

NUCLEOELECTRICIDAD EN EL SECTOR MINERO DE CHILE

Carla Tapia Guerrero

Magister en Ingeniería de la Energía, Pontificia Universidad Católica de Chile

Ingeniero Civil Hidráulico, Pontificia Universidad Católica de Chile

RESUMEN: *Acorde a algunos análisis gubernamentales, predicciones indican un crecimiento esperado en la demanda eléctrica para la minería de unos 34 TWh hacia el 2026. Chile, encaminado hacia el desarrollo sustentable, requeriría aumentar su matriz energética en 1.700 MW, apuntando hacia tecnologías de generación con bajas emisiones de Gases de Efecto Invernadero, así como también optimizar servicios y recursos para la actividad industrial. El agua es una de ellas, la cual es imprescindible para la minería.*

El objetivo de este reporte, es conocer los requerimientos energéticos y demanda global de agua del sector minero del cobre, presentar una estimación global de sus emisiones y evaluar la energía nuclear como una posible solución sustentable, proponiendo una alternativa tecnológica que se adecue a los requerimientos de esta industria. Aquí, se discuten nuevas opciones tecnológicas y los requerimientos necesarios para ser implementada específicamente en la industria minera del cobre, particularmente ejemplificado en el norte de nuestro país. Los resultados muestran que las instalaciones nucleares son capaces de entregar electricidad, agua desalada, hidrógeno y calor, presentan una baja huella de carbono y de utilización de suelo y pueden entregar energía a un factor de planta alto. Aun así, a pesar de los bajos costos de operación, la experiencia en otros países indica que hay demoras en construcción y se incrementa la inversión por regulación excesiva. Tecnologías avanzadas buscan bajar estos costos con sistemas más simplificados, así como también nuevos financiamientos y opciones de colaboración. Se concluye que la nuclear sería capaz de satisfacer toda la demanda requerida, de manera segura e intensiva, lo cual es primordial para mantener los niveles de producción mineros.

PALABRAS CLAVE: *Nucleoelectricidad, Industria Minera, Sustentabilidad Nuclear.*

1 INTRODUCCIÓN

El mercado de la Gran Minería del Cobre se encuentra en un periodo crítico, debido al bajo requerimiento de este mineral por parte de China, principal comprador (33%) de cobre chileno (CODELCO, 2016). La proyección de demanda energética en la industria indica un crecimiento sostenido que podría alcanzar los 34 TWh hacia el año 2026. De ser así, el actual sistema de transmisión eléctrica del país requeriría un repotenciamiento estimado en 1.700 MW en el periodo 2016 -

2026. Dentro de este crecimiento, las regiones de O'Higgins, Atacama y Antofagasta, representan más de la mitad del consumo energético, asociado a ésta (COCHILCO, 2015).

Para satisfacer este aumento de demanda, y siguiendo las tendencias de desarrollo para la disminución de gases efecto invernadero (GEI) y consumo de otros recursos y servicios que dan soporte a la actividad humana, es que se deben revisar las opciones de fuentes de Energía de Potencia que permitan cubrir este requerimiento a través de la sustentabilidad energética. Hoy en día, existen distintas opciones de generación que han sido enfocadas en la utilización de recursos renovables, sin embargo la mayoría de ellas aún requieren de importantes montos de inversión para resolver los problemas de intermitencia a través de dispositivos de almacenamiento de energía. Es en este contexto, que se han desarrollado tecnologías avanzadas en energía nuclear, de manera de incrementar su participación a nivel mundial, como una de las fuentes energéticas disponibles que son más limpias y seguras, a pesar de la percepción del público general.

Las instalaciones nucleares, son capaces de entregar electricidad, agua desalada, hidrógeno y calor, con poco uso de suelo y una baja huella de carbono. La energía que éstas entregan, poseen factores de planta elevados respecto a otras fuentes energéticas sustentables, lo cual se ajusta a la demanda de actividades industriales como la minería y además, si es emplazada adecuadamente, es menos susceptible a las consecuencias proyectadas de cambio climático. Sin embargo, la tecnología nuclear presenta la debilidad que, a pesar de sus bajos costos de operación, en algunos países la legislación ha retrasado su construcción y aumentado los costos de inversión. Las tecnologías avanzadas de energía nuclear, apuntan a sistemas simplificados, con menores costos. Asimismo, se han estado desarrollando unidades con menor tamaño. Es así, que la innovación tecnológica y la colaboración en cuanto a la reglamentación y oportunidades de implementación de estos sistemas, permitiría reducir los montos de inversión.

