



Capital humano actual y proyección de necesidades en la mediana minería del cobre en Chile

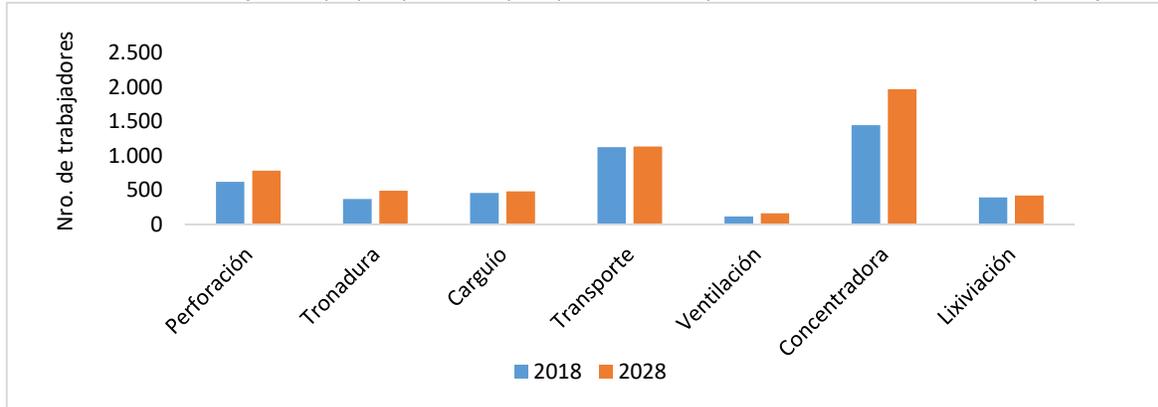
DEPP 16/2018

Resumen Ejecutivo

A través de la *Encuesta de Capital Humano y Gastos en la Mediana Minería* se consultó por las dotaciones de trabajadores propios y externos de las empresas de mediana minería del cobre así como sobre los perfiles técnicos y profesionales más requeridos en la actualidad y la proyección al 2028. En paralelo, con el propósito de medir los requerimientos de capital humano y físico por tipo de trabajo dentro de la mina, se consideraron los requerimientos por operación minera, incluyendo Perforación, Tronadura, Carguío, Transporte así como operaciones de procesamiento como Concentradora y Lixiviación.

La encuesta fue respondida por el 81,8% de las empresas de mediana minería del país, lo que equivale al 82,3% de la producción del sector durante 2017. A nivel agregado, los resultados muestran un aumento de 20% en el número total de trabajadores en las operaciones consideradas entre los años 2018 y 2028.

Dotación de trabajadores propios y externos por operación en empresas de mediana minería, 2018 y 2028f.



f: Estimación de las propias empresas mineras. Nota: se considera al 81,8% de las empresas de mediana minería.
Fuente: Cochilco.

Desagregando por trabajadores propios y externos, los resultados muestran que las dotaciones de trabajadores propios y externos son similares, con 5.329 y 5.530, respectivamente, lo que equivale a una tasa de prácticamente un contratista por cada trabajador interno. Ahora bien, revisando los datos a nivel operacional existen algunas diferencias relevantes, particularmente en Transporte, donde se tiende a privilegiar el uso de dotaciones externas, y Concentradora, donde tiende a primar el uso de trabajadores propios.

Por otra parte, diferenciando por nivel educacional se aprecian contrastes significativos. En particular, la proporción de trabajadores propios con educación universitaria o superior es de 20,5%, más del doble de los trabajadores externos con un 9,9%. Sin embargo, a nivel de educación técnica ocurre lo inverso. En esta categoría son los trabajadores externos los que cuentan con una mayor proporción de trabajadores con esta calificación que las dotaciones propias (27,1% versus 14,3%).

En relación a la demanda de trabajadores por tipo de profesión se aprecia que actualmente las carreras de Ingeniería en Minas y de Geología son las más demandadas y también en la proyección de las propias empresas mineras al 2028. En consideración a las carreras técnicas se advierte que la

profesión de Técnico en Minería cuenta con la mayor demanda, seguido a distancia por Técnico en Metalurgia Extractiva y Prevención de Riesgos.

En paralelo, vemos que la demanda por operación minera en general no presenta diferencias significativas entre el número de trabajadores propios y externos, con la excepción de las operaciones de Transporte, donde se tiende a privilegiar el uso de dotaciones externas, y Concentradora, proceso en el cual prima el uso de trabajadores propios. Para el 2028, vemos que los procesos con mayores aumentos son Concentradora (+12% en dotación propia y +89% en externa) y Perforación (+35% en dotación propia y +18% en externa), seguido a distancia de Tronadura (+67% en dotación propia y -20% en externa). Para el resto de los procesos, en cambio, no se estiman variaciones significativas entre los periodos considerados.

Por último, sobre el nivel de automatización por operación minera vemos que existe una preponderancia por el desarrollo manual y mecanizado en cada una de las operaciones. En efecto, considerando todas las operaciones, se observa que el trabajo mecanizado es por lejos el que concentra actualmente el mayor uso dentro de las operaciones de mediana minería, alcanzando un 70% de preponderancia. Sin embargo, se proyecta una disminución al 57% al 2028. En paralelo, se aprecia un aumento significativo del trabajo tecnologizado, desde un 7% en 2018 a un 19% en 2028. Por último, el trabajo manual alcanzaría un aumento desde un 15% de preponderancia en la actualidad hasta un 20% al 2028.

Con todo, los resultados no reflejan una posible sustitución entre capital físico (dada por una mayor tecnología) y capital humano. Sin embargo, se debe tener en consideración que esto se puede explicar parcialmente por la muestra usada, que cubre sólo a la mediana minería, segmento que está en desarrollo de sus operaciones y que consecuentemente requiere de mayores recursos físicos y humanos. En esta misma línea, también existe un aumento del trabajo manual (de 12% a 25% en Concentradora y de 12% a 15% en Perforación) y por posibles incrementos en la capacidad de concentración.

Tabla de Contenidos

I.	Introducción	5
1.	¿Qué entendemos por mediana minería del cobre?	6
2.	Contexto de la mediana minería del cobre en Chile	7
a.	Escala productiva e impacto económico.....	7
b.	Productividad laboral	9
II.	Metodología	10
1.	Sumario metodológico	10
2.	Información general y encuesta.....	11
III.	Resultados	13
1.	Presentación y discusión de resultados de la encuesta	13
a.	Nivel educacional	13
b.	Carreras con mayor demanda.....	14
c.	Dotaciones de personal por operación	15
d.	Nivel de automatización.....	16
2.	Posible amenaza de sustitución de capital humano por capital físico.....	18
a.	Contexto de la relación entre automatización y capital humano	18
b.	Resultados de la encuesta.....	19
IV.	Comentarios finales.....	20
V.	Referencias.....	22
	Bibliografía	22
VI.	Anexo.....	23

I. Introducción

Uno de los aspectos más críticos en la minería del cobre moderna es satisfacer adecuadamente las necesidades de capital humano. En efecto, una preocupación que ha tenido una importancia creciente en la agenda minera, tras el fin del súper-ciclo de los *commodities*, ha sido el logro de mejoras de productividad laboral así como la reducción de los costos operacionales, incluyendo desde luego los laborales.

