

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE CÁTODOS DE COBRE EN CHILE, PERÍODO 2006 – 2007

Amín S. Nazer-Varela
Universidad de Atacama

Álvaro Torrealba-López
Universidad Tecnológica Metropolitana

Salvador F. Capuz-Rizo
Universidad Politécnica de Valencia

Abstract

The industrial production of copper cathodes in Chile is obtained from oxidized and sulfured copper mineral compounds; the first being the most abundant in the combination. The life cycle assessment “from Cradle to Gate” has been used to determine environmental loads and energy demand in the mining sector. The study includes an assessment of environmental impacts generated by the production of copper cathodes utilizing the processes of electro winning and electro refining which were applied on the production of copper for exportation during the biennium 2006 to 2007. Chile has neither the tools nor a public database to facilitate the use of a detailed Life Cycle Assessment with respect to copper production and its environmental impacts. An impact simulation was developed by using the Economic Input Output Life Cycle Assessment (EIO - LCA) tool, which allowed for the measurement of the energy used and the emissions released into the water, air and soil during that period. The results obtained by using the EIO-LCA tool are compared to a study undertaken by the Copper National Commission (Cochilco) in which the only elements considered were the demand for energy and the emission of greenhouse gases for the year 2006.

Keywords: *Sustainable development, Production of copper cathodes, Environmental impact, Life Cycle Assessment*

Resumen

La producción industrial de cátodos de cobre en Chile se realiza a partir de minerales sulfurados y oxidados, siendo los primeros los de mayor abundancia en los compuestos minerales. El Análisis del Ciclo de Vida “desde la cuna a la puerta del cliente” ha sido usado para determinar las cargas ambientales y la demanda de energía en el sector minero. El estudio incluye la evaluación del impacto ambiental que generó la producción de cátodos de cobre electroobtenidos y electrolrefinados considerando las exportaciones del bienio 2006 - 2007. Chile no cuenta ni con una herramienta ni con una base de datos pública que facilite el empleo del Análisis del Ciclo de Vida detallado. Para la simulación del impacto ambiental se utilizó la herramienta *Economic Input Output Life Cycle Assessment* (EIO-LCA) que permitió determinar la energía y las emisiones al agua, al aire y al suelo en dicho período. Los resultados obtenidos con EIO-LCA se comparan con un estudio realizado por la Comisión Nacional del Cobre, que únicamente consideraba la demanda de energía y la emisión de gases de efecto invernadero para el año 2006.

Palabras clave: Desarrollo sustentable, Producción de cátodos de cobre, Impacto ambiental, Análisis de Ciclo de Vida

1. Introducción

Para obtener la mayoría de los dispositivos tecnológicos actuales la industria requiere, por una parte, las materias primas de la minería, y por otra, la metalurgia para la transformación de las mismas. Dentro del ciclo productivo que va desde la extracción del mineral en el yacimiento, hasta la producción de cátodos de cobre, se requiere el consumo de materiales, energía, y la intervención de los recursos humanos dentro del marco legal propio para el sector y lugar geográfico en donde se realiza la producción.

Históricamente, Chile ha basado su riqueza minera en función de la producción de mineral de cobre. A comienzos de la Colonia Española se relataba la abundancia de este recurso y su relativa facilidad de explotación, “tanto es así, que se llegó a creer que en algunos cerros el cobre ‘brotaba’ todos los días, como en una vertiente”. A través del tiempo esta característica de gran productor de cobre se ha ido afirmando, llegando a producir Chile el 40 % de la producción mundial de cobre hacia 1840 (Folchi, 2001).

La participación de Chile en la producción de cobre a nivel mundial es relevante. En el año 2007 alcanzó el 36 % del total siendo el mayor productor, seguido por Perú y Estados Unidos de América, países que alcanzan casi la cuarta parte de la producción chilena; le sigue Indonesia, Australia y China (Cochilco, 2008-c). La industria del cobre representa el 87% del valor de las exportaciones mineras de Chile en TMF (toneladas métricas de cobre fino) (Valencia et al., 2006). Chile también es el tercer mayor productor mundial de cobre de fundición, con casi 1,5 millones de toneladas finas anuales, equivalente a un 13% de la producción mundial (Álvarez, 2003).

