

Reseña histórica de la actividad minera y metalúrgica en Chile

Historical overview of the mining and metallurgical activity in Chile

Rodrigo Allende-Seco, Matías Manquepillán Hernando, Macarena Mendiolaza Garrido
Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería.
Universidad de Santiago de Chile.
rodrigo.allende@usach.cl

Resumen

El presente artículo mostrará una reseña histórica sobre la evolución de la metalurgia en Chile. Para eso comenzaremos con una exposición del trabajo de metales en la época prehispánica, siguiendo con el trabajo de metales durante la conquista europea, la extracción de salitre y posterior desarrollo de la metalurgia extractiva del cobre mediante la revisión de la historia de la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO). Finalmente definiremos los desafíos que deberá enfrentar nuestra área en lo relativo al cuidado del medio ambiente que nos exigen los nuevos tiempos, entre otros.

Palabras Clave: Historia del cobre; historia del salitre; Chile.

Abstract

This article will show a historical overview of the evolution of mining and metallurgy in Chile. For that we will begin with an exhibition of metal work in pre-Hispanic times. Then we will comment on metal working during the European conquest, the extraction of saltpeter and the subsequent development of extractive copper metallurgy by reviewing the history of the Corporación Nacional del Cobre (CODELCO). Finally, we will show a reflection on the challenges that our area must face in relation to the production and care of the environment that the new times demand of us.

Keywords: History of copper; history of saltpeter; Chile.

Metalurgia en los pueblos precolombinos

La metalurgia ya se desarrollaba en el continente mucho antes de la llegada de los españoles, de hecho, las primeras evidencias del trabajo con metales en Latinoamérica datan del año 1500 A.C en la región de los Andes Centrales, dichos hallazgos consisten en láminas de oro y cobre nativo martilladas (Museo Chileno de Arte Precolombino, 2001). Con el paso de los años, el hombre de los Andes fue aumentando cada vez más su conocimiento, llegando a aplicar técnicas avanzadas de fundición, estableciendo yacimientos mineros, fabricando armas, herramientas y artículos ornamentales y religiosos. Existe consenso hoy en día para plantear que este conocimiento se origina en la zona norte andina, actual territorio de Colombia, y de allí pasa a Ecuador y Perú, luego al norte de Chile y noroeste de Argentina y por último al territorio más austral de Chile [2]. Esto sugiere que si bien los pueblos indígenas de nuestro país ya tenían cierto manejo en el trabajo de los metales (herramientas, armas, ornamentos y artículos religiosos hechos por martilleo a pepitas de oro y cobre nativo), el gran aumento en conocimiento referente a la metalurgia se debió a la influencia Inca (Morris, 1992; Museo Chileno de Arte Precolombino, 2001).

De hecho, los Atacameños, explotaban óxidos de cobre en Chuquicamata y San José del Abra para el Inca. En este último asentamiento lograron remover toneladas de tierra utilizando sus herramientas como

martillos, palas y cinceles fabricados de piedra y madera. Las rocas eran reducidas de tamaño en la misma mina, y luego eran trasladadas a un lugar cercano para finalizar el chancado y selección del mineral. Además, al noroeste de Calama este imperio logró asentar una colonia de mineros que trabajaban a tiempo completo, y los alimentaban con los excedentes agrícolas y ganaderos que se producían en otras colonias cercanas. Esto demuestra que los pueblos precolombinos tenían conocimientos de metalurgia extractiva, trabajando principalmente con minerales de alta ley extraídos desde vetas (Museo Chileno de Arte Precolombino, 2001).

Por otro lado, aparte de los nuevos conocimientos sobre metalurgia extractiva concedidos por el pueblo Inca a los habitantes del norte de Chile, también existen hallazgos de que se practicaron técnicas avanzadas como lo es la fundición de metales de plata, cobre y posteriormente aleaciones de bronce, esto gracias a hornos caseros de arquitectura rectangular Inca, llamados Huayras (o huayrachinas cuya traducción literal desde el quechua es viento), que se caracterizaban por tener forma de chimenea en donde se introducía la roca de mineral en bruto junto con carbón, la mayor cualidad de estos hornos es que tenían agujeros de ventilación que permitían la inyección de oxígeno para ayudar a la combustión, como resultado de este proceso la roca se fundía y se vaciaba en un molde final. En el interior del valle de Copiapó, en Viña del Cerro se encontraron 26 hornos Huayras, este fue uno de los principales y más importantes centros de fundición en el país y estuvo en funcionamiento entre aproximadamente



Figura N° 1. Sitio arqueológico Viña del Cerro, manifestación de la influencia del legado inca en la cultura diaguita, vestigios de centro de fundición con hornos Huayras.

los años 1470 hasta 1536 (Ministerio de Bienes Nacionales, 2023). En la Figura N° 1 podemos ver el sitio arqueológico Viña del Cerro y los vestigios del uso de huayrachinas para la fundición.

Más al sur, el pueblo Mapuche recolectaba metales preciosos como cobre, oro y plata, estos últimos podían ser obtenidos en distintos ríos de la zona central de forma nativa, el río más conocido es el estero Margamarga, los ríos Peñaflores y de Quillota. Pero solo llegaron a trabajarlos a base de martilleo, pulido, perforado, y recortado.

La influencia del imperio Inca llegó con las invasiones de los años 1400 y 1450 D.C., donde utilizaron sus fuerzas militares para llegar a los valles del río Mapocho y del río Maule, sometiendo a parte del pueblo Mapuche, imponiendo la doctrina de las tributaciones (pago de impuestos) (Paineicura Antinao, 2011). El avance tecnológico metalúrgico fue traspasado a las familias mapuche, se enseñó sobre extracción, purificación y trabajo de metales, sentando las bases de lo que sería la platería mapuche en un futuro.