En este contexto, la formación de una oferta de capital humano capaz de ajustarse a los requerimientos de la minería es una variable fundamental para el desarrollo de la industria. Lo anterior es relevante no sólo desde el punto de vista del grado de especialización de cada plan de estudios, sino que también de la cantidad de profesionales y técnicos requeridos en la minería del futuro.

Lo anterior cobra especial relevancia al considerar las posibilidades de sustitución entre capital físico y humano. Es decir, cómo el número y especialización de los trabajadores dentro de una operación minera puede ser reemplazado por innovaciones tecnológicas y de procesos capaces de proveer el servicio con niveles de eficiencia similares o incluso mayores. En este sentido, la continua automatización de los procesos productivos ya es una realidad en la minería, situación que puede tener un impacto significativo sobre los niveles de empleo.

Ahora bien, este trabajo está enfocado particularmente en la mediana minería del cobre, segmento que en relación a la gran minería es naturalmente menos tecnologizado, cuenta con menores recursos humanos y físicos, y es más sensible a las variaciones de precios y ciclos del cobre. Sin embargo, como se verá a continuación, constituye una industria pujante y relevante dentro de las exportaciones nacionales, así como una fuente de crecimiento significativa para el país.

El trabajo a continuación se resume en cuatro secciones. En lo que sigue de la sección I, correspondiente a la presente introducción, se discutirá la importancia de la mediana minería de cobre en Chile y se definirá el concepto de mediana minería aplicada. En la sección II se detalla la metodología del estudio, mientras que en la sección III se presentan los resultados. Por último, en la sección IV, se muestran los principales hallazgos y comentarios finales del informe.

1. ¿Qué entendemos por mediana minería del cobre?

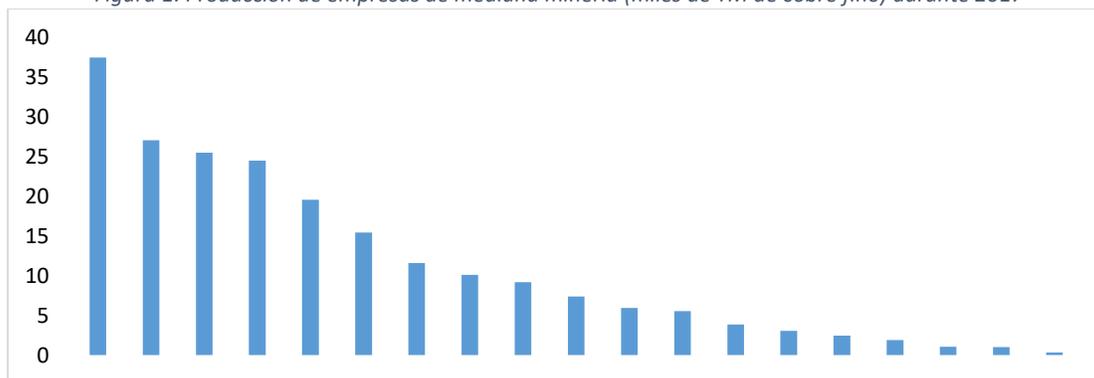
Actualmente no existe un consenso de qué se entiende por mediana minería del cobre en Chile. En efecto, existen varias definiciones de mediana minería que difieren tanto en función de sus criterios como de sus límites. El Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) por ejemplo la define de acuerdo al número de trabajadores (entre 80 y 400) y horas trabajadas (entre 200 mil y un millón por año).

Por otra parte, el Instituto de Ingenieros de Minas de Chile (IIMCh) la define en base a la explotación del mineral. En particular, se requiere la extracción de entre 300 y 8.000 toneladas de mineral al día, equivalente a menos de 50 mil toneladas de cobre fino al año.

Por último, la define netamente en base a su producción, requiriendo la venta de al menos 10 mil toneladas de mineral.

Para efectos de este estudio se considerará como mediana minería a todas las empresas mineras que cuentan con una planta concentradora y/o refinera en sus operaciones y con producción anual inferior a las 40 mil toneladas, y/o aquellas que produjeron entre mil y 40 mil toneladas de cobre fino equivalente durante 2017. Ahora bien, existe una amplia variedad de empresas que caben dentro de esta categoría tanto a nivel de tamaño y producción. En la Figura 1 (Figura 3 a continuación) se ilustra la producción de cobre fino por parte de empresas de mediana minería.

Figura 1: Producción de empresas de mediana minería (miles de TM de cobre fino) durante 2017



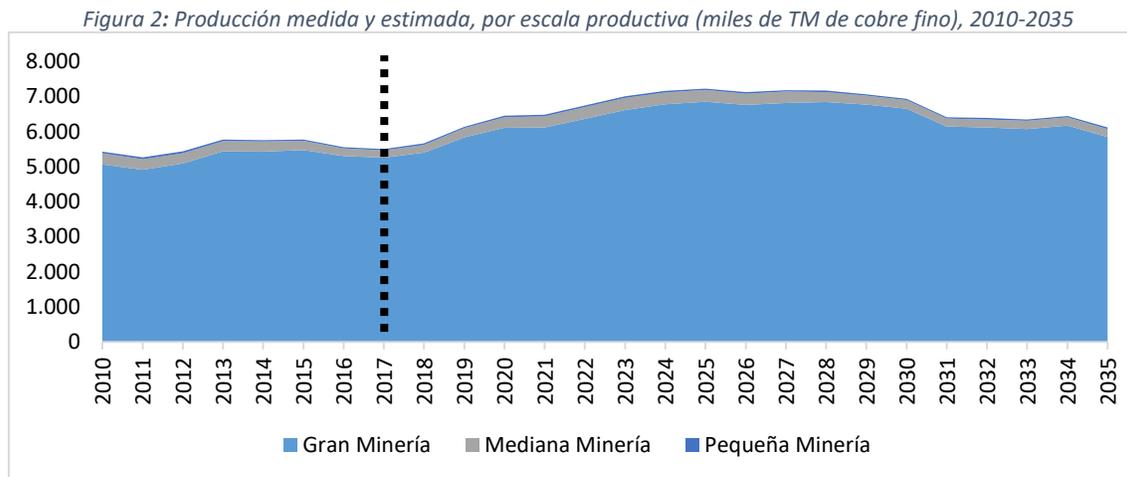
Fuente: Cochilco.

Por motivos de confidencialidad, no se identifica el nivel de producción por empresa. Sin embargo, en la Tabla 3 del anexo del informe, se detalla el listado completo de empresas consideradas en el estudio.

