último, ante las fallas comprobadas en su propuesta H & N se retiró del proyecto cuya continuación quedó entonces enteramente en manos de SMP.

En septiembre de 1978, una nueva organización gerencial de SMP encabezada por Haldeman dio su aprobación final al proyecto de mina y planta metalúrgica confeccionado de acuerdo con los lineamientos del nuevo concepto TL – SMP. Se resolvió que había que completar la ingeniería, iniciar la construcción y disponer la adquisición de los equipos. La construcción y toda la ingeniería de cierta relevancia fueron desarrolladas directamente bajo la responsabilidad de la gerencia de SMP con la participación de contratistas en su mayoría empresas locales, tales como Empresa de Obras y Montajes Ovalle, Moore y Compañía, Ingeniería y Construcción Sigdo Koppers, Chilectra, Rodrigo Flores y Asociados y Maestranza Maipú. Dos años más tarde, en septiembre de 1980, la planta inició sus operaciones alcanzando su plena capacidad de diseño al cabo de 45 días. Durante los primeros dos años de funcionamiento la planta de Lo Aguirre tuvo costos de operación que fueron entre la mitad y los dos tercios más bajos que los costos correspondientes a las tecnologías tradicionales. Estos reducidos costos de operación permitieron mantener la mina Lo Aguirre funcionando durante un largo período de bajos precios del cobre, cuando numerosas otras minas pequeñas y medianas tuvieron que suspender sus actividades.

Durante el período de la preparación, construcción y puesta en marcha de la mina y la planta SMP continuó los trabajos de investigación y desarrollo en la planta piloto con el objeto de optimizar el proceso en todas sus etapas. A mediados del año 1979, los perfeccionamientos logrados en la planta piloto de SMP, que tuvieron un costo superior a 1 millón de dólares, habían madurado a tal punto que justificaron solicitar el registro de una patente de invención. Además se pactó con H & N la comercialización conjunta de la tecnología para lo cual ambas empresas firmaron un acuerdo de explotación y propiedad compartida de las patentes que poseían cada una. Materia de este acuerdo fue también la cancelación del pago de los *royalties* que SMP debía a H & N por un valor de 1 millón de dólares. De esta manera H & N reconoció los fundamentales adelantos aportados por SMP al proceso TL original. En 1981 Domic obtuvo en Chile el registro de una patente de invención por los mejoramientos aportados al proceso TL. Además SMP logró el reconocimiento de esta patente de invención en Canadá, Perú y Unión Sudafricana. En cambio no se completaron los trámites de patentes en Australia y tampoco en EE.UU., en este último caso por el costo que significaba una prolongada tramitación y defensa de la patente.

Paralelamente, SMP adquirió en 1980 la mina de cobre La Sagasca que estaba en quiebra. El mineral de este yacimiento consistía en crisocola con un 2% de óxidos de cobre en una matriz rica en calcitas y dolomitas. La planta que inició sus operaciones en 1972 consistía en un proceso de lixiviación en bateas y cementación. Al hacerse cargo de la empresa, SMP introdujo la lixiviación en pilas TL, adaptando en particular la operación de aglomeración del proceso al tipo de mineral extraído. El éxito fue rotundo: el consumo de ácido sulfúrico disminuyó a cerca de la mitad, al tiempo que el ciclo de lixiviación se redujo notablemente. La capacidad de tratamiento de minerales pasó de 65.000 toneladas a 120.000 toneladas por mes y la producción se elevó a 22.000 toneladas anuales de cobre contenido en cemento de cobre comparado con los 12.000 a 13.000 toneladas anuales de cobre obtenidas anteriormente.

D. La creación del Departamento de Investigación y Desarrollo en SMP y el desarrollo de la lixiviación bacteriana

Hasta la puesta en marcha de la planta Lo Aguirre y durante los primeros meses de operación, los esfuerzos de desarrollo tecnológico de SMP estuvieron caracterizados por un marcado empirismo y pragmatismo con el objeto de asegurar lo antes posible la producción de un producto comercializable y la generación de ingresos. Cumplida esta etapa y ante la perspectiva de nuevos perfeccionamientos del proceso, SMP creó en 1981 un grupo de investigación y desarrollo bajo la dirección del ingeniero Domic. Una de las tareas que tuvo por delante este grupo fue la

investigación sistemática de los mecanismos de lixiviación bacteriana aplicable a los sulfuros de cobre. Ya en la etapa anterior a la puesta en marcha de la planta hidrometalúrgica se habían hecho algunos descubrimientos importantes. En particular se había observado que el fierro disuelto, como una de las impurezas de la disolución de oxidados, se presentaba en su estado de valencia más oxidada, como sulfato férrico, el cual tenía un efecto lixivante sobre los compuestos sulfurados y, por lo tanto, su acción mejoraba la recuperación de cobre del mineral. Esto es una particularidad del proceso TL que lo hacía único frente a los procesos tradicionales de lixiviación en bateas o de agitación donde normalmente el fierro se presenta reducido, es decir como sulfato ferroso. Posteriormente se pudo determinar que al aplicar una nueva lixiviación a los rípios del botadero final de Lo Aguirre por un tiempo de 6 a 10 meses —operación que se designaba como lixiviación secundaria— se alcanzaban valores de recuperación para la pila completa de un 85% global en términos aproximados. Además se pudo comprobar la función catalizadora que ejercían las bacterias presentes en el mineral en las reacciones químicas que convertían de insolubles a solubles los compuestos sulfurados. Por lo tanto, las investigaciones se orientaron a crear condiciones operacionales que optimizaran la acción bacteriana. Por una parte, los esfuerzos se dirigieron a lograr un mayor dominio de las técnicas de aglomeración, lo que finalmente permitió elevar la altura de las pilas a más de 6 metros y luego a más de 8 metros y de esta manera mejorar aún más las condiciones de permeabilidad. Por otra parte se procuró crear condiciones de ambiente óptimas para las bacterias a través de un adecuado manejo de las variables operacionales tales como el flujo de las soluciones lixiviantes, secuencia entre períodos de aspersión de las pilas y períodos de aireación, concentración de ácido y pH así como nivel de impurezas en las soluciones de refinado. En tres años se sometieron 1.5 millones de toneladas de rípios a pruebas piloto.

La explotación del yacimiento Lo Aguirre significaba una progresiva disminución de los óxidos y un aumento proporcional de los sulfuros en los minerales de cobre extraídos. Debido a esta situación la producción de cátodos acusaba una paulatina declinación desde 15.000 toneladas anuales al inicio hasta 13.000 toneladas anuales en el año 1985. Con el objeto de volver a los niveles iniciales de producción SMP construyó una segunda unidad de extracción por solventes que fue puesta en operación a fines de este mismo año. La nueva unidad fue similar en su capacidad de tratamiento a la empleada en combinación con la lixiviación primaria. Esta vez el proyecto de ingeniería se realizó desde un principio internamente y la construcción de la nueva planta no demoró más de seis meses. Debido, entre otros factores, a las modificaciones tecnológicas incorporadas a la nueva unidad, el costo de inversión fue inferior esta vez a la tercera parte del de la unidad original construida de acuerdo con las especificaciones y el diseño de H & N.

E. El proceso de aprendizaje

Desde un principio el Departamento de Investigación y Desarrollo de SMP realizó ensayos de lixiviación con muestras de minerales por encargo de la propia empresa y de terceros. Para este efecto contaba con un laboratorio metalúrgico y dos plantas piloto. Estas instalaciones tenían la capacidad de efectuar simultáneamente hasta 80 pruebas en escala semi-piloto y, en escala piloto, el tratamiento continuo de unas 15 toneladas de minerales por carga, en dos circuitos cerrados. Cada circuito comprendía operaciones de chancado, lixiviación TL, extracción por solventes y electro-obtención. De las dos plantas piloto, una estuvo permanentemente habilitada para las operaciones de la mina Lo Aguirre. La otra se ocupó para estudios hidrometalúrgicos de minerales de terceros y estuvo operando sea en Lo Aguirre sea en el lugar del cliente. Con esta infraestructura física, el Departamento de Investigación y Desarrollo estuvo en condiciones de efectuar numerosos ensayos con muestras de minerales de distinta procedencia, lo que le permitió acumular un importante *know how* y ampliar considerablemente el campo de aplicación de la nueva tecnología.

A continuación se mencionan algunos trabajos realizados entre 1982 y 1996, año este último en que se extinguió la validez de la patente de invención en Chile.

Uno de los primeros trabajos fue para el proyecto Wadi Araba, un yacimiento cuprífero en Jordania. SMP efectuó ensayos con 600 toneladas de mineral que para este propósito se enviaron a Chile. El cobre estaba presente en forma de óxidos. Los minerales eran altamente disgregables y por lo tanto una parte del esfuerzo estuvo dirigido a adecuar los métodos de aglomeración. Las muestras fueron primero estudiadas mediante un modelo fenomenológico de la lixiviación TL. Los resultados de este estudio fueron confirmados con pruebas que se hicieron durante tres meses en planta piloto. Además hubo que resolver una serie de otros problemas tales como desprendimiento de cloro durante el ataque del ácido al mineral; consumo anormalmente alto de ácido de los constituyentes de la ganga y alto nivel de impurezas solubles en ácido en las soluciones de lixiviación. Los trabajos se extendieron por seis meses al cabo de los cuales se entregaron los parámetros de ingeniería conceptual que habían sido pedidos por las empresas de ingeniería a cargo del proyecto.

A partir de 1982 se condujeron investigaciones para el proyecto de Quebrada Blanca, un yacimiento de sulfuros a 4.200 m de altura. A pedido del cliente se estudió primero una opción de recuperaciones rápidas en torno a un 40% de cobre contenido. En una segunda etapa se estudiaría con plazos mayores la recuperación del cobre restante. Al principio se analizaron en laboratorio varias muestras de distinta ley y mineralogía que posteriormente fueron sometidas a ensayos piloto con resultados alentadores. La segunda etapa del trabajo, apuntaba a una optimización de la recuperación secundaria mediante un pilotaje en el lugar del yacimiento, fue suspendida al cambiar el propietario de la compañía que lideraba el proyecto. Algunos años más tarde se reanudaron los trabajos de investigación y hacia fines de la década de los ochenta se construyó una planta piloto en el lugar del yacimiento de acuerdo al diseño de la Gerencia de Investigación y Desarrollo de SMP, que luego supervisa también sus operaciones. La planta comercial, que entró en funcionamiento en 1994 con una capacidad de diseño de 75.000 toneladas de cátodos de cobre por año, fue la primera en el mundo que aplicó el proceso de lixiviación en pilas a minerales exclusivamente sulfurados de tipo calcocitas. Debido a la climatología particular del ambiente hubo que concebir una serie de soluciones operacionales novedosas tales como precalentamiento de las soluciones de lixiviación y dispositivos de goteo semienterrados para la distribución de las soluciones de lixiviación. Como remuneración de su trabajo y el aporte de su patente a este proyecto, SMP recibe una proporción de las acciones de la nueva empresa y el derecho a aumentar su participación mediante aumentos de capital, lo que la hace participar finalmente con un 13,5% en el capital accionario de la compañía.

A solicitud de las autoridades regionales y asociaciones mineras de la Provincia de Chañaral, IIIª Región, SMP realizó en 1984 y 1985 pruebas sobre minerales procedentes de diferentes minas de la Pequeña Minería. Los trabajos incluyeron 3 meses de ensayos en una de las plantas piloto de SMP que se trasladó para este efecto a la localidad de Diego de Almagro. Con este emplazamiento fue posible simular la diversidad de abastecimiento que tendría una planta procesadora de minerales en esta localidad. Los resultados técnicos fueron altamente satisfactorios dando origen a un estudio de ingeniería conceptual y de evaluación económica para la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). Este estudio concluyó que una planta comercial pequeña, de solo 500 toneladas de mineral por día y 3.000 toneladas de cátodos por año, ubicada en pleno desierto de Atacama, sería altamente rentable.

En la segunda mitad de la década de los años ochenta, SMP comenzó a realizar ensayos sobre minerales del proyecto Cerro Colorado, de propiedad de la canadiense Río Algom. Durante los dos primeros años, SMP sometió los minerales de este yacimiento a ensayos en Lo Aguirre. Posteriormente se efectuó un pilotaje demostrativo durante un año en el lugar del yacimiento con el diseño y bajo la supervisión de la Gerencia de Investigación y Desarrollo de SMP. En este proyecto

se logró combinar en una operación única el tratamiento de óxidos mixtos y sulfuros puros como parte del proceso LX – SX – EW. El proceso de lixiviación bacteriana previó la aglomeración de minerales y la tecnología TL bajo un acuerdo de licencia con SMP que incluía el pago de regalías por libra de cobre producido.

F. La reestructuración de la actividad de investigación y desarrollo en la SMP y su declinación

A principios de 1986, Haldeman refuerza el Departamento de Investigación y Desarrollo con varios investigadores como parte de una estrategia de intensificar la venta de la tecnología desarrollada por SMP. A la vez se adoptaron medidas legales orientadas a impedir el uso no autorizado de la tecnología patentada por parte de terceros. Esteban Domic se retira de la compañía y la gerencia de este departamento es asumida por el ingeniero Raúl Montealegre. No obstante un importante esfuerzo promocional que incluyó en particular realizar ensayos de minerales para terceros en forma gratuita sólo varios años más tarde se logró formalizar contratos de venta de la tecnología. Una de las principales razones de estas dificultades fueron los precios deprimidos del cobre en el mercado internacional, lo que frenaba fuertemente la concreción de nuevos proyectos en la minería de cobre. También hubo otras razones. En el caso particular del proyecto La Escondida se descartó la posibilidad de emplear la lixiviación en pilas TL argumentando que el proceso no había sido probado en una escala compatible con el tamaño que exigía este proyecto. Finalmente los esfuerzos de SMP fructificaron con el cierre de varios negocios. Uno de ellos fue un proyecto adonde había emigrado el ingeniero Domic, a saber el proyecto Lince, puesto en marcha en 1991, al cual SMP otorgó una primera licencia de uso de patente. Otros dos fueron los yacimientos Quebrada Blanca y Cerro Colorado, mencionados anteriormente.

Con el objeto de independizar la venta de tecnología y *know how* y de continuar desarrollando nuevas tecnologías SMP funda en 1995 SMP Tecnología, firma a la que transfiere los recursos de su Gerencia de Investigación y Desarrollo. De las 40 personas que se incorporaron a SMP Tecnología, doce eran investigadores especializados en hidrometalurgia e ingenieros de distintas especialidades, todos altamente calificados. Además, este grupo de personas se incorporó como accionistas a la nueva compañía. Los objetivos de SMP Tecnología eran por una parte la venta de servicios tales como estudios experimentales de minerales y diseño de los procesos productivos para nuevos proyectos mineros y, por otra, el desarrollo de nuevos procesos hidrometalúrgicos para el tratamiento de minerales. Una de las condiciones de funcionamiento de SMP Tecnología era el autofinanciamiento mediante la venta de servicios y la obtención de contratos para los proyectos de investigación y desarrollo. Un año después de su fundación se vio que a mediano plazo este objetivo no era alcanzable por falta de demanda de parte de las empresas mineras que en este momento llevaban adelante proyectos de desarrollo minero en el país, la inexistencia de otras fuentes de financiamiento y la renuencia de SMP como accionista principal de SMP Tecnología de subvencionar o financiar proyectos de desarrollo tecnológico cuyo retorno se visualizaba incierto o en el largo plazo. Esta situación ocasionó el retiro de los investigadores y otros profesionales de alta calificación de SMP Tecnología junto con una reducción drástica de las actividades.

