

IMPORTANCIA DEL DESARROLLO DE TECNOLOGIAS LIMPIAS PARA LA INDUSTRIA DEL COBRE

Mario Sánchez
Departamento de Ing. Metalúrgica,
Universidad de Concepción
Edmundo Larenas 285, Concepción, Chile

1. INTRODUCCIÓN

Las Tecnologías Limpias es un concepto que viene desarrollándose fuertemente en el mundo de hoy como una respuesta necesaria al desarrollo industrial y su impacto sobre la naturaleza. El fenómeno de globalización por la que atraviesa el mundo actual ha contribuido también a fijar este concepto, ya que podemos darnos cuenta con más facilidad de los límites de nuestro universo y cuan fácil es contaminarlo con efectos permanentes. Nace entonces la percepción social de que el desarrollo debe seguir un curso sustentable so riesgo de perecer en los intentos de crecimiento.

La transformación de la naturaleza por parte del ser humano es tan antigua como éste. No se entendería de otra manera todos los beneficios en los nuevos productos y tecnologías que hoy tenemos para satisfacer nuestra vida diaria. Basta que miremos a nuestro alrededor para darnos cuenta de la cantidad de cosas fabricadas por nuestra especie que facilitan nuestro pasar cotidiano.

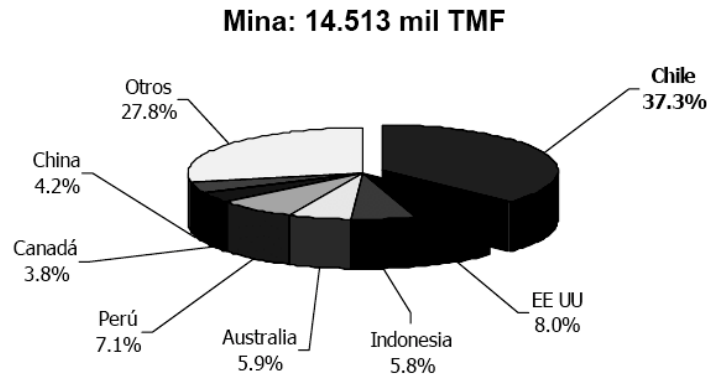
El límite para el desarrollo ya no es hoy por hoy la capacidad de transformar la naturaleza, sino más bien cautelar que la transformación ocurra con un mínimo de efectos ambientales. Esto ha dado origen al nacimiento de nuevas áreas de desarrollo científico cuyo objetivo es establecer nuevas disciplinas de ordenamiento que hagan sustentable los procesos industriales, procesos necesarios para seguir creciendo.

Cabe destacar que el objetivo fundamental de estas nuevas áreas de desarrollo sigue siendo la satisfacción social de nuestra especie. Por ende la concepción de Tecnologías Limpias no sólo dice relación con la innovación y el desarrollo de procesos menos contaminantes, sino también con el bienestar de las comunidades, particularmente las que habitan en terrenos aledaños a las plantas industriales.

2. La Industria Minera y el caso particular del cobre.-

La industria minera es determinante para el mundo actual. No podemos prescindir de los metales para el desarrollo de nuestra sociedad y el caso del cobre no escapa a esta situación.

Chile es hoy un importante productor de cobre en el mundo, tal como lo indica el diagrama de la Figura 1 que se muestra a continuación, donde se compara su producción con otros países del mundo.



ISGS. Copper Bulletin marzo 2005.

Figura 1 - Producción porcentual de cobre mundial.

Los datos muestran que al año 2004, Chile es el primer productor de cobre de mina del mundo, con una producción de 5,4 millones de TMF de cobre y, con una participación de más de un tercio del mercado.

Al año 2010, se estima que la producción de cobre alcanzará 6,7 millones de TMF. Parte fundamental de este incremento ha sido la inversión del sector privado, cuya producción pasó de un 16% en 1990 a un 66% del total de cobre fino producido el 2003.

El gráfico de la Figura 2 que se muestra a continuación indica la evolución de la producción minera de cobre en varios países del mundo desde al año 1991 hasta el año 2003, en que notoriamente se explicita el salto dado por Chile en la producción primaria de este metal. Ello también permite prever el gran impacto ambiental que esta industria tiene en su entorno, lo que es muy relevante para un país con una superficie relativamente pequeña comparada con otros colosos productores como Estados Unidos, Australia, Rusia, China o Canadá.

También este gráfico permite apreciar la declinación de producción en países como Estados Unidos, Rusia y Canadá, en lo que indudablemente ha influido parámetros como el agotamiento de recursos, los aumentos de costos de mano de obra y las normativas ambientales cada vez más estrictas.