2. Contexto de la mediana minería del cobre en Chile

a. Escala productiva e impacto económico

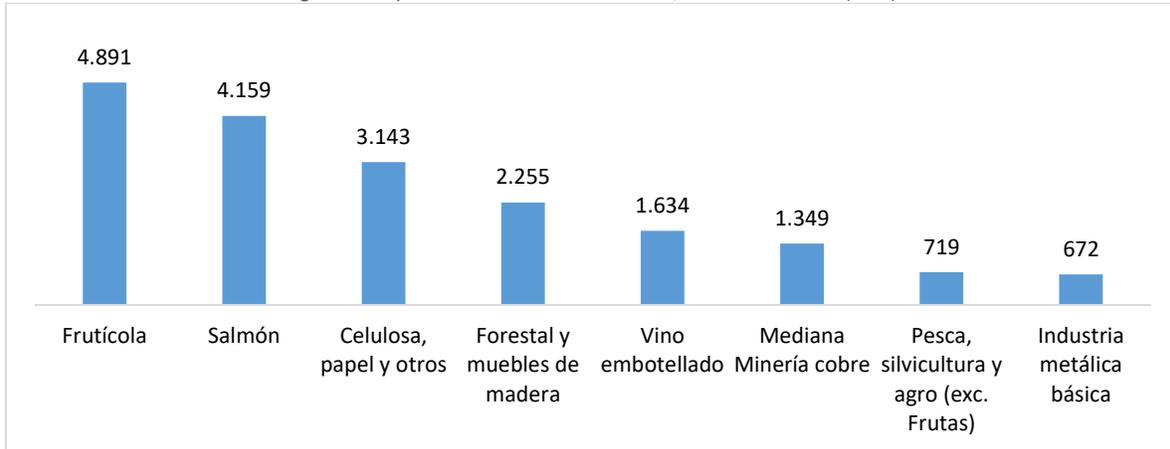
En términos relativos, la mediana minería representó un 4% del cobre total producido en Chile durante el año 2017 y un 6% promedio durante el periodo 2010 – 2017. De acuerdo a las proyecciones de Cochilco para los próximos años, este escenario no debiese mostrar mayores cambios (véase Figura 2).



Fuente: Proyección de producción 2018 – 2029, Cochilco.

Dada la alta preponderancia de la gran minería en la producción de cobre, la discusión minera nacional naturalmente tiende a enfocarse en dicho segmento. Ahora bien, la mediana minería sigue siendo uno de los motores de crecimiento económico más importantes del país. En efecto, si bien durante 2017 representó el 4% de la producción de cobre nacional, su nivel de exportaciones es similar a la del vino embotellado y significativamente mayor a la de otros sectores relevantes para la economía nacional, como la pesca o la industria metálica básica. La comparación se expone en la Figura 3 a continuación.

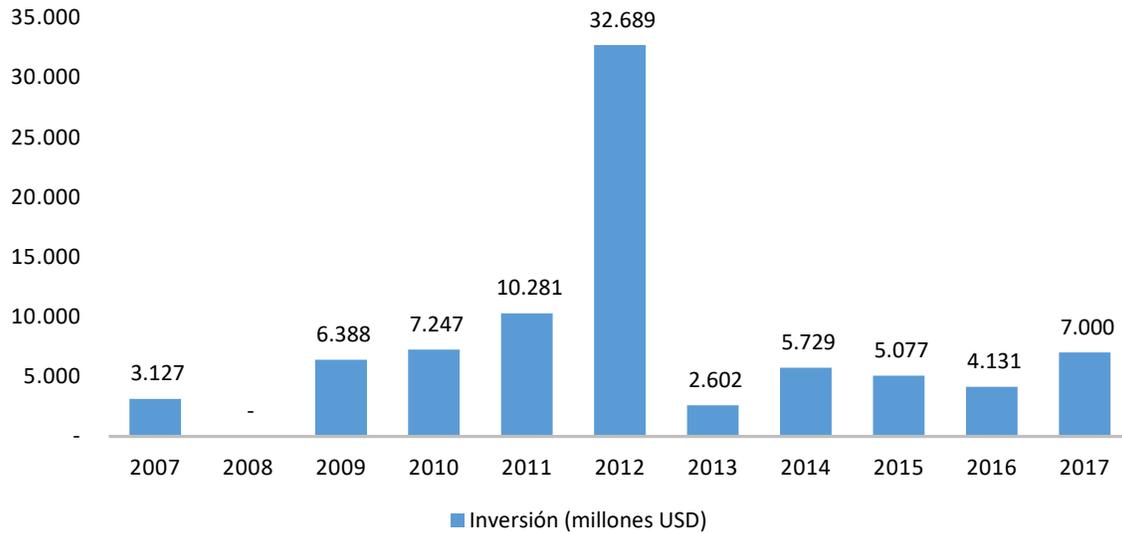
Figura 3: Exportaciones de Chile en 2017, millones de US\$ (FOB)



Fuente: Cochilco en base a datos de Direcon (2018).

Al mismo tiempo, como se ilustra en la Figura 4, cuenta con una cartera de inversiones relevante, que en los últimos cuatro años se ha situado por sobre los cuatro mil millones de dólares, aportando al desarrollo y crecimiento de la economía nacional.

Figura 4: Cartera de Inversiones (en millones de US\$) de la mediana minería en Chile, 2007-2017



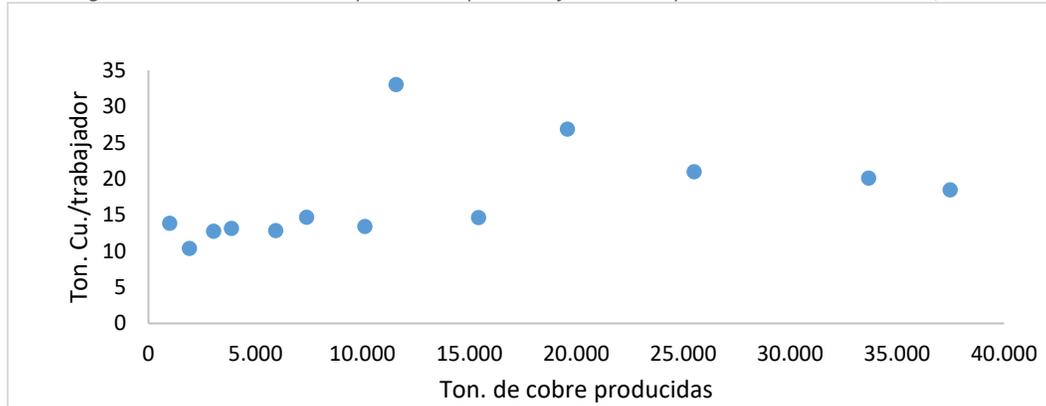
Fuente: Cochilco.

En consecuencia, atender a las necesidades de la mediana minería del cobre nacional no sólo responde a un tema de desarrollo propio de la minería sino que también a un desafío de crecimiento económico a nivel nacional.

b. Productividad laboral

Como una aproximación preliminar a la productividad laboral, se puede comparar a nivel de empresa la cantidad de toneladas de cobre producido por trabajador, contando tanto a los empleados internos como a los externos. Para este fin, se obtuvo el promedio mensual durante 2017 de las dotaciones de empleados de las empresas de mediana minería ocupadas en el presente estudio a partir de datos de Sonami (2018)¹ así como las sendas producciones cupríferas² durante el mismo año reportadas por las propias empresas a Cochilco. Los resultados se ilustran en la Figura 5 a continuación:

Figura 5: Toneladas de cobre producidas por trabajador en empresas de mediana minería, 2017



Nota: Se omiten las empresas sin producción durante 2017.
Fuente: Cochilco en base a datos propios y de Sonami (2018).