Chile, en el pasado, ha analizado distintos proyectos relacionados a la energía nuclear, sin embargo por distintas condiciones políticas internas y de contingencia internacional, no ha pasado de las etapas iniciales. Es un desafío del país lograr la educación necesaria al público general. También lo es el desarrollo tecnológico y la creación de la reglamentación necesaria y suficiente para la implementación de la energía

nuclear, de modo de invertir en tecnología limpia que contribuya al futuro sustentable que se necesita imperiosamente. Considerando este contexto, este documento aborda una revisión de los beneficios y potenciales riesgos de la energía nuclear, opciones tecnológicas y la infraestructura requerida a nivel conceptual para ser implementada en la industria de la Gran Minería del Cobre en el norte de Chile, como una fuente de energía sustentable, en el contexto de su contribución a reducir el cambio climático.

2 ENERGÍA EN EL SECTOR MINERO

El sector minero en general, se ha caracterizado por procesos desarrollados en sectores principalmente alejados de centros urbanos, los cuales han sido una consecuencia de esta industria. Ha sido en el entorno de los puntos de explotación, en donde han crecido pueblos y ciudades que al igual que ésta, demandan servicios básicos como agua y electricidad.

En particular, la Gran Minería del Cobre, se ha concentrado por la distribución de este recurso en nuestro país, encontrándose principalmente en la zona norte, en donde por las características geográficas, existen grandes distancias entre los poblados y escasez de recursos, principalmente hídricos.

Estos procesos, requieren de alta energía para su operación, ya sea en forma de combustibles o de energía eléctrica. La Figura 1, muestra la configuración energética actual del consumo para la minería del cobre en Chile.

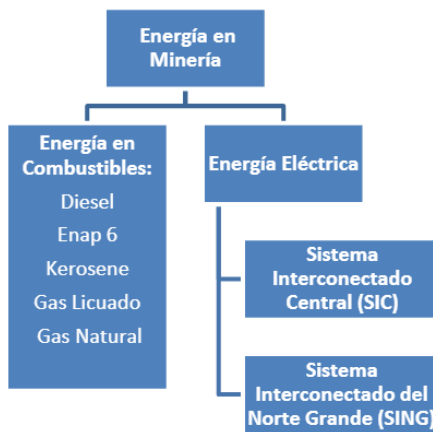


Figura 1: Configuración de la demanda energética de los procesos mineros.
Fuente: COCHILCO, 2015

Chile, en la actualidad, ha ido incrementando su consumo eléctrico a nivel global. Como se observa en la Figura 2 en cerca de un 50% respecto al año 2005.

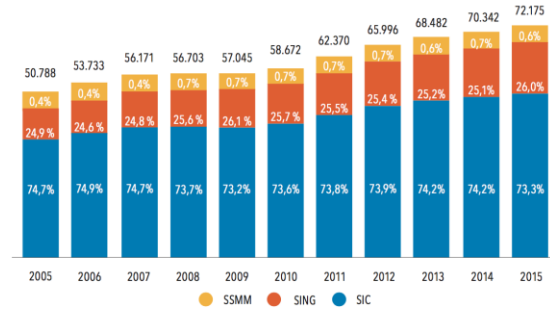


Figura 2: Evolución de generación eléctrica bruta (GWh) por sistema entre 2005 – 2015.
Fuente: CNE, 2015

En general, la energía asociada a la minería, como se observa en la Figura 3, han ido incrementando su demanda a lo largo del tiempo (80 TWh entre el 2001 y 2014), principalmente por el aumento de procesamiento de mineral, mayores distancias recorridas dentro de los procesos y por la difícil obtención de recursos en los centros de explotación (COCHILCO, 2015).

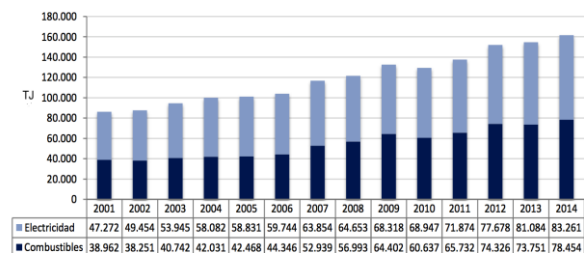


Figura 3: Consumo nacional de energía en la minería del cobre.
Fuente: COCHILCO, 2015

A modo de referencia, en el caso de los combustibles, el proceso minero de mayor consumo es el de la mina rajo el cual alcanza 59.974 TJ, lo que representa el 76% del consumo total de combustibles de todo el proceso. En el caso de la electricidad, la concentradora alcanza un consumo de 43.685 TJ y el procesamiento de óxidos (LxSxEw) un consumo de 20.751 TJ, lo que representa un consumo de un 52% y un 25% del consumo eléctrico minero respectivamente a nivel nacional (COCHILCO, 2015).