Minería Colonial

La sed de oro que tenían los españoles los impulsó a buscar nuevas fuentes de abastecimiento, es así como en el año 1492 Colón y su tripulación descubrieron las grandes riquezas de los indígenas en cuanto a metales preciosos. Se dice que cuando llegaron a Los Andes, quedaron sorprendidos con la riqueza de la zona, procediendo a confiscar muchas de las piezas para fundirlas y así llevarlas a territorio europeo, con el afán de financiar el proceso de conquista, por lo que casi no quedan piezas metálicas que eran consideradas sagradas por los indígenas.

En 1541 Diego de Almagro llega a Chile, pensando que había grandes cantidades de oro y plata, pero luego se dieron cuenta que no era tanta como la de los territorios Mexicanos o Peruanos, por lo que se dedicaron a la extracción de oro desde lavaderos, utilizando a los pueblos originarios como mano de obra esclava, se estima que en su mejor momento se llegaban a extraer 200 kg al año de oro, eso fue entre 1542 y 1560 [5].

Luego del sometimiento de los pueblos del norte (Atacameños y Diaguitas), se dirigieron más al sur, encontrando al pueblo Mapuche, que ofreció una gran resistencia. En este contexto la economía Mapuche se reconfiguró, y comenzaron a aceptar mo-

nedas de plata a cambio de sus ganados, de esta forma la platería Mapuche tomó fuerza.

En un inicio las joyas eran fabricadas mediante el martilleo de las monedas de plata, luego comenzaron a implementar y dominar técnicas de fundición, utilizando moldes de greda, con el tiempo estos procesos se fueron complejizando, introduciendo fuelles con el cuero de animales para realizar más rápido el proceso de fundición, posteriormente se desarrolló la soldadura por forja y la fabricación de alambres mediante trefilación y plagado, lo que llevó a construcción de platería Mapuche cada vez compleja, llegando a su máximo esplendor en los siglos XVIII y XIX (Morris, 1992).

Quienes se dedican a la labor de la confección de platería mapuche son reconocidos por su comunidad con el título de rütrafe; según los dichos del rütrafe Juan Paineicura corresponde a una palabra compuesta de dos términos, rütra y fe, rütra es una pieza metálica en mapudungun, mientras que fe se refiere a quien ejecuta la acción de pulir, pero no solo significa quien pule metales, sino que también puede referirse al pulido de una persona a través del consejo o la conversación (CNTV Infantil, 2015; Canal 13C, 2022). Finalmente, rütrafe es quien dedica su vida al desarrollo del oficio de la platería, logrando la confección de piezas con propósitos protectores asociados a lo femenino y a la luna a través de la materialización de la interpretación de la filosofía y cosmovisión mapuche. En la actualidad, dado el empobrecimiento de las comunidades se ha reemplazado en muchos casos la plata por alpaca (aleación de cobre, zinc y níquel) manteniendo la esencia de comunicación del origen, posición política, social y familiar mediante una pieza metálica asociada a la protección (Calcumil, 2022).

Los indígenas eran fuertemente explotados y muchos murieron debido a las enfermedades y los malos tratos en los lavaderos, lo que llevó a una disminución importante de la producción de oro, por lo mismo, a principios del siglo XVII el pueblo Mapuche se rebeló, iniciando una de las guerras más largas de la historia. Como resultado de esto la zona sur de Chile quedó inaccesible para los españoles, los colonizadores tuvieron que replantear sus estrategias de sustento, por lo que la actividad agrícola a través de las encomiendas pasó a ser la principal actividad económica y la explotación de yacimientos se tuvo que desplazar a la zona norte del país (Biblioteca Nacional de Chile, 2023).

Ciclos mineros de cobre y plata

Previo al inicio de la independencia de Chile, en 1803, periodo de escasa actividad minera, el Real Tribunal de Minas se dio cuenta de la poca utilización de los recursos mineros en la cordillera, España, a modo de solución permitió el intercambio comercial entre colonias, debido a esto surgieron minas en diversas ciudades, se abrieron las puertas a los ciclos de Plata (Chañarillo) y del Carbón (Lota), además de esto, destacó la extracción de Cobre para la venta (Corporación Nacional del Cobre de Chile, 2018).

Después de la invasión de Napoleón a España, las ideas de libertad comenzaron a expandirse por las colonias americanas, así en Chile se inició una guerra por la independencia. Una vez asegurada la independencia de Chile en 1818, la minería tuvo un importante crecimiento, acompañado de la producción de múltiples materias primas debido a la apertura de los mercados y de los nuevos avances tecnológicos como el horno de reverbero (año 1830) que permitió mejorar la calidad del Cobre.

En aquella etapa existía una alta demanda de Cobre en el planeta por la revolución industrial, gracias a esto, este metal se convirtió en el protagonista de la economía chilena, convirtiéndose entre los años 1840 y 1860 en el más grande productor de Cobre en el planeta [10]. No obstante, a fines del siglo XIX empezó un tiempo de decadencia para la minería del Cobre, debido al veloz disminución de la disponibilidad de los minerales de alta ley, a las primitivas técnicas de extracción y a la lejanía de los puertos de exportación respecto de los emplazamientos mineros, esto hizo que cerrarán varios yacimientos y fundiciones.

La decadencia del cobre en el último tercio del siglo XIX no causó mucha inquietud, pues en aquellos años Chile salió triunfante de la Guerra del Pacífico, quedándose con territorios de países ricos en Salitre, dando paso a la era de la Industria del Salitre en Chile.

La industria del salitre en Chile

Cuando hablamos de la historia de la industria salitrera en Chile, hablamos de una marcada por ciclos de auge y decadencia basados en la relación de la demanda extranjera, precios fijados en mercados internacionales y avances tecnológicos que disminuyen los costos de producción haciendo competitivos en los

mercados las sales de nitrato (principalmente de sodio y de potasio) producidas por actividad minera en Chile.