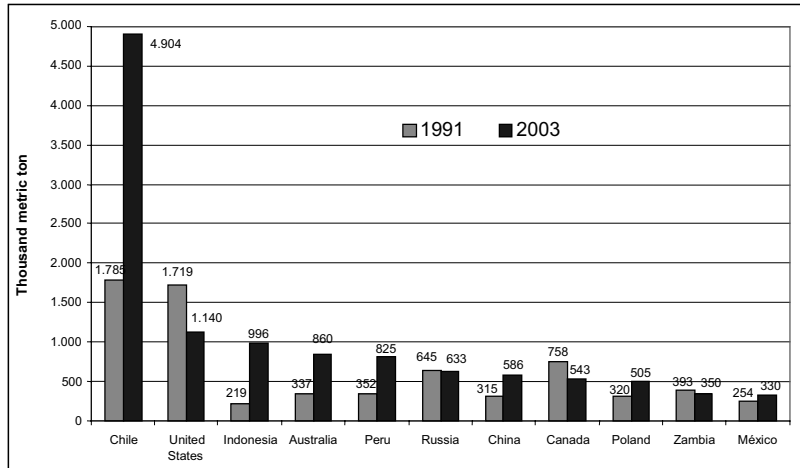


Figura 2 - Cambios de producción de cobre a nivel mundial (1991-2003)

Se estima que al año 2010, América Latina contribuirá con cerca del 57% de la producción total mundial de cobre, lo que muestra la importancia de esta región en esta actividad minera y por ende su importancia futura en esta área de la economía. Si bien Chile es el principal productor, hay economías muy emergentes asociadas a este sector como son los casos de Perú y Brasil. En la figura 3 siguiente se muestra la producción de cobre de otros países emergentes como Argentina, Brasil, México y Perú y su contribución al incremento esperado durante esta década. De esta manera, la región Latino Americana pasa a tener una importancia fundamental en la comercialización y por de pronto en la fijación de precios de este metal.

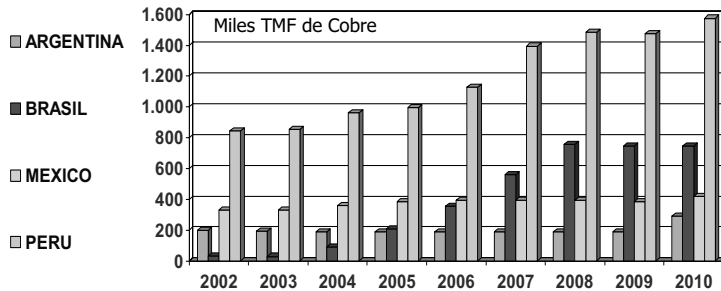


Figura 3 - Países productores de cobre en la región latinoamericana (excluyendo Chile)

En Chile, la minería da empleo directo a alrededor de 100 mil trabajadores, lo que representa sólo un 1,5% de la fuerza de trabajo nacional. Respecto de los empleos indirectos, se estima que la relación es de tres a uno respecto a los empleos directos.

Además, la minería ha tenido un importante impacto en la materialización de inversiones en infraestructura vial, portuaria, eléctrica y aeródromos en las regiones de localización de las faenas mineras.

Los principales recursos mineros en Chile se muestran someramente en la figura 4. El detalle de producción para cada uno de estos recursos se indican en la Tabla I siguiente.

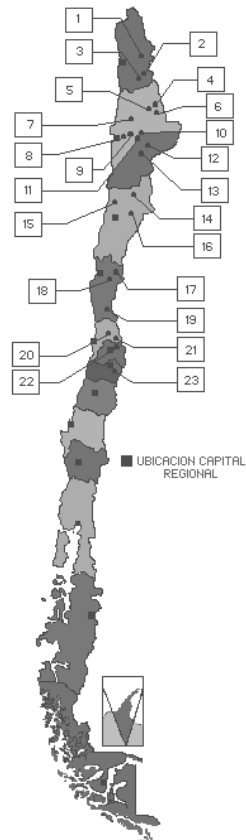


Figura 4 - Principales recursos mineros (ver Tabla I)