De los resultados expuestos se desprende que en la mediana minería no parece existir una relación directa entre las toneladas de cobre producidas por trabajador y la cantidad de cobre producida por una empresa. Sin embargo, esta relación sí tiende a hacerse más clara al comparar los resultados con los de la gran minería. En efecto, durante 2017 la gran minería como un todo contó con una producción de 32,7 toneladas de cobre por trabajador, tasa significativamente superior al total de 18,0 toneladas por trabajador obtenidas a partir de las empresas de la figura anterior.

En esta misma línea, los resultados anteriores deben interpretarse cuidadosamente en tanto que existen factores físicos, sean de insumos de trabajo disponibles (por ejemplo, calidad de los equipos de excavación o transporte) como intrínsecos a las faenas (por ejemplo, la dureza de la roca o la profundidad de las minas), que inciden sobre el indicador en cuestión.

Al mismo tiempo, que la productividad laboral medida a través de toneladas de cobre producidas por trabajador sea mayor para la gran minería es esperable, en tanto que cuenta naturalmente con equipos, instalaciones y en general un capital físico de mayor escala que le permite un mayor nivel de producción por cada trabajador en planta.

¹ En los casos de las empresas de mediana minería del estudio para las cuales no había datos publicados por Sonami, se emplearon los datos consultados por la propia encuesta de Cochilco. Si bien estos últimos corresponden a la situación de mediados de 2018, es razonable esperar que las dotaciones no hayan variado significativamente desde el 2017 para las empresas seleccionadas.

² En caso de empresas con producción de otros minerales, se llevó a producción de cobre equivalente.

II. Metodología

1. Sumario metodológico

La metodología se puede sintetizar en los siguientes pasos:

- a) Se determinó el universo de empresas mineras de mediana minería. En particular, se consideraron a aquellas que cumplieran con al menos uno de los siguientes criterios:
- Producción de entre 1.000 y 40.000 toneladas métricas de cobre fino durante 2017.
 - Contar con una planta refinadora y/o concentradora y una producción de hasta 40.000 toneladas métricas durante 2017.

Bajo estas condiciones se identificaron a 22 empresas de mediana minería.

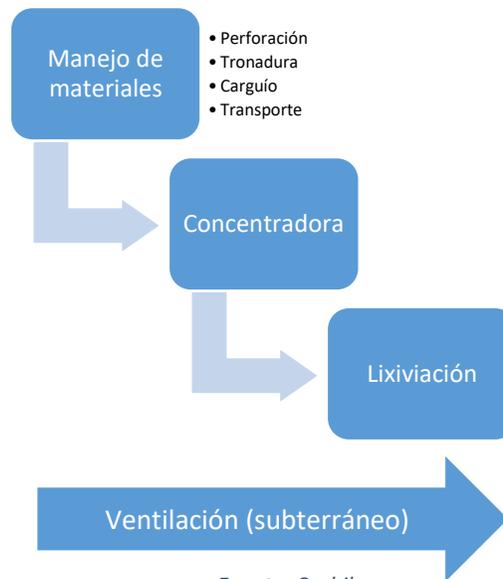
- b) Una vez determinado el universo, se aplicó la *Encuesta de Capital Humano y Gastos en la Mediana Minería*. Para esto se notificó mediante correo certificado a la gerencia de cada una de las empresas mineras, se determinó un responsable de dar respuesta y finalmente se aplicó la encuesta a través de correo electrónico durante los meses de julio y septiembre de 2018.
- c) Se obtuvieron respuestas de 18 empresas (81,8% del total, correspondiente al 82,3% de la producción de cobre de mediana minería durante 2017). Una vez completadas las encuestas, se revisó la información proporcionada. En caso de inquietudes o detección de valores atípicos en las respuestas recibidas con respecto a otras fuentes de información de Cochilco, se contactó nuevamente a las mineras para su revisión y aclaración.
- d) En algunos casos particulares no se logró contar con la información completa en todas las respuestas, razón por la cual Cochilco realizó imputaciones a los valores en base a información previa de las empresas. Cabe señalar, sin embargo, que estas imputaciones sólo se realizaron para las empresas que respondieron la encuesta y no para el universo general. En consecuencia, los resultados del presente trabajo se remiten al porcentaje de empresas de mediana minería mencionado en la letra c anterior.
- e) En base a la información obtenida se calcularon las dotaciones actuales por operación, el grado tecnológico por operación y se estimaron las profesiones más requeridas al 2028 así como el grado tecnológico proyectado por operación.

2. Información general y encuesta

La *Encuesta de Capital Humano y Gastos en la Mediana Minería* es de carácter único y fue creada específicamente para el diseño del presente informe junto al estudio “Participación de empresas proveedoras en las operaciones de mediana minería”, también de 2018.

Para los fines de capital humano, se consultó por las dotaciones de trabajadores propios y externos de las empresas así como sobre los perfiles técnicos y profesionales más requeridos en la actualidad y la estimación de las empresas al 2028. En paralelo, con el propósito de medir los requerimientos de capital humano y físico por funcionalidad dentro de la mina, se consideraron las siguientes operaciones mineras:

Figura 6: Procesos en estudio



Fuente: Cochilco.

- **Manejo de materiales:** En general el principal objetivo de esta etapa es extraer la roca desde la mina para ser enviada a la etapa siguiente de procesamiento o a botaderos (Grupo Antofagasta Minerals, 2012)
 - Perforación: Esta tarea unitaria consiste en abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar el explosivo y sus accesorios. La perforación se realiza con equipos que combinan los efectos de percusión y rotación, con lo que se produce la trituración de la roca (Sernageomin, 2014).
 - Tronadura: Es la operación de arranque propiamente tal, que se produce por la acción del explosivo (Sernageomin, 2014)
 - Carguío: Se refiere específicamente a la carga de material mineralizado del yacimiento (Ministerio de Minería de Chile, s.f.)

- **Transporte:** El objetivo de esta tarea es retirar el material tronado de la frente y transportarlo adecuadamente a su lugar de destino (Revista Seguridad Minera, 2017)
- **Ventilación:** Tiene por misión principal el suministro de aire fresco con el objeto de lograr condiciones ambientales y termo-ambientales adecuadas para todo el personal que labore en faenas mineras subterráneas, como también para atender la operación de diversos equipos e instalaciones subterráneas (Sernageomin, 2015).
- **Concentración:** Se entiende a la operación para elevar la concentración de un elemento de una mena o mineral de interés, mediante la segregación de dos o más especies mineralógicas (Universidad Nacional de Colombia, 2008).
- **Lixiviación:** Proceso hidrometalúrgico mediante el cual se provoca la disolución de un elemento desde el mineral que lo contiene para ser recuperado en etapas posteriores mediante electrólisis. Este proceso se aplica a las rocas que contienen minerales oxidados, ya que estos son fácilmente atacables por los ácidos. En la lixiviación del cobre se utiliza una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) (Ministerio de Minería de Chile, s.f.)