Diversas han sido las consideraciones del trabajo en la pampa salitrera como inspiración para el arte, sin ir más lejos el último Premio Nacional de Literatura (2022) Hernán Rivera Letelier, inspirado en la pampa de los años 60, en agosto del presente año publica su libro “Hombres que llegan a un pueblo”. A criterio de uno de los autores del presente artículo (Rodrigo “La Reina Isabel cantaba rancheras” y “Santa María de las flores negras” son libros imperdibles que en el contexto salitrero dejan sensaciones distintas y complementan de muy buena manera el quehacer de la pampa. Mientras que el primero desarrolla personajes que permiten dar cuenta de cómo la gente da vida a un espacio en decadencia, el segundo relata las vivencias cotidianas, conflictos morales y otros de una serie de personajes que como factor común tenían el pertenecer a los huelguistas que perecieron a manos de soldados chilenos comandados por el General Silva Renard en uno de los hechos más oscuros de la historia de Chile, la Matanza de la Escuela Santa María de Iquique.

Gran parte de quienes se han dedicado al estudio de esta área marcan como final del ciclo del salitre el año 1930, no obstante es un producto que es comercializado hasta el día de hoy por sus diversos usos que incluyen fertilizante natural para el suelo y el riego, fabricación de vidrios, cerámicas y pinturas especiales, conservador de alimentos (principalmente carnes), explosivos, las denominadas sales solares que almacenan calor con el propósito de mantener en funcionamiento plantas solares durante las horas de la tarde y los días nublados, entre otros.

Previo a la llegada española, los pueblos originarios del norte de Chile utilizaban el caliche pulverizado como fertilizante agrícola. El Caliche es la materia prima desde la que se extrae el salitre, corresponde a una mezcla mecánica compuesta de nitrato de sodio, otras sales como cloruros y sulfatos y otras sustancias. Sus yacimientos se encuentran en las zonas de Tarapacá y Antofagasta. Cuando los españoles conocieron este insumo, descubrieron los inmensos yacimientos existentes en la zona, y comenzaron a utilizarlo para la fabricación de pólvora para la explotación minera.

La influencia española en lo que a explotación de salitre respecta se concentró fundamentalmente en el aumento de la producción empleando el sistema

de producción de la población local, uno rudimentario que evolucionó al denominado de Paradas. El sistema de Paradas es atribuido a Tadeo Haenke. Tadeo quien componía el equipo enviado por el rey Carlos III de España para dar la vuelta al mundo y estudiar las producciones naturales de América y del lejano Oriente, era un médico con formación en ciencias naturales formado en Viena, su especialidad en el grupo eran los estudios botánicos. Su carrera es reconocida entre otras cosas por la descripción de los beneficios del uso de salitre como fertilizante y el método de producción de la población originaria de la zona. Gran parte de su trabajo se concentró en una descripción del “Reyno de Chile” entre los años 1789 y 1794, incluso mencionó al desierto de atacama como territorio chileno previo a que se constituyera como Estado independiente.

Considerando su formación en ciencias, el conocimiento del proceso de extracción de salitre a partir de caliche originario y financiando investigaciones de su sueldo como botánico, practicó lo que luego sería denominado el Sistema de fuego directo en que el caliche, se cocía dentro de un gran fondo de cobre, de esta forma con el aumento de la temperatura el cloruro de sodio precipitaba, y el agua restante se enriquece cada vez más de nitrato de sodio, logrando así la separación [11]. Este método, catalogado como preindustrial, se aplicaba a minerales de alta ley, conllevaba pérdidas importantes en salitre y tenía un gran consumo de combustible (vegetal) x1.

Entre los años 1810 y 1812 se fundan alrededor de 8 oficinas salitreras entre ellas destacaban Paradas, en Negreiros, Pampa negra y Zapiga x2. Algunas de ellas fueron destruidas durante la Guerra de la Independencia. En 1820 salió desde Chile a Liverpool el primer cargamento de salitre, no obstante, fue lanzado al mar por juzgarse como “tierra inútil”. Para el año 1830 habiéndose difundido los beneficios del salitre como fertilizante agrícola, a partir de 1821 por Mariano Eduardo Rivero, comienza su exportación hacia Europa, desde el puerto de Iquique salieron 18.700 quintales (1 quintal es equivalente a 100 Kg), esto marcó uno de los hitos más importantes de la industria salitrera en Chile. x2

Diversos fueron los acontecimientos en los años siguientes: Habilitación como puerto a la caleta Cobiya en 1827, Descubrimiento de guaneras en Mejillones en 1867, Pedro Gamboni descubre yodo en las aguas madres del salitre, Claudio Gay publica en París el primer tomo de “Agricultura” en que se re-

fiere a los chilenos como “operarios y vendedores” de la riqueza salitrera, se descubre salitre en la zona de Antofagasta en 1866 y se funda la primera oficina salitrera de la zona llamada la del Salar del Carmen, 7 años después, el 25 de noviembre de 1873, llega la primera locomotora a Antofagasta.

Mediante la adaptación del Sistema Shanks inventado en Inglaterra para lixiviar y producir carbonato de sodio con vapor de agua, el británico Santiago Humberstone, tal fue su contribución que la oficina La Palma, a pocos kilómetros de Iquique, fue rebautizada como Oficina Salitrera Santiago Humberstone, que operó hasta 1860. La oficina luego sería remodelada para servir como set de grabación para una telenovela chilena llamada Pampa Ilusión que relata el que hacer de una oficina salitrera liderada por capitales británicos y los conflictos de clase entre la burguesía y el proletariado que ocurrieron a fines de 1930 durante la crisis financiera.