**Tabla I - Producción de los principales recursos de cobre en Chile
(año 2002)**

Cerro Colorado (1): (inicio: 1994)	100 Km. al este de la ciudad de Iquique y a una altura de 2.600 m sobre el nivel del mar. 128.000 TMCu.
Quebrada Blanca (2): (inicio: 1994)	A 170 Km. al sudeste de la ciudad de Iquique y a una altura de 4.400 m sobre el nivel del mar. 74.000 TMCu.
Collahuasi (3): (inicio: 1998)	A 175 Km. al sudeste de la ciudad de Iquique y a una altura de 4.500 m sobre el nivel del mar. 434.000 TMCu.
El Abra (4): (inicio: 1996)	A 39 Km. al norte de la ciudad de Calama y a una altura de 4.000 m sobre el nivel del mar. 225.000 TMCu.
Radomiro Tomic (5): (inicio: 1998)	A 8 Km. al norte del yacimiento de Chuquicamata y a una altura de 2.800 m sobre el nivel del mar. 297.000 TMCu.
Chuquicamata (6): (inicio: 1915)	A 240 Km. de la ciudad de Antofagasta y a una altura de 2.800 m sobre el nivel del mar. 597.000 TMCu. Es el rajo más grande del mundo.
Michilla-Lince (7): (inicio: 1992)	A 70 Km. al sur de la ciudad de Tocopilla. 52.000 TMCu.
Mantos Blancos (8): (inicio: 1961)	A 45 Km. al noroeste de la ciudad de Antofagasta y a una altura aproximada de 1.000 m sobre el nivel del mar. 96.000 TMCu.
Lomas Bayas (9): (inicio: 1998)	A 110 Km. al noreste de Antofagasta y a una altura aproximada de 1.500 m sobre el nivel del mar. 59.000 TMCu.
Spence (10): (inicio: 2006)	A 140 Km. al noreste de Antofagasta y a una altura aproximada de 1.700 m sobre el nivel del mar. Contempla producción anual de 200.000 TMCu.
El Tesoro (11): (inicio: 2001)	A 140 Km. al noroeste de Antofagasta en el distrito de Sierra Gorda, a una altura de 2.800 m sobre el nivel del mar. 84.000 TMCu.
Escondida (12): (inicio: 1991)	A 160 Km. al sudeste de Antofagasta, a una altura de 3.100 msnm. 758.000 TMCu. Es la mina con mayor producción en el mundo
Zaldívar (13): (inicio: 1995)	A 175 Km. al sudeste de Antofagasta. Producción de 148.000 TMCu.
El Salvador (14): (inicio: 1959)	A 120 Km. al este de Chañaral y a una altura de 1.700 m sobre el nivel del mar. Producción de 73.000 TMCu.
Manto Verde (15): (inicio: 1995)	A 40 Km. al interior de Chañaral. Producción de 57.000 TMCu.
La Candelaria (16): (inicio: 1994)	A 20 Km. al noreste de Copiapó. Producción de 199.000 TMCu.
El Indio (17): (inicio: 1982)	Yacimiento de oro con cobre como subproducto. A unos 100 Km. al noreste de Vicuña y a una altura de 4.000 msnm. Cerrado el año 2002.
Andacollo (18): (inicio: 1996)	A unos 40 Km. al sudeste de Coquimbo, a una altura de 1.050 m sobre el nivel del mar. Producción de 22.000 TMCu.
Los Pelambres (19): (inicio: 1999)	A 79 Km. al este de Salamanca, a una altura de 3.000 a 3.6000 m sobre el nivel del mar. Producción de 336.000 TMCu.
El Soldado (20): (inicio: 1942)	A 130 Km. al norte de Santiago, en la Comuna de Nogales. Producción de 69.000 TMCu.

Tabla I (cont.)- Producción de los principales recursos de cobre en Chile (año 2002)

Andina(21): (inicio:1970)	A 50 Km. al noreste de Santiago, en el distrito de Saladillo, cercano a la ciudad de Los Andes, a una altura de 3.500 msnm. 219.000 TMCu.
Los Bronces (22): (inicio: 1925)	A 50 Km. de Santiago, a una altura de 3.500 m sobre el nivel del mar. 181.000 TMCu.
El Teniente (23): (inicio: 1906)	A 80 Km. al sur de Santiago, y al Este de la ciudad de Rancagua. 334.000 TMCu. Es la mina en explotación subterránea más grande del mundo.

Un resumen de la producción de cobre en Chile hasta el año 2004 se muestra en la Tabla II siguiente. Notar que la producción de CODELCO (Corporación del Cobre, empresas del Estado de Chile) es cercana a un tercio de la producción total del país.

También es importante acotar que la principal empresa productora hoy es Minera Escondida, cuyos capitales son privados.

Tabla II - Producción de las principales empresas productoras de cobre en Chile

Producción de Cobre en Chile/Chilean Copper Production											
Año	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Codeco- Chile	1.134	1.160	1.221	1.231	1.403	1.512	1.516	1.592	1.520	1.563	1.733
División Norte	606	610	632	650	650	630	630	642	597	907	983
División El Teniente	309	323	345	343	339	346	356	356	334	339	436
División Andina	136	141	154	145	164	249	258	253	219	236	240
División Salvador	83	86	90	88	88	92	81	81	73	80	75
Sector Privado	1.086	1.328	1.895	2.213	2.374	2.868	3.087	3.147	3.060	3.346	3.684
Andacollo	-	-	1	20	21	21	21	21	22	24	22
Candelaria	30	151	141	162	222	227	204	221	199	209	219
Cerro Colorado	25	36	60	60	75	100	119	134	134	137	124
Collahuasi	-	-	-	-	48	435	436	453	434	353	442
El Abra	-	-	51	194	199	220	197	218	235	225	217
El Indio	33	33	35	32	28	15	14	11	0	0	0
El Soldado	65	70	68	68	64	65	66	64	69	70	70
El Tesoro	-	-	-	-	-	-	-	44	84	93	99
Enami	119	126	128	97	83	71	89	95	90	164	212
Escondida	481	467	841	933	868	959	917	794	758	870	986
Iván/Zar	3	9	10	10	9	10	13	14	9	7	11
Lomas Bayas	-	-	-	-	19	45	51	56	54	63	58
Los Bronces	123	128	134	141	153	183	170	171	181		208
Los Pelambres	24	22	22	22	7	12	309	374	340	326	352
Manto Verde	-	1	41	48	48	52	54	56	57		60
Mantos Blancos	77	74	82	85	118	128	101	102	96		87
Michilla	50	56	63	62	61	61	53	50	52		50
Quebrada Blanca	-	46	68	67	72	73	68	74	74	82	80
Zaldivar	-	22	78	96	131	150	148	140	148	150	152
Otros	73	118	95	99	130	49	104	101	198	0	35
Total	2220	2488	3116	3444	3777	4438	4603	4739	4580	4909	5.419

En minería, las alteraciones ambientales más importantes ocurren en las etapas de extracción y procesamiento para obtener el metal. Las etapas de producción metal-mecánicas para la obtención de productos específicos son notoriamente menos impactantes. En el primer caso se está pasando de las concentraciones del metal normales de un mineral a valores ya cercanos al metal puro. La segunda etapa se caracteriza por eliminar contenidos menores de impurezas y más bien afinar el metal para usos específicos en el mercado.