III. Los aportes del “*cluster*” minero local al desarrollo tecnológico de SMP

A. Centros de investigación tecnológica

1. Las investigaciones del INTEC en el campo de la extracción por solventes

El Instituto Tecnológico de Chile INTEC-CHILE fue fundado en 1968 como una entidad dependiente de la Corporación de Fomento de la Producción, CORFO. Fue creado como un organismo multidisciplinario de investigación tecnológica tendiente al desarrollo de productos y procesos, así como a la solución de los problemas que enfrentaban las empresas manufactureras y mineras en este ámbito. Dos años más tarde fue inaugurado el primer edificio de la institución en Santiago. La creación de INTEC-CHILE formaba parte de la política de industrialización vigente en esta época, proceso que demandaba acelerar el ritmo de innovación tecnológica. En este contexto la adquisición de nuevas tecnologías y métodos de producción eran considerados requisitos indispensables para el desarrollo del país.

Al iniciar sus actividades la nueva institución recibió asistencia técnica de instituciones norteamericanas en el marco de los convenios de cooperación tecnológica internacionales vigentes en esa época. Entre los años 1969 y 1972 se desempeñaba como asesor institucional

el señor Robert Filbert, investigador de la prestigiosa institución norteamericana Battelle Memorial Institute, con su sede central en Columbus, Ohio. El Instituto Battelle, que en esa época fue una de las más importantes instituciones privadas de investigación por contrato en EE.UU., albergaba como parte de su organización multidisciplinaria un centro de excelencia en metalurgia extractiva. En particular Filbert era un experto en extracción por solventes e hidrometalurgia, circunstancia que influyó marcadamente sobre la orientación de los trabajos del departamento de Metalurgia Química y Preparación Mecánica de INTEC-CHILE que fue creado para responder a los requerimientos tecnológicos del sector minero chileno.

Por otra parte, entre 1971 y 1972 prestó asesoría en el área metalúrgica el experto internacional Helmut Tribusch quien disponía de conocimientos avanzados en electroquímica, los que trató de aplicar a algunos campos de la hidrometalurgia, entre otros a las tecnologías de lixiviación bacteriana. Bajo la inspiración de Tribusch se iniciaron en INTEC-CHILE estudios e investigaciones de laboratorio tendientes a explorar el potencial de estas nuevas tecnologías en la minería chilena. En el marco de estas actividades se realizaron también tesis de grado de egresados de ingeniería. El financiamiento de las actividades del departamento de Metalurgia Química y Preparación Mecánica provino de aportes estatales al igual que para la mayoría de las otras actividades de INTEC-CHILE.

Durante el período del gobierno de la Unidad Popular, 1971 al 1973, la política era no divulgar los resultados de investigaciones de este departamento. En 1974, una nueva directiva de INTEC-CHILE determinó difundir algunos trabajos en el sector minero del país mediante una distribución de los respectivos informes entre las principales empresas mineras. De esta manera SMP tuvo conocimiento de las investigaciones que se habían realizado en ámbitos tecnológicos específicos relacionados con el proyecto Lo Aguirre. Una de las consecuencias fue la contratación del ingeniero Domic como fórmula para incorporar los conocimientos sobre las nuevas tecnologías estudiadas en INTEC-CHILE.

2. Las investigaciones contratadas a centros de investigación tecnológica en relación con la lixiviación bacteriana

Como parte del programa de investigación de la lixiviación bacteriana, durante 1979 y 1980 SMP subcontrató diversos trabajos a algunos centros tecnológicos del país. Estos fueron en particular el Instituto Tecnológico de Chile –INTEC-CHILE, el Centro de Investigación Minera y Metalúrgica –CIMM y el Departamento de Ingeniería de Minas y el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Chile. Estos trabajos estuvieron en buena parte relacionados con la identificación de procesos de oxidación alternativos para el tratamiento de los sulfuros. Una de las razones que SMP tuvo para subcontratar estos trabajos fue que INTEC-CHILE contaba con laboratorios y personal especializados para realizar investigaciones sobre temas biológicos y CIMM poseía equipos de microsonda y microscopio electrónico, así como los especialistas para operarlos, lo que permitía a estas instituciones analizar las especies minerales involucradas mientras al principio la compañía no disponía de instalaciones de este tipo y tampoco tenía sentido adquirirlas debido a su alto costo.

Esta subcontratación se practicó principalmente durante el período 1978–1981. Tuvo un carácter deliberadamente puntual y específico y en ningún momento alentó la creación de programas o líneas de investigación en los centros mencionados. En primer lugar SMP trataba de evitar la difusión del *know how* que se generaba sobre las nuevas tecnologías y de mantenerlo como secreto industrial. La sociedad consideraba que esta manera de proceder era una fórmula apropiada para proteger su *know how* hasta el momento en que iba a obtener el registro de una patente de invención e incluso posteriormente como una forma de protección efectiva complementaria. Así, el 80% de los gastos totales de investigación y desarrollo de SMP correspondieron, en términos

aproximados, a las actividades internas. Del 20% restante, los trabajos de investigación subcontratados a los centros tecnológicos nacionales representaron aproximadamente los dos tercios y los temas subcontratados a centros tecnológicos en EE.UU. y Canadá un tercio. Cuando en los primeros años de la década de los ochenta cayeron los precios del cobre en el mercado mundial, la subcontratación de trabajos de investigación se suspendió totalmente. Al recuperarse el mercado mundial del metal rojo hacia finales de esa década y en la de los noventa SMP decidió fortalecer su propia infraestructura de laboratorios y no reanudó la subcontratación de servicios tecnológicos.

B. “Pool” de ingenieros, otros profesionales y gerentes

A fines de los años 70 trabajarían en el sector minero de Chile, en términos aproximados, dos a tres mil ingenieros de distintas especialidades. Además había una cantidad difícil de precisar de otros profesionales en ciencias naturales, físicas y exactas ligados a la minería. La mayoría de estos ingenieros y profesionales trabajaron en la minería cuprífera. La existencia de estos recursos humanos fue fundamental para el desarrollo tecnológico que realizó SMP al permitir la contratación de profesionales capacitados para ejecutar los proyectos en el ámbito de la lixiviación en pila TL, tanto propios como para terceros. Las contrataciones de profesionales se extendieron desde el año 1976 hasta 1987 a raíz de distintos eventos.

1. Recursos humanos de la mina La Africana

En 1976 se construyó en la mina La Africana una planta piloto de extracción por solventes y electro-obtención de cátodos para el nuevo proyecto Lo Aguirre. Además La Africana aportó sus laboratorios químico-metalúrgicos para los análisis de minerales. En 1978 se agregó a la planta piloto un módulo de lixiviación en pilas. En cuanto a recursos humanos, la mina La Africana puso, a disposición de este proyecto, básicamente capataces, mecánicos y electromecánicos para la construcción y operación de la planta piloto y técnicos químicos para los análisis de laboratorio. Los conocimientos y el ingenio de este personal constituyeron una contribución sumamente valiosa para el desarrollo del proyecto. Cuando a mediados del año 1978 La Africana cesó su explotación, este personal fue incorporado definitivamente al proyecto Lo Aguirre.

2. Ingenieros contratados para la ingeniería, puesta en marcha y operación del proyecto Lo Aguirre

A comienzos del año 1976, SMP contrató al ingeniero minero Esteban Domic que contaba con experiencia como investigador del proceso de extracción por solventes del Instituto Tecnológico de Chile INTEC-CHILE. Fue contratado con el cargo de superintendente metalurgista y debía constituirse en un interlocutor válido para la transferencia de la tecnología de extracción por solventes.

A mediados de 1978 SMP incorporó además a su planta de personal un equipo de 5 o 6 ingenieros para hacerse cargo de la ingeniería del proyecto. Este grupo de ingenieros fue seleccionado por el nuevo gerente de SMP quien había sido anteriormente gerente general de la mina El Teniente. Estos ingenieros vinieron de esta mina y su función principal era traducir los planos originales de H & N a la nueva realidad. Aunque estas personas eran profesionales experimentados en proyectos mineros de cobre no contaban con experiencia específica en operaciones hidrometalúrgicas, tales como el manipuleo con ácidos. El equipo de ingeniería fue asistido en el desarrollo del proyecto por Esteban Domic quien proporcionaba los parámetros básicos de las operaciones modificadas.

Posteriormente se procedió a la formación de un cuadro de 5 a 6 ingenieros y profesionales metalurgistas para la puesta en marcha y operación de la nueva planta. Como superintendente de operaciones SMP contrató un compañero de Domic de la Universidad y del INTEC con tres años de experiencia en la refinería electrolítica de la mina Chuquicamata. Esta experiencia mostró ser sumamente valiosa específicamente en la puesta en marcha de la planta de electro-obtención de Lo Aguirre. Para la puesta en funcionamiento de la planta de extracción por solventes se contrató un ingeniero que había adquirido experiencia en el ámbito de laboratorio y planta semi-piloto con esta tecnología en INTEC-CHILE. Por último se incorporaron varios otros ingenieros que provinieron de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) y contaban con experiencia en procesos de lixiviación y electro-refinación. Aunque las tecnologías en que habían adquirido su experiencia eran diferentes a la tecnología TL, pudieron rápidamente adaptarse a las nuevas condiciones.

3. Ingenieros contratados para dedicación específica a investigación y desarrollo

Al crear SMP en 1981 un departamento dedicado a la investigación y desarrollo de los nuevos procesos bajo la dirección de Domic, se contrató un grupo compuesto de aproximadamente 10 ingenieros de alta calificación. Estos profesionales que en su mayoría eran ingenieros químicos con estudios de postgrado provinieron en buena parte de INTEC-CHILE y CIMM. Además, ya en el año anterior, ingresó a SMP el ingeniero Raúl Montealegre, quién años más tarde llegaría a ser Gerente de Investigación y Desarrollo de la compañía y posteriormente Gerente General de SMP Tecnología. Montealegre se graduó como ingeniero civil químico en la Universidad de Concepción adquiriendo posteriormente un Master of Science en ingeniería metalúrgica de la Universidad de Minesota. Posteriormente realizó una carrera en investigación académica y en gestión de proyectos de I & D en INTEC-CHILE, donde llegó a ser Subdirector.

Debido a la caída de los precios del cobre que se produjo en el mercado mundial poco tiempo después de haberse creado este departamento de I & D en SMP, el grupo enfrentó algunas dificultades de supervivencia y como consecuencia su tamaño se redujo a casi la mitad. Sin embargo, la generación de ingresos propios por la venta de servicios a terceros y la obtención de créditos por los servicios prestados a las operaciones de las minas Lo Aguirre y La Cascada, que el grupo supo negociar con la gerencia de SMP le permitieron mantenerse hasta que mejoró la situación en el mercado mundial de cobre en la segunda mitad de 1986. A partir de este momento y ante las perspectivas de materialización de algunos de los proyectos que SMP había estudiado anteriormente, se produce un reforzamiento del grupo mediante algunas nuevas contrataciones. Principalmente se trataba esta vez de profesionales especializados en microbiología y en otros aspectos relacionados con la lixiviación bacteriana que habían trabajado en los institutos tecnológicos anteriormente mencionados y de los laboratorios de las universidades locales. Por otra parte, a inicios de 1987 el ingeniero Domic se retiró de la empresa.

En 1988 SMP firmó sendos convenios para el uso de patentes en los proyectos Lince y Cerro Colorado. Un año después la compañía firma otro convenio similar con COMINCO una de las empresas concursantes del proyecto Quebrada Blanca. El proyecto Lince contrató sólo servicios de ingeniería a SMP. En cambio, los otros proyectos mencionados encargaron a SMP la realización de trabajos de pilotaje, diseño del proceso y otros servicios de investigación y desarrollo. La puesta en marcha de estos dos proyectos fue en 1993 y 1994. Durante el período 1988-1994 varios profesionales de SMP se retiraron de ella para incorporarse a las nuevas operaciones. Consecuentemente la compañía vuelve a contratar ingenieros químicos, metalurgistas y mineros. En buena parte, estos profesionales vinieron nuevamente de los institutos tecnológicos y universidades locales. Cuando en 1995 se establece la filial SMP Tecnología, el cuerpo de investigadores de SMP se incorpora junto a la casi totalidad del personal de la gerencia de investigación y desarrollo a esta sociedad.

4. Reclutamiento de capacidad gerencial del *cluster* minero

SMP reclutó del *cluster* minero capacidad gerencial general y técnica de elevado nivel. Entre las personas que tuvieron una marcada influencia en las decisiones que determinaron el desarrollo de las nuevas tecnologías y su posterior comercialización, cabe mencionar en particular a los ingenieros Carlos Sylvester y Robert M. Haldeman. El primero se incorporó tempranamente a la SMP donde asumió funciones de Asesor Técnico y fue miembro del directorio de la compañía. Aunque no tenía experiencia específica en la minería del cobre, —había hecho su trayectoria profesional en la minera nacional del carbón—, demostró una gran capacidad de gestión en relación con las investigaciones realizadas en columnas y planta piloto a partir del año 1975 sobre los nuevos procesos LX – SX – EW. Como se mencionó anteriormente, los primeros resultados de estas investigaciones indicaron que las soluciones tecnológicas propuestas por H & N podrían tener fallas. El ingeniero Sylvester exigió entonces una repetición de los ensayos y un gran rigor en la extrapolación de los resultados de escala piloto al funcionamiento de una planta en escala comercial. Una vez comprobado que los resultados de estos ensayos eran diferentes a lo postulado por H & N, se le pidió a esta compañía que aclarara las dudas. Si bien en una primera instancia esta gestión fue infructuosa, posteriormente ella aceptó a participar en una serie de nuevos ensayos que iban a ser conducidos en la planta piloto de SMP. El resultado final fue el descubrimiento de soluciones novedosas y una revisión del contrato de ingeniería y asistencia técnica con H & N.

Robert M. Haldeman, de nacionalidad norteamericana, hizo su carrera profesional en la mina El Teniente donde se desempeñó desde supervisor hasta gerente general mientras esta mina era propiedad de Braden Copper Company. Haldeman combinaba una sólida formación técnica con una gran capacidad de gestión. Cuando se produjo la nacionalización de la gran minería del cobre durante el gobierno de la Unidad Popular, volvió a EE.UU. donde comenzó a trabajar como consultor de empresas mineras. En Chile asesoró a Minera Sagasca que durante 8 años funcionó con sistemas convencionales de lixiviación antes de ser adquirida en 1980 por SMP. En 1978, tras una auditoría que duró seis meses, Haldeman se hizo cargo de la gerencia general de SMP. Previamente el directorio había aprobado a solicitud de él un presupuesto de 1 millón de dólares para financiar la ampliación de la planta piloto y una prolongación de los ensayos piloto durante un año. Desde este puesto impulsó decisivamente el desarrollo tecnológico en SMP. Por iniciativa de él se creó el departamento de I & D en el seno de la compañía y posteriormente SMP Tecnología como filial.