Sin embargo, al industrializarse la extracción de minerales y la producción de cátodos de cobre, también se ha contribuido al deterioro ambiental. La principal causa del impacto ambiental obedece a los procedimientos metalúrgicos que se emplean en la fusión del mineral que sirve para separar el cobre de otros elementos químicos como son el arsénico y el azufre, entre otros. Estos elementos son emitidos principalmente al aire, en estado gaseoso, pero hoy en día la mayoría de las fundiciones poseen instalaciones para reducir su efecto pudiéndose recuperar el azufre como ácido sulfúrico con gran interés comercial.

Las empresas pertenecientes al sector industrial de las fundiciones impactan al medio ambiente principalmente con los efectos producidos por la contaminación acústica, por las emisiones de gases y material particulado. Los gases causan daño al suelo y la vegetación circundante, provocan alteraciones sobre la infraestructura instalada en los alrededores a la fundición y finalmente, efectos adversos a la salud de los seres vivos del lugar (Conama, 1998).

Para obtener el cobre en cátodos a partir del mineral, se emplean diferentes procesos metalúrgicos que dependerán si el mineral está presente como óxido o sulfuro de cobre.

Un cátodo es el producto final de la cadena de producción metalúrgica, pudiéndose asegurar que es prácticamente cobre en estado puro. En la refinería se pueden obtener cátodos con un 99,999 % de pureza como promedio. En Chile se encuentran actualmente en operación 7 fundiciones: Chuquicamata, Potrerillos, Hernán Videla Lira (Paipote), Ventanas, Altonorte, Chagres y El Teniente (Cochilco, 2002-a).

Algunas metodologías han sido probadas eficientemente para evaluar las interrelaciones entre los sistemas industriales de la producción, el producto y el medioambiente. En el sector metalúrgico es posible emplear el método del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) o *Life Cycle Assessment* (LCA) (Norgate et al., 2007).

Este trabajo evalúa el impacto ambiental producido al aire, suelo y agua que generó la producción de cátodos de cobre a partir de las exportaciones chilenas en los años 2006 y 2007. Se emplea la herramienta Análisis de Ciclo de Vida EIO-LCA (Economic Input-Output Life Cycle Assessment) que permitirá practicar la comparación de los resultados con un estudio basado únicamente en la demanda de energía y la emisión de gases de efecto invernadero realizado por Cochilco. (Cochilco, 2008-b).

2. Procesos de producción del cobre

El mineral de cobre se encuentra en la naturaleza tanto en estado natural (nativo), como combinado con otros minerales y rocas estériles (pórfidos) en depósitos o yacimientos desde los cuales son explotados para su transformación mediante la metalurgia. Estas combinaciones de cobre con otros elementos se clasifican en dos grupos: los minerales sulfurados y los minerales oxidados. Los sulfuros son minerales constituidos por el enlace entre el azufre y elementos metálicos tales como el cobre, hierro, plomo, zinc, etc. Por otra parte, los óxidos, en sentido estricto, se refieren a minerales formados por el enlace entre metales y metaloides con el oxígeno. Generalmente tiene contenidos entre 0,3% y 2,5% de cobre total y tonelajes que varían entre 200 y 5.000 millones de toneladas (Codelco-a, 2007). Se afirma que entre el 90% y el 95% del cobre producido a escala mundial tiene su origen en minerales sulfurados y es muy difícil separarlo o disolverlos de los otros elementos (lixiviación), por lo que se recurre en mayor medida a la fusión (pirometalurgia). (Acevedo y Montes-Atenas, 2004).

El mineral de cobre adquiere un mayor valor comercial cuando es purificado y transformado en metal, y para lograrlo se han desarrollado prácticas que van desde la tradicional fundición (Ayres et al., 2002) hasta otros procesos actuales de cierta complejidad en donde interviene la bioingeniería (Dreisinger, 2004). Los procesos de extracción de minerales y posterior purificación del metal permiten tan sólo la recuperación del 1 % de cobre en peso respecto de la materia prima, para lo cual se consume gran cantidad de energía y se generan residuos que son de origen sólido, líquido y gaseoso, dependiendo del porcentaje de cobre presente (ley de cobre) y de los niveles de pureza requeridos (Ulloa, 2002).