Para tener una idea clara del efecto ambiental de la minería del cobre, no sólo en Chile sino también en el mundo, baste señalar que un recurso aceptable de este mineral tiene en promedio un 1% de cobre, lo que significa que hay que disponer alrededor del 99% del material que no será utilizado y que pasará a constituir un desecho.

La figura 5 siguiente, donde se muestran los efectos de la producción minera desde la cuna a la tumba, indica también los impactos en cada una de sus etapas. Las etapas específicas desde la extracción en la mina hasta obtener el metal se indican en el flowsheet de la izquierda. En la parte central se indica la denotación utilizada en el lenguaje minero-metalúrgico para cada una de las etapas o agrupaciones de etapas. A la derecha se indican los efluentes generados y en particular en rojo se denotan aquellos efectos más notables por los volúmenes generados y que en su gran mayoría pasan a constituir los llamados "pasivos mineros". Estos pasivos mineros permanecerán por lo general junto a las plantas mineras provocando alteraciones no sólo visual sino también química por la generación continua de efluentes ácidos capaces de disolver metales pesados y contaminar aguas abajo los recursos hídricos.

Podemos hacer notar, durante las faenas mineras, los estériles y lastre, así como también los minerales de baja ley que constituyen un costo importante de transporte y disposición en lugares aledaños a las plantas. Durante las etapas de procesamiento propiamente tal aparecen los grandes tranques de relaves, como subproductos de las etapas de flotación del mineral, y en las etapas de extracción del metal, en que ocurren procesos piro, hidro y electrometalúrgicos, los grandes desechos de escorias y ripios de lixiviación.

Algunos de estos desechos son más contaminantes que otros, notándose una gran estabilidad en algunos como las escorias de fundiciones y gran generación de contaminantes por el medio húmedo en que transcurren otros como las colas (relaves) de flotación y ripios de lixiviación.

Hoy existe la tendencia a reutilizar muchos de estos pasivos mineros, en beneficio de minimizar su impacto ambiental y particularmente considerando que muchos de ellos tienen un valor asociado a sus componentes. Más aún, en la época que vivimos se ha quebrado radicalmente el paradigma de antaño que operaciones ferrosas no se

mezclaban con las no ferrosas (aludiendo que el hierro es nocivo para el cobre y que el cobre es nocivo para el hierro). Sin embargo las tecnologías actuales permiten hacer operaciones transversales entre estas industrias antes muy diferenciadas.

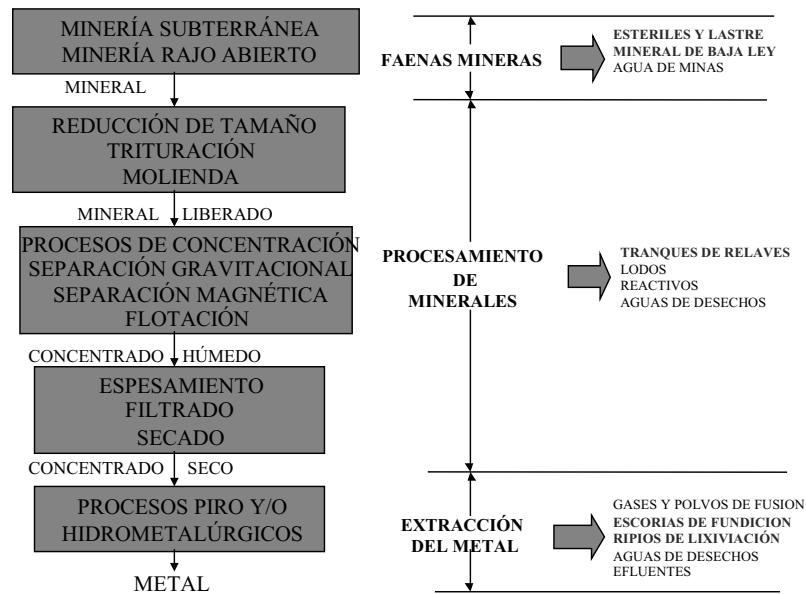


Figura 5 - Impacto ambiental de las diferentes etapas minero-metalúrgicas durante la producción del metal. Esquema "de la cuna a la tumba"

En el caso del cobre, existen corrientemente dos alternativas de minerales a explotar: los oxidados y los sulfurados. Los primeros se encuentran muy cerca de la superficie de la corteza de la tierra ya que han tenido la oportunidad de una continua e íntima interacción con el oxígeno del aire durante su existencia. Los segundos, ubicados más en profundidad, difícilmente han tenido esta posibilidad, por lo cual se encuentran por lo general muy inalterados del punto de vista de su oxidación.