En resumen se puede observar que SMP reclutó en medida importante sus cuadros de investigación y desarrollo, su grupo de ingeniería y de operaciones y sus gerentes y ejecutivos que orientaron decisivamente el desarrollo tecnológico, desde empresas y organizaciones que formaron parte del *cluster* minero local, en particular los institutos tecnológicos especializados, entre ellos especialmente INTEC-CHILE y CIMM, los laboratorios especializados de algunas universidades y las propias empresas mineras. Sin los conocimientos y capacidades profesionales y de gestión que aportaron estos recursos humanos del *cluster* minero al proyecto Lo Aguirre y en particular a las actividades de investigación y desarrollo asociadas a este proyecto hubiera sido bastante difícil, si no imposible, que se produjera el salto tecnológico que desencadenó este proyecto en la minería del cobre de Chile y el resto del mundo como se verá más adelante.

C. Firmas de ingeniería y proveedores de equipos y materiales

1. Etapa de construcción, puesta en marcha y optimización operacional de la planta Lo Aguirre

En buena parte, la construcción de la primera planta TX –SX – EW de Lo Aguirre estuvo basada en los planos y especificaciones de los proveedores norteamericanos de la ingeniería. Sin embargo, ya en este proyecto los contratistas de obras y montajes y los proveedores nacionales de materiales y equipos propusieron

algunas adaptaciones propias. Además hubo que modificar los diseños originales de H & N, particularmente de aquellas instalaciones en que hubo cambios en los parámetros debido a los desarrollos tecnológicos de SMP. En los años que siguieron a la puesta en marcha de la Planta Lo Aguirre y a la reanudación de las operaciones en la mina La Cascada se introdujeron un sinnúmero de perfeccionamientos operacionales que incluyeron frecuentemente pruebas con nuevos materiales y componentes. Frecuentemente se realizaron estas pruebas en cooperación con proveedores locales, lo que incentivó el desarrollo y fabricación de estos elementos en el país. En particular hubo significativos avances en el ámbito de la aplicación de materiales y componentes plásticos tales como membranas de impermeabilización, componentes de tuberías de drenaje y de acople rápido así como accesorios para riego por goteo y aspersión.

2. Construcción de la segunda planta de extracción por solventes en Lo Aguirre

Cuando se construyó la segunda planta de extracción por solventes en Lo Aguirre, los aportes de la ingeniería nacional y del diseño y fabricación de maquinaria especializada fueron bastante más significativos. Así, mientras la primera planta contaba con una pesada estructura de concreto revestido con un forro de acero inoxidable, la estructura de la nueva planta fue mucho más liviana y su revestimiento consistía de un *liner* de poliéster reforzado con fibras de vidrio, colocado en el lugar. Además, el material de las cañerías de esta planta era de polietileno de alta densidad en contraste con el acero inoxidable utilizado anteriormente.

Algunas de las principales firmas que destacaron por su aporte de innovaciones fueron las siguientes: TEHMCO que se formó en su origen específicamente para atender esta área del mercado con suministros de plásticos; MAKINA, una pequeña industria mecánica, que construyó las máquinas para el manejo, lavado y empaquetado de los cátodos y la firma de ingeniería Raúl Aguilar para el diseño del sistema de pórticos para carga y descarga del mineral en las pilas. El rol promotor de SMP consistía en plantear el problema específico a los proveedores, proponer soluciones conceptuales, llevar a cabo las pruebas de los prototipos en el terreno y proporcionar *feedback* a los proveedores que permitiera la modificación y puesta a punto de las instalaciones.

3. Soluciones aportadas a las plantas piloto manejadas y supervisadas por SMP

En esta área se destaca entre los aportes de las firmas de ingeniería y proveedores de equipos del *cluster* minero el desarrollo y la fabricación nacional de rectificadores de potencia, un equipo de alta complejidad tecnológica, por la empresa IDT, filial de TEHMCO. Asimismo se logró la fabricación nacional de electrodos, tanto ánodos de aleación de plomo, calcio y estaño y similares, como de cátodos madre en acero inoxidable, por varios proveedores. De igual manera, en relación con las celdas electrolíticas se incentivó la fabricación nacional de celdas en concreto polimérico, tecnología patentada por la empresa local ANCOR, originalmente una filial de DOW. Finalmente en el área de manejo de materiales, varios proveedores nacionales conquistaron un lugar de privilegio, entre los que sobresalieron MacMin en Santiago e Industrias Petruzzo en Antofagasta.

IV. Efectos de la actividad de investigación y desarrollo tecnológico de la SMP en el “cluster” minero local

A. La aplicación de la lixiviación en pilas TL en los nuevos proyectos mineros del país en la década de los noventa

1. Período de vigencia de la patente (1990–1995)

Durante la vigencia de su patente de invención SMP aportó su tecnología y *know how* al estudio y desarrollo de una serie de proyectos mineros de cobre del país. En particular SMP realizó análisis de laboratorio y pruebas en planta piloto con muestras de minerales de estos yacimientos para comprobar la factibilidad técnica y económica del proceso de lixiviación en pilas TL y de la producción de cátodos de cobre por la ruta LX – SX – EW. Además elaboró la ingeniería básica para algunos proyectos y otorgó varias licencias de uso de patente. En la mayoría de los casos los proyectos en que SMP intervino en alguna forma se concretaron luego con esta alternativa tecnológica. En otros casos la aplicación de las tecnologías tradicionales que se habían considerado originalmente quedó descartada o las nuevas tecnologías fueron adoptadas en complementación con las tradicionales.

En la década de los ochenta, aunque hubo numerosos estudios e investigaciones sobre minerales de distintos yacimientos, no entraron todavía en funcionamiento nuevas plantas de lixiviación en pilas TL – SX – EW aparte de Lo Aguirre. La lixiviación en pilas TL —como operación separada— se aplicó sólo en La Cascada y en algunas plantas muy pequeñas, pertenecientes básicamente a la Empresa Nacional de Minería –ENAMI, que mantuvieron la recuperación del cobre vía precipitación con chatarra, principalmente por la falta de capitales para implementar el proceso de electro-obtención. Distinta fue la situación en los años noventa. Para la década de los años 90 (1991-2000) se prevé que en Chile habrán entrado en producción 27 plantas de lixiviación en pilas LX – SX – EW –con procesos de lixiviación en pilas TL u otro tipo de lixiviación, con una capacidad de producción anual de 1.400.000 toneladas de cátodos en términos aproximados. Dentro de esta cantidad, las 25 plantas de lixiviación en pilas TL – SX – EW representan una capacidad de producción anual de algo más de 1.300.000 toneladas de cátodos, capacidad de la cual el 25% corresponde a los ocho proyectos que contaron con algún tipo de asesoría o transferencia de tecnología de SMP (véase el cuadro A-1 del anexo). Los dos únicos proyectos que utilizan una tecnología de lixiviación distinta a la lixiviación en pilas TL representan conjuntamente una capacidad de producción anual de solo 92.500 toneladas de cobre.

En su mayoría, los proyectos de lixiviación en pilas TL – SX – EW que entraron en producción en el período 1991 – 1995 encomendaron servicios tecnológicos a SMP o se beneficiaron de la asesoría y pruebas de minerales que SMP proporcionó en forma gratuita con el objeto de promover el licenciamiento de su tecnología. Como puede observarse en el cuadro A-1 del anexo, de las 12 plantas de lixiviación en pilas TL – SX – EW que entraron en funcionamiento en este período 7 recibieron algún tipo de asesoría o de servicios tecnológicos de SMP. Estos 7 proyectos representaron una capacidad de producción anual de 327.000 toneladas de cátodos en comparación con la capacidad de 89.500 toneladas anuales de los 5 proyectos que no recibieron tecnología de SMP en forma directa. Entre 1990 y 1995 la producción nacional de cobre de mina aumentó en 900.000 toneladas anuales. De esta cifra, 252.000 toneladas anuales aproximadamente correspondían a 16 plantas con procesos de lixiviación puestas en marcha en este período. Las siete plantas de lixiviación en pilas TL que habían recibido tecnología de SMP en forma directa representaron el 58% de esta cifra y las cinco que no habían tenido vínculo con SMP, el 17%. Por último, el 25% de la producción adicional de cátodos por vía de lixiviación correspondía a otros procesos (véase el cuadro A-2 del anexo).

2. Período de post-vigencia de la patente (1996–2000)

En 1996 se extinguió la patente de invención de SMP y, en consecuencia, a partir de este año, la situación de SMP como proveedor de tecnología cambió sustancialmente. Sólo un proyecto de los trece de lixiviación en pilas TL – SX – EW que habrán entrado en funcionamiento en el período 1996 – 2000 recibió todavía aportes de tecnología de SMP. Todas las demás, entre ellos varios proyectos de expansión, no contrataron servicios tecnológicos de SMP. Se puede estimar que en el período 1996 – 2000 la capacidad de producción de cátodos provenientes de las trece nuevas plantas de lixiviación en pilas TL – SX – EW aumentará en 893.000 toneladas anuales, de los cuales sólo 3.000 toneladas anuales corresponden al único proyecto que recibió tecnología de SMP (véase el cuadro A-1 del anexo). Además, en este período, no se habrán concretado nuevos proyectos de LX – SX – EW con procesos de lixiviación distintos a la lixiviación en pilas TL.

Las cifras relativas a la producción de cobre del período 1996–1998 corroboran esta situación. En este período, la producción total de cobre de mina de Chile aumentó en aproximadamente 1.200.000 toneladas anuales correspondiendo a los procesos LX – SX – EW 738.000 toneladas, o sea el 61,5%. Esta última cifra incluye 221.000 toneladas adicionales de cátodos provenientes de las 16 plantas LX – SX – EW puestas ya en funcionamiento hasta fines del año 1995 y 517.000 toneladas de las once plantas LX – SX – EW que comenzaron su operación a

partir del año 1996 (véase el cuadro A-3 del anexo). Los aumentos de producción de las plantas TL – SX – EW que entraron en funcionamiento antes del año 1996 se originaron en buena parte en las plantas que habían recibido tecnología de SMP. En cambio, los incrementos de producción de las plantas TL - SX - EW que comenzaron a funcionar en el período 1996-1998 provenían en un alto porcentaje de los proyectos que no tuvieron relaciones directas con SMP. Por último, la variación de la producción de cátodos correspondiente a los otros procesos de lixiviación, diferentes del TL, fue poco significativa.

El cuadro 2 a continuación resume el tipo de aportes tecnológicos efectuados por SMP a ocho proyectos de lixiviación en pilas TL puestos en funcionamiento en el decenio de los 90. Como puede observarse, en el caso de tres proyectos sólo se realizaron estudios preliminares y no se aportaron otras prestaciones ni se extendió una licencia de patente. Se trató de los proyectos de El Salvador (CODELCO), Mantoverde y Zaldívar. En el primer caso hubo un avenimiento entre SMP y CODELCO en virtud del cual SMP renunció a sus derechos de *royalty* por uso del proceso patentado. En cuanto a los proyectos Mantoverde y Zaldívar, las empresas titulares aplicaron versiones modificadas del proceso TL que no infringían la patente de SMP. En los otros cinco casos SMP logró licenciar su tecnología.

Cuadro 2

CHILE: APORTES TECNOLÓGICOS DE SOCIEDAD MINERA PUDAHUEL A PROYECTOS DE LX – SX – EW EN EL DECENIO DE LOS 90

	Año de puesta en marcha	Capacidad de producción de cátodos (t/año)	Estudios preliminares	Pruebas en planta piloto	Participación en Ingeniería	Licencia de patente
Cerro Colorado	1993	45 000	x	x	x	x
El Salvador	1994	12 500	x			
El Soldado	1993	4 000	x	x	x	x
“ “	1996	3 000	x	x	x	x
Lince	1992	23 000	x		x	x
Mantoverde	1995	42 500	x			
Quebrada Blanca	1994	75 000	x	x	x	x
Zaldívar	1995	125 000	x			

Fuente: elaborado en base de información personal proporcionada por E.Domic y R. Montealegre

Este análisis permite observar que SMP logró vender su tecnología a la mayoría de los proyectos de lixiviación en pilas TL – SX – EW que iniciaron su producción durante la vigencia de su patente de invención. Después de haber caducado la patente, no obstante el importante *know how* que SMP había acumulado a través de un proceso de aprendizaje y la creación de estructuras organizativas dirigidas a la venta y transferencia de tecnología, la compañía no pudo continuar un proceso sostenido de comercialización de su tecnología. Aparentemente el conocimiento del proceso de lixiviación TL se había difundido entonces lo suficiente en el *cluster* minero local para que los nuevos proyectos mineros pudieran recurrir a sus propias capacidades técnicas y a una variedad de otras fuentes tecnológicas externas.

B. El efecto sobre la competitividad internacional de la minería del cobre de Chile

Entre 1990 y 1998, la participación que tuvo Chile en la producción del Mundo Occidental de cobre de mina aumentó del 21,5% al 36,3% (véase cuadro A-4 del anexo). Varias son los factores que pueden explicar este fuerte incremento. En primer lugar, el país posee alrededor del 32% de las reservas mundiales de cobre, ocupando la primera posición en el mundo con leyes que promedian el 1%.* En segundo término, Chile implantó oportunamente un marco normativo estable y con reglas claras para el desarrollo de la actividad minera. En la década de los 80 se habían dictado un conjunto de normas jurídicas reguladoras de la actividad minera que se consignaron tanto en la Constitución Política como en la Ley Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras y el Código de Minería. Además con anterioridad ya se había promulgado un estatuto de inversión extranjera inspirado en principios de no-discriminación entre los inversionistas nacionales y extranjeros y en reglas estables y uniformes en materia tributaria. Por último, otro factor de competitividad habría sido el hecho que el proceso de lixiviación en pilas TL, extracción por solventes y electro-obtención, que se caracteriza por bajos costos de producción, tuvo una marcada y preferente difusión en Chile, alcanzando una participación importante dentro de la producción mundial del cobre correspondiente al conjunto de los procesos LX – SX – EW, realidad que se fundamenta a continuación con algunos antecedentes adicionales.