Tradicionalmente, el tratamiento de concentrados de cobre sulfurados ha quedado en poder del proceso de fundición (Dreisinger, 2004), la que emplea cinco etapas: extracción de minerales desde el yacimiento, chancado, concentración, fundición y electro refinación. Actualmente, la capacidad total de fundición de concentrados de cobre de Chile es del orden de 5 millones de toneladas anuales y cuenta con 7 fundiciones primarias de concentrados de cobre, que emplean las siguientes tecnologías para cada etapa: la fusión emplea el Horno Flash, los Convertidores Teniente y los Hornos Noranda; en la conversión, se emplean los Convertidores Peirce–Smith; y finalmente se emplean los hornos para el tratamiento de las escorias (Cochilco, 2002-a). Al igual que para los minerales sulfurados, los minerales oxidados tienen en común las etapas de extracción y chancado. Tras el chancado del mineral, éste pasa a lixiviación y luego a electro-obtención.

Sin embargo, nuevas opciones como la biolixiviación se han desarrollado principalmente a nivel experimental en empresas mineras privadas y estatales. La productora estatal Corporación Nacional del Cobre, Codelco, ha recuperado cobre a partir de sulfuros secundarios de baja ley a una velocidad de extracción lenta, y nuevas investigaciones de la Alliance Copper Ltd. se orientan a la recuperación de minerales de cobre de baja ley desde los tranques de relaves antiguos (Vives y Quezada, 2005). La biolixiviación o lixiviación bacteriana corresponde a la disolución de minerales bajo la presencia de microorganismos que digieren algunos elementos químicos como el hierro y el azufre liberando el mineral asociado como puede ser el cobre, el oro, uranio y otros (Alpaca, 1998).

Las etapas que comprende la producción de cátodos de cobre por la vía lixiviación bacteriana son las siguientes: extracción del mineral desde la mina, carguío y transporte desde mina hasta las chancadoras, chancado de minerales, aglomeración, apilamiento, lixiviación bacteriana, extracción por solvente, electro-obtención, acopio de cátodos y transporte de cátodos (Cochilco, 2002-a).

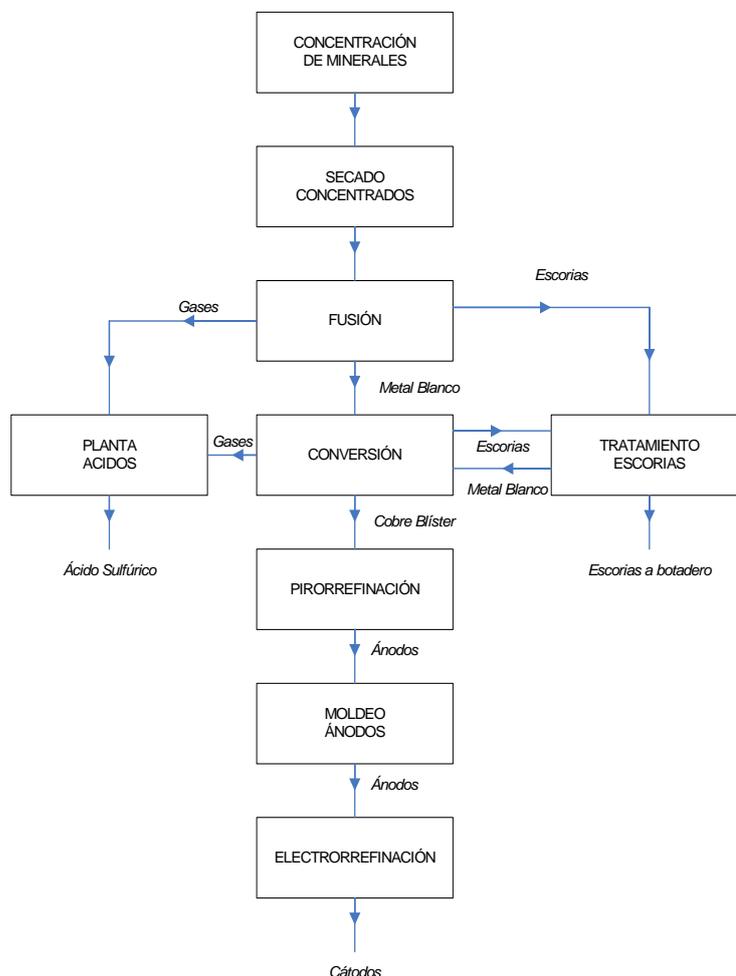


Figura 1. Proceso de obtención de cátodos de cobre por vía pirometalúrgica.