Los consumos energéticos del sector minero a partir del año 2001, respecto al país, pueden observarse en las figuras siguientes:

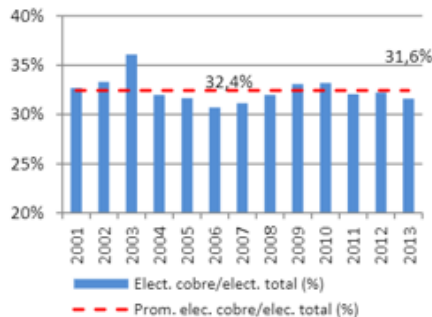


Figura 4: Participación del consumo eléctrico de la minería del cobre en el consumo nacional 2001-2013
Fuente: COCHILCO, 2015

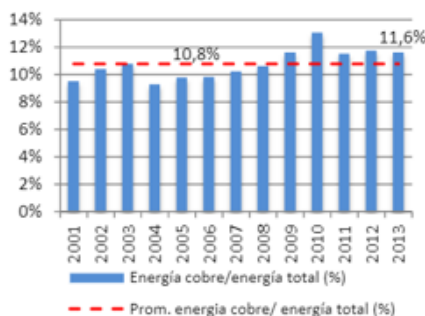


Figura 5: Participación del consumo de energía de la minería del cobre en el consumo nacional 2001-2013
Fuente: COCHILCO, 2015

De ambos gráficos se concluye que el consumo de energía eléctrica se ha mantenido por sobre el 30% del total nacional, y de energía en general sobre el 10%, por lo cual es una industria importante en el mercado, con alta influencia en el desarrollo de las proyecciones de negocios del sector eléctrico.

La estimación de demanda energética para el país, ha sido establecida con base en estudios realizados por COCHILCO, los cuales, acorde a simulaciones de Montecarlo, determinaron la proyección de la producción de cobre al año 2026. Estas simulaciones fueron realizadas con base en:

- Cartera de proyectos vigentes y operaciones mineras actuales
- Estimación de producción futura de acuerdo a la condición y estado actual de dichos proyectos

La Figura 6 muestra los resultados de dicha simulación, que reflejan los 34 TWh adicionales requeridos en promedio para los distintos proyectos mineros hacia el año 2026:

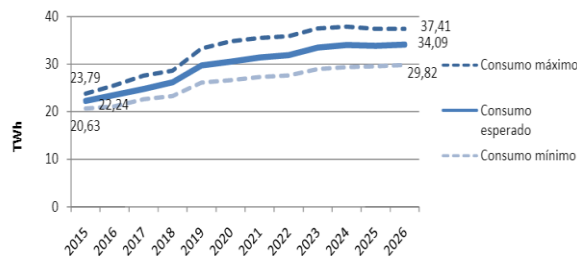


Figura 6: Consumo eléctrico (TWh) nacional de la minería del Cobre 2016-2026 según los casos Máximo, Esperado y Mínimo.
Fuente: COCHILCO, 2015

Acorde a esta información, para satisfacer los requerimientos de la demanda de la minería del cobre, se requeriría agregar una capacidad de generación eléctrica de 1.700 MW en el periodo 2016-2026.

3 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL SECTOR

La minería del cobre posee requerimientos de energía acorde al tipo de proceso que cada compañía define, dependiendo de los recursos cupríferos disponibles, ya sea para Óxidos o Sulfuros, como se vio en acápite anteriores. Sin embargo, estos procesos tienen en común lo siguiente:

- Necesidad de energía eléctrica las 24 horas, los 365 días del año
- Agua fresca durante todo el proceso productivo
- Lo anterior tiene una excepción: Paradas de planta (detenciones) programadas, en general de dos días de duración unas dos veces por año

La distribución de los tipos de agua utilizados para los distintos procesos y su tasa de consumo actual, se presentan a continuación en la Figura 7:

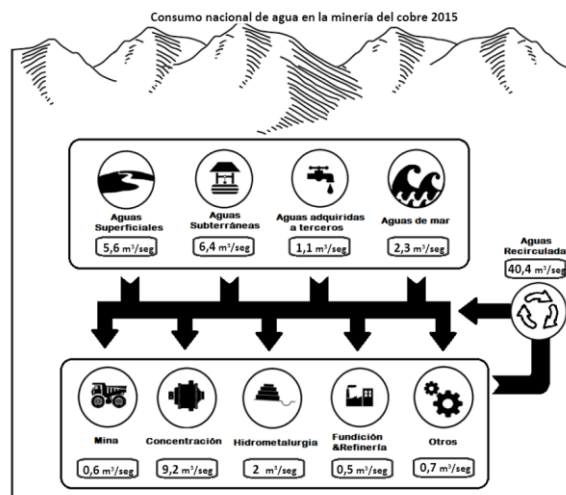


Figura 7: Fuente de agua utilizada 2015, según tipo de proceso.
Fuente: COCHILCO, 2016