El sistema Shanks introducido en 1875, permitió convertir los campamentos mineros en auténticas oficinas salitreras, dividiendo el trabajo y siendo ya considerada como la etapa industrial del proceso de extracción de salitre. El sistema Shanks considera etapas de exploración, extracción, acarreo, chancado, lixiviación a altas temperaturas entre 90 y 105° C y posterior cristalización por evaporación. El proceso Shanks tomó fuerza con la industrialización nacional, posicionando al país como el principal productor mundial de Salitre.

Pero no fue hasta 1879 cuando el 14 de febrero tropas chilenas tomaron Antofagasta, motivados en parte por el alza de impuestos de 10 centavos al salitre exportado por Antofagasta decretada por la Asamblea Constituyente de Bolivia un año antes (la principal afectada fue la empresa chilena Compañía de Salitres y Ferrocarril de Antofagasta - CSFA), que la industria del salitre adquirió una mayor importancia para la economía del país, ya que al ganar la guerra del Pacífico, Tarapacá y Antofagasta pasaron a ser parte del territorio chileno.

Antes de esta guerra más de la mitad de las inversiones eran de capitales peruanos, le seguían los capitales chilenos y en menor medida capitales ingleses y alemanes. Pero para 1890, aproximadamente el 60% de la industria estaba controlada por sociedades anónimas inglesas, y ya para 1912 la inversión Chilena ocupaba el 40%, mientras que el resto pertenecía a otros países. En este punto la

exportación de salitre era mayor a 2 millones de toneladas al año y para el fin del ciclo salitrero (1930) eran más de 3 millones, además se contaban con alrededor de 45 mil trabajadores (Biblioteca Nacional de Chile, 2023b).

Conocida era la situación de la participación de capitales extranjeros en la administración y explotación del salitre, el Sistema Shanks permitió aumentar la productividad lo que no se tradujo en beneficios para la región, sus trabajadores y captación de divisas para financiar política fiscal. Durante el gobierno del partido radical de José Manuel Balmaceda, varias fueron las alocuciones del presidente a esta situación, no obstante, estaba de acuerdo que el desarrollo del país mediante la exportación del salitre no era tarea que debía realizar solo el estado chileno. La inversión en tecnología para la explotación del salitre no permeó a otras etapas de la explotación, el embarque se realiza a brazo hasta la balsa, de la balsa a la lancha y de la lancha a la nave. En marzo de 1889 se comprometió con la construcción de un brazo hidráulico para tal afán, que opera en similares condiciones hoy en el puerto de Tocopilla.

Los conflictos sociales detonados en gran medida por las desigualdades generaron una lucha de clases. Las huelgas de trabajadores demandando mejores condiciones se extendieron por gran parte del territorio a principios de los 1900. Varias fueron las masacres de trabajadores en ese contexto que pusieron en tela de juicio la producción de salitre a nivel nacional, por mencionar algunos está la Masacre de obreros de la Plaza Colón de Antofagasta en 1906, o la mencionada ya de Santa María de Iquique en 1907, la de San Gregorio en 1921 y la de la Coruña en 1925.

Para 1914 con la creación del salitre artificial y la primera guerra mundial, se cerraron los principales mercados agrícolas para el salitre, disminuyendo su exportación, por lo que la industria se enfocó en utilizar el salitre para la creación de pólvora y municiones, luego con el término de La Gran Guerra la explotación volvió a disminuir, para 1920 las exportaciones volvieron a aumentar, con el consumo europeo y estadounidense, hasta que llegó la gran depresión del año 1929, generando el fin del ciclo del salitre en 1930 (Biblioteca Nacional de Chile, 2023c).

La Oficina de Coya Norte (actual María Helena), al estar a medio camino entre la central termoeléctrica que llevaba energía a Chuquicamata, suscita la

atención de Los Guggenheim, que eran una familia de norteamericanos que tenían parte de su patrimonio en la Chile Exploration Company que a partir de 1912 comenzaría con la explotación minera del cobre en Chuquicamata. El interés de los Guggenheim era el de aplicar el proceso de lixiviación de los minerales de baja ley de cobre (menores que 5%) a la extracción del Salitre, se le encomendó la tarea de realizar tal investigación al ingeniero Elías Anton Cappelen Smith. Elías concluyó que era posible la lixiviación rentable hasta un 7% mínimo de salitre. El sistema Guggenheim implementado en 1920 permitió la operación de las oficinas de Pedro de Valdivia (hasta 1996) y María Helena hasta nuestros días. El proceso de María Helena es realizado bajo la administración de la Sociedad Química y Minera de Chile S.A (Soquimich o SQM). El proceso Guggenheim involucró etapas de extracción, transporte, chancado, lixiviación, cristalización por evaporación y comercialización. Un esquema del proceso obtenido desde el trabajo de Galaz-Mandakovic se puede ver en la Figura N° 2.

Mediante el estudio de la industria del salitre en Chile podemos darnos cuenta de la necesidad de la innovación para mantener una industria viva y competitiva, pero también podemos notar que las injusticias propias de la asimetría entre los obreros del salitre y los dueños de las oficinas salitreras, generaron condiciones tales en que afectaron no sólo a los trabajadores sino también a una industria responsable de parte importante del producto interno bruto y por lo tanto a todo el país.