El gráfico 3 del anexo muestra, para distintos años de referencia, las curvas de costos directos de las minas de cobre existentes y proyectadas en el mundo occidental en función de las capacidades agregadas por orden creciente de sus costos directos. Para el período 1990 – 1998 —y proyecciones hasta el año 2005— se manifiesta claramente una tendencia a la reducción de los costos de producción. Entre las principales causas que se han señalado para explicar esta tendencia figuran las economías de escala y las innovaciones tecnológicas en la minería mundial de cobre. Entre éstos últimos, algunos de los más importantes adelantos ocurrieron en el campo de la lixiviación y entre ellos, en particular, la lixiviación en pilas TL, incluida la versión bacteriana. Esta hipótesis se fundamenta en el ritmo y el grado de difusión que esta tecnología tuvo en la minería de cobre de Chile y el mundo durante la década de los noventa según puede observarse en el cuadro A-4 del anexo. Entre 1990 y 1998, la producción chilena de cátodos obtenidos por la ruta de lixiviación en pilas TL – SX – EW, que en el último año de este período alcanzó el 36,7% de la producción total de cobre de mina del país, pasó a representar del 2% al 47% de la producción mundial de cátodos obtenidos por la vía LX – SX – EW. En el mismo lapso, en el Mundo Occidental, la producción de cátodos por la vía LX – SX – EW aumentó su participación del 10,6% al 24,7% de la producción total de cobre. Además, el 71,5% del aumento 1991 – 1998 de la producción mundial de cátodos obtenidos por procesos LX – SX – EW corresponde a cátodos producidos en Chile por la vía de lixiviación en pilas TL - SX – EW.

Por lo tanto, Chile concentra actualmente la mayor parte de la producción mundial de cátodos obtenidos por la vía lixiviación en pilas TL – SX – EW. En 1998, la participación que tuvo la minería chilena en la producción del Mundo Occidental de cátodos por esta tecnología podría haber alcanzado entre un 80% a 90% en términos aproximados. En consecuencia, el proceso de lixiviación en pilas TL – SX – EW desarrollado por SMP se ha difundido hasta ahora de manera preferente en el *cluster* minero local. El resto de esta producción mundial de cátodos por esta vía proviene de un número reducido de productores, principalmente Australia, EE.UU. y Perú. A continuación se presentan algunos datos e interpretaciones para tratar de explicar la difusión bastante restringida que la lixiviación en pilas TL ha tenido en otros países productores de cobre del mundo.

* Ministerio de Minería de Chile (1998).

EE.UU. es el segundo productor mundial de cátodos obtenidos por procesos LX – SX – EW. La producción de cátodos de este país, que en una elevada proporción se basa en procesos de lixiviación en botaderos, ha crecido sólo lentamente en el período 1990 – 1998. Parte de las plantas LX – SX – EW que funcionan en este país procesan minerales de botaderos antiguos, considerados originalmente desechos por su baja ley. En estos casos no se incurre en costos por concepto de extracción de mineral y, por lo tanto, estas plantas gozan de una ventaja frente a las plantas basadas en minerales vírgenes. En todo caso, al final del período considerado, la producción chilena de cátodos por la vía lixiviación en pilas TL – SX – EW alcanzó a superar por un amplio margen la producción estadounidense de cátodos por lixiviación en botaderos – SX – EW. Aunque en Chile las plantas de lixiviación en pilas TL – SX – EW procesan generalmente minerales vírgenes, sus costos de producción son competitivos en el contexto internacional, lo que entre otros factores puede ser atribuido a costos de extracción de minerales comparativamente bajos en Chile aparte del supuesto de que la lixiviación en pilas TL es frecuentemente una alternativa más económica que otras fórmulas de lixiviación. Por último habría que mencionar que quedan pocos botaderos de minerales de cobre aptos para ser lixiviados en EE.UU.

Hasta principios de los años ochenta EE.UU. fue el primer productor mundial de cobre. La caída de los precios del cobre en el mercado mundial en esos momentos y la severa normativa de protección ambiental adoptada en este país llevaron a la minería cuprífera al borde del colapso y dieron paso a una profunda reestructuración del sector. El inicio de la minería del cobre de EE.UU. se remonta a principios del siglo veinte y la explotación estuvo en buena parte basada en minas de tajo abierto. En consecuencia se acumularon enormes cantidades de minerales de baja ley en botaderos o *stockpiles* ya que no podían ser procesados económicamente con la tecnología existente. La aparición de las tecnologías de extracción por solventes que podían combinarse con operaciones de electro-obtención de cátodos hizo posible la lixiviación económica de estos botaderos. Ya entre fines de los años ochenta y comienzos de los noventa la minería de cobre de EE.UU. alcanzó a estar completamente reconvertida a los nuevos procesos. En cambio, la nueva tecnología de lixiviación en pilas TL pasó prácticamente inadvertida en la minería estadounidense hasta la segunda mitad de los años ochenta cuando se licitaron en Chile algunos grandes proyectos de cobre. En particular, la licitación del yacimiento El Abra dió a Cyprus la oportunidad de conocer de cerca este novedoso proceso y consecuentemente aplicarlo también en EE.UU. en sus proyectos de Pinto Valley y Tohono. El hecho que la tecnología de lixiviación en pilas fuera poco conocido en EE.UU. es ilustrado por el siguiente episodio. Entre 1992 y 1993 Domic, quien en esa época ya se había establecido como consultor independiente, fue invitado por Cyprus a EE.UU. para dictar ante ejecutivos de la compañía una serie de conferencias sobre el tema.

El mismo proceso de transferencia de tecnología no se produjo en relación con Canadá pese a que hubo empresas canadienses que a fines de los años ochenta participaron en las licitaciones de los yacimientos de Quebrada Blanca y Cerro Colorado. La razón radica posiblemente en el hecho que Canadá adoptó un régimen tributario que desalentó el desarrollo de nuevos proyectos cupríferos en su territorio. En cambio, el proceso de lixiviación TL se difundió, aunque marginalmente, en Australia, Perú y México.

Uno de los obstáculos a una difusión internacional más amplia y rápida podría haber sido que algunos países desarrollados han invertido fuertemente en fundiciones de cobre que buscan asegurar su abastecimiento de concentrados importados. Al mismo tiempo una parte importante del financiamiento para el desarrollo de nuevas minas cupríferas en el mundo proviene de estos mismos países. Por lo tanto, se ha sostenido que las relaciones financieras entre las compañías dueñas de las fundiciones y los bancos que financian proyectos mineros en los países en desarrollo podrían haber introducido un sesgo en favor de la adopción de las tecnologías tradicionales en los nuevos proyectos mineros basados en la explotación de minerales sulfurados.

Los antecedentes anteriormente expuestos hacen pensar que la difusión privilegiada y amplia en el *cluster* minero local, del proceso de lixiviación en pilas TL, desarrollado por SMP en combinación con la extracción por solventes y electro-obtención de cátodos, podría haber contribuido significativamente al fortalecimiento de la competitividad internacional de la minería cuprífera de Chile en la década de los 90.

C. La creación de servicios de consultores, ingeniería especializada y pruebas en plantas piloto y enriquecimiento de los curriculares académicos en hidrometalurgia

Una de las manifestaciones de la transferencia y difusión, aunque frecuentemente en forma involuntaria, de las tecnologías desarrolladas por SMP fue la creación de una serie de servicios de consultores, ingeniería especializada y servicios relacionados con construcción y operación de plantas piloto así como el enriquecimiento del currículo en hidrometalurgia en las universidades del país. En buena parte esta transferencia se efectuó a través de la migración de los profesionales que habían trabajado en SMP donde adquirieron el conocimiento especializado y también mediante ingenieros que obtuvieron permisos de la compañía para ejercer funciones de docencia en las universidades. A continuación se presentan algunos ejemplos de servicios, organizaciones y cursos que fueron creados.

1. Consultores

En el área de la ingeniería de procesos hidrometalúrgicos se formó en 1990 la firma consultora DOMIC S.A. con el ex-gerente de Investigación y Desarrollo de SMP, el ingeniero Esteban Domic como principal socio fundador. Las actividades de esta firma incluyen actualmente ingeniería de procesos en proyectos, respaldo operacional y de optimización, así como entrenamiento de personal e identificación de fallas. Esta firma ha intervenido en la mayoría de los proyectos que estas empresas desarrollaron en Chile y en Perú y recientemente también en proyectos de Cyprus en EE.UU., en lo que respecta la introducción de la tecnología de lixiviación en pilas TL. En la lista de clientes figuran, entre otros, Outokumpu, Mantos Blancos, CODELCO y Cyprus.

2. Firmas de Ingeniería

En el diseño y ejecución de los distintos proyectos de lixiviación en pilas TL – SX – EW que se realizaron en Chile han intervenido una serie de renombradas firmas de ingeniería tales como Bechtel, Jacobs, Kvaerner y Fluor. Estas firmas internacionales establecieron filiales en Chile considerando la importancia de los proyectos mineros que se estaban gestando en el país. Su capacidad de proporcionar ingeniería conceptual, básica y de detalle y de hacerse cargo de la construcción de plantas completas en el campo de las nuevas tecnologías hidrometalúrgicas de cobre se creó mediante la contratación de especialistas en ingeniería de procesos, mecánica, eléctrica y civil, que fueron frecuentemente profesionales que habían trabajado en SMP. La cobertura geográfica de prestación de servicios especializados para proyectos de lixiviación en pilas TL – SX – EW se extendió también al Perú.

3. Servicios de pruebas metalúrgicas

Los nuevos proyectos de lixiviación en pilas TL – SX – EW requirieron servicios de pruebas metalúrgicas en escalas de laboratorio, semi-piloto y piloto. En buena parte estos servicios fueron desarrollados por CIMM, INTEC-CHILE y Terral. Esta última estableció una filial especializada, Novatec. INTEC-CHILE se desprendió recientemente de esta actividad, dando origen a la sociedad

privada Geomet. Como en el caso de las firmas de ingeniería, la cobertura geográfica de los servicios que prestan estas organizaciones abarca Chile y Perú.

4. Enseñanza académica

La enseñanza de las nuevas tecnologías se ha incorporado a prácticamente todos los cursos de hidrometalurgia de las universidades chilenas. En buena parte, la introducción de esta materia a los curriculares universitarios obedeció al desempeño de actividades docentes de ingenieros especializados mientras trabajaron en SMP y después de haber salido de la empresa. Un ejemplo constituye el caso de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Chile donde el ingeniero Domic en su calidad de catedrático para hidrometalurgia introdujo el tema en referencia, en la década de los 70. SMP autorizó también algunos otros ingenieros de su planta —entre ellos Bustos, Montealegre y Rauld— a ejercer actividades de docencia académica. Estas actividades dieron origen a una serie de prácticas y tesis de grado relacionadas con temas hidrometalúrgicos que no solamente fueron útiles a la propia empresa sino que además contribuyeron a despertar en las universidades interés por la investigación científica y aplicada de esta disciplina. Las universidades que estuvieron involucradas en estas actividades, y continúan siéndolo son, entre otras, la Universidad de Chile y la Universidad de Atacama.

D. Estímulo a la investigación aplicada: el proyecto del PNUD en el campo de la biotecnología

En 1985, como parte del programa nacional de asistencia técnica del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), se inició un proyecto denominado “Desarrollo de procesos biológicos y su aplicación industrial en la lixiviación bacteriana del cobre de minerales chilenos”. Este proyecto, propuesto por un grupo de instituciones universitarias, tecnológicas y productivas del país, se desarrolló en dos fases y terminó a fines de 1990. Uno de los factores que se tuvo a la vista para la aprobación del proyecto por parte del PNUD y del gobierno chileno fue el reconocimiento del alto grado de desarrollo empírico que había alcanzado la lixiviación bacteriana en el país. En razón de ello también uno de los tres expertos de las misiones evaluadoras de la segunda fase pudo ser chileno y la designación recayó en el ingeniero Domic, en esos momentos director del proyecto Lince.

Como resultado de la primera fase de este proyecto se logró “el desarrollo de un grupo interdisciplinario nacional, con conocimientos en los aspectos de la lixiviación del cobre igual o mejor que cualquier otro existente en la comunidad científico tecnológica internacional”.* Partiendo de un nivel bajo de conocimiento sobre las bacterias y las funciones que cumplen en la lixiviación de minerales sulfurados y no obstante que algunas de las instituciones participantes, como fue el caso de INTEC-CHILE, habían comenzado a estudiar estas funciones desde comienzos de la década de los setenta, Chile se colocó en una posición de liderazgo mundial en los conocimientos básicos sobre estos microorganismos y su utilización en la hidrometalurgia extractiva. Además, esta fase del proyecto tuvo el mérito de lograr, por vez primera en un proyecto de esta naturaleza y envergadura, la integración de equipos de investigación básica y aplicada, con investigadores tecnológicos y profesionales que se desempeñaban en las empresas productivas.

En la segunda fase del proyecto las instituciones ejecutoras fueron INTEC-CHILE, CIMM, Universidad de Chile, Universidad Católica de Chile, la Universidad Católica de Valparaíso y CODELCO-CHILE. Además de consolidar el liderazgo del grupo de investigación en

* PNUD (1988), p2, cita textual de la evaluación hecha por la última misión extranjera del proyecto.

biohidrometalurgia, el objetivo de esta fase consistía en proyectar el conocimiento adquirido a la resolución de los problemas prácticos inherentes a la aplicación industrial de la lixiviación bacteriana. Entre los principales resultados del proyecto se pueden mencionar los siguientes: En primer lugar se logró un alto grado de monitoreo y manejo exterior del proceso de lixiviación *in situ* en la mina El Teniente, lo que se tradujo en un aumento de la eficiencia económica del sistema. En segundo lugar se entrenó un importante número de personas, entre estudiantes universitarios y técnicos, en las nuevas disciplinas y se colocó en un buen nivel, comparado con el promedio internacional, la capacidad de infraestructura física y experimental de las instituciones involucradas. Como una de las debilidades del proyecto se diagnosticó la falta de una transferencia fluida de información y de una interacción dinámica en forma general entre el sector productivo y el sector de las ciencias básicas y de ingeniería. Además se encontró insuficiente la divulgación de los beneficios del proyecto mediante comunicación hacia la industria, el gobierno y la comunidad en general mediante periódicos, revistas, videos y conferencias.

V. Estrategia empresarial de comercialización de tecnología y desenvolvimiento del sector minero local ante la evolución económica e institucional, 1980-1999

Anteriormente se han descrito las acciones de desarrollo y comercialización de la tecnología de lixiviación en pilas TL desplegadas por Sociedad Minera Pudahuel. El *cluster* minero local y en particular las empresas mineras respondieron de distinta manera a esta oferta. En el presente capítulo se trata de explicar estos comportamientos a la luz de la evolución del *cluster* minero, del cambio del ambiente económico e institucional y de la propia estrategia empresarial de Sociedad Minera Pudahuel en los últimos 20 años. El punto de partida de este análisis es el año 1981, cuando SMP creó el Departamento de Investigación y Desarrollo. Además, se ha subdividido el período 1981-1999, eligiendo como hitos 1987 y 1995, años en que SMP reorientó los esfuerzos de comercialización de su tecnología y *know how*.

El período 1981-1986 se caracteriza por una falta de aceptación de la tecnología desarrollada por SMP y acciones de distintas empresas mineras dirigidas a contestar la validez de la patente. En el período 1987-1994 se realiza un exitoso licenciamiento de la tecnología de SMP. Los proyectos Lince, Quebrada Blanca, Cerro Colorado y EL Soldado aplican esta tecnología y remuneran a SMP su uso. Al comienzo del período 1995-1999 se crea la empresa de servicios SMP Tecnología.