La distribución regional, según el mismo estudio, revela que el mayor consumo se encuentra en la región de Antofagasta, O'Higgins, Tarapacá y Atacama. La Figura 8, presenta las tendencias de consumo, según tipo de afluente:

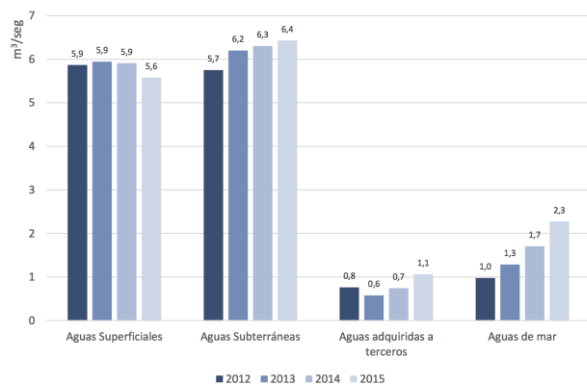


Figura 8: Tendencia en el consumo de aguas, según fuente de origen.

Fuente: COCHILCO, 2016

Para nuestro caso, como referencia, si consideramos para una Planta Concentradora de Sulfuros de cobre, el consumo específico energético y de agua para llevar el mineral desde el rajo de la mina, hasta el puerto, se podría definir lo siguiente:

- Por cada 10 KTPD de mineral procesados en molienda, se consumen 10 MW de energía eléctrica total en el proceso (mina, molienda, flotación, tranque, etc.)
- Por cada 10 KTPD de mineral procesados en molienda, se consumen en promedio 6.000 m³ de agua (es decir 0,6 m³/t) para el proceso completo.
- El agua para ser desalada requiere 2 kWh/m³ de energía (Estevan & García Sánchez-Colomer, 2007), esto es 1,2 kWh/t de mineral. La potencia efectiva estimada es de 0,6 W/m³.

Con esto, es posible dimensionar en términos generales, una Planta Generadora para satisfacer la demanda de un proyecto o de instalaciones existentes, conociendo la capacidad de procesamiento de la Concentradora.

La Gran Minería del Cobre, está evaluando proyectos de al menos 100 KTPD aproximadamente (para ser rentables con las actuales tecnologías y los actuales precios del cobre), existiendo hoy en el mercado en operación, plantas que procesan cerca de 350 KTPD. Esto quiere decir, que a grandes rasgos poseen consumos de energía eléctrica entre 140 y hasta 400 MW y entre 60 y 210 mil m³ de agua por día, de manera continua durante sus años de operación, que fluctúan normalmente entre 20 y 40 años, sin considerar posibles expansiones en los rajos.

Los procesos mineros requieren de mejoras importantes desde el punto de vista de la sustentabilidad. Debe buscarse una solución para disminuir el consumo de agua fresca, de modo de liberarla para consumo humano y agrícola, lo que

implica un aumento en la tasa de desalación, reemplazando ojalá a un 100% del agua fresca. La Figura 9 muestra el aumento anual que ha tenido el uso de agua de mar en la industria:

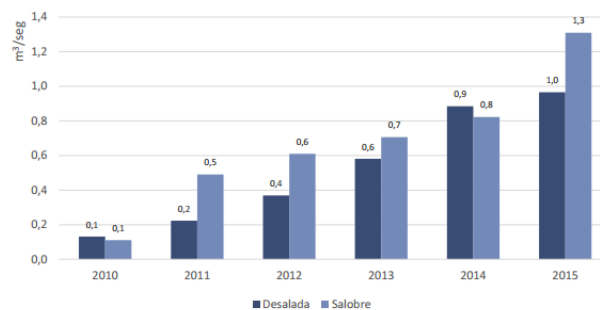


Figura 9: Uso de agua de mar en la industria minera.

Fuente: COCHILCO, 2015

Los altos consumos energéticos son los que demandan una expansión en la oferta de generación eléctrica del país. Los consumos actuales de energía eléctrica, para el Norte Grande en particular, provienen del SING, el cual está compuesto principalmente por generadoras térmicas con altas tasas de emisión de CO₂. La Figura 10 muestra la composición de la matriz energética de este sistema, del cual sólo el 9% pertenece a tecnologías ERNC.