Dado que no todas las operaciones mineras encuestadas cuentan con los procesos de Ventilación (no todas explotan con métodos subterráneos), Concentradora o Lixiviación, se consideraron naturalmente sólo a aquellas que efectivamente los disponen.

III. Resultados

Esta sección se divide en dos partes. En primer lugar, se presentan y discuten los principales resultados de la encuesta, incluyendo el nivel educacional de los trabajadores, las carreras mineras con mayor demanda, las dotaciones de personal por operación y el nivel de automatización por operación. Posteriormente, se entra en la discusión sobre la posible sustitución entre capital humano y capital físico en la industria, profundizando en estudios sectoriales y contrastándolos con los resultados obtenidos a partir de nuestra encuesta.

1. Presentación y discusión de resultados de la encuesta

a. Nivel educacional

En la encuesta aplicada se consultó por el nivel educacional de los trabajadores de las empresas de mediana minería, considerando sus dotaciones en todas sus operaciones e incluyendo a los puestos de labores administrativas. De los resultados se observa que a nivel agregado las dotaciones de trabajadores propios y externos son similares, con 5.329 y 5.530 respectivamente, lo que equivale a una tasa de prácticamente un contratista por cada trabajador interno³.

Ahora bien, en relación a nivel educativo hay diferencias significativas. En particular, como se aprecia en la Tabla 1, la proporción de trabajadores propios con educación universitaria o superior es de 20,5%, más del doble de los trabajadores externos con un 9,9%⁴. Sin embargo, a nivel de educación técnica ocurre lo inverso. En esta categoría son los trabajadores externos los que cuentan con una mayor proporción de trabajadores con esta calificación que las dotaciones propias (27,1% versus 14,3%). Por último, considerando en conjunto las categorías de educación básica o media y falta de educación formal, vemos que las proporciones son similares, con un 65,2% para las dotaciones propias y un 63% para las externas.

Tabla 1: Perfil educativo del capital humano en empresas de mediana minería, 2018

Perfil educacional	Dotación propia		Dotación externa	
	Nro.	%	Nro.	%
Educación universitaria o más	1.094	20.5	549	9,9
Educación técnica	761	14.3	1.496	27,1
Educación básica o media	3.472	65.2	3.069	55,5
Otros (sin educación formal)	2	0.0	417	7,5
Total	5.329	100	5.530	100

Fuente: Cochilco.

³ En relación a la gran minería, un estudio de Fundación Chile (2011) mostró que en cinco empresas de cobre de gran minería del país, sólo el 36% de los trabajadores correspondía a dotaciones internas, lo que arroja una tasa de 1,75 contratistas por trabajador interno. Sin embargo, este estudio no consideró a los puestos de labores administrativas.

⁴ Sobre este punto, cabe señalar que estos valores son menores a los presentados en el estudio del Consejo de Competencias Mineras para la gran minería nacional (2017), donde se detectó cerca de un 30% de profesionales en empresas mineras y un 24% en empresas proveedoras. Las diferencias se pueden explicar parcialmente porque este estudio consideró a una muestra de empresas de gran escala, que cuentan con mayor intensidad de trabajo calificado, y porque aplica a faenas mineras en general, sin restringirse al cobre.

b. Carreras con mayor demanda

Una de las principales preocupaciones de la industria minera en general consiste en contar con los recursos humanos requeridos para realizar sus tareas productivas y llevar a cabo sus proyectos. Ahora bien, como es de esperar, el foco no se sitúa únicamente en más trabajadores sino que en el tipo de trabajadores según la formación demandada.

Atendiendo este contexto, se solicitó a las empresas seleccionar las tres carreras más demandadas actualmente y al 2028 a fin de contar con una aproximación de los tipos de profesiones más requeridas por la mediana minería del cobre. La Tabla 2 a continuación presenta los resultados.

Tabla 2: Carreras profesionales y técnicas más requeridas en la mediana minería al 2018 y 2028^f

Profesión	2018	2028^f
Ingeniería en Minas (Ejecución, Industrial u otro)	12	10
Técnico en Minería	8	9
Geología	7	6
Ingeniería Civil en Metalurgia	5	3
Ingeniería Civil Electricidad o Electrónica	1	3
Técnico en Metalurgia Extractiva	4	2
Técnico en Prevención de Riesgos	3	2
Ingeniería Civil Mecánica	3	2
Ingeniería en Maquinaria y Vehículos Pesados	3	2
Técnico en Construcción	0	1
Ingeniería Civil Eléctrica	1	1
Ingeniería Civil en Procesos de Minerales	1	1
Técnico en Dibujo de Arquitectura y Obras Civiles	0	0
Mantenimiento mecánica-eléctrica	2	0
Total	50	42

f: Estimación de las propias empresas mineras. No todas las empresas realizaron la estimación al 2028, razón por la cual el número total es menor que al 2018.

Fuente: Cochilco.

En relación a las carreras profesionales, se advierte que las ramas de Ingeniería en Minas y de Geología son las más demandadas actualmente y también en la proyección de las propias empresas mineras al 2028. En consideración a las carreras técnicas se advierte que la profesión de Técnico en Minería cuenta con la mayor demanda, seguido a distancia por Técnico en Metalurgia Extractiva y Prevención de Riesgos.

En suma, al 2018 las carreras profesionales cuentan con 33 menciones (66% del total) mientras que al 2028 cuentan con 28 (67% del total). Estos resultados contrastan con la demanda proyectada por el Consejo de Competencias Mineras (2017), donde se proyecta una demanda de profesionales del 14% del total al 2018 y del 11% al 2026, reflejando así una marcada tendencia hacia los perfiles técnicos. Ahora bien, se debe considerar que este último estudio consulta por demanda

cuantificable de perfiles de trabajo, mientras que el presente estudio se sustenta en las carreras más requeridas, sin cuantificar las cantidades de trabajadores en cada perfil.

Por último, se debe acotar que a partir de estos requerimientos presentes y proyectados no se puede deducir una brecha de demanda para estas carreras en tanto que sólo se presenta la demanda y no la oferta de formación de profesionales y técnicos en el país. Al mismo tiempo, esta demanda depende necesariamente de los proyectos en cartera de cada una de las mineras, los que están sujetos a incertidumbre en función del precio del cobre y otras condiciones económicas que enfrenten.

c. Dotaciones de personal por operación

Considerando que la demanda de recursos humanos puede variar significativamente en función de las operaciones mineras consideradas, se hace relevante revisar el estado actual y proyectado de trabajadores según el proceso en que se desempeñan. Así, en la Figura 7 se presentan las dotaciones de trabajadores propios, externos y total al 2018 y estimadas al 2028 por operación.