Poco tiempo después expira la vigencia de la patente de SMP. En el país el proceso de lixiviación en pilas TL se aplica en una decena de proyectos de minas nuevas y de ampliaciones aunque generalmente sin una participación directa de SMP. Por último se prepara en este período el cierre de la mina Lo Aguirre por agotamiento del yacimiento.

A. Promoción comercial de la tecnología desarrollada, 1981–1986

El ambiente económico de esta época estuvo marcado por una fuerte caída de los precios del cobre en el mercado mundial en 1981. Estos precios mantuvieron un nivel deprimido durante todo el período. Esta situación constituyó una de las causas de la crisis económica y financiera que se desató en 1982 afectando a numerosas empresas y grupos económicos. Los bancos intervinieron un gran número de empresas con el objeto de evitar su quiebra. Esta intervención afectó también a SMP, causando trastornos en sus planes de desarrollo empresarial, y restringiendo en particular severamente sus actividades de investigación y desarrollo tecnológico. En el campo normativo e institucional cabe mencionar la adopción de una serie de normas orientadas a regular las actividades de exploración y explotación minera y a garantizar los derechos de los inversionistas. Estas normas, consagradas en la Constitución Política de la República, la Ley Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras y el Código de Minería, dieron un fuerte impulso al desarrollo de la minería privada de cobre.

La estrategia empresarial de SMP incluyó la adquisición de nuevos yacimientos y minas de cobre con aptitudes para aplicar el proceso de lixiviación en pilas TL. Además se desplegó un importante esfuerzo para promover la venta de la nueva tecnología y para hacer frente a las acciones de algunas empresas mineras que cuestionaron la validez de la patente de invención y el derecho de SMP a la percepción de un *royalty* por su uso. En particular, con el argumento de poseer una patente propia, que sin embargo no cubría sino una parte del proceso de lixiviación en pilas TL, CODELCO negoció con SMP y Holmes & Narver un acuerdo que obligaba a cada una de las partes a renunciar a demandas judiciales contra cualquiera de las otras por el uso de la tecnología de lixiviación en pilas. Por otra parte, el grupo minero Gordo cuestionó la validez de la patente de SMP adoptando el proceso de lixiviación en pilas TL sin cancelar *royalties*. SMP tuvo que entablar un juicio que después de un largo proceso finalmente concluyó con un convenio extrajudicial. Además, no obstante los alentadores resultados que dieron los ensayos de pilotaje realizados por SMP en Diego de Almagro, la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), que procesaba una buena parte los de minerales de cobre provenientes de la pequeña y mediana minería, no adoptó el nuevo proceso de lixiviación en pilas TL – SX – EW en forma integral. Por último, aduciendo razones de escala, Minera Escondida decidió no aplicar el proceso de lixiviación TL de SMP y, en cambio, optó por implementar otro novedoso proceso de lixiviación, útil para concentrados de flotación convencional. Otro resultado negativo del período fue la venta del yacimiento Zaldivar, que había SMP había adquirido anteriormente en vista de potenciar su desarrollo minero. Con esta venta SMP perdió un activo minero importante.

Las empresas mineras constituyen el componente fundamental del *cluster* minero. En esa época, la Gran Minería, definida como el conjunto de establecimientos que producen más de 75.000 toneladas anuales de cobre fino, estaba compuesta por las cuatro divisiones de la empresa estatal CODELCO: Chuquicamata, El Salvador, Andina y El Teniente. En 1982 CODELCO produjo aproximadamente 1 millón de toneladas de cobre fino, lo que representaba el 84 % de la producción de cobre de mina del país. La Mediana Minería era integrada por empresas con cifras de producción entre 2.000 y 75.000 toneladas anuales de cobre fino. Estas empresas disponían generalmente de plantas propias para el beneficio de minerales y su producto consistía básicamente en cementos y concentrados de cobre. Entre las cinco empresas más importantes de la Mediana Minería, una, la Compañía Minera Disputada de Las Condes, contaba además con una fundición y otra, la Empresa

Minera Mantos Blancos, aplicaba un proceso químico propio que le permitía producir un producto casi tan puro como el cobre electrolítico. La Pequeña Minería agrupaba a numerosos productores cuyos recursos no eran suficientes para mecanizar la explotación de sus yacimientos ni para procesar su producción de minerales debido al elevado costo de estas instalaciones.

Un elemento particular del *cluster* minero chileno es la Empresa Nacional de Minería – ENAMI, ente estatal en que se fusionaron en 1960 la antigua Caja de Crédito Minero (CACREMI) y la Empresa Nacional de Fundiciones (ENAF) con la misión de fomentar la explotación y beneficio de toda clase de minerales en el país y de apoyar técnica y administrativamente a la minería nacional y dentro de ella especialmente a la Pequeña Minería. Para este efecto ENAMI operaba a principios de los años 80 tres plantas de beneficio y dos fundiciones, una de éstas últimas con una refinera electrolítica anexa. Para el desarrollo de su misión ENAMI mantenía poderes compradores para minerales en las principales regiones mineras del país y realizaba trabajos de maquila para empresas. Además funcionaba como *holding* de una serie de empresas mineras filiales, mantenía participaciones en empresas mixtas y poseía pertenencias mineras. Dentro del rol de subsidiariedad que en esa época el gobierno le había sido asignado, ENAMI desarrolló a fines de los años 70 y durante los 80 un amplio programa de venta de activos, traspasando al sector privado una serie de plantas de beneficio, minas y pertenencias mineras.

Uno puede plantearse la pregunta porqué durante el período bajo consideración no hubo casi aplicaciones comerciales del proceso completo lixiviación en pilas TL – SX - EW en la minería chilena. En razón de la escala del proceso aplicado en la planta Lo Aguirre se podría pensar que un campo de uso potencial de la nueva tecnología constituían las plantas de la Mediana Minería junto con las de ENAMI. Son varios los factores que pueden explicar este hecho. En primer lugar, al principio el proceso de lixiviación en pilas TL funcionaba en Lo Aguirre en base de óxidos de cobre y en el país no eran muchos los yacimientos de minerales con estas características. Por otra parte, el proceso de lixiviación bacteriana tardó todavía algunos años en ser perfeccionado en la planta de Lo Aguirre. Además este proceso era sensible a las condiciones climatológicas locales, por lo que su diseño requería previamente prolongados ensayos en una planta piloto que debía levantarse en el lugar previsto para la futura planta comercial. En segundo lugar, eran pocas las empresas mineras de la Mediana Minería con reservas suficientes para justificar la elevada inversión que requería una planta integrada de lixiviación en pilas TL – SX – EW. Las principales empresas que cumplían esta función eran Disputada de Las Condes y Mantos Blancos, que ya contaban con procesos integrados. En tercer lugar, una planta de estas características significaba inversiones importantes difíciles de encarar por la mayoría de las empresas mineras medianas, más difícil aún en las circunstancias de coyuntura económica de la época. En cuarto lugar, en cuanto a ENAMI en particular, la introducción del proceso integral de lixiviación en pilas TL – SX – EW habría significado una completa reconversión industrial de su infraestructura, lo que en las circunstancias económicas y de las políticas sectoriales vigentes en esa época aparentemente no se justificaba. Una de las consideraciones pudo haber sido también que los minerales recibidos por ENAMI eran en parte polimetálicos, minerales de cobre con algún contenido de plata y oro, que se prestaban menos bien a un tratamiento de extracción por solventes de los licores lixiviados. Por último, existía aparentemente entre los operadores de la minería local un cierto grado de desconfianza hacia un proceso de características tan poco convencionales como ser un proceso asistido por microorganismos. No obstante estos obstáculos, en esa época se incubaron algunos proyectos importantes de lixiviación en pilas TL – SX – EW que iban a fructificar en el período siguiente.

B. Venta de tecnología, 1987–1994

En 1987 el precio del cobre en el mercado mundial se recuperó y durante todo el período 1987-1994 se mantuvo en un alto nivel, excepto en 1993, año en que se produjo un receso temporal. Al inicio del período, la economía nacional ya estaba en plena recuperación dando comienzo a un ciclo de crecimiento sostenido. La mayoría de las empresas había podido solucionar los problemas financieros que los afectaron como consecuencia de la recesión de los años 1982/1984. A partir del año 1990, la inversión extranjera directa aumentó sostenidamente. En 1991 se promulgó una nueva Ley de Propiedad Industrial y Marcas Comerciales que reforzó bastante la regulación vigente sobre las patentes de invención. Por último, en el período bajo consideración, la protección del medio ambiente alcanzó a ser una nueva variable en el desarrollo de los proyectos mineros y metalúrgicos. Además se adoptaron diversas medidas orientadas al control de la contaminación provocada por la operación de las plantas mineras y metalúrgicas, entre ellas en particular las fundiciones de cobre.

La estrategia empresarial de SMP estuvo orientada a fortalecer su capacidad de investigación y desarrollo y a disponer recursos para participar en el desarrollo de importantes proyectos mineros, tales como Quebrada Blanca, Cerro Colorado y Lince. Además, en el caso específico de Quebrada Blanca, la compañía optó por una participación en el capital accionario como retribución por el uso de su patente, el aporte de *know how* y transferencia de tecnología. La participación de SMP en este proyecto le permitió además tener acceso a nuevas fuentes de financiamiento.

En este período se produjeron una serie de acontecimientos que serían altamente significativos para la consolidación del *cluster* cuprífero. La minería privada comenzó a jugar un creciente papel en el desarrollo de la minería cuprífera, destinando importantes recursos a actividades de exploración, estudios, operaciones piloto e inversión productiva. Entre los principales yacimientos que entraron en producción figuran Escondida, Candelaria, Disputada de Las Condes (ampliación), Mantoverde, Santa Bárbara, Lince, Quebrada Blanca y Cerro Colorado. Como resultado, la minería privada elevó su participación en la producción de cobre fino del país desde aproximadamente el 20% al comienzo del período considerado a más de 50% en 1995¹. En buena medida, este desarrollo minero se basó en las inversiones de algunas grandes empresas mineras internacionales, entre ellas BHP (Australia), RTZ (Reino Unido), Mitsubishi y Sumitomo (Japón), Phelps Dodge y Cyprus Amax (EE.UU.), Outokumpu (Finlandia), Minorco-Anglo American (Sudáfrica) y Placer Dome. Falconbridge, Rio Algom y Gibraltar Mines (Canadá). La inversión extranjera directa materializada en la minería del cobre aumentó desde 63.5 millones de dólares en 1985 a 544 millones de dólares en 1990 y alcanzó 1343 millones de dólares en 1995. En este desarrollo minero, los capitales privados nacionales tuvieron creciente participación, especialmente bajo forma de *joint ventures* con empresas trasnacionales. Además se crearon las condiciones legales para una asociación de CODELCO con capitales privados en proyectos nuevos. Como consecuencia, en 1994, CODELCO se asoció con Cyprus Minerals Inc. para explotar el yacimiento El Abra. Por último, como parte de un esfuerzo de las autoridades de impulsar una mayor vinculación entre los centros tecnológicos y el sector productivo se estableció el proyecto del PNUD sobre la aplicación de microorganismos en los procesos de beneficio de minerales de cobre.

La tendencia del *cluster* minero local hacia un mayor grado de maduración en el período considerado debe haber facilitado bastante la comercialización de la tecnología de lixiviación en pilas TL de SMP. Esta maduración se manifestó especialmente bajo forma de una incorporación de nuevas empresas mineras orientadas a desarrollar proyectos mineros en escalas correspondientes a la Mediana y Gran minería. En buena parte, estas empresas mineras se formaron sea como filiales de empresas trasnacionales, sea por asociación de varias empresas trasnacionales o sea como *joint*

¹ Aldunate, Rafael (1997), p 76.

ventures entre empresas trasnacionales y empresas chilenas estatales o privadas. Además de aportar capitales, mercado, tecnología y experiencia de gestión relacionada con el desarrollo de grandes proyectos mineros, la entrada en escena de las grandes empresas mineras trasnacionales pudo haber influido positivamente en afianzar en el *cluster* una cultura para la adquisición de tecnología no incorporada en maquinaria y equipo y en general una actitud de respeto hacia la propiedad industrial. Además, debido a su inserción en el cluster local, en las nuevas empresas mineras pudo haberse formado rápidamente una conciencia de la potencialidad de la nueva tecnología. Frecuentemente había entre los ingenieros y expertos chilenos que fueron contratados para el desarrollo de los proyectos algunos que tenían un conocimiento de primera mano relativo a la nueva tecnología o contactos para formarse un juicio al respecto. Esto lo ilustran las palabras de una de las personas entrevistadas en el curso del presente trabajo: “Chile es un país pequeño donde todo el mundo que trabaja en un tema se conoce”.

C. Comercialización del acervo tecnológico, 1995–1999

Durante los primeros tres años del período 1995-1999 se registró un nivel satisfactorio de precios del cobre en el mercado mundial mientras en los últimos dos se produjo un fuerte receso que repercutió desfavorablemente en los resultados económicos de las empresas cupríferas del país. Además, en estos últimos años, la economía nacional en conjunto no pudo mantener las altas tasas de crecimiento desde fines de los ochenta hasta 1997, produciéndose primero una fuerte desaceleración y luego, en 1999, una leve recesión económica. En comparación con la crisis 1982/84, el sistema financiero del país pudo resistir esta vez mejor la difícil coyuntura y el sector empresarial no sufrió perturbaciones tan profundas. Sin embargo, uno de los sectores que sintió especialmente las consecuencias de los bajos precios del cobre y de la recesión económica fue la Pequeña Minería.

En el período 1995-1999 continuaron las tendencias del período anterior en orden al fortalecimiento del *cluster* del cobre. Prosiguió el cambio en la estructura de propiedad de la minería del cobre nacional junto con un crecimiento importante de la producción de cobre fino. En 1999 el sector privado alcanzó a representar el 63.1% de la producción total de cobre fino del país mientras en 1995 su participación había alcanzado sólo el 53.2%. Esta tendencia se manifestó en circunstancias de un crecimiento sostenido de la producción de cobre del país que alcanzó 4.380.000 toneladas en 1999. La inversión extranjera jugó nuevamente un importante papel en el desarrollo minero de este quinquenio. Además, con el desarrollo del megaproyecto Los Pelambres por parte del grupo Luksic, el capital nacional privado incursionó en la Gran Minería.

En el período bajo consideración SMP enfrentó la perspectiva del agotamiento del yacimiento Lo Aguirre previsto para fines de la década y, por lo tanto, uno de los aspectos importantes de su gestión fue la preparación del cierre de la mina. Debido al valor que habían alcanzado los terrenos en que encontraban la planta y las pilas de ripios de la mina Lo Aguirre, el proyecto de cierre incluía la rehabilitación de estos terrenos para fines inmobiliarios. En estas circunstancias, las actividades de investigación y desarrollo se encontraron ante la perspectiva de perder el apoyo que le habían brindado continuamente las actividades industriales de Lo Aguirre. Además, en 1996 expiró la patente que SMP poseía sobre el proceso de lixiviación en pilas TL y por lo tanto cesó la protección institucional que gozaba su propiedad industrial. Ante esta realidad y consciente del acervo de *know how* que había adquirido, SMP tomó la decisión de independizar las actividades de investigación y desarrollo de las operaciones de explotación minera, fundando para este efecto, en 1995, la filial SMP Tecnología que recogió en su seno el grupo de Investigación y Desarrollo de la matriz.