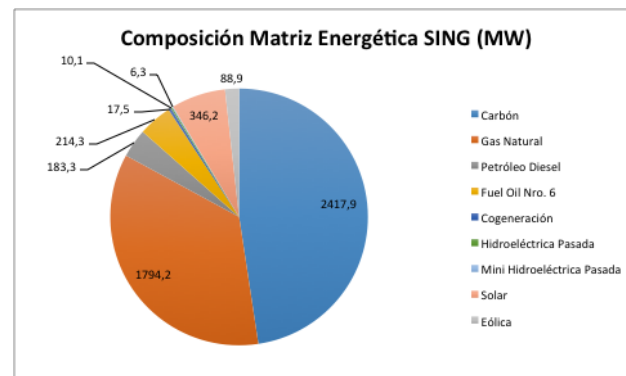


Figura 10: Composición actual de la matriz energética en el Norte Grande.

Fuente: Elaboración Propia.

A lo anterior debemos agregar que la tasa de consumo de combustible de la minería está basada en fósiles, como se observa en la Figura 11:

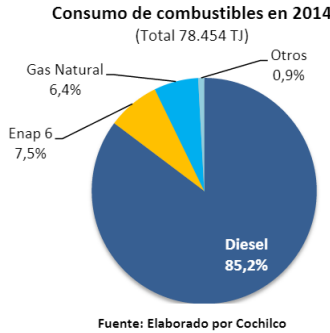


Figura 11: Consumo de combustibles para el Sector Minero del cobre, año 2014.

Fuente: COCHILCO, 2015

MAPS Chile (2014) emitió un documento en el cual se observan los aportes totales del sector Industrial y Minero (I&M) y de Generación eléctrica en la emisión de CO₂. La Figura 12 presenta los resultados de la línea base de emisiones para el país:

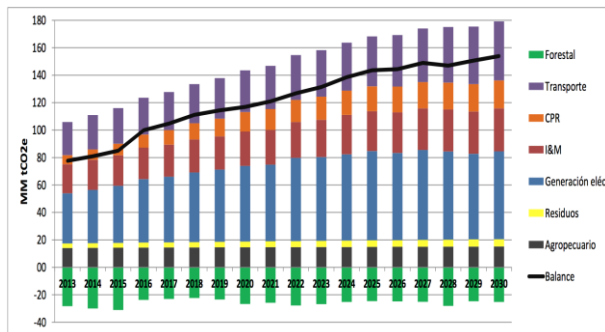


Figura 12: Línea Base de emisiones 2013, todos los sectores industriales.

Fuente: MAPS Chile, 2014

Frente a lo observado, se puede concluir que desde el punto de vista energético, emisiones y consumo de agua, los procesos mineros requieren de mejoras importantes al haber evaluado su sustentabilidad, considerando aspectos ambientales, sociales y económicos, tanto para sus fuentes energéticas como para sus procesos.

4 EL ROL DE LA ENERGÍA NUCLEAR

Para mejorar la sustentabilidad energética del Sector Minero del Norte de Chile, se debiesen considerar los siguientes factores:

- La generación debe ser con una fuente libre de emisiones GEI, lo cual ayuda en la mejora del footprint del Sector.
- Un servicio confiable, con el mínimo de Blackout o periodos de falla en el sistema, que detengan la producción de mineral y por ende genere pérdidas económicas.

- Utilizar la sinergia que da la ubicación geográfica, en que se podría abastecer varias Compañías cercanas en la zona, y así distribuir los costos de inversión y operación en las distintas faenas.

Una tecnología adecuada que posee un factor de planta confiable y que no posee emisiones de GEI es la energía nuclear, por lo cual es una alternativa que el sector minero debiese analizar. La energía nuclear permite generar con costos operacionales bajos, por lo cual un buen dimensionamiento, que considere los distintos servicios que demanda la minería, podría ayudar en la optimización de consumo energético de los distintos procesos y servicios requeridos en la producción del cobre, mejorando la sustentabilidad.

En la actualidad, aún con el desarrollo tecnológico permanente, la mayoría de los reactores instalados y en proceso de mejora sigue siendo PWR, de gran potencia. Paralelamente, en desarrollo se encuentran los SMR, asociados a los revolucionarios, para satisfacer menores demandas o progresivas.