Origen de la gran minería del cobre

La solución a la decadencia de la minería del cobre a fines del siglo XIX e inicios del siglo XX fue la explotación a gran escala de reservas de cobre porfídico (mineral de baja ley de Cu, primordial fuente de extracción de Cu y Mo), para poder extraer esta clase de minerales se necesitaron de enormes adelantos tecnológicos, entre ellos, los basados en los procesos descritos por Henry Howe en su libro "Copper Smelting" (Howe, 1885), aquí se explica el proceso de horno reverbero para la obtención de cobre metálico desde minerales oxidados, Howe menciona en su libro que:

"En el caso de minerales oxidados y cobre nativo la gran afinidad del hierro y la mayoría de los otros metales pesados por el oxígeno es empleada para

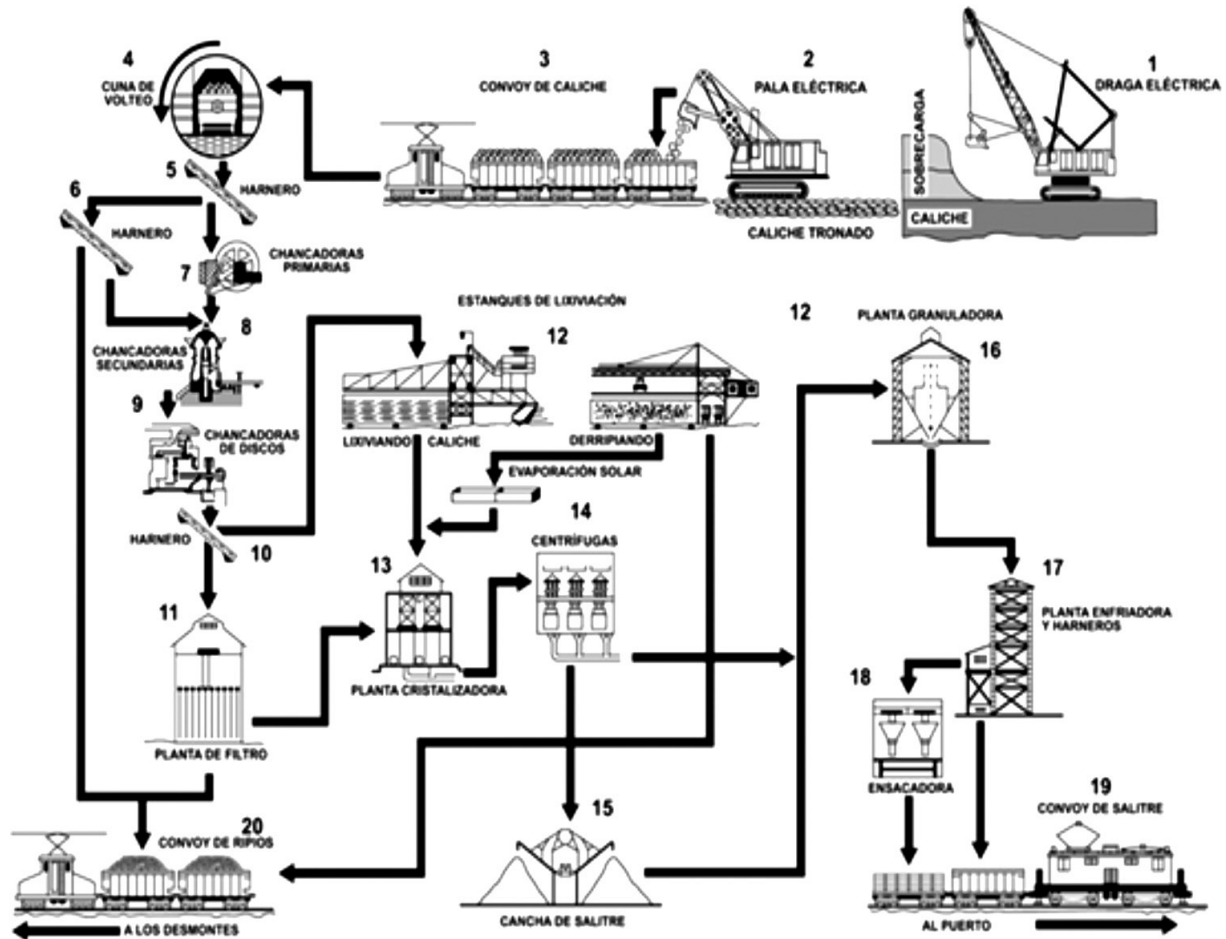


Figura N° 2. El proceso Guggenheim según Galaz-Mandakovic.

su eliminación... Podemos exponer minerales oxidados en una mezcla de gases oxidantes y reductores capaces de reducir el cobre (pero no el hierro) al estado metálico y remover el hierro como escoria” (Stubbles, 1998).

La importancia y el impacto de estos procesos descritos por Howe (tomando en cuenta que faltaban aproximadamente 60 años para la publicación de los trabajos de Harold Ellingham sobre los procesos metalúrgicos de reducción de óxidos y sulfuros), hicieron que proyectos de explotación a gran escala de minerales de cobre de baja ley, se hicieran rentables y que grandes inversionistas pusieran nuevamente sus ojos en la minería chilena del cobre (Allende y Schulz, 2019).

Debido a esto, se necesitaron grandes inversiones de capital, dando inicio a una fase de norteamericanización del proceso minero del Cobre, surgiendo algunas organizaciones norteamericanas que bus-

caban explotar yacimientos en territorio Chileno, como Braden Copper Company que explotaba el mineral del teniente en 1904, Chile Exploration Company para explotar Chuquicamata en 1912 y Potrerillos en 1916, dichos proyectos pasaron a representar el 93% de la producción cuprífera nacional, por lo que Chile regresó a ser uno de los más importantes productores de todo el mundo de Cobre (Biblioteca Nacional de Chile, 2023d). La Figura N° 3 muestra la portada del diario el Mercurio del 19 de mayo de 1915, la mina y la termoeléctrica de Tocopilla que las proveía de energía para su funcionamiento.

En 1951 desde Estados Unidos se importó el proceso de flotación, que había sido inventado en Australia a comienzos del siglo y que permitió, mediante la mezcla con agentes químicos, separar el metal de interés y concentrarlo.