3. Análisis del Ciclo de Vida y su aplicación a procesos mineros y metalúrgicos

El análisis del ciclo de vida (ACV) de un producto, bien o servicio, es una metodología que evalúa las entradas y salidas totales de un sistema con el propósito de determinar principalmente los impactos al medioambiente. La fortaleza del método radica en que integra los diferentes aspectos ambientales involucrados en el proceso o producto, a la vez que considera las diferentes fases del ciclo de vida del producto/proceso a través del enfoque de la cuna a la tumba. La desventajas surgen de la complejidad que lleva implícita y la cantidad de información requerida, que exige invertir tiempo y esfuerzo en su aplicación (Neto, 2007).

El Análisis del ciclo de Vida estudia aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o servicio (van Berkel, 2000) desde la cuna a la tumba (cradle to grave), es decir desde la adquisición de materia prima, la producción, uso y disposición final (Douni, 2003). Sin embargo, también existen estudios simplificados que tan sólo abarcan algunas fases productivas y se denomina análisis “puerta a puerta” (gate to

gate) o en el caso de cubrir el aspecto de energía del ciclo de vida, se le llama "de la cuna a la puerta" (cradle to gate) sin tener en cuenta el fin de vida (New Zealand Green Building Council, 2008).

Sobre la base de la evaluación del impacto, pueden distinguirse dos tipos de ACV: orientado a los problemas intermedios (midpoint) u orientadas a daños a la sociedad (endpoint). Las entradas de impactos y daños ambientales en el análisis de impacto son resultado del inventario de ciclo de vida. Se generan indicadores de daños potenciales provocados por el hombre a nivel de: salud humana, el medioambiente natural y los recursos naturales (Jolliet et al., 2007). El ACV se basa en un riguroso cálculo de balance de masa y energía determinado por simulación y/o cuantificación de los flujos de materiales y energía de varios procesos en un sistema productivo. Estos balances son usados para determinar los inventarios del consumo de recursos y generación de residuos del producto o proceso. Luego, estos inventarios serán de mucha utilidad para reconocer impactos ambientales de una manera objetiva (van Berkel, 2000).

La mayor exigencia ambiental de la sociedad y la administración está causando que en los últimos tiempos las empresas se preocupen por conocer y evaluar el grado de impacto al ambiente debido a los procesos productivos de minerales y metales. Con la experiencia que se tiene de la aplicación de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida a procesos mineros, (Douni et al., 2003), propone una metodología de inventario de ciclo de vida al sector de procesamiento de minerales, etapa más laboriosa del método. Una de las principales ventajas de la metodología es la capacidad para identificar la transferencia de impactos ambientales de un medio a otro y/o de una etapa a otra del ciclo de vida.

Stewart en su informe de ACV del Workshop del Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD) de 2001, concluye que el ACV es una buena herramienta de apoyo en la toma de decisiones en las empresas productoras de minerales y metales. (Stewart, 2001). Un punto interesante analizado en este evento es la disfunción que introduce el hecho de que el ACV haya tenido su origen en el Hemisferio Norte y fuera creado para analizar y evaluar los correspondientes impactos ambientales, y dado que los países del Hemisferio Sur son productores de la materia prima y los países del Hemisferio Norte son principalmente consumidores, la aplicación del ACV al sector minero requiere la corrección de algunas deficiencias en la información y metodología aplicadas (Stewart, 2001).