Los SMR o Reactores Modulares Pequeños, corresponden a aquellos con potencia inferior a 300 MWe, acorde a la IAEA, siendo algunos de ellos versiones a escala de los PWR en cuanto al tipo de tecnología (Westinghouse, 2016). Existen diversos modelos en desarrollo e investigación, debido al interés que han generado por su ventaja al ser modulares, aprovechando así las distintas ventajas que esto implica, por ejemplo (Söderholm, 2014):

- estandarización
- simplificación en el diseño
- modularización
- producción en masa
- sistemas de seguridad pasivos
- construcción en serie
- disminución de los periodos de construcción
- Ramp-up (en serie) de la construcción que permitan el auto-financiamiento.

Todo lo anterior, considerando las mejores prácticas de la industria y la última tecnología disponible, que toma en cuenta errores operacionales y de diseño de la historia nucleoelectrónica.

La Figura 13 muestra un esquema de un SMR.

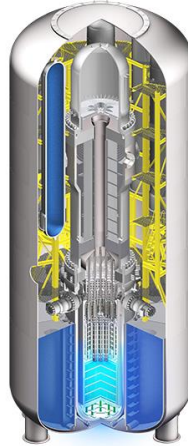


Figura 13: Esquema de un SMR de 225 MWe.
Fuente: Westinghouse, 2016

Acorde a los análisis de Arróspide (2014), los SMR son particularmente adecuados para redes eléctricas con demandas máximas inferiores a 4.000 MWe, debido al impacto que tendría la conexión de una central nucleoelectrónica de mayor tamaño en dichos sistemas. Los SMR tienen menores tiempos de construcción que los Large Reactors (LR), en niveles que oscilan entre 1/2 y 1/3. Por otra parte, si bien el costo unitario debiera ser más alto en el caso de los SMR, al ser más pequeños requieren menores esfuerzos de financiamiento, en términos de montos, garantías, riesgos de atrasos o no partida, entre otros. Por otra parte, se estima que la operación y el mantenimiento debieran ser más simples en el caso de los SMR.

La Figura 14, presenta los costos overnight de construcción proyectados por la Universidad de Chicago para los SMR, acorde a (Cooper, 2014):

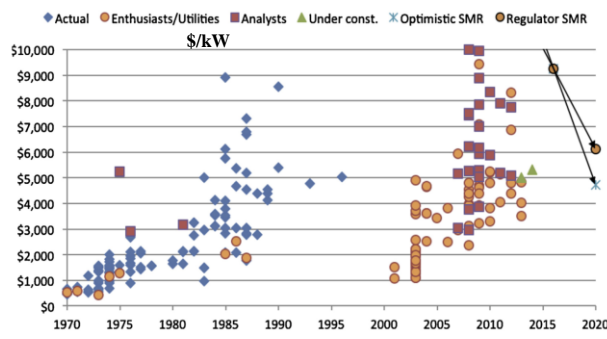


Figura 14: Costos Overnight de Construcción reales y proyectados para SMR.
Fuente: Cooper, 2014

Considerando para nuestro caso que la generación de energía eléctrica a través de energía nuclear puede ayudar a mejorar la sustentabilidad de la Gran Minería del cobre, al utilizarla además como fuente para calefacción y procesos de

desalinización de agua, las actuales tendencias tecnológicas mundiales son aplicables a nuestro país.

Sin embargo, al elegir un SR (Small Reactor) por sobre un PWR o LWR clásico, en el caso de Chile, existen diversas ventajas (Arróspide, 2014):

- El impacto en la red es más acotado que un LR, debido al tamaño del Sistema Interconectado
- En el caso de la reserva en giro, tampoco hay modificación debido a que en la red existen unidades mayores
- El tener una expansión modular, permite un crecimiento más eficiente de la red de transmisión al no tener capacidad inutilizada en los sistemas troncales
- Se prevé que en un futuro cercano, se exigirá a las compañías mineras la utilización de agua desalada para sus procesos, para lo cual los sistemas SR serían más adecuados por su tamaño y espacios requeridos para su operación.
- Desde el punto de vista de los sistemas asociados al procesamiento del mineral de cobre, tanto para óxidos como sulfuros, los principales servicios que la energía nuclear podría satisfacer son los siguientes:
 - Energía eléctrica para alimentar el equipamiento necesario en la producción de cobre
 - Energía eléctrica para alimentar una Planta de Osmosis Inversa, o bien energía térmica para una Planta Desaladora por destilación.
- En el caso de ubicarse cerca de los campamentos, utilización de calor mediante circuitos, o bien a través de energía eléctrica para calefactores.
- Utilización para procesos de conversión de hidrógeno como combustible, o bien como energía para alimentar motores eléctricos en los equipos móviles.