Los minerales oxidados son muy sensibles al tratamiento ácido por vía acuosa, y sus componentes por lo general son fácilmente solubles en ambiente ácido a temperatura ambiente, por lo cual el tratamiento normal será de carácter hidrometalúrgico. Los minerales sulfurados son bastante más estables termodinámicamente, por lo que la única forma de desestabilizar sus componentes es elevando la temperatura y en este caso el procedimiento de extracción será de carácter pirometalúrgico.

La figura 6 a continuación muestra ambas alternativas y el efecto ambiental en cada uno de sus etapas. Las faenas mineras previas y comunes a ambas alternativas, tiene su propio impacto ambiental.

Notar que un aspecto importante a considerar en el impacto ambiental es la generación de drenaje ácido de mina (faenas subterráneas o a rajo abierto) que puede causar problemas graves en aquellos lugares donde se combinan la disponibilidad de sulfuros (del mineral base o residuales), oxígeno (del aire) y agua (humedad del ambiente o efluentes líquidos). Este drenaje es capaz de disolver metales pesados que pueden ser causantes de problemas de salud en la población circundante.

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE MINERALES DE COBRE Y PRINCIPALES EFLUENTES CONTAMINANTES

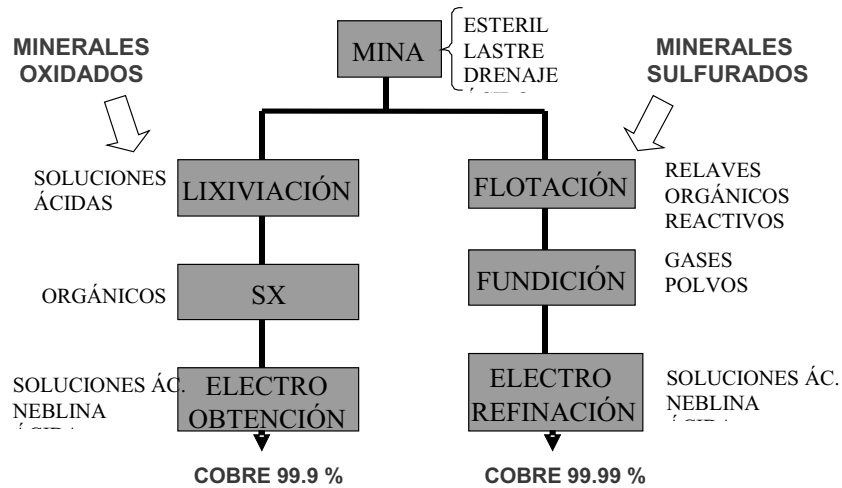


Figura 6 - Alternativas de tratamiento de minerales oxidados y sulfurados de cobre y su impacto ambiental

En un estudio realizado en el Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Concepción el año 1998, se obtuvo los resultados que se muestran en la figura 7 siguiente, respecto al impacto ambiental de la producción minera de cobre durante ese año en Chile.

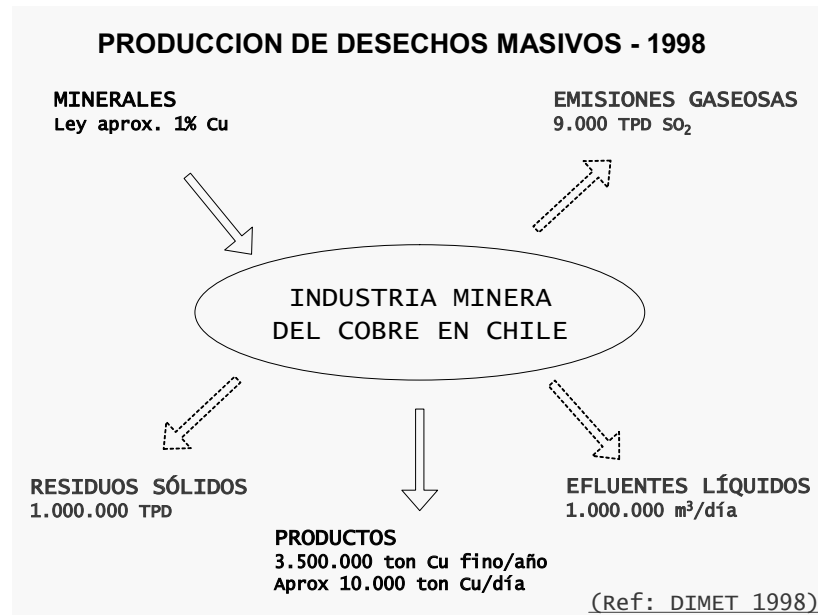
La producción de cobre fino en aquella ocasión alcanzó los 3 millones y medio de toneladas. Para ello fue necesario emitir 9.000 Ton/día de anhídrido sulfuroso, un millón de metros cúbicos de líquidos efluentes

por día y un millón de toneladas de residuos sólidos por día, tal como se muestra en la figura.

Este mismo estudio permitió establecer una clasificación de los efluentes mineros y su tratamiento, en el caso de Chile, desde la cuna a la tumba, el cual se muestra en la Tabla III.