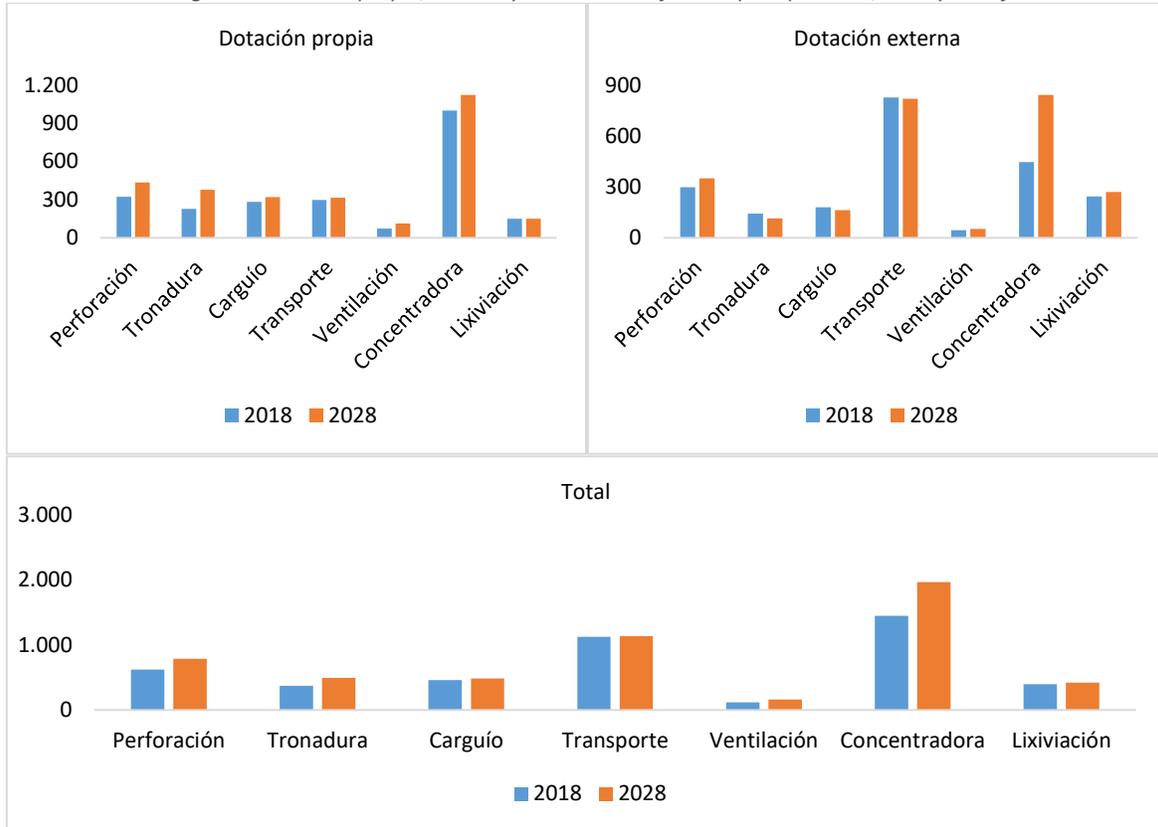
Al revisar los resultados, se advierte en primer lugar que no existen diferencias significativas entre el número de trabajadores propios y externos, con la excepción de las operaciones de Transporte, donde se tiende a privilegiar el uso de dotaciones externas (relación 1 a 3), y Concentradora, donde tiende a primar el uso de trabajadores propios (relación 2 a 1).

De acuerdo al reporte “Por qué Subcontratan las Empresas Mineras en Chile” (Comisión Chilena del Cobre, 2009), la justificación que una empresa externalice procesos se engloban en:

1. Relación directa entre el precio del elemento extraído y el número de empresas y personal subcontratado
2. A menores márgenes de ganancia, menor número de empresas y personal subcontratado
3. A mayor tamaño de yacimiento, mayor número de empresas y personal subcontratado
4. Por último, las empresas al sancionar ciertas áreas o procesos como estratégicos prefieren destinar recursos propios en su gestión, por sobre externos.

Revisando la evolución proyectada al 2028, vemos que a nivel agregado se proyecta un aumento del 20% en el número de trabajadores en todas las operaciones mineras consideradas. A nivel particular, se advierte que los procesos con mayores aumentos son concentradora (+12% en dotación propia y +89% en externa) y perforación (+35% en dotación propia y +18% en externa), seguido a distancia de tronadura (+67% en dotación propia y -20% en externa). Para el resto de los procesos, en cambio, no se estiman variaciones significativas entre los periodos considerados.

La Figura 7 a continuación presenta los resultados por dotación propia, externa y total.

Figura 7: Dotación propia, externa y total de trabajadores por operación, 2018 y 2028^f

f: Estimación de las propias empresas mineras.
Fuente: Cochilco.

d. Nivel de automatización

Por último, a las empresas también se les consultó por su nivel preponderante de automatización⁵ en cada operación en el año actual como su nivel proyectado al 2028. Si bien la automatización puede ser considerada como un proceso continuo en lugar de un concepto tipo ‘todo o nada’, se pueden distinguir niveles diferentes dependiendo del grado de intervención humana y computacional (Horberry & Lynas, 2011).

Para los efectos del presente estudio, para cada tipo de operación minera se solicitó identificar su grado de trabajo más relevante, distinguiendo tres amplias categorías: manual, mecanizado y tecnologizado, en base a definiciones propias:

- **Manual:** Uso intensivo de mano de obra en las tareas unitarias y procesos asociados a la extracción de minerales.
- **Mecanizado:** Uso de mano obra junto al uso de maquinaria y equipamiento mecánico, para la explotación de yacimientos.

⁵ La automatización suele definirse ampliamente como el manejo inteligente de sistemas a través de tecnologías que permitan la realización de operaciones sin la intervención directa de personal humano.

- **Tecnologizado:** Incorporación de equipamiento de alto grado tecnológico, incluyendo sensores y maquinaria automatizada e incluso autónoma.

Los resultados se ilustran en la Figura 8 a continuación y en mayor detalle en la Tabla 4 del Anexo.

Figura 8: Distribución porcentual (%) del nivel de trabajo prevalente al 2018 y 2028f



Fuente: Cochilco.

De los resultados se aprecia que actualmente existe una preponderancia por el desarrollo manual y mecanizado en cada una de las operaciones. Por ejemplo, se advierte que un 12% de las faenas mineras realizan la perforación de forma manual y un 82% de forma mecanizada. De otras operaciones se ve una preponderancia relativamente similar: Tronadura, 33% manual y 56% mecanizado; Carguío, 6% manual y 88% mecanizado; Transporte, 7% manual y 87% mecanizado;

Concentradora, 12% manual y 76% mecanizado. En general, el nivel de tecnologización actual en cada una de las operaciones es bajo. En efecto, sólo las operaciones de Ventilación y Lixiviación cuentan con mayor avance en tecnologización, registrando 19% y 23% respectivamente.