La enorme demanda que poseía el Cobre y con ello, las grandes utilidades que se generaban, respecto



Figura N° 3. a. Portada del mercurio 19 de mayo; b. la mina de Chuquicamata y c. Termoelectrica de Tocopilla todas de 1915. Desde los archivos de Damir Galaz-Mandakovic.

a los mínimos impuestos que pagaban las compañías norteamericanas y la soberanía que tenían, causó un desplazamiento político que demandaba subir los impuestos, la nacionalización y estatización de los yacimientos, estas exigencias fueron incrementando sostenidamente construyendo el Departamento del Cobre en 1955, el cual poseía atribuciones de fiscalización y de colaboración en el mercado mundial del Cobre (Biblioteca Nacional de Chile, 2023d).

A comienzos de los 70, se implementaron en la mayoría de las faenas chancadoras hidráulicas, cintas transportadoras de mayor extensión y los grandes camiones para transporte de minerales (Innovación y Minería, 2019). El año 1971 la industria cambió drásticamente una vez que el congreso aprobó por

unanimidad la reforma constitucional, impulsada por el gobierno de la Unidad Popular, que introdujo el término Nacionalización, que permitió a partir del 11 de julio el plan de nacionalización de la gran minería del Cobre, realizando que los bienes e instalaciones de las organizaciones pasarán a ser propiedad del estado de Chile, construyendo comunidades colectivas para hacerse cargo de las operaciones, coordinadas por la corporación del Cobre (ex Departamento del Cobre). Como consecuencia de esto se formalizó la construcción de una compañía minera, la Corporación Nacional del Cobre de Chile, Codelco (1976) (CODELCO, 2018).

El proceso de chilenización del cobre iniciado por Frei Montalva, impulsado por Radomiro Tomic y



Figura N° 4. (a) Portada de “El Mercurio” el día 12 de julio de 1971, (b) Afiche “Chile se pone los pantalones largos, ¡¡ahora el cobre es chileno!!” (1971), hecho por Antonio Larrea y Vicente Larrea.

materializado en la nacionalización del cobre por Salvador Allende era uno en el que existía consenso en el país, pese a la polarización propia de la época. Los desafíos fueron tremendos para la clase trabajadora chilena, ya que en manos de los norteamericanos se encontraban los puestos de jefatura y la tecnología, sin ir más lejos incluso los manuales de las máquinas se encontraban en inglés. En ese contexto los mineros e ingenieros chilenos debieron demostrar su capacidad para manejar la industria del cobre. Sin ir más lejos, a un año de la nacionalización se pasó de una producción de 8.000 toneladas de cobre mensual a 16.000 toneladas, alcanzando metas crecientes de producción que llegaron a 19.000 toneladas en abril y mayo de 1973 en El Teniente. Recomendamos ver el episodio de los 50 años de la

nacionalización del cobre disponible en el canal de YouTube de 24horas.cl. La Figura N° 3 muestra la portada del diario El Mercurio del 12 de julio de 1973 y el Afiche de Antonio y Vicente Larrea.

Las compañías nacionalizadas fueron Chuquibambilla, El Salvador, Andina y El Teniente, sin embargo, no fue hasta 1976 (durante la dictadura), que se puso institucionalidad a esto, cuando se formó la Corporación Nacional del Cobre, que más adelante se convertiría en la empresa más importante del País y la principal productora de cobre en el mundo, algo que nos debería llenar a todos de orgullo. No obstante, aun cuando las tasas de producción fueron crecientes la poca inversión en agregar valor a nuestro principal producto limitó de cierta manera la

captación de recursos. No sería sino hasta la propuesta de constitución, rechazada el 4 de septiembre de 2022, que la discusión respecto de la necesidad de generar inversión en investigación y desarrollo tecnológico derivara en un consenso tan amplio respecto de la actividad minera y metalúrgica chilena.

Los años siguientes a la creación de Codelco, Chile se encontraba en un periodo histórico de incertidumbre debido al golpe de estado, lo que limitaba la inversión extranjera para la realización de proyectos mineros y/o avances tecnológicos, esto recién terminaría en el año 1982 luego de la crisis económica y con la implementación de la Ley Orgánica Constitucional de Concesiones Mineras, que tenía como objetivo abrir nuevamente la minería Chilena a iniciativas privadas y con ello, aumentar la inversión para el desarrollo de nuevos proyectos y tecnologías. En 1978 las empresas Utah y Getty comienzan la exploración con máquinas perforadoras, formando el mayor yacimiento privado desde la ley de las concesiones mineras, donde se extraía Cobre a 240 metros de profundidad, algo que era imposible para los métodos de exploración que había en ese entonces, este yacimiento se encuentra donde hoy existe Minera Escondida [17].

Ya para inicios de los años 90, se notaba un capital humano altamente especializado, heredero de la tradición minera establecida en el norte del país, además, en estos años se introdujeron nuevas tecnologías como la extracción por solventes y la electroobtención (finales de los 80) y la lixiviación en pilas on-off (durante los años 90), todo esto permitió abaratar costos y explorar minerales oxidados de baja ley en 1990.

Entre 1990 y 2002 la inversión minera alcanzó cifras superiores a los US\$18.000 millones, esto se vio efectivo en la producción de Cobre que se triplicó en este periodo. Entre 2004 y 2014, el valor de la libra de Cobre se cuadruplicó, lo que hizo que las exportaciones mineras alcancen los US\$33.500 millones anuales (valor de referencia en 2003: libra de cobre a US\$1, y en 2011: libra de cobre a US\$4,6 [8]).

Gracias a las exportaciones que estaba logrando Chile, principalmente a su mayor comprador China, el PIB del país pasó de los US\$77.800 millones a más de US\$258.000 millones según cifras del Banco Mundial [8]. Llegando a el año 2016, el precio del Cobre por libra bajó, llegando a los US\$2, debido a la crisis del euro, la mala situación económica que estaba pasando Estados Unidos, sumando a eso los

problemas como el encarecimiento de los recursos básicos para la labor productiva (agua y energía), esto último provocó que las empresas mineras se vieran obligadas a buscar alternativas e innovaciones tecnológicas para realizar el proceso productivo en las mismas magnitudes con energía fotovoltaica, eólica y hacer uso de agua de mar. A todos estos antecedentes, hay que sumarle el gran avance que tuvo la industria en niveles de seguridad para los trabajadores, siendo la salud un pilar fundamental en la nueva minería. Como último dato, la minería sigue siendo un pilar fundamental en la economía chilena hoy en día, de hecho, la minería aportó en 2020 un 12,5% en el PIB nacional, y de eso, un 11,2% corresponde solamente a minería del cobre (SERNAGEOMIN, 2021).

