

Informes Temáticos de Minería:

Productividad y Capital Humano

ELABORADO POR EL DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE LA



CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO
DE LA REGIÓN DE ATACAMA

Agosto 2020

Productividad y Capital Humano

- La minería ha sido, es y seguramente seguirá siendo uno de las principales actividades económicas del país, la que ha aportado significativamente al progreso social de Chile a través de su aporte a la recaudación fiscal, la generación de oportunidades laborales y el desarrollo de otras actividades complementarias.
- No obstante, la minería también puede producir efectos negativos en las comunidades y entornos en las que están involucradas, además, producto de su naturaleza extractiva y no renovable hacen que su productividad esté expuesta a factores de requieren mayores medidas de control.
- De acuerdo a datos del “Observatorio de Costos Cash Cost” de la Comisión Chilena del Cobre, COCHILCO, entre el año 2018 y 2019 la producción de las principales productoras de cobre en el país (representantes del 92% de la producción nacional) disminuyó en 1,3% anual mientras que los costos de producción cayeron en cUS\$ 2,6 por libra de cobre.
- Si bien los costos de producción bajaron en el año 2019, el informe menciona que esto se debió al efecto positivo del aumento de 10% en el valor del tipo de cambio, menores cargos por tratamiento y refinación y menores precios de combustibles y energía. Por otra parte, el efecto negativo de una menor producción debido al menor procesamiento y caída de leyes, impidieron una mayor caída de los costos.

Cash Cost promedio COCHILCO 2019 vs. 2018 (cUS\$/lb)

Cash Cost 2018 (cUS\$/lb)	136,9
Gestión	+2,3
Factores de mercado	-6,0
Factor geológico (caída de leyes)	+1,1
Cash Cost 2019 (cUS\$/lb)	134,3
- 2,6 cUS\$/lb	

Fuente: Elaborado en base a datos de la Comisión Chilena del Cobre - Observatorio de Costos Cash Cost.

- La variación del costo promedio de producción muestra el principalmente el positivo efecto que tuvo el tipo de cambio en el año 2019, mientras que la mayor cantidad de insumos requeridos y la menor producción tuvieron negativa incidencia en la evolución de los costos.

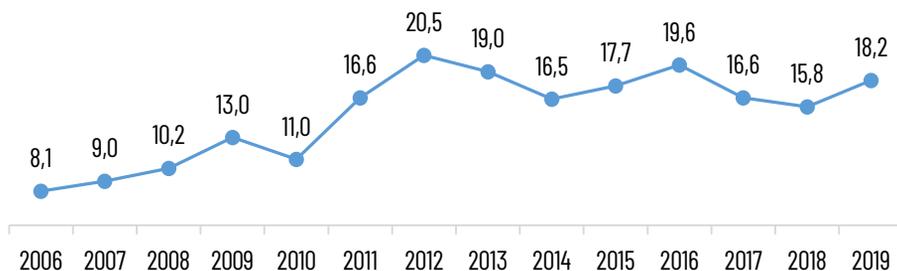
Variación Cash Cost promedio COCHILCO 2019 vs. 2018 (¢US\$/lb)

Cash Cost 2018 (¢US\$/lb)	136,9
Efecto IPC, tipo de cambio y PPI USA	-5,6
Efecto de precios (insumos mineros, personal, combustibles, etc.)	-0,2
Efecto cantidad (insumos mineros, personal, combustibles, etc.)	+1,4
Menor producción muestra	+1,8
Cash Cost 2019 (¢US\$/lb)	134,3
- 2,6 ¢US\$/lb	

Fuente: Elaborado en base a datos de la Comisión Chilena del Cobre - Observatorio de Costos Cash Cost.

- El Consejo Minero, a través de su informe de "Cifras actualizadas de la minería" de julio de 2020, entrega otros indicadores de competitividad y sustentabilidad. Uno de ellos es el costo de inversión por unidad de producción de cobre que corresponde al CAPEX de la cartera de proyectos vigentes para cada año dividido por la capacidad de producción anual de dicha cartera; este indicador muestra la necesidad de realizar mayores desembolsos en orden de obtener mayor producto, aumento que tiene un punto de inflexión en el año 2010, a partir de allí los costos si bien presentan variaciones positivas y negativas, no logran descender a lo estimado en el año 2010.

Costo de inversión por unidad de producción de cobre (miles de US\$ por tonelada de Cobre Fino)



Fuente: Consejo Minero - Cifras Actualizadas de la Minería Julio 2020.

- Las cifras actualizadas del Consejo Minero muestran la caída en la ley del mineral, la que desde 1,00% en 2004 ha descendido a 0,61% en 2018.