Notar que en general no hay tecnologías acabadas de tratamiento, lo que no escapa a la media mundial, y el destino final, en la gran mayoría de los casos, es un confinamiento en sitios de disposición como por ejemplo tranques de relaves u otros. Como tecnología de tratamiento, es corriente encontrar la precipitación previa a la disposición.

La gran mayoría de los contaminantes son las aguas ácidas, los metales pesados, sulfatos y molibdatos. Un contaminante particular a destacar es el arsénico, muy corriente en nuestra industria del cobre y en cuya neutralización hoy se emplea la estabilización como arsenatos de hierro, particularmente la escorodita.



**Figura 7 - Impacto ambiental de la producción de cobre en Chile.
Año 1998**

Tabla III - Contaminantes, Tecnologías de tratamiento y destino final. Industria del cobre

EFLUENTE	CONTAMINANTE	TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO	PRODUCTO DEL TRATAMIENTO	DESTINO FINAL	CONFINAMIENTO
Gas de fundición	SO ₂ gaseoso	Planta de ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄	Procesos hidrometalúrgicos	-
	Compuestos volátiles de arsénico y otros residuos de arsénico	Precipitación electrostática	Oxidos y sulfuros de As	Lixiviado precipitado de arsenito de hierro Lixiviado precipitado de arsenito de calcio	Tanque de rebose o pilonas profundas
Residuos de flotación	Sulfatos, molibdenatos, arsenatos, organicos Sólidos en suspensión	Descarga en el tanque de rebuses	Sólidos y agua clara del tanque de rebuses	Agua clara reciclada	Tanque de rebuses
Aguas ácidas	H ⁺ / SO ₄ ²⁻ / MOO ₄ ²⁻ / AsO ₄ ³⁻ ácidos orgánicos, etc.	Neutralización, precipitación redoble, adsorción, etc.	Precipitados y residuos sólidos	Secado solar Separación sólido/líquido	Sitio de disposición Tanque de rebuses
Aguas de lavado de minas	H ⁺ / Fe ²⁺ / Fe ³⁺ / Cu ²⁺ otros metales pesados	Neutralización con cal	Precipitados de hierro	Secado solar	Sitio de disposición
		Coagulación con hierro	Deposito de cobre	Venta	-
		Flocculación	Precipitados	Secado solar	Sitio de disposición
		Plantas S/C-BW	Cables de cobre	Venta	-
Esfluido de minas	Peblo y otros residuos sólidos	Disposición	-	-	Sitio de disposición
Mineral de baja ley	Metales pesados y ácido (potencia)	Disposición	-	Poliacrilato metalúrgico	Sitio de disposición
Escorias de fundición	Residuos sólidos	Disposición	-	Poliacrilato metalúrgico	Sitio de disposición
Residuos sólidos de lixiviado	H ⁺ , metales pesados, peblo y residuos sólidos	Disposición	-	Poliacrilato metalúrgico	Sitio de disposición

4. EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN LA INDUSTRIA MINERA

Conviene reflexionar en este punto sobre el concepto de Tecnología Limpia. Por esta técnica se entiende a la que va dirigida a atacar las causas del problema ambiental y no a las consecuencias, como se muestra esquemáticamente en la figura 8 siguiente.

En efecto, en la gran mayoría de los casos, la solución a los problemas de la contaminación en la Industria minera y también en otras industrias, se reduce a realizar un tratamiento de los efluentes al final del proceso. Es la conocida técnica de "fin de tubo" (end of pipe treatment) que no contribuye a solucionar el problema en su raíz.

TECNOLOGÍA LIMPIA vs TECNOLOGÍA DE LIMPIEZA

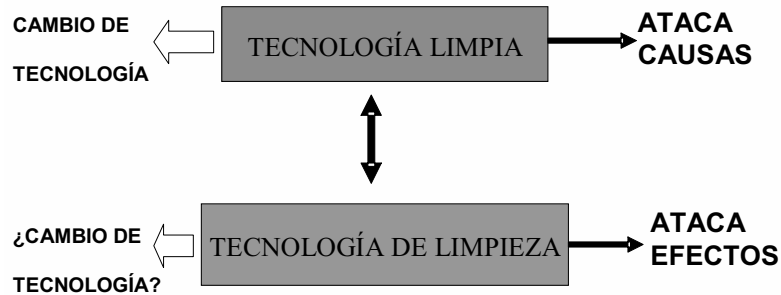


Figura 8 - Diferencia conceptual entre Tecnología Limpia y Tecnología de limpieza

La aplicación de una Tecnología Limpia sigue una pauta de prioridades, tal como se muestra en la Tabla IV, siendo la de mayor relevancia la reducción en las fuentes, ya que ataca el problema en su raíz. Sin embargo es ésta alternativa la que demanda también mayor tiempo y dinero y es la razón porque en la gran mayoría de los casos se opta por la últimas y menos prioritarias (tratamiento y disposición).