Se desprende del listado anterior, que dependiendo del lugar de emplazamiento de la Central Nuclear respecto de la Faena, tanto la configuración como los servicios ofertados pueden ser distintos. Por ejemplo, la Figura nos presenta el sector aledaño a las ciudades de Antofagasta y Calama, en donde CODELCO y Antofagasta Minerals son dueños de varias faenas:



Figura 15: Faenas Mineras de la Segunda Región de Chile.
Fuente: Mapa Minero de Chile, s.f.

Una consideración entonces, es que la ubicación de la planta sea tal, que pueda satisfacer los requerimientos demandados por el conjunto de faenas asociadas a una misma Compañía, para así aprovechar la sinergia.

La consideración que debe tenerse es la operación de la faena durante los periodos de mantención de la Planta Nuclear, puesto que podría dimensionarse con módulos extra (stand by) en el caso de los SMR, o bien lograr un tipo de conexión con el sistema nacional para ser utilizado sólo en estos casos de respaldo (obligatorio en el caso de un PWR) y como backup en caso de accidente, con un 7% de la Potencia térmica.

De la información ya presentada, se debe recordar que una (1) faena podría requerir de al menos 140 MWe y para el caso de un grupo de faenas como las indicadas, podría llegar a los 1.000 MWe.

En general, la IEA en su World Energy Outlook recomienda realizar la evaluación de los proyectos nucleares con tasas entre 8% y 12%, considerando 50% de capital propio y 50% de financiamiento con deuda. En Chile, los proyectos energéticos se estiman con tasas de hasta 14% (Rudnick, 2009). Según un estudio de Calvo (2007), para el caso de los reactores de tipo PWR no serían rentables con tasas superiores al 10%, considerando el escenario chileno.

5 PROPUESTA

Acorde a la información obtenida en los capítulos anteriores, la propuesta para ser desarrollada como solución de la problemática energética en los escenarios planteados por COCHILCO, mirada desde el punto de vista de mejorar la sustentabilidad del SING, correspondería a un sistema basado en tecnología SMR, considerando un módulo en stand by para casos de mantención de la central nuclear.

Para mayor versatilidad del sistema, se puede considerar un dimensionamiento para satisfacer la demanda de energía eléctrica que incluya:

- Equipos e iluminación
- Planta de Osmosis (considerando que no está aledaña a la central nuclear)
- Sistema de impulsión de agua salada o desalada hasta la faena (depende del punto de desalación)

El dimensionamiento de la central, permitiría de este modo, considerar las posibles expansiones de capacidad de procesamiento de mineral que puedan existir a futuro. Asimismo, dependiendo de la vida útil, puede considerarse al final de ésta, el abastecimiento de alguna zona urbana y centros turísticos, dependiendo del remanente que quede para ser desmantelada.

Dada la modularización de un SMR, a futuro y dependiendo de los avances tecnológicos, podría ser posible la utilización de esta energía para la alimentación de motores para equipos móviles (maquinaria, camiones, buses, entre otros), ya sea si son motores eléctricos o de hidrógeno (pensando en ser la fuente energética para alimentar el proceso de conversión de éste), lo que permitiría eliminar gradualmente los consumos de fuentes fósiles.

Dependiendo de la localización de la central, el calor distrital generado puede ser aprovechado en temporada invernal para proteger el congelamiento de las líneas con fluidos y evitar heat tracing. Esto sería posible si la central estuviese ubicada cerca de la faena, en donde están los puntos de consumo.

La Figura 16 muestra una fotografía de la central Palo Verde (3.300 MW), Estados Unidos, que opera en la mitad del desierto. Esta central utiliza aguas grises para su operación.



Figura 16: Fotografía de la Central Palo Verde.
Fuente: Google, 2016

En caso de ubicar la central en el desierto, debido al requerimiento de agua para operarla, se puede considerar un reservorio que la abastezca, el cual a su vez puede ser alimentado aprovechando la impulsión de agua de mar para los procesos. Se debe recordar que se pueden utilizar sistemas de seguridad pasiva como la refrigeración por convección, como se observa en la Figura 17:

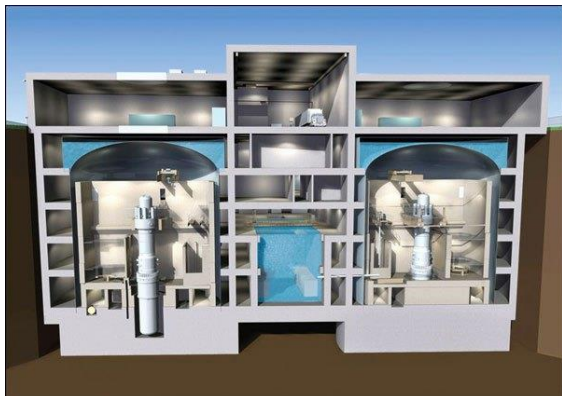


Figura 17: Disposición de SMR y esquema de localización del sistema de refrigeración.
Fuente: Google, 2016