Por otra parte, la visión chilena expuesta por Wiertz (2002), reconoce que se cuenta con poca experiencia en la aplicación de ACV a la minería y a los procesos metalúrgicos, no obstante algo se ha hecho en función de fijar las reglas metodológicas e identificar los parámetros más importantes de impacto ambiental (Wiertz et al., 2002).

Un estudio de ACV comparativo entre dos procesos metalúrgicos de obtención de cátodos de cobre se ha realizado con el programa SimaPro 5. La principal conclusión es que la base de datos del programa no se ajusta a la realidad chilena, particularmente en la generación de la electricidad, finalmente se determinó que los impactos se ubican entre los más bajos respecto de países europeos (Wiertz et al., 2002). Ulloa (2002), afirma la conveniencia de "desarrollar un método ajustado a las condiciones locales de trabajo" o estudio y no fiarse del método Eco-Indicator 99 incluido en SimaPro.

Respecto de la metodología de la evaluación del impacto del ciclo de vida, el Ministerio de Minería de Chile ha difundido un informe final que intenta mostrar el estado del arte del ACV orientado a la producción minera y metalúrgica del cobre. En dicho documento, se entrega además, una "visión estratégica y futura de sustentabilidad" del sector (Douni, 2003). Según el informe, no existe en Chile una metodología para trabajar con el Inventario de Ciclo de Vida y los estudios están basados en fuentes de información europeas. Estos trabajos corresponden a análisis de empresas mineras del cobre, tanto del sector público como el privado y en el año 2004, tan sólo se contaba con dos ACV que evaluaron la producción de

cátodos de cobre por las vías pirometalúrgica y bio-hidrometalúrgica. Codelco Chile y BHP Billiton han desarrollado los inventarios de ambos procesos metalúrgicos indicados anteriormente y optado por encargar a una empresa extranjera la Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida de cátodos de cobre. Por todo ello, los datos públicos son inexistentes (Peña y Rozas, 2004).

4. Metodología

Se realizó una simulación de los impactos ocasionados al medioambiente debido a la producción de cátodos de cobre por toda la industria minera y metalúrgica de Chile, y para ello se evaluaron las emisiones de gases tóxicos, gases que contribuyen al efecto invernadero y la demanda de energía en los años 2006 y 2007.

La disponibilidad de datos completos y detallados de toda la industria minero-metalúrgica nacional, información necesaria para realizar un completo Análisis de Ciclo de Vida de cátodos de cobre, no se ha podido obtener en la literatura disponible. Existe un estudio recientemente realizado por COCHILCO (2008-b), que cuantifica las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector minería nacional contando con la información de solamente de 34 faenas mineras, que representan el 97,5 % de la producción chilena al año 2006. Este estudio no corresponde a un ACV del cobre y se imposibilita el acceso a los datos en forma detallada para la aplicación de ACV.

Para la simulación de ACV de cátodos de cobre se ha elegido el uso del programa computacional de origen estadounidense *Economic Input Output-Life Cycle Assessment*, conocido como EIO-LCA. Algunos de los criterios para su elección han sido el considerar, apelando a sus bases de datos, la similitud de los procesos industriales empleados tanto en Estados Unidos como en Chile y la cercanía existente en los costos de producción de ambos países. Además, el programa tiene el respaldo de la *Carnegie Mellon University* y finalmente, el programa trabaja con plataforma Web y de acceso libre.

Dicha herramienta evalúa las consecuencias ambientales generadas a partir de la compra de un producto, bien o servicio en Estados Unidos de América. Los datos requeridos para su uso son: conocer la inversión parcial o total del producto a analizar en dólares estadounidenses, seleccionar una base de datos de las 11 disponibles en el programa, seleccionar el grupo industrial de interés y seleccionar el sector industrial de interés

Ingresando los antecedentes requeridos se obtienen los inventarios de impactos ambientales directos e indirectos del producto en la situación base para el año 1997, esto significa que se deberá realizar un ajuste inflacionario sobre el valor de la inversión. Por otra parte, la evaluación arroja resultados de la actividad económica tanto del sector del análisis como también del resto de los sectores de la economía participantes, ya sea participación directa o indirecta de la inversión en la cadena de abastecimiento del producto principal. EIO-LCA puede interrelacionar alrededor de 500 sectores productivos configurando una matriz de 491x491 y como se describe en su sitio Web, opera linealmente o proporcionalmente, es decir, “los efectos debidos a la producción de y unidades en el sector x, serán multiplicados por 10 cuando se produzcan 10y unidades en el mismo sector” (Ochoa y Márquez, 2005).