Como se había mencionado anteriormente, SMP Tecnología tenía un doble objetivo: uno era vender servicios, en particular en forma de ensayos de laboratorio, pruebas en plantas piloto e ingeniería de procesos, y el otro, desarrollar nuevos procesos hidrometalúrgicos hasta una etapa de aplicación industrial. Además SMP Tecnología tenía que autofinanciarse, lo que significaba que sus proyectos y servicios básicamente tenían que ser financiados por empresas con proyectos de desarrollo minero y no por la matriz. En el curso del año 1996, después de prolongados contactos comerciales con las empresas que impulsaban proyectos de desarrollo minero en el país, el directorio de SMP Tecnología llegó al convencimiento de que no existía entre estas empresas una predisposición favorable a financiar alguno de los proyectos de investigación y desarrollo que SMP Tecnología tenía en cartera. En lo que toca a los servicios tecnológicos, en particular estudios preliminares, pruebas en plantas piloto y diseño de proceso, resultó que los gestores de los proyectos mineros preferían recurrir a consultores y firmas de ingeniería independientes y además a sus propias capacidades de investigación y desarrollo como parte de una estrategia de asimilar una nueva tecnología que ya estaba en el dominio público. Por lo tanto, el directorio tomó la decisión de poner término a las actividades de I y D de SMP Tecnología. En cambio se trataría de comercializar el *know how* que se había acumulado anteriormente en relación con diversos nuevos procesos hidrometalúrgicos. Esta decisión produjo la disolución del grupo de I y D y el retiro de los investigadores de SMP Tecnología.

En los últimos años SMP ha mantenido, a través de un grupo metalúrgico, una actividad de desarrollo tecnológico enfocada principalmente a temas operacionales de sus propios yacimientos. Uno de los proyectos tiene relación con el tratamiento de los ripios de la mina La Cascada de SMP. SMP Tecnología había diseñado en su tiempo un tratamiento de ripios basado en un proceso de hidrolavado y el grupo metalúrgico de SMP optimizó posteriormente este proceso cambiando el hidrolavado por una operación de lixiviación en pilas. Además, se encuentran en una etapa avanzada los trámites para el registro de dos patentes correspondientes a nuevas tecnologías de lixiviación. Por último se ha estado trabajando en la puesta a punto industrial de un nuevo proceso de lixiviación. Para este efecto se formó con la minera Michilla del grupo Lucksic un *joint venture*, en que cada parte puso un 50% del capital. SMP en particular, aportó el *know how* en que basa la solicitud de uno de las patentes mencionadas anteriormente.

En 1992 se instituyó en el marco del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología, el Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo (FONTEC) orientado al financiamiento de proyectos de innovación tecnológica del sector productivo. Por diversas razones, SMP y SMP Tecnología no han recurrido a esta fuente de financiamiento en relación con sus proyectos. Una de ellas era la condición por parte de SMP de asegurar la exclusividad de disponer de la propiedad industrial que representarían sus innovaciones y además de poder mantener el secreto industrial en torno a los nuevos procesos. En segundo lugar, al buscar financiamiento del FONTEC, SMP hubiera tenido que revelar sus líneas de investigación, con lo que se habría expuesto al riesgo de que alguna otra empresa interesada iniciase por su propia cuenta trabajos en el mismo tema. Por último, el FONTEC ofrecía para el caso de proyectos presentados por empresas en forma individual, sólo limitadas posibilidades de financiamiento en comparación con los montos que exigían los proyectos de desarrollo tecnológico de SMP.

VI. Conclusiones

La lixiviación en pilas por capas delgadas o TL fue un desarrollo tecnológico endógeno de Sociedad Minera Pudahuel (SMP). Si bien tuvo su origen en un concepto patentado en EE.UU. en la segunda mitad de los años setenta, fue perfeccionado por esta compañía a partir de su definición original en el ámbito de laboratorio hasta ser llevado a una aplicación industrial en 1980. Estos perfeccionamientos dieron también lugar a una patente de invención, registrada primero en Chile y después en algunos otros países. Además, SMP desarrolló la tecnología de lixiviación bacteriana en pilas por capas delgadas o BTL mediante una investigación sistemática orientada a conocer los mecanismos de lixiviación asistidos por bacterias. Los resultados consistieron básicamente en modelos de gestión para la optimización de los procesos de lixiviación de minerales sulfurados, ampliando de esta manera considerablemente el espectro de minerales aptos a ser lixiviados económicamente.

La puesta a punto de la lixiviación en pilas TL y su combinación con los procesos de extracción por solventes y electro-obtención de cátodos fue una respuesta al desafío que enfrentó SMP para explotar económicamente el yacimiento Lo Aguirre. Por sus condiciones mineralógicas y medioambientales, esta explotación fue considerada en principio difícil de lograr con las tecnologías convencionales de la época. Al darse cuenta de la potencialidad que presentaban para la minería del cobre de Chile y el mundo las nuevas tecnologías, una vez demostrada su factibilidad en la planta de Lo Aguirre, SMP impulsó decididamente una política para su comercialización. Sin embargo, sólo a partir de fines de los años ochenta se logró un licenciamiento de la patente y transferencias

sustantivas de tecnología. Anteriormente SMP tuvo que enfrentar cuestionamientos de la validez de su patente por parte de algunas mineras del país, lo que dio origen a una serie de litigios y negociaciones que sólo terminaron parcialmente satisfactorios para la compañía. Paralelamente SMP realizó una intensa promoción de su tecnología mediante estudios de laboratorio y en plantas piloto en base de muestras de minerales provenientes de yacimientos en Chile y en algunos casos incluso del exterior.

Al expirar en 1996 la patente de invención que poseía SMP, declinó la venta de tecnología de SMP pese al intento de fortalecer la capacidad de desarrollo y comercialización de tecnología mediante la creación de una filial especializada, la SMP Tecnología. Esta organización que integraba los recursos humanos y materiales de la Gerencia de Investigación y Desarrollo de SMP, fue concebida como parte de una estrategia empresarial que consideraba la investigación y desarrollo tecnológico como un negocio. Sin embargo, la necesidad que tenía SMP Tecnología de autofinanciarse y la falta de interés en el *cluster* minero de financiar proyectos de investigación y desarrollo en esta compañía, motivaron un abrupto término de estas actividades, manteniéndose solamente una actividad dirigida fundamentalmente a temas operacionales en las propias plantas de SMP.

Aunque la lixiviación en pilas TL era un desarrollo endógeno de SMP, hubo diversos aportes importantes del *cluster* cuprífero. Posiblemente el más significativo entre ellos haya sido la formación de recursos humanos especializados y la generación de antecedentes acerca de las nuevas tecnologías de hidrometalurgia que habían sido desarrollados en EE.UU. En la generación de este acervo tecnológico, el Instituto Tecnológico de Chile INTEC-CHILE cumplió un rol importante. La orientación que imprimieron diversos expertos en el marco de acuerdos de cooperación técnica internacional a los trabajos de esta institución fue también un factor decisivo. Otro aporte significativo constituyeron los conocimientos y capacidad profesional de los ingenieros, químicos y profesionales de otros campos de las ciencias naturales que fueron contratados por SMP para puestos ejecutivos y gerenciales. En buena parte, estos profesionales habían acumulado experiencia y conocimientos especializados en los institutos de investigación tecnológica y la Gran Minería del país.

A partir de fines de los años ochenta, los diversos procesos de lixiviación en pila se difundieron en forma amplia y preferente en la minería cuprífera de Chile. Así, entre 1991 y 1998, el 44% del aumento de la producción anual chilena de cobre de mina correspondió a cátodos producidos por el proceso de lixiviación en pilas TL, extracción por solventes y electro-obtención. En el último año de este período, este proceso alcanzó a representar el 26% de la producción total de cobre de mina del país. Además, en el mismo período de referencia, el aumento de la producción anual chilena de cátodos por el proceso TL – SX – EW igualó el 33% del aumento de la producción anual del mundo occidental de cobre de mina. Este cuadro de difusión tecnológica hace suponer que en el decenio de los noventa uno de los factores significativos del fortalecimiento de la competitividad internacional de la minería cuprífera chilena fue precisamente el desarrollo de las nuevas tecnologías hidrometalúrgicas y su transferencia a la minería cuprífera chilena. Sin duda, otro factor no menos importante fue la transparencia y estabilidad del marco normativo y regulatorio de la actividad minera, adoptado por el país en el decenio anterior junto con el tratamiento no discriminatorio de la inversión extranjera ya establecido anteriormente. Este factor motivó el ingreso masivo de capitales privados extranjeros y nacionales al sector minero acelerando su desarrollo. Además, el proceso TL – SX – EW se aplicó en gran parte a nuevos proyectos mineros y sólo rara vez a proyectos de reconversión minera. Por lo tanto, una de las condiciones de su amplia difusión en la minería chilena fue ciertamente el gran desarrollo que experimentó la minería cuprífera del país desde fines de los años ochenta.

Otros efectos menos espectaculares pero igualmente significativos que produjo el desarrollo tecnológico de SMP en el *cluster* minero fueron el surgimiento de servicios especializados de

consultoría e ingeniería, el desarrollo de nueva maquinaria minera y materiales y ciertamente también el estímulo, —aunque haya sido tal vez principalmente por efecto demostración—, de la investigación científica y tecnológica y de la docencia en campos como la hidrometalurgia y biotecnología. Los servicios de consultoría e ingeniería se formaron sea como organizaciones nuevas, como unidades de firmas nacionales o internacionales radicadas en el país o incluso como dependencias de los centros tecnológicos del país. Estos servicios fueron creados para atender demandas de proyectos de desarrollo minero en el campo de ingeniería de proceso, básica y de detalle, así como en el área de construcción y pruebas en instalaciones piloto. Los mismos eran en parte complementarios y en parte también competitivos a los servicios ofrecidos por SMP. Como numerosos profesionales de estos nuevos servicios habían trabajado en SMP, puede suponerse que, en buena parte, la transferencia del conocimiento tecnológico se materializó a través de la movilidad de las personas involucradas.

En el campo de la maquinaria y los materiales, la innovación de SMP impulsó interesantes desarrollos que a veces incluso trascendieron la aplicación en las plantas hidrometalúrgicas. Ejemplos constituyen apiladoras de mineral, maquinaria para el manipuleo de cátodos, rectificadores de corriente, materiales de revestimiento de estanques, y sistemas de riego y drenajes. Estos desarrollos en diseño, fabricación de prototipos e instalaciones diseñadas *ad-hoc* se hicieron posibles gracias a los contratos de suministros y documentación técnica que en un principio SMP y luego también otras empresas mineras entregaron a la industria local. El desarrollo tecnológico de SMP estimuló también las actividades de investigación y desarrollo, en particular en el campo de la hidrometalurgia y biotecnología, en el país. En el marco de sus proyectos, la compañía subcontrató trabajos de investigación a diversos institutos tecnológicos y laboratorios universitarios. Sin embargo, el estímulo más importante provino del efecto demostración de que en un país en desarrollo era posible llevar adelante investigaciones de avanzada y lograr innovaciones industriales importantes. Uno de los ejemplos fue el establecimiento del proyecto de PNUD denominado “Desarrollo de procesos biológicos y su aplicación industrial en la lixiviación bacteriana del cobre de minerales chilenos” que se ejecutó en el segundo quinquenio de los años ochenta con participación de la División El Teniente de CODELCO. Por último, SMP incentivó la docencia universitaria autorizando a sus profesionales para impartir cursos y dando facilidades a memoristas y pasantías, entre otras medidas.

Por último se puede observar que un destacado desarrollo tecnológico nacional, como es el presente caso, se desarrolló casi al margen de los instrumentos de fomento específicos y, en particular, del Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo (FONTEC). Esto sucedió en circunstancias que el financiamiento de los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico de SMP primero y luego de su filial SMP Tecnología constituía frecuentemente un obstáculo a su realización. Este caso hace pensar que podría convenir una revisión de los términos y condiciones en que se otorgan los incentivos de fomento tecnológico junto con examinar la posibilidad de elevar los montos máximos de los proyectos elegibles para empresas individuales entre otros temas de la política de fomento tecnológico y productivo.

Anexo Estadístico

Cuadro A-1

CHILE: CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE CÁTODOS DE COBRE EN PLANTAS DE LIXIVIACIÓN – SX – EW POR AÑO DE PUESTA EN MARCHA, TIPO DE PROCESO Y FUENTE TECNOLÓGICA, 1991 –2000
(en toneladas por año)

Año de puesta en marcha	Proyecto	Lixiviación en pilas TL			Total
		con transferencia de tecnología de SMP	sin transferencia de tecnología de SMP	Otros procesos de lixiviación	
1992	Lince	23 000			23 000
1993	Cerro Colorado	45 000			45 000
	El Soldado	4 000			4 000
1994	Biocobre		7 000		7 000
	El Salvador	12 500			12 500
	Iván-Zar		10 000		10 000
	Quebrada Blanca	75 000			75 000
1995	Chuquicamata LGS			12 500	12 500
	El Salvador – expansión		12 500		12 500
	La Escondida – Coloso			80 000	80 000
	Lince – expansión		27 000		27 000
	Monteverde	42 500			42 500
	Santa Barbara		33 000		33 000
	Zaldívar	125 000			125 000
SUBTOTAL	1991 – 1995	327 000	89 500	92 500	509 000
1996	Andacollo		20 000		20 000
	Cerro Colorado – exp.		15 000		15 000
	Santa Bárbara – exp.		33 000		33 000
	El Soldado – expansión	3 000			3 000
1997	El Abra		225 000		225 000
	Radomiro Tomic		150 000		150 000
1998	Cerro Colorado – exp.		40 000		40 000
	Collahuasi		50 000		50 000
	Lomas Bayas		60 000		60 000
1999	La Escondida		125 000		125 000
	Santa Bárbara – exp.		12 000		12 000
2000	Radomiro Tomic – exp.		100 000		100 000
	Leonor Tesoro		60 000		60 000
SUBTOTAL	1996 – 2000	3.000	890 000	0	893 000
TOTAL	1991 – 2000	330 000	979 500	92 500	1 402.000

Fuente: elaborado a base de Esteban M. Domic, Chilean Projects in Hydrometallurgy in the 1990s: A Review and Update, en Latin American Perspectives: Exploration, Mining, and Processing, published by the Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1998.