Al 2028 en cambio todas las operaciones muestran avances tecnológicos, destacando el proceso de Concentradora, que pasaría de ser una operación principalmente mecanizada en 2018 (76% de preponderancia) y escasamente tecnologizada (6%) a contar con una alta preponderancia de tecnologización (42%), incluso por sobre mecanización (33%). El proceso de Perforación por su parte pasaría de no contar con operaciones tecnologizadas en 2018 a un 23% de preponderancia en 2028. El proceso de Transporte también muestra avances, con un nivel de tecnologización que pasaría de ser nulo en la actualidad a un 9% de preponderancia al 2028. De un modo similar, el nivel de tecnologización en la operación de Carguío también pasaría de ser nulo en la actualidad a un 14% de preponderancia en 2028. En la misma línea, Ventilación pasaría de un 19% en la actualidad a un 31% en 2028. Tronadura por su parte pasaría de un 6% de preponderancia actual a un 0% en 2028. Sin embargo, la preponderancia del trabajo mecanizado aumentaría de un 56% a un 77%.

Por último, el proceso de Lixiviación también muestra variaciones importantes, pero inversas. En efecto, vemos que la preponderancia de su nivel de tecnologización pasaría de un 23% de preponderancia en 2018 a un 13% en 2028, mientras que la preponderancia del trabajo manual aumentaría de un 23% a un 38%. Lo anterior se explicaría por el alto grado de dinamismo que requiere el desarrollo de esta tarea y la poca automatización de sus subprocesos.

En suma, considerando todas las operaciones, se observa que el trabajo mecanizado es por lejos el que concentra actualmente el mayor uso dentro de las operaciones de mediana minería, alcanzado un 70% de preponderancia. Sin embargo, se proyecta una disminución al 57% al 2028. En paralelo, se aprecia un aumento significativo del trabajo tecnologizado, desde un 7% en 2018 a un 19% en 2028. Por último, el trabajo manual alcanzaría un aumento desde un 15% de preponderancia en la actualidad hasta un 20% al 2028.

2. Posible amenaza de sustitución de capital humano por capital físico

a. Contexto de la relación entre automatización y capital humano

Una temática de importancia creciente en la discusión industrial en la última década ha sido el uso de mayores tecnologías y, en paralelo, como estas pueden tener un impacto en los niveles de empleo. Es decir, como el uso progresivo de sistemas crecientemente automatizados puede tener un impacto en el personal requerido para realizar las operaciones.

Sobre este punto, algunos investigadores han sugerido que es improbable que la automatización destruya grandes cantidades de empleo pero que en el mediano plazo los trabajadores de menor calificación serán los más afectados. En consecuencia, uno de los principales desafíos consiste en lidiar con asegurar una capacitación suficiente para los trabajadores de menor calificación (Arntz, Gregory, & Zierahn, 2016). De un modo similar, un estudio de Citi GPS (2017) concluyó que los avances tecnológicos están transformando una serie de trabajos rutinarios e incluso no-rutinarios en tareas automatizables, particularmente para los trabajadores de menor calificación.

Ahora bien, si bien es entendible que la automatización conlleve un impacto negativo en el empleo de menor calificación, a largo plazo es esperable que cambie la naturaleza del trabajo realizado. En este sentido, si bien la intervención directa por parte de los trabajadores puede disminuir, sí pueden aumentar el trabajo humano de planificación de las operaciones y control de los sistemas, situación que puede ser particularmente útil en la industria minera (Horberry & Lynas, 2011).

b. Resultados de la encuesta

De los datos levantados en nuestra encuesta se aprecia en primer lugar que a nivel agregado tanto el nivel de tecnologización como el número de trabajadores presentan incrementos. Sin embargo, al analizar los datos por operación se encuentran resultados llamativos.

En particular, si bien el proceso de Concentradora es el que presenta un mayor aumento al 2028 en la preponderancia de su tecnologización (de 6% a 42%) y mayor disminución de la preponderancia del trabajo mecanizado (de 76% a 33%), vemos al mismo tiempo que presenta el mayor incremento proyectado en su número de trabajadores (+36% entre 2018 y 2028). De igual forma, el proceso de Perforación también muestra un alto incremento en la preponderancia de su tecnologización (de 0% a 23%) y un incremento importante en el uso de trabajadores (+27%). Así, los aumentos en tecnologización van de la mano de aumentos en la fuerza laboral.

En primera instancia estos resultados no reflejan una posible sustitución entre capital físico (dada por una mayor tecnología) y capital humano. Sin embargo, se debe tener en consideración que esto se puede explicar parcialmente por la muestra usada, que cubre sólo a la mediana minería, segmento que está en crecimiento en el desarrollo de sus operaciones y que consecuentemente requiere de mayores recursos físicos y humanos. En esta misma línea, también existe un aumento en la preponderancia del trabajo manual (de 12% a 25% en concentradora y de 12% a 15% en perforación) y por posibles aumentos en la capacidad de concentración.

Por último, atendiendo a las reflexiones de Horberry & Lynas (2011), no es necesario que ocurra una sustitución entre capital físico y capital humano sino más bien un cambio en el tipo de capital humano usado a medida que se avanza en la adopción de capital físico. En otras palabras, es posible que varíe el perfil y especialización de los trabajadores más que simplemente su número total.

Si bien esta conclusión puede resultar más factible para la gran minería del cobre en tanto que cuenta con un mayor flujo de ingresos y menores restricciones crediticias, es más propensa a adoptar nuevas tecnologías y es menos sensible a variaciones en los precios del cobre así como de sus insumos críticos de producción, como los costos del agua y de energía, cabe señalar que la mediana minería es un segmento que cuenta a su favor con algunas ventajas propias. En particular, su nivel de toma de decisiones tiende a ser más centralizado y atomizado, lo que le permite responder con más rapidez a cambios de mercado. Al mismo tiempo, en varias de sus operaciones cuenta con un mayor potencial de crecimiento productivo que en las de gran minería.

De lo anterior se desprende que la mediana minería puede ser un campo de acción relevante para la entrada de nuevas tecnologías productivas que a su vez se compatibilicen con una formación progresivamente más especializada de trabajadores, sin que esto tenga que incidir en un menor nivel de empleo en el sector.

IV. Comentarios finales

El presente trabajo caracteriza a la mediana minería del cobre nacional en una serie de áreas. Entre los mayores hallazgos se destacan lo siguiente:

- Desagregando por nivel educacional, se advierte que la proporción de trabajadores propios con educación universitaria o superior es más del doble de los trabajadores externos (20,5% versus 9,9%). Sin embargo, a nivel de educación técnica ocurre lo inverso. En esta categoría son los trabajadores externos los que cuentan con una mayor proporción de trabajadores con esta calificación que las dotaciones propias (27,1% versus 14,3%).
- Sobre la demanda de trabajadores por tipo de profesión, se aprecia que actualmente las carreras de Ingeniería en Minas y de Geología son las más demandadas, situación que se replica en la proyección al 2028. En consideración a las carreras técnicas se aprecia que la profesión de Técnico en Minería cuenta con la mayor demanda, seguido a distancia por Técnico en Metalurgia Extractiva y Prevención de Riesgos.
- En relación a la demanda actual por operación minera, no se detectan diferencias significativas entre el número de trabajadores propios y externos, con la excepción de las operaciones de Transporte, donde se tiende a privilegiar el uso de dotaciones externas, y Concentradora, proceso en el cual prima el uso de trabajadores propios. Para el 2028, vemos que los procesos con mayores aumentos son Concentradora (+12% en dotación propia y +89% en externa) y Perforación (+35% en dotación propia y +18% en externa), seguido a distancia de Tronadura (+67% en dotación propia y -20% en externa). Para el resto de los procesos, en cambio, no se esperan variaciones significativas entre los periodos considerados.
- Sobre el nivel de automatización por operación minera, actualmente existe una preponderancia por el desarrollo manual y mecanizado en cada una de las operaciones. En efecto, considerando todas las operaciones, se observa que el trabajo mecanizado es por lejos el que concentra el mayor uso dentro de las operaciones de mediana minería, alcanzado un 70% de preponderancia. Sin embargo, se proyecta una disminución al 57% al 2028. En paralelo, se aprecia un aumento significativo del trabajo tecnologizado, desde un 7% en 2018 a un 19% en 2028. Por último, el trabajo manual alcanzaría un aumento desde un 15% de preponderancia en la actualidad hasta un 20% al 2028.