5. Resultados

Aplicando la metodología EIO-LCA, se trabajó usando los costos totales (FOB, franco a bordo) de las exportaciones de cátodos (electro refinados y electro obtenidos) que Chile realizó en los años 2006 y 2007 y se verificó la aportación de emisiones y la demanda energética del sector para ese período. Los valores de los embarques de exportación se obtuvieron del Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1988-2007, de

COCHILCO (2008-c). Como el costo de producción de una libra de cobre entre Chile y Estados Unidos de Norteamérica son similares, es decir, es mayor en este último país en un 3,7 %, se ha considerado como base el Índice de Precios al Consumidor (IPC) correspondientes a los de los Estados Unidos y se obtuvieron de la base de datos histórico de Inflation Data de su sitio Web (Inflationdata, 2008). En la tabla N° 2 se registran los datos de entrada al programa EIO-LCA (Carnegie Mellon University, 2008).

Año	Valor Exportaciones M US \$	Factor de ajuste inflacionario	Exportaciones ajustadas M US \$
2006	16.736.300	0,722	12087,3278
2007	19.708.900	0,821	16182,0442

Tabla N° 1. Información de entrada al programa EIO-LCA

El modelo elegido ha sido el *US Department of Commerce 1997 Industry Benchmark (491)* para el grupo industrial *Ferrous and Nonferrous Metal Production* y el sector industrial *Primary smelting and refining of copper* signado como #331411.

De acuerdo al estudio "Emisiones de gases de efecto invernadero de la minería del cobre de Chile. 1995-2006", de Cochilco (Cochilco, 2008-b), la producción total de cátodos de cobre electrorefinados para el año 2006 fue de 958.000 toneladas. Para poder comparar la información obtenida por Cochilco y la aportada por la herramienta EIO-LCA, sólo se ha considerado las emisiones de gases de efecto invernadero y la energía directa empleada en la fundición de ánodos y cátodos de cobre para el año 2006 (sectores: #221100, generación de electricidad y #331411, fundición primaria y refinación de cobre). Del informe de Cochilco se desprende que la demanda unitaria de energía promedio para ese año fue de 50.4 GJ/t, cifra que incluye sólo la demanda de energía tanto de combustibles como de electricidad de las generadoras externas para la fabricación de ánodos y cátodos de cobre chileno. Se tiene entonces, que la carga de emisiones unitaria promedio fue de 5,07 GJ/t para los mismos productos metalúrgicos.

Emisiones convencionales al aire (t)	AÑO	SO2	CO	NOx	VOC	Pb	PM10
	2006	289000	135000	43500	52400	313	50600
	2007	386000	180000	58200	70200	419	67700
Emisiones de Gases Efecto Invernadero (kt eq. CO2)	AÑO	CO2	CH4	N2O	CFCs	Total	
	2006	12900	1030	131	822	14900	12900
	2007	17200	1390	175	1100	19900	17200
Emisiones tóxicas (t)	AÑO	Al Aire	Al suelo	Al Agua			
	2006	6250	1030000	574			
	2007	8370	1380000	769			
Consumo de energía (TJ)	2006	195000					
	2007	262000					

Tabla N° 2. Inventario de impactos período 2006-2007 usando el programa EIO-LCA

Exportaciones de cátodos electro refinados (M US \$)	Demanda de energía (TJ)		Emisiones de GEI (Ton. Eq. CO ₂)	
	Cochilco	EIO-LCA	Cochilco	EIO-LCA
6.051.594	48.283	56.000	4.857.060	3.798.000
Variación	16%		28%	

Tabla N° 3. Resultados del estudio comparativo de energía y GEI para el año 2006

6. Conclusiones.

Comparando las metodologías del Análisis de Ciclo de Vida de la herramienta EIO-LCA y el procedimiento basado en encuestas practicado por la Comisión Nacional del Cobre de Chile, se aprecia que mientras el primero emplea inversiones en dólares estadounidenses, el segundo colecta datos en la fuente productiva.