La primera alternativa, demanda mayores recursos ya que para solucionar el problema se desarrollan cambios drásticos en el proceso, tales como cambios de tecnología o modificaciones profundas. Ello significa indudablemente desarrollar un trabajo de investigación fundamental y aplicado, de largo plazo, escalando consecutivamente desde las etapas de laboratorio a plantas pilotos y más tarde industriales, e involucrando grupos de investigadores en su desarrollo. Es la alternativa que han empleado países más desarrollados, que disponen de mayores recursos y por ende son capaces de correr también los riesgos de invertir en investigación que no siempre conduce a los resultados esperados.

La última opción, muy utilizada en los países más pobres, significa involucrar menos recursos, pero también mantener un problema no resuelto y prolongarlo en el tiempo.

Conviene acotar dentro de este esquema, que una alternativa muy válida es el reciclaje, que puede significar solucionar el problema realimentando el propio circuito de producción. También hay que acotar que no siempre ello es posible, ya que en muchos casos puede significar acumular dentro del circuito material contaminante no deseado.

En nuestros países hoy se emplea todavía mucha disposición y poca reducción en las fuentes. Este cambio debiera producirse incentivando la investigación y el desarrollo tecnológico, allegando mayores recursos a estas actividades. Sin embargo estos recursos no siempre están disponibles o no están dentro de las políticas de desarrollo de los gobiernos.

Tabla IV - Gestiones con más y menos prioridad para el impacto ambiental en la industria minera

ALTA PRIORIDAD ↑ ↓ BAJA PRIORIDAD	GESTIÓN	ACTIVIDADES	APLICACIONES
	REDUCCIÓN EN FUENTES	-MODIFICACIONES AL PROCESO -CAMBIOS TECNOLÓGICOS -CAMBIOS ALIMENTACIÓN -CAMBIOS EN PRODUCTO -MEJORA PROCEDIMIENTOS	-MODIFICACIONES EQUIPO / -AUMENTO EFICIENCIA USO DE ENERGÍA / -AUMENTO MINERÍA IN -USO MAT. NO
	RECICLAJE	-REUTILIZACIÓN -RECICLAJE EN CIRCUITO CERRADO	-RECICLAJE -REPROCESAMIENTO COLA -RECUPERACIÓN
	TRATAMIENTO	-ESTABILIZACIÓN -NEUTRALIZACIÓN -PRECIPITACIÓN -EVAPORACIÓN -INCINERACIÓN	-DESTRUCCIÓN DE -TRATAMIENTO AGUAS DESECHO
	DISPOSICIÓN	-DISPOSICIÓN EN SITIOS PERMITIDOS	-DISPOSICIÓN RELAVE

5. UN NUEVO PARADIGMA: LOS RESIDUOS COMO RECURSOS

El incremento en las normativas ambientales en beneficio de mantener un ambiente limpio para las generaciones actuales y futuras ha facilitado un importante cambio de paradigma en el mundo minero de hoy, cual es considerar los residuos mineros como nuevas fuentes de recursos. De hecho, en el caso de la industria del cobre, el criterio aplicado para eliminar los desechos es que su contenido en el metal no sea superior a la ley de la cabeza (esto es, valores cercanos a 1%). Sin embargo un desecho

con ese contenido del metal es de por sí un nuevo recurso de cobre. Adicionalmente, existen otros elementos y compuestos que pueden contribuir aun más a dar un valor a estos desechos.

Estos nuevos recursos tienen varias ventajas. Se encuentran dispuestos ya en superficie y por de pronto no hay faenas mineras y geológicas necesarias como las hay en el tratamiento corriente de los minerales. Adicionalmente estos residuos se encuentran relativamente caracterizados, lo que minimiza también los costos en su especificación como recurso.

Un caso importante a analizar es el de las escorias de fundiciones de concentrados, donde los materiales contenidos se pueden recuperar a objeto de darle un valor económico (Figura 9).

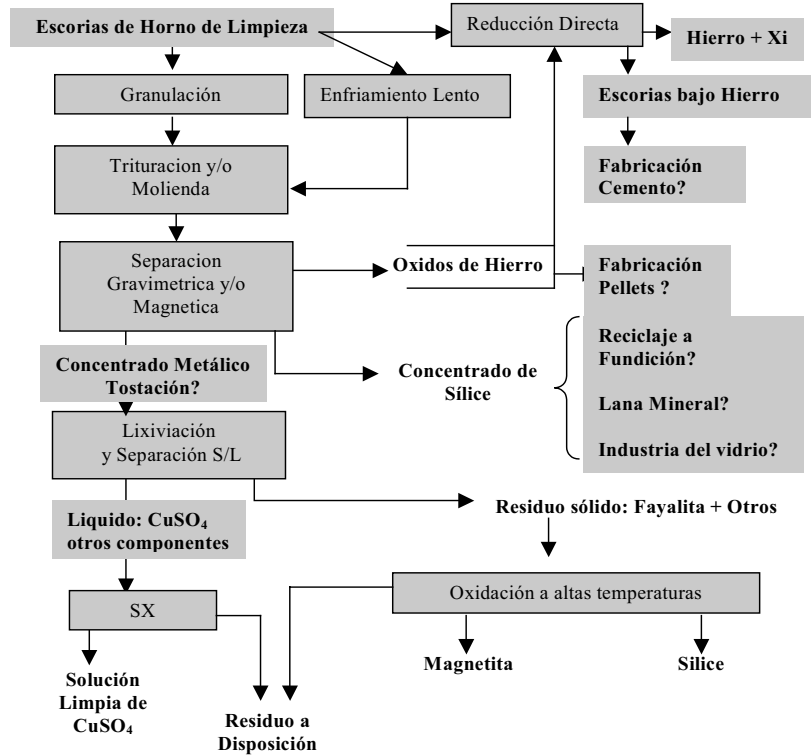


Figura 9 - Alternativas de operaciones unitarias para recuperar materiales de escoria pirometalúrgicas

Un análisis global permite establecer operaciones unitarias corrientes para recuperar estos materiales y generar una suerte de "emisión cero" para el proceso de extracción pirometalúrgica global del cobre.