Sin embargo, a pesar de los buenos números en ganancia que genera la minería, es sabido que esta genera una enorme cantidad de relave, y es que, según cálculos del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN), se depositan cerca de 537 millones de toneladas de relave al año (estudio realizado el año 2015) (SERNAGEOMIN, 2023), lo peor es que la cantidad de relave va a seguir aumentando, debido a que a medida avanza el tiempo las leyes de los metales de interés van disminuyendo. Los relaves mineros van a parar a depósitos como tranques de relave, embalses de relave, etc. presentando un montón de consecuencias para el ecosistema (contaminación) y de salud a comunidades aledañas a los depósitos.

Reflexiones al término

Varias han sido las alocuciones relativas a la importancia de estudiar nuestra historia con el afán de comprender el presente y sentar ahí las bases para proyectar nuestra existencia hacia el futuro. Recientemente a la publicación de este artículo, en Chile tuvimos que definir sobre la aprobación o rechazo de una propuesta de constitución para Chile, que en su capítulo III Naturaleza y Medioambiente, entre los artículos 145 al 147 se desarrollaba el denominado Estatuto de los minerales.

El estatuto de los minerales entre otras cosas definía la propiedad del estado sobre todas las minas y las sustancias minerales, metálicas, no metálicas y los depósitos de sustancias fósiles e hidrocarburos existentes en el territorio nacional, cuya explotación debía realizarse considerando su carácter finito (no renovable) con férrea conciencia del cuidado del

medio ambiente. Excluyendo de posibles zonas de explotación minera a los glaciares y a todas aquellas zonas que por ley han de ser protegidas. Además, el estatuto invitaba al desarrollo de leyes que regulen la actividad minera y metalúrgica considerando además la protección social, la innovación y la tan necesaria incorporación de valor agregado nuestros productos metálicos y no metálicos. Desarrollo sustentable y democratización de tecnologías a la pequeña minería y pirquineros desarrollaba el último artículo.

Cualquiera fuera el resultado de esta decisión país, el repensar nuestra especialidad para proyectarnos hacia el futuro es uno de los desafíos primeros que nos puso esta discusión, hablar de la actividad minera y metalúrgica, definir sus alcances, limitaciones y lineamientos futuros es una tarea que recae sobre las nuevas generaciones. La incorporación de la variable cuidado del medio ambiente no debe por qué ser contraria a la explotación minera, pero depende de nosotros encontrar la manera de hacer de esta actividad una sustentable y que permita el desarrollo de tecnologías que permita el agregar valor a nuestros cátodos o concentrados.

Por lo mismo, es deber del ingeniero civil metalúrgico y minero del futuro, encontrar una forma de revalorizar los desechos mineros, para que no se sigan acumulando y produciendo daño a su alrededor. En la actualidad ya existen algunas ideas de uso de gangas mineras, un ejemplo de esto es la utilización de los relaves para la fabricación de materiales de construcción, específicamente de geopolímeros, estos son generados por la reacción entre materiales de aluminosilicato (se pueden usar relaves mineros con altas cantidades de sílice y aluminio) y agentes alcalinos, y luego, el producto de esta reacción se lleva a un proceso de curado para formar el producto final, cemento de geopolímero.

Si se sigue mirando hacia el futuro, es importante hablar de la minería del litio y su importancia estratégica en el futuro, el litio es obtenido como carbonato de litio y es utilizado como materia prima para la fabricación de elementos energéticos, fabricación de baterías, en tecnología termosolar, etc. Nuestro país posee cerca del 30% de la producción global y la mayor reserva mundial (salar de Atacama), por lo que es de suma importancia aprovechar esto, de aquí el debate, como debería Chile exportar el litio, como materia prima (es decir, como carbonato de litio) o como producto procesado (batería).

En general, Chile siempre se ha caracterizado por ser exportador de materias primas y no un país manufacturero que exporte sus productos procesados, pasa con el cobre, que se exportan cátodos de cobre en vez de alambres o cables eléctricos, esto hace que otros países compren nuestra materia prima, fabriquen el producto final y lo vendan a un mayor precio. Pero por qué no cambiar esto, y que mejor ahora que hay un boom del litio debido a que este es un material estratégico para la transición energética, se podría estudiar incluso la posibilidad de que el estado chileno realice alianzas estratégicas con empresas interesadas en la transición energética, como las del rubro de la electromovilidad, empresas como Tesla, General Motors, BMW, etc. Estas empresas necesitan de un proveedor y Chile podría serlo, además, esto generaría en nuestro país un nuevo mercado, más empleo, potenciará nuevos proyectos, etc.

En la actualidad sabemos que la actividad minera y metalúrgica además de darnos muchos beneficios también trae un alto impacto ambiental, se utilizan recursos hídricos, estos muy escasos en la zona norte del país, donde están ubicadas la mayor parte de las mineras, se gastan grandes cantidades de energía, ya sea en molienda, en transporte, energía eléctrica, entre otros. Además, se generan emisiones de compuestos tóxicos, como el caso de la fundición de Ventanas, la cual cuenta con varias denuncias a lo largo de su funcionamiento. Entre ellas el 2011 se intoxicaron 31 niños de la escuela "La Greda" ubicada en las cercanías de la fundición, en 2018 aproximadamente 600 personas presentaron cuadros atípicos, y el más reciente el 9 de junio del 2022 cuando 115 personas fueron afectadas, por lo que se debió cerrar los establecimientos educativos y por lo que se tomó la decisión de crear un plan para el cierre de ventanas.