Los resultados difieren bastante entre sí en cuanto a energía y gases de efecto invernadero se refiere. Al hacer una comparativa de la información, se aprecia que el método de ACV de la EIO-LCA reporta en energía un 16 % mayor que el estudio de Cochilco, mientras que en gases de efecto invernadero es un 28% menor.

La aplicación de la metodología del análisis del ciclo de vida en los procesos minero-metalúrgicos chilenos es una tarea pendiente y queda claro que se deberán realizar estudios más profundos y con estrategias colaborativas entre las empresas productoras del Estado y las privadas con el propósito de establecer una base de datos de uso público que fomente el desarrollo sustentable y como consecuencia, favorezca la investigación y transferencia tecnológica.

Referencias

- Acevedo, R.; Montes-Atenas, G. "Hacia un Enfoque Dinámico de la Físico-Química". Volumen II. Universidad de Chile, Departamento de Ciencia de los Materiales, 2004. pp. 2.
- Alpaca, M. "Biolixiviación nueva: La opción metalúrgica". Vol. I N° 02. Lima – Perú. Diciembre 1998. [Consulta: mayo 2007], Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/Publicaciones/geologia/v01_n2/biolix.htm
- Álvarez, V. "Desafíos de la minería del siglo XXI: Una mirada prospectiva". Cochilco. 2003. pp. 40
- Ayres, R. et al. "The Life Cycle of Copper, its Co-Products and By-Products". *Mining, Minerals and Sustainable Development*. Enero, N° 24. 2002. pp. 10.
- Carnegie Mellon University Green Design Institute. "Economic Input-Output Life Cycle Assessment (EIO-LCA) model" [Internet]. Disponible en [www.eiolca.net]. Consultado en Julio 2008]
- Cochilco. "Anuario de estadísticas del cobre y otros minerales. 1988-2007". 2008-c. Pág. 35 y 37

Cochilco. "El convenio de Estocolmo, las emisiones de dioxinas y furanos y un análisis de los procesos de las fundiciones primarias de concentrados de cobre en Chile". Diciembre 2002-a. pp. 6 y 7.

Cochilco. "Emisiones de gases de efecto invernadero de la minería del cobre de Chile. 1995-2006". 2008-b. pp. 2-43.

Codelco-b. "Proceso Productivo". [Consulta: 27-mayo-2007]. Disponible en: http://www.codelco.com/cu_zonacobre/cobre.asp

Codelco-a. "Zona del Cobre". [Consulta: 18-abril-2007]. Disponible en: http://www.codelco.com/cu_zonacobre/cobre.asp

Conama, Chile. "Guía para el control y prevención de la contaminación industrial rubro fundiciones. Región Metropolitana". 1998. pp. 16

Douni, I. Taxiarchou, m. Paspaliaris, I. "Life Cycle Inventory Methodology in the mineral processing industries". *Proceedings of the International Conference on Sustainable Development Indicators in the Mineral Industries*. Milos, 2003, Grecia. pp. 129-133. [Consulta: marzo 2008]. Disponible en: http://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=1SMOwY0peTwC&oi=fnd&pg=PA193&dq=lca+cooper&ots=uFvQbklS-O&sig=DaUnTJNedS_DP1I37uOoBLHVcZk#PPA129,M1.

Dreisinger, D. "New developments in hidrometalurgical treatment of copper concentrates". *Engineering and Mining Journal*; May 2004; 205, 5; ProQuest Science Journals. pp. 32.

Folchi, M. "La Insustentabilidad de la industria del cobre en Chile: los hornos y los bosques durante el siglo XIX". *Revista Mapocho* N° 49. Santiago de Chile 2001. pp. 152-155, 162-171

Inflationdata. "Historical CPI". [Consultada Julio 15, 2008]. http://inflationdata.com/Inflation/Inflation_Rate/HistoricalInflation.aspx

Jolliet, O. et al. "The LCIA Midpoint-damage Framework of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. *UNEP/SETAC Life Cycle Initiative « .Scientific Journals*. Consulta [junio-2007] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1065/lca2004.09.175>.