Cuadro A-2
CHILE: AUMENTOS DE PRODUCCIÓN DE CÁTODOS DE COBRE
POR DISTINTOS PROCESOS SX-LX-EW Y PROCEDENCIA, 1990-1995
(en miles de toneladas)

Proyecto	Lixiviación en pilas TL		Otros procesos de lixiviación	TOTAL
	con asistencia de SMP	sin asistencia de SMP		
Biocobre – Punta del Cobre		6.9		6.9
Cerro Colorado	36.4			36.4
Chuquicamata DL + VL			16.9	16.9
Chuquicamata LGS			14.6	14.6
El Salvador	12.3			12.3
El Salvador -expansión		0.0		0.0
El Soldado	5.1			5.1
El Teniente			3.6	3.6
Iván-Zar		8.8		8.8
La Escondida - Coloso			28.1	28.1
Lo Aguirre	0.0			0.0
Lince	23.0			23.0
Lince - expansión		24.4		24.4
Mantoverde	0.6			0.6
Quebrada Blanca	46.4			46.4
Santa Bárbara - Mantos Blancos		2.6		2.6
Zalivar	22.4			22.4
TOTAL	146.2	42.7	63.2	252.1

Fuente: elaborado en base de datos proporcionados por la Dirección de Estudios, Comisión Chilena del Cobre

Cuadro A-3
CHILE: AUMENTOS DE PRODUCCIÓN DE CÁTODOS DE COBRE
POR DISTINTOS PROCESOS SX - LX - EW Y PROCEDENCIA, 1995-1998

(en miles de toneladas)

	Producción 1995				Producción 1998				Aumento producción 1995-1998			
	Lixiviación en pilas TL		Otros procesos de lixiviación	TOTAL	Lixiviación en pilas TL		Otros procesos de lixiviación	TOTAL	Lixiviación en pilas TL		Otros procesos de lixiviación	TOTAL
	con asistencia de SMP	sin asistencia de SMP			con asistencia de SMP	sin asistencia de SMP			con asistencia de SMP	sin asistencia de SMP		
Proyectos en producción hasta 1995:												
Biocobre - Punta del Cobre		6.9		6.9		7.9		7.9		1.0		1.0
Cerro Colorado	36.4			36.4	45.0			45.0	8.6			8.6
Chuquicamata DL + VL			120.9	120.9			142.4	142.4			21.5	21.5
Chuquicamata LGS			14.6	14.6			15.0	15.0			0.4	0.4
El Salvador	12.3			12.3	12.5			12.5	0.2			0.2
El Soldado	5.1			5.1	5.1			5.1	0.0			0.0
El Teniente			3.6	3.6			4.9	4.9			1.3	1.3
Iván-Zar		8.8		8.8		9.4		9.4		0.6		0.6
La Escondida - Coloso			28.1	28.1				0.0			-28.1	-28.1
Lince	23.0			23.0	23.0			23.0	0.0			0.0
Lince - expansión		24.4		24.4		28.1		28.1		3.7		3.7
Lo Aguirre	14.4			14.4	14.2			14.2	-0.2			-0.2
Mantoverde	0.6			0.6	48.0			48.0	47.4			47.4
Quebrada Blanca	46.4			46.4	71.1			71.1	24.7			24.7
Santa Bárbara - Mantos Blancos		2.6		2.6		33.0		33.0		30.4		30.4
Zaldívar	22.4			22.4	131.5			131.5	109.1			109.1
Subtotal	160.6	42.7	167.2	370.5	350.4	78.4	162.3	591.1	189.8	35.7	-4.9	220.6
Proyectos en prod. después de 1995:												
Andacollo						21.4		21.4		21.4		21.4
Cerro Colorado - expansión						30.0		30.0		30.0		30.0
Collahuasi						19.0		19.0		19.0		19.0
Dos Amigos-Cía.Explot.de Minas						7.5		7.5		7.5		7.5
El Abra						198.7		198.7		198.7		198.7
El Salvador - expansión						8.1		8.1		8.1		8.1
El Soldado -expansión					7.1			7.1	7.1			7.1
La Escondida - Lix. TL						29.0		29.0		29.0		29.0
Lomas Bayas						19.3		19.3		19.3		19.3
Radomiro Tomic						161.9		161.9		161.9		161.9
Santa Bárbara - expansión						15.0		15.0		15.0		15.0
Subtotal	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	509.9	0.0	517.0	7.1	509.9	0.0	517.0
TOTAL	160.6	42.7	167.2	370.5	357.5	588.3	162.3	1.108.1	196.9	545.6	-4.9	737.6

Fuente: elaborado en base de datos proporcionados por la Dirección de Estudios, Comisión Chilena del Cobre

Cuadro A-4

**PRODUCCIÓN DE COBRE DE MINA VIA CONCENTRADOS
Y LIXIVIACIÓN EN CHILE Y EL MUNDO OCCIDENTAL, 1990, 1995 Y 1998**

	Producción en el año			Aumento en el período		
	1990	1995	1998	91-95	96-98	91-98
	(en miles de toneladas)					
MUNDO OCCIDENTAL:						
Cobre de concentrados	6 666	7 178	8 157	512	979	1 491
Cátodos de LX - SX - EW	708	1 090	2 012	382	922	1 304
TOTAL	7 374	8 268	10 169	894	1 901	2 795
CHILE:						
Cobre de concentrados	1 462	2 111	2 579	649	468	1 117
Cátodos de Lixiviación en pilas TL - SX - EW	14	203	946	189	743	932
Cátodos otros procesos LX - SX - EW	109	170	162	61	-8	53
Total cátodos de LX - SX - EW	123	373	1 108	250	735	985
TOTAL	1 585	2 484	3 687	899	1 203	2 102
	(en porcentajes)					
PARTICIPACIÓN DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CÁTODOS LX-SX-EW EN LA PRODUCCIÓN MUNDIAL TOTAL DE COBRE DE MINA	9.6	13.2	19.8	42.7	48.5	46.7
PARTICIPACIÓN DE CHILE EN LA PRODUCCIÓN DEL MUNDO OCCIDENTAL						
Producción total de cobre de Chile/Producción mundial total de cobre	21.5	30.0	36.3	100.6	63.3	75.2
Producción total LX-SX-EW de Chile/Producción mundial total de cobre	1.7	4.5	10.9	28.0	38.7	35.2
Producción total Lixiv.TL-SX-EW de Chile/Producción mundial total de cobre	0.2	2.5	9.3	21.1	39.1	33.3
Producción total Lixiv.TL-SX-EW de Chile/Producción mundial SX-LX-EW	2.0	18.6	47.0	49.5	80.6	71.5

Fuente: elaborado en base de datos proporcionados por la Dirección de Estudios, Comisión Chilena del Cobre.

Gráfico 1

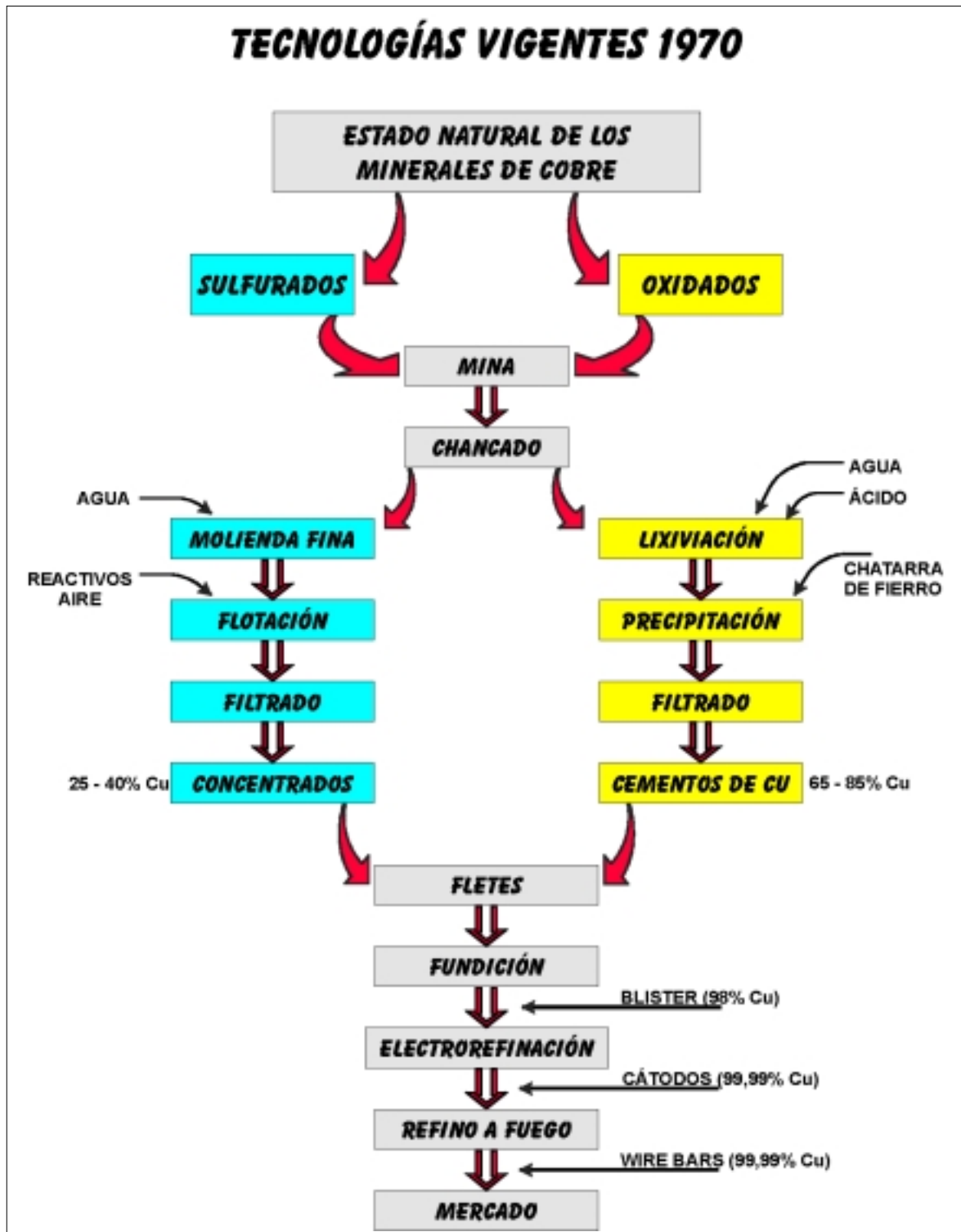


Gráfico 2

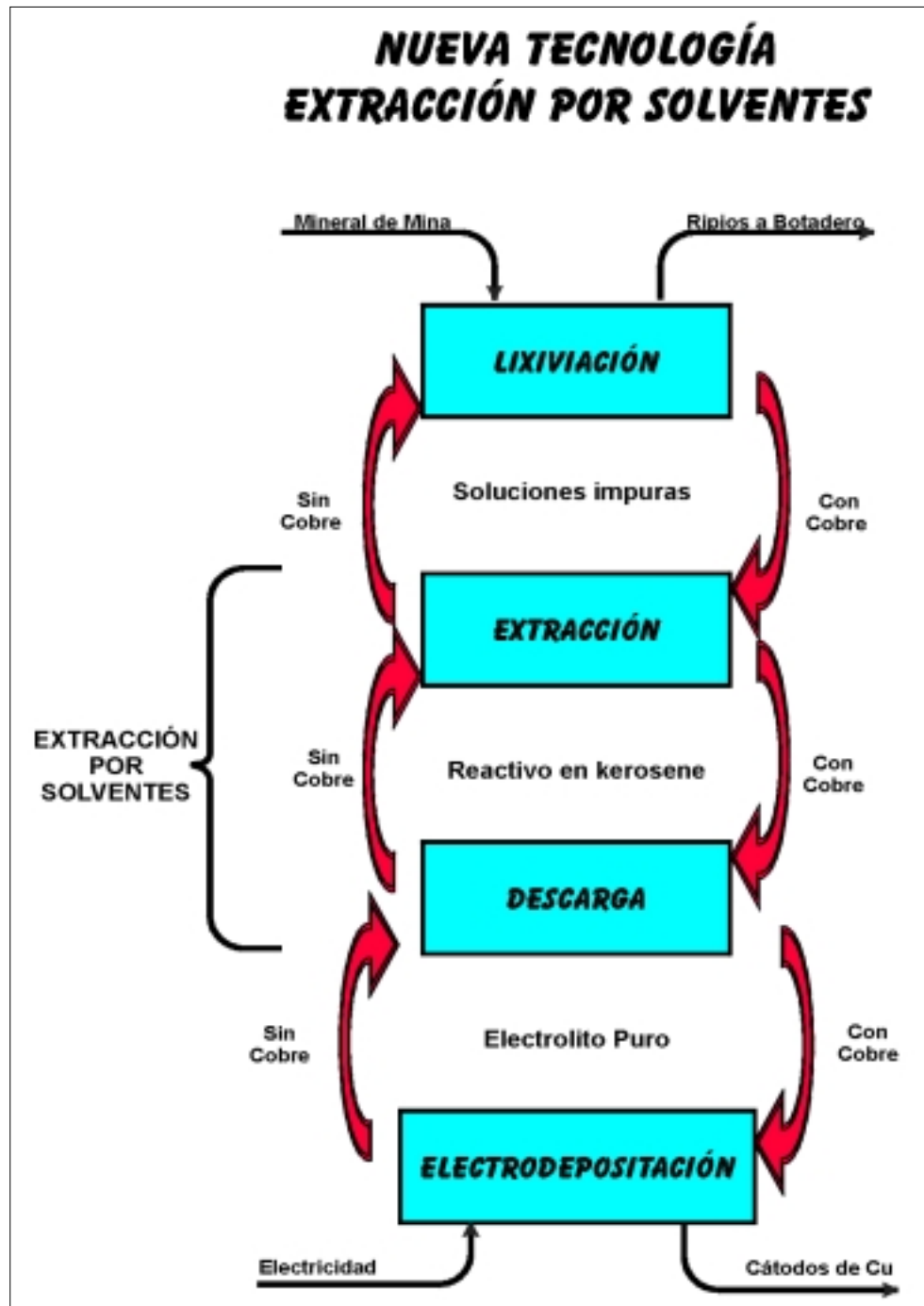
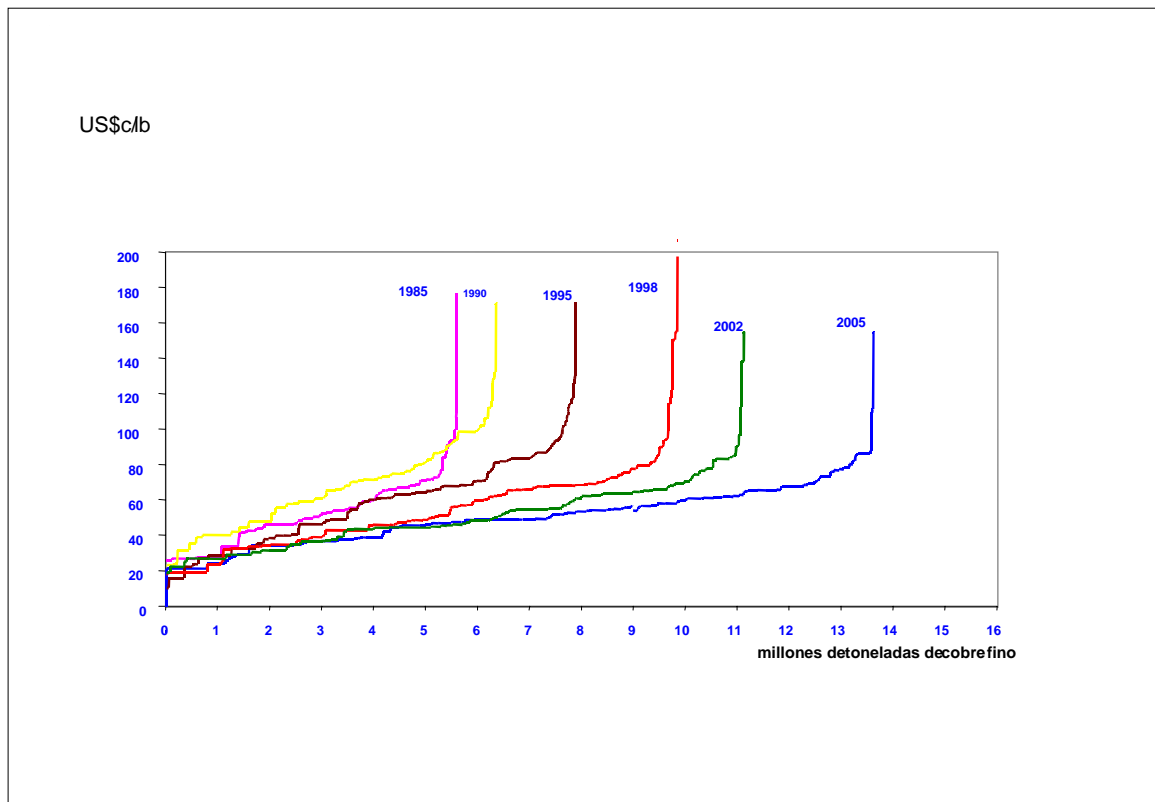