En la zona de Quintero-Puchuncaví existen 19 industrias que son consideradas peligrosas por su contaminación, pero las emisiones de dióxido de azufre pertenecen en mayor parte a la fundición de Ventanas con un 62%, catalogando esta zona como "zona de sacrificio". Analizando las normativas, podemos ver que Chile se encuentra muy atrasado referente a las normativas internacionales, ya que se indica un máximo de 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora, en Estados Unidos la EPA tiene un límite de 196 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora, y según la OMS el máximo en 24 horas es de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Toro, 2022).

En un principio no existía conciencia ambiental, pero esto cambió cuando las consecuencias de estas actividades se hicieron notar, en 1990 se comienzan a hacer intentos para regularizar la contaminación producida, y años más tarde en 1992 recién se implementaron estudios sobre el impacto ambiental. Si bien en la actualidad se ha avanzado muchísimo en estos temas, aún falta mucho por hacer, se necesitan desarrollar nuevas tecnologías para intentar disminuir al mínimo los residuos de las actividades mineras y metalúrgicas.

Un ejemplo de esto es el proyecto Green Copper, impulsado por el Dr. Igor Wilkomirsky Fuica del departamento de Ingeniería Metalúrgica perteneciente a la Universidad de Concepción. Este proyecto tendría una huella de carbono cero, es decir 0 emisiones y residuos de la minería, pretendiendo reemplazar las fundiciones tradicionales (como es el caso de Ventanas). Se planea la recuperación la totalidad de los elementos como hierro, silicio, molibdeno, que está en los concentrados, logrando así que no se genere escoria, además al utilizar reactores cerrados no se generan emisiones peligrosas, no se consumen agentes que contienen carbono, generando además una gran cantidad de agua que se consume en el proceso, y además genera energía, que puede ser utilizada como energía eléctrica.

Aún con la existencia de este tipo de proyectos, se necesita que la tecnología se siga desarrollando en pos del cuidado medioambiental, esto requiere dinero y tiempo, pero también se necesita cambiar la mentalidad actual, para poder ir más allá de las regulaciones establecidas y tomar una real conciencia de nuestro entorno.

Referencias

1. Arte Precolombino, M. C. (2001). *Tras la Huella del Inka en Chile*. Santiago, Chile.
2. Morris, R. (1992). *Platería mapuche*. Santiago, Chile: Kactus.
3. Ministerio de Bienes Nacionales, Gobierno de Chile. (s.f.). *Establecimiento Metalurgista de Viña del Cerro*. Disponible en: <https://patrimonio.bienes.cl/patrimonio/establecimiento-metalurgista-de-vina-del-cerro/>
4. Paineicura Antinao, J. (2011). *Charu: sociedad y cosmovisión en la platería mapuche*.
5. Corporación Nacional del Cobre de Chile. (2018). *Historia de la minería | Codelco Educa*. Disponible en: https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/historia_minera.html
6. CNTV Infantil (2015, 2 de noviembre). *Artesanía en Plata | Kuyfi kimun | Capítulo 4 | Juan Antonio Paineicura [video]*. YouTube. <https://url24.me/oObmH>
7. Canal13C (2022, 4 de octubre). *El proceso detrás de la platería mapuche | Carlo Cocina. [video]*. YouTube. <https://url24.me/gWeKy>
8. Gloria Calcumil (2022, 26 de octubre) *Conversación personal*.
9. BIBLIOTECA NACIONAL DE CHILE, MEMORIA CHILENA. (s.f.). *Minería colonial (1541-1810)*. Disponible en: <https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-752.html>
10. Moussa, N. (1999). *El desarrollo de la minería del cobre en la segunda mitad del siglo XX*.
11. VENTISCA | cultura, turismo e innovación de la provincia el Ilo, Chile. (2020). *Cronología del Salitre*. Disponible en: <https://www.ventisca.cl/mineria/salitre-en-la-region/cronologia-del-salitre>
12. BIBLIOTECA NACIONAL DE CHILE, MEMORIA CHILENA. (s.f.). *"Explotación del salitre", La industria del salitre en Chile (1880-1930)*. Disponible en: <http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-93821.html>
13. BIBLIOTECA NACIONAL DE CHILE, MEMORIA CHILENA. (s.f.). *"Auge y crisis de la industria del salitre", en: La industria del salitre en Chile (1880-1930)*. Disponible en: <http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-92400.html>
14. Stubbles, J. (1998). *Who was Henry Howe?*, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 29(1), 5-16.
15. Allende R. y Schulz. (2019). *Revista Remetallica*, Vol. 34 Núm. 22, "Henry Howe y la reducción selectiva de minerales oxidados de cobre a inicios del siglo XX en Chile".
16. BIBLIOTECA NACIONAL DE CHILE, MEMORIA CHILENA. (s.f.). *Origen de la gran minería del cobre (1904-1930)*. Disponible en: <http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-3632.html>
17. *Innovación y Minería*. (2019). *Una pequeña historia tecnológica de la minería en Chile | Radiografía minera*. Disponible en: <https://innovacionymineria.cl/una-pequena-historia-tecnologica-de-la-mineria-en-chile/>
18. SERNAGEOMIN, S. (2021). *Anuario de la Minería de Chile 2020*.
19. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). (s.f.). *Preguntas Frecuentes sobre Relaves*. Disponible en: <https://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/>
20. Toro, D. (2022). *Concentración de dióxido de azufre: Qué dice la norma chilena y por qué está lejos de los estándares internacionales | Emol.com*. Disponible en: <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2022/06/24/1064948/norma-chilena-internacional-contaminacion-codelco.html>