En general, las faenas mineras poseen reservorios de agua fresca (o desalada dependiendo el caso) para alimentar sus procesos, con volúmenes que bordean incluso los 600.000 m³ para asegurar la continuidad operacional por un par de días y una con agua reprocesada de similares magnitudes. El aumento de capacidad por concepto del requerimiento de la central nuclear no debiese ser un costo significativo en la infraestructura, tanto del sistema de impulsión como de almacenamiento de agua, acorde a lo que se observó en antecedentes de COCHILCO.

6 CONCLUSIONES

El análisis ha permitido conocer los requerimientos energéticos de electricidad, combustibles y demanda de agua para la minería de cobre. Asimismo, se ha evaluado la sustentabilidad del sector minero. Bajo estas condiciones, se analizaron los principales desafíos del sector y se propone y se presenta la factibilidad técnico-económica de la energía nuclear, que bajo ciertas condiciones de mercado, es una tecnología capaz de suplir de manera sustentable los requerimientos a los cuales se vería enfrentada la industria minera del cobre en el país durante los años venideros. La energía nuclear sería capaz de satisfacer toda la demanda requerida, de manera segura y con un alto factor de planta, lo cual es primordial en este sector para mantener los niveles de producción y disminuir los costos de operación.

Lo anterior permite además generar, para empresas con la capacidad financiera adecuada, la creación de centros industriales abastecidos por este tipo de energía, tales como Planta de Desalación, Planta Concentradora, Mina/Rajo, Fundición, entre otros, acorde a los requerimientos de cada faena en particular. Debido al intensivo uso energético de la industria minera, permite pensar en proyectos globales, que puedan ser introducidos en todos los ámbitos de esta actividad. En principio, el análisis aquí realizado ha considerado la alimentación de los sistemas con energía

eléctrica para satisfacer la demanda, sin embargo, en el futuro es posible incorporar servicios adicionales aquí mencionados como calor distrital, alimentación para los equipos móviles, procesos de desalación de agua con tecnologías en base a calor, entre otros, los cuales pueden ser traspasados a sectores urbanos una vez finalizado el periodo de operaciones, que en general es mayor a 30 años.

Es un desafío país el lograr que se adopten las políticas públicas adecuadas para su implementación en el corto plazo y la capacitación de personal adecuado para llevar a cabo este gran proyecto.

7 REFERENCIAS

- Arróspide, M. (2014). *Viabilidad Económica de Centrales Nucleoeléctricas en el Sistema Interconectado Central*. Actividad de Graduación para obtener el Grado de Magister en Ingeniería de la Energía. Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería, Santiago.
- COCHILCO. (Junio de 2016). *Consumo de agua en la minería del cobre al 2015*. Chile.
- COCHILCO. (Marzo de 2015). *Informe de consumo de energía en la minería del cobre al año 2014*. Chile.
- COCHILCO. (21 de Diciembre de 2015). *Proyección del Consumo de Energía Eléctrica de la Minería del Cobre 2015 - 2026*. Santiago, Chile.
- Calvo, G. (2007). *Estudio Exploratorio de una central nuclear en el Sistema Interconectado Central*. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil de Industrias, Universidad de Chile, Ingeniería Industrial, Santiago.
- Comisión Nacional de Energía. (2015). *Anuario Estadístico de Energía 2005-2015*. Santiago, Chile.
- Cooper, M. (2014). *Small Modular Reactors and the future of nuclear power in the United States*. Energy Research & Social Science, 161-177.
- Estevan, A., & García Sánchez-Colomer, M. (2007). *El Consumo de Energía en la desalación de agua de mar por osmosis inversa: situación actual y perspectivas*. Ingeniería Civil (148), 113 - 121.
- IAEA. (Mayo de 2007). *Managing the first Nuclear Power Plant Project*. Viena, Austria.
- MAPS Chile. (Octubre de 2014). *Fase 2: Síntesis de Resultados*. Chile.
- Rudnick, H. (2009). *IEE 3372 Curso de Mercados Eléctricos*. (H. Rudnick, Producer). Retrieved 10 de septiembre de 2016 from Modelo de Negocios para una Planta Nuclear:
<http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno09/nuclear/index.htm>
- Söderholm, K., Tuunanen, J., Amabab, B., Bergqvist, S., & Lusardi, P. (2014). *Licensing process characteristics of Small Modular Reactors and spent nuclear fuel repository*. Engineering and Design.