Cabe destacar que los resultados no reflejan que una adopción de procesos más tecnologizados tengan una repercusión clara sobre la demanda de capital humano. En otras palabras, no se evidencia una sustitución entre capital físico y capital humano. Sin embargo, se debe tener en consideración que esto se puede explicar parcialmente por consideraciones técnicas. En particular, por la muestra usada, que cubre sólo a la mediana minería, segmento que está en crecimiento en

el desarrollo de sus operaciones y que consecuentemente requiere de mayores recursos físicos y humanos. En esta misma línea, también existe un aumento en la preponderancia del trabajo manual (de 12% a 25% en concentradora y de 12% a 15% en perforación) y por posibles aumentos en la capacidad de concentración.

Por último, se debe acotar que –como han señalado algunos investigadores del área- no necesariamente debe existir una sustitución entre capital físico y capital humano sino más bien un cambio en el tipo de capital humano usado a medida que se avanza en la adopción de capital físico. Es decir, puede variar el perfil y especialización de los trabajadores a fin de adaptarse a las nuevas tecnologías de producción. Si bien esta conclusión puede resultar más factible para la gran minería del cobre (que, por diversos factores estructurales y crediticios, es más propensa a implementar nuevas tecnologías), la mediana minería es un segmento en constante crecimiento y con un nivel más centralizado en la toma de decisiones, lo que puede redundar en una búsqueda paralela por mejorar tanto su capital físico como humano.

V. Referencias

- Arntz, M., Gregory, T., & Zierahn, U. (2016). The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis. *OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189*.
- Comisión Chilena del Cobre. (2009). *¿Por qué subcontratan las empresas mineras en Chile*. Santiago: COCHILCO.
- Consejo de Competencias Mineras. (2017). *Fuerza Laboral en la Gran Minería Chilena 2017-2026, Diagnóstico y Recomendaciones*. Santiago.
- Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales (Direcon). (2018). *Reporte Trimestral enero-marzo 2018*. Santiago.
- Fundación Chile. (2011). *Fuerza Laboral en la Gran Minería Chilena: Diagnóstico y Recomendaciones, 2011-2020*. Retrieved from <https://fch.cl/recurso/desarrollo-humano/estudio-fuerza-laboral-de-la-gran-mineria-chilena-2011-2020/>
- GPS, C. (2017, Agosto). *Technology at Work*. Retrieved from <https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/CITI%20REPORT%20ADRON.pdf>
- Grupo Antofagasta Minerals. (2012, Junio 7). *Etapas del Proceso Productivo de una Mina*. Retrieved from <http://www.sonami.cl/site/wp-content/uploads/2016/04/01.-Etapas-del-Proceso-Productivo-de-una-Mina.pdf>
- Horberrry, T., & Lynas, D. (2011). Human Factor Issues with Automated Mining Equipment. *The Ergonomics Open Journal*, 74-80.
- Ministerio de Minería de Chile. (n.d.). Retrieved from <http://www.minmineria.gob.cl/glosario-minero-c/carguio/>
- Revista Seguridad Minera. (2017, Marzo 20). *Cómo se relaciona el carguío y transporte con el resto de actividades para la extracción del mineral*. Retrieved from <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/el-carguio-y-transporte-y-su-relacion-con-otras-etapas-de-la-explotacion/>
- Sernageomin. (2014). *Guías de operación para la pequeña minería, Guía 4: Perforación y tronadura*. Retrieved from <http://www.sonami.cl/site/wp-content/uploads/2016/03/6.perforacion-y-tronadura.pdf>
- Sernageomin. (2015, Octubre). Retrieved from [http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Ventilacion-en-minas-subterranas\(ErickVargasSernageomin\).pdf](http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Ventilacion-en-minas-subterranas(ErickVargasSernageomin).pdf)
- Sheridan, T. (2002). *Humans and Automation: System Design and Research Issues*. John Wiley & Sons: Nueva York.
- Sociedad Nacional de Minería. (2018, Marzo). *Informe de Seguridad y Empleo Mediana Minería Marzo 2018*. Retrieved from <http://www.sonami.cl/site/wp-content/uploads/2018/06/2018-03-Informe-de-Seguridad-Marzo-P%C3%81GINA-WEB.pdf>
- SONAMI. (2018). *Informe de Seguridad y Empleo Mediana y Gran Minería*.
- Universidad Nacional de Colombia. (2008). *Concentración de Minerales*. Medellín.

VI. Anexo

Tabla 3: Empresas consideradas (con respuesta) en la encuesta

Región	Empresa
Valparaíso	Amalia Catemu
Atacama	Atacama Kozan
Atacama	Carmen Bajo
Atacama	Carola
Valparaíso	Compañía Minera Cerro Negro
Atacama	Dos Amigos
Tarapacá	Haldeman
Valparaíso	La Patagua
Antofagasta y Valparaíso	Las Cenizas
Antofagasta	Mantos de la Luna
Coquimbo	Minera Cruz
Antofagasta	Minera Franke
O'Higgins	Minera Valle Central
Arica y Parinacota	Pampa Camarones
Atacama	Pucobre
Atacama	San Andrés
Coquimbo	San Gerónimo
Coquimbo	Tres Valles

Fuente: Cochilco.

Tabla 4: Distribución porcentual (%) del nivel de trabajo prevalente al 2018 y 2028f

Operación	Manual		Mecanizado		Tecnologizado		No Aplica	
	2018	2028e	2018	2028e	2018	2028e	2018	2028e
Perforación	12	15	82	62	0	23	6	0
Tronadura	33	23	56	77	6	0	6	0
Carguío	6	14	88	71	0	14	6	0
Transporte	7	18	87	73	0	9	7	0
Ventilación	13	15	56	46	19	31	13	8
Concentradora	12	25	76	33	6	42	6	0
Lixiviación	23	38	38	25	23	13	15	25
Total	15	20	70	57	7	19	8	4

e: Estimación de las propias empresas mineras.

Fuente: Cochilco.

Este trabajo fue elaborado en la
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por:

Salathiel Andrés González Eyzaguirre

Analista de Estrategia y Políticas Públicas

Christian Sanhueza

Analista de Estrategia y Políticas Públicas

Jorge Cantallopts Araya

Director de Estudios y Políticas Públicas

Diciembre / 2018