Neto, B. "MIKADO: a Decision Support Tool for Pollution Reduction in Aluminium Pressure Die Casting". Tesis Doctoral. Wageningen Universiteit, 2007. pp.19 a 21.

New Zealand Green Building Council. http://www.nzgbcservices.org.nz/resources/events/LCA2006/Introduction_Life_cycle_assessment.pdf. [Consulta 23-marzo-2008]

Norgate, T. & Jahanshahi, S. & Rankin, W. "Assessing the environmental impact of metal production processes". *Journal of Cleaner Production*. N° 15. 2007. pp. 839.

Ochoa & Márquez. "Análisis del impacto ambiental de la construcción y mantenimiento de las carreteras en los Estados Unidos de Norteamérica". *1° Foro Académico de la DES de Ingenierías y Arquitectura*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Diciembre 2005. pp. 137-144.

Peña, C. & Rozas, I. "Metodología de evaluación del impacto del ciclo de vida para la minería: anticipando el futuro. Informe Final". Proyecto CIMM-LCA 07/04. Gobierno de Chile, Ministerio de Minería. 2004. pp. 18.

Steward, M. "The Application of Life Cycle Assessment to Mining", *Minerals and Metals. MMSD Life Cycle Assessment Workshop*, New York, Oct. 2001. N° 203. Consultado en: marzo-2008. Disponible en: http://www.iiied.org/mmsd/mmsd_pdfs/lca_workshop_report.pdf. pp. 17, 24.

Troncoso, J. & Oyaneder, L. "Diseño de una guía para la elaboración y revisión de declaraciones de impacto ambiental para proyectos de lixiviación en pilas, extracción por solventes y electroobtención". Trabajo de Título de Ingeniero de Ejecución Industrial. Copiapó, Universidad de Atacama. 2004. pp. 47 a 52

Ulloa M, Andrea. "Un nuevo concepto en el análisis de procesos metalúrgicos: evaluación de su interacción con el medio ambiente". Memoria de Título Ingeniero Civil Químico. Santiago de Chile: Universidad de Chile. 2002. pp. 1.

Valencia, C. & Vives, H & Valenzuela, A. "Evolución de la Industria Mundial de Fundiciones y sus Perspectivas en Chile en el Período 2004 – 2012". Cochilco, Capítulo II. 2006. pp. 213, 214, 215, 224, 226, 255, 256, 263, 264.

van Berkel, R. "Life Cycle Assessment for environmental improvement of mineral's production". *Environmental Workshop- Mineral Council of Australia*. Oct.-Nov. 2000. Pág. 3 y 11. [Disponible en: www.c4cs.curtin.edu.au/resources/publications/2000/lca_minerals.pdf]

Vives, H. & Quezada, C. "Reseña de la Innovación Tecnológica en la Minería del Cobre: El Caso Codelco". DG/12/05. Comisión Chilena del Cobre. Dirección de Evaluación de Gestión Estratégica. 2005. pp. 7, 12, 13, 16

Wiertz, J. Peña, C. Rozas, I. & Ulloa, P. "Life Cycle Assessment as a Process Comparison Tool in the Chilean Copper Production". *Workshop on LCA and Metals*. Montreal, April 2002. [Disponible en: <http://www.nrcan.gc.ca/ms/canmet-mtb/mmsl-lmsm/enviro/lifecycle/pdf/Pena-LCAProcessComparisonTool-Presentation.pdf>]. Consulta: marzo 2008.

Correspondencia (Para más información contacte con):

1. Amin Salvador Nazer Varela.
Universidad de Atacama, Instituto Tecnológico
Departamento de Obras Civiles
Av. Copayapu 485
Casilla 240 Código Postal 1530000
Copiapó, Chile
Fono: 056 52 206837
Fax: 056 52 206756
Correo-e: amin.nazer@uda.cl

2. Álvaro Torrealba López
Universidad Tecnológica Metropolitana
Facultad de Ciencias de la Construcción y
Ordenamiento Territorial
Calle Dieciocho 390,
Santiago, Chile
Fono: 056 2 7877305
Fax:
Correo-e: atorreal@utem.cl