Gráfico 3
EVOLUCION Y PROYECCION DE LA CURVA DE LOS COSTOS DIRECTOS
DE LA PRODUCCIÓN ACUMULADA MUNDIAL DE COBRE, 1985 - 2005
(Dólares de 1998)



Fuente: Lima, Marcos, Presentación en la Sesión Plenaria, 50ª Convención del Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, Antofagasta, 2 de octubre de 1999

Bibliografía

- Aldunate, Rafael (1997), *Guide to the Chilean Business Environment*, Santiago de Chile.
- Bustos, S., S. Castro y R. Montealegre (1993), "The Sociedad Minera Pudahuel bacterial thin-layer leaching process at Lo Aguirre", FEMS (Federation of European Microbiological Societies) *Microbiology Review*, Vol.11, pp 231-236.
- Carvajal, Mario (1975), "Aspectos básicos del cobre", actualizado a 1995, Santiago de Chile.
- Comisión Chilena del Cobre (1999), *Boletín Estadístico Mensual*, "Precios, Producción y Exportaciones de Cobre".
- Domic, Esteban (1977), "Proyecto minero Lo Aguirre: Nueva tecnología para el cobre", presentación en la Sesión 2574 del Rotary Club de Santiago, 2 de febrero, Santiago de Chile.
- ___(1980), "En Chile: Lo Aguirre marca una nueva era en la minería del cobre, Minería Chilena", *Informe Especial*, Diciembre, Santiago de Chile.
- ___(1981a), "Lo Aguirre's Challenge for Scaling Up New Technology in Koper Hydrometallurgy: From Concept to Industrial Application", TMS Paper Selection A-81-46, The Metallurgical Society of AIME, Warrendale, PA, febrero, U.S.A.
- ___(1981b), "Thin Layer Leaching Practice: Cost of Operation and Process Requirements", *Journal of Metals*, pp 48-53, January.
- ___(1986), "T.L. teaching process: recent applications to difficult-to-treat copper ores", Canadian Institute of Mining and Metallurgy (CIM) Bulletin, March.
- ___(1989), "Lince: un nuevo proyecto de mina y planta para Michilla", *Minería Chilena*, N° 102, pp 7-21, Noviembre.
- ___(1990), "The Lince Project", *Mining Magazine*, p.190, September.

- ___(1998), "Chilean Projects in Copper Hydrometallurgy in the 1990's: A Review and Update, Latin American Perspectives: Exploration, Mining, and Processing", publicado por *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.*, pp 203-215.
- El Mercurio (1986), "En Proceso Único en el Mundo, Lixiviación Bacteriana T. L. Recupera Mineral en 6 Meses", 24 de Julio.
- ___(1986), "Tecnología Chilena Domesticó a Desafiantes Minerales de Cobre", 24 de Julio, Santiago de Chile.
- Ellingson, David (1987), "Phelps Dodge Has Something To Smile About", en: *Engineering & Mining Journal*, pp 24-32, Agosto.
- Minería Chilena (1986a), "Lixiviación TL de sulfuros con bacterias".
- ___(1986b), Sociedad Minera Pudahuel incorpora lixiviación bacteriana a su proceso TL.
- ___(1998), *Compendio de la Minería Chilena*, Ministerio de Minería de Chile (1998), "Chile País Minero", Mayo, Santiago.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (1988), *Proyecto del Gobierno de CHILE*, Documento de Proyecto: "Desarrollo de Procesos Biológicos y su Aplicación Industrial en la Lixiviación Bacteriana de Minerales Chilenos – II Fase"
- Sociedad Nacional de Minería (SONAMI) (1983), "Cien años de minería en Chile", Santiago de Chile.
- ___(1996), "Chile: Balance Social de la Minería Privada", Santiago de Chile.



NACIONES UNIDAS



Serie

Desarrollo productivo


Números publicados

- 44 Restructuring in manufacturing: case studies in Chile, México and Venezuela (LC/G.1971), Red de reestructuración y competitividad, Carla Macario, agosto de 1998. [www](#)
- 45 La competitividad internacional de la industria de prendas de vestir de la República Dominicana (LC/G.1973). Red de empresas transnacionales e inversión extranjera, Lorenzo Vicens, Eddy M. Martínez y Michael Mortimore, febrero de 1998. [www](#)
- 46 La competitividad internacional de la industria de prendas de vestir de Costa Rica (LC/G.1979). Red de inversiones y estrategias empresariales, Michael Mortimore y Ronney Zamora, agosto de 1998. [www](#)
- 47 Comercialización de los derechos de agua (LC/G.1989). Red de desarrollo agropecuario, Eugenia Muchnick, Marco Luraschi y Flavia Maldini, noviembre de 1998. [www](#)
- 48 Patrones tecnológicos en la hortofruticultura chilena (LC/G.1990). Red de desarrollo agropecuario, Pedro Tejo, diciembre de 1997. [www](#)
- 49 Policy competition for foreign direct investment in the Caribbean basin: Costa Rica, Jamaica and the Dominican Republic (LC/G.1991), Red de inversiones y estrategias empresariales, Michael Mortimore y Wilson Peres, mayo de 1998. [www](#)
- 50 El impacto de las transnacionales en la reestructuración industrial en México. Examen de las industrias de autopartes y del televisor (LC/G.1994), Red de inversiones y estrategias empresariales, Jorge Carrillo, Michael Mortimore y Jorge Alonso Estrada, septiembre de 1998. [www](#)
- 51 Perú: un CANálisis de su competitividad internacional (LC/G.2028), Red de inversiones y estrategias empresariales, José Luis Bonifaz y Michael Mortimore, agosto de 1998. [www](#)
- 52 National agricultural research systems in Latin America and the Caribbean: changes and challenges (LC/G.2035), Red de desarrollo agropecuario, César Morales, agosto de 1998. [www](#)
- 53 La introducción de mecanismos de mercado en la investigación agropecuaria y su financiamiento: cambios y transformaciones recientes (LC/L.1181 y Corr.1), Red de desarrollo agropecuario, César Morales, abril de 1999. [www](#)
- 54 Procesos de subcontratación y cambios en la calificación de los trabajadores (LC/L.1182-P), Red de reestructuración y competitividad, Anselmo García, Leonard Mertens y Roberto Wilde, N° de venta: S.99.II.G.23, (US\$10.00), 1999. [www](#)
- 55 La subcontratación como proceso de aprendizaje: el caso de la electrónica en Jalisco (México) en la década de los noventa (LC/L.1183-P), Red de reestructuración y competitividad, Enrique Dussel, N° de venta: S.99.II-G.16 (US\$ 10.00), 1999. [www](#)
- 56 Social dimensions of economic development and productivity: inequality and social performance (LC/L.1184-P), Red de reestructuración y competitividad, Beverley Carlson, N° de venta: E.99.II.G.18, (US\$10.00), 1999. [www](#)
- 57 Impactos diferenciados de las reformas sobre el agro mexicano: productos, regiones y agentes (LC/L.1193-P), Red de desarrollo agropecuario, Salomón Salcedo, N° de venta: S.99.II.G.19 (US\$10.00), 1999. [www](#)
- 58 Colombia: Un CANálisis de su competitividad internacional (LC/L1229-P), Red de inversiones y estrategias empresariales, José Luis Bonifaz y Michael Mortimore, N° de venta S.99.II.G.26 (US\$10.00), 1999. [www](#)

- 59 Grupos financieros españoles en América Latina: Una estrategia audaz en un difícil y cambiante entorno europeo (LC/L.1244-P), Red de inversiones y estrategias empresariales, Alvaro Calderón y Ramón Casilda, N° de venta S.99.II.G.27 (US\$10.00), 1999. [www](#)
- 60 Derechos de propiedad y pueblos indígenas en Chile (LC/L.1257-P), Red de desarrollo agropecuario, Bernardo Muñoz, N° de venta: S.99.II.G.31 (US\$10.00), 1999. [www](#)
- 61 Los mercados de tierras rurales en Bolivia (LC/L.1258-P), Red de desarrollo agropecuario, Jorge A. Muñoz, N° de venta: S.99.II.G.32 (US\$10.00), 1999. [www](#)
- 62 México: Un CANálisis de su competitividad internacional (LC/L.1268-P), Red de inversiones y estrategias empresariales, Michael Mortimore, Rudolph Buitelaar y José Luis Bonifaz N° de venta S.00.II.G.32 (US\$10.00), 2000. [www](#)
- 63 El mercado de tierras rurales en el Perú. Volumen I: Análisis institucional (LC/L.1278-P), Red de desarrollo agropecuario, Eduardo Zegarra Méndez, N° de venta: S.99.II.G.51 (US\$10.00), 1999 [www](#) y Volumen II: Análisis económico (LC/L.1278/Add.1-P), Red de desarrollo agropecuario, Eduardo Zegarra Méndez,, N° de venta: S.99.II.G.52 (US\$10.00), 1999 [www](#)
- 64 Achieving educational quality: What school teach us (LC/L1279-P), Red de reestructuración y competitividad, Beverley A. Carlson, N° de venta E.99.II.G.60 (US\$10.00), 2000. [www](#)
- 65 Cambios en la estructura y comportamiento del aparato productivo latinoamericano en los años 1990: después del “Consenso de Washington”, Qué?, (LC/L1280-P), Red de reestructuración y competitividad, Jorge Katz, N° de venta S.99.II.G.61 (US\$10.00), 1999. [www](#)
- 66 El mercado de tierras en dos provincia de Argentina: La Rioja y Salta (LC/L.1300-P), Red de desarrollo agropecuario, Jurgen Popp y María Antonieta Gasperini, N° de venta S.00.II.G.11 (US\$10.00), 2000. [www](#)
- 67 Las aglomeraciones productivas alrededor de la minería: el caso de la Minera Yanacocha S.A. (LC/L1312-P), Red de reestructuración y competitividad, Juana R. Kuramoto, N° de venta S.00.II.G.12. (US\$10.00), 2000. [www](#)
- 68 La política agrícola en Chile: lecciones de tres décadas, (LC/L1315-P), Red de desarrollo agropecuario, Belfor Portilla R, N° de venta S.00.II.G.6 (US\$10.00), 2000. [www](#)
- 69 The current situation of small and medium-sized industrial enterprises in Trinidad & Tobago, Barbados and St.Lucia, (LC/L1312-P), Red de reestructuración y competitividad, Michael Harris, En prensa.
- 70 Una estrategia de desarrollo basada en recursos naturales: Análisis cluster del complejo de cobre Southern Perú, (LC/L1317-P), Red de reestructuración y competitividad, Jorge Torres-Zorrilla, N° de venta S.00.II.G.13 (US\$10.00), 2000. [www](#)
- 71 La competitividad de la industria petrolera Venezolana, (LC/L1319-P), Red de reestructuración y competitividad, Benito Sánchez, César Baena y Paul Esqueda. En prensa.
- 72 Trayectoria tecnológicas en empresas maquiladoras asiáticas y americanas en México, (LC/L1323-P), Red de reestructuración y competitividad, Jorge Alonso, Jorge Carrillo y Oscar Contreras En prensa.
- 73 El estudio de mercado de tierras, (LC/1325-P), Red de desarrollo agropecuario, Jaime Arturo Carrera, N° de venta S.00.II.G.24 (US\$10.00), 2000. [www](#)
- 74 Pavimentando el otro sendero: tierras rurales, el mercado y el Estado en América Latina, (LC/L1341-P), Red de desarrollo agropecuario, Frank Vogelgesang, N° de venta S.00.II.G.19 (US\$10.00), 2000. [www](#)
- 75 Pasado y presente del comportamiento tecnológico de América Latina, (LC/L1342-P), Red de reestructuración y competitividad, Jorge Katz, N° de venta S.00.II.G.45 (US\$10.000), 2000. [www](#)
- 76 El mercado de tierras rurales en la República Dominicana, (LC/L1363-P), Red de desarrollo agropecuario, Angela Tejada y Soraya Peralta, N° de venta S.00.II.G.53 (US\$10.00), 2000. [www](#)
- 77 El mercado de tierras agrícolas en Paraguay, Red de desarrollo agropecuario, José Molinas Vega. En prensa.
- 78 Pequeñas y medianas empresas industriales en Chile (LC/L.1368-P), Red de reestructuración y competitividad, Cecilia Alarcón, Giovanni Stumpo. En prensa.
- 79 El proceso hidrometalúrgico de lixiviación en pilas y el desarrollo de la minería cuprífera en Chile, Red de reestructuración y competitividad, Jorge Beckel. (LC/L.1371-P), N° de venta S.00.II.G.50 (US\$10.00), 2000. [www](#)

Algunos títulos de años anteriores también se encuentran disponibles

-
- El lector interesado en números anteriores de esta serie puede solicitarlos dirigiendo su correspondencia a la Unidad de Inversiones y Estrategias Empresariales de la División de Desarrollo Productivo, CEPAL, Casilla 179-D, Santiago, Chile. No todos los títulos están disponibles.
 - Los títulos a la venta deben ser solicitados a la Unidad de Distribución, CEPAL, Casilla 179-D, Santiago, Chile, Fax (562) 210 2069, publications@eclac.cl.

 Disponible también en Internet: <http://www.eclac.cl>

Nombre:

Actividad:.....

Dirección:.....

Código postal, ciudad, país:

Tel.: Fax: E.mail: