
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

预览已结束，完整报告链接和二维码如下：

https://www.yunbaogao.cn/report/index/report?reportId=5_3260