La Figura 9 muestra esta aproximación, parte de la cual se ha ido desarrollando en los laboratorios del Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Concepción, con resultados alentadores en la medida que el costo de tratamiento evaluado es auto soportado por la generación de nuevos materiales con valor económico, entre otros, algunos metales nobles, cobre, hierro para la industria siderúrgica y sílice para la industria cerámica.

También dentro de este nuevo paradigma se puede comentar la reutilización que la industria del hierro hace de las colas de flotación de la industria del cobre en Chile, por alta concentración de hierro como magnetita, produciendo pellets para la industria siderúrgica. Esta transversalidad entre industria no ferrosa y ferrosa será más corriente en un futuro cercano, dado los imperativos medio ambientales y la escasez de algunos recursos.

6. CONCLUSIONES

La industria minera y la del cobre en particular producen efectos ambientales muy importantes por la cantidad de material de desecho necesario remover para extraer el metal. A su vez estos materiales de desecho pueden generar efluentes muy contaminantes cuando las condiciones de entorno aseguran la disolución, por ejemplo, de metales pesados.

Hoy existen tecnologías que permiten manejar una buena gestión ambiental en una empresa minera, particularmente si se quiere atacar los problemas en las causas que los generan y no en las consecuencias finales. Sin embargo, dado que atacar los problemas en su raíz requiere inversiones de dinero mayores, las empresas optan por atacar sólo los efectos finales, haciendo por ejemplo una simple neutralización y disposición final de los efluentes.

Un interesante cambio de paradigma en la industria minero-metalúrgica moderna, es la reutilización de materiales de desechos ya sea como reciclaje interno o para la obtención de nuevos productos de uso cotidiano. Esta modalidad tomará fuerza en el futuro con regulaciones medio ambientales cada vez más estrictas. En este mismo contexto, se espera una transversalidad cada vez mayor de actividades y utilización de subproductos entre operaciones mineras en que antiguamente es no era concebible su ocurrencia.

También la industria de reciclaje secundario será determinante en el futuro, para suplir las necesidades que la industria minera primaria no

alcance a cubrir, ya sea por agotamiento de recursos, altos costos de mano de obra o restricciones ambientales asociada a la generación de sus efluentes.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Compendio de la Minería Chilena 2005, ISSN 0716-5153, EDITEC S.A.
- ISGS Copper Bulletin, Marzo, 2005
- World Metal Statistics, Comisión Chilena del Cobre, COCHILCO.
- Effluent treatment in the Mining Industry (S. Castro, F. Vergara, M. Sánchez, Eds.) University of Concepcion, Department of Metallurgical Eng., 389 pages, 1998 (English, ISBN 956-227-156-0).
- Environment & Innovation in Mining and Mineral Technology, Vol. I, Proceedings of the IV International Conference on Clean Technologies for the Mining Industry, Santiago, Chile 13-15 May, 1998, (M. Sánchez, F. Vergara, S. Castro, Eds.) University of Concepción, Department of Metallurgical Eng., 39 papers, 487 pages, 1998 (English, ISBN 956-227 158-7).
- Environment & Innovation in Mining and Mineral Technology, Vol. II. Proceedings of the IV International Conference on Clean Technologies for the Mining Industry, Santiago, Chile 13-15 May, 1998, (M. Sánchez, F. Vergara, S. Castro, Eds.) University of Concepcion, Department of Metallurgical Eng., 45 papers, 529 pages, 1998 (English, ISBN 956-227 159-5).
- Waste treatment and environmental impact in the mining industry. Proceedings of the V International Conference on Clean Technologies for the Mining Industry, Santiago, Chile 9-13 May, 2000 (M. Sánchez, F. Vergara, S. Castro,Eds) University of Concepcion, Department of Metallurgical Eng., 47papers, 472 pages, 2000 (ISBN 956-227-2303).
- Environmental improvements in mineral processing and Extractive Metallurgy. Proceedings of the V International Conference on Clean Technologies for the Mining Industry, Santiago, Chile 9-13 May, 2000 (M. Sánchez, F. Vergara, S. Castro, Eds) University of Concepcion, Department of Metallurgical Eng., 46 papers, 488 pages, 2000 (English, ISBN 956-227-231-1).
- Environmental Issues in the Mining and Metallurgical Industry, Authors: A. Valenzuela, M. Sanchez, E. Vircikova), University of Concepción, Dirección de Docencia, Proyecto Docencia 97-054, 2004, 166 pages (English, ISBN 956-8029-58-3).