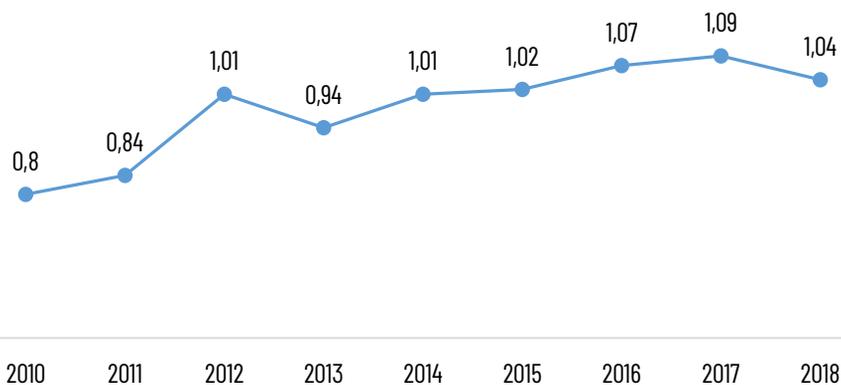
Ley mineral en la minería del cobre (en %)



Fuente: Consejo Minero – Cifras Actualizadas de la Minería Junio 2020.

- Se añade el indicador global de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de la minería del cobre, el cual corresponde al coeficiente unitario de emisiones indirectas de GEI en toneladas de CO₂ equivalente por unidad de tonelada de cobre fino producido. Este valor alcanza en el año 2018 de 1,04 toneladas de CO₂ equivalente por tonelada de cobre fino, 30% más que en el año 2010.

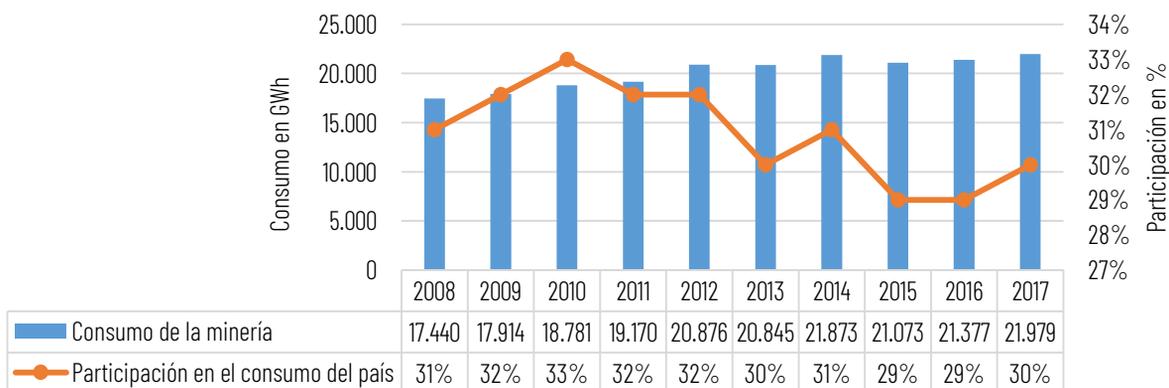
**Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la minería del cobre
(en TM de CO₂ equivalente por TM de cobre fino)**



Fuente: Consejo Minero – Cifras Actualizadas de la Minería Julio 2020.

- En cuanto al insumo estratégico de energía, este ha tenido una tendencia generalmente al alza, así si en el año 2008 el consumo de la industria minera fue de 17.440 GWh, en el año 2017 el consumo fue de 21.979 GWh, teniendo un 30% de participación en el consumo energético nacional. Es importante mencionar que el costo de la energía eléctrica para las empresas mineras tiene – al año 2019 – un valor promedio de 103,9 US\$/GWh, superior al costo de países como Perú, Estados Unidos y Australia.

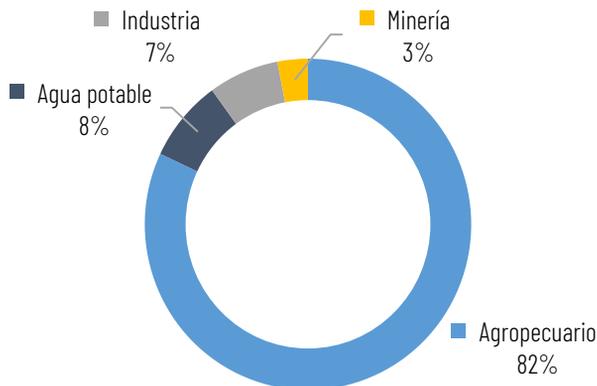
Consumo de energía eléctrica de la minería del cobre y participación en el consumo del país



Fuente: Consejo Minero – Cifras Actualizadas de la Minería Julio 2020.

- En cuanto al insumo del agua, la minería es un sector que, en comparación con otros grandes sectores, tiene el menor porcentaje de consumo con un 3%, distante del sector agrícola que consume el 82 % del recurso (año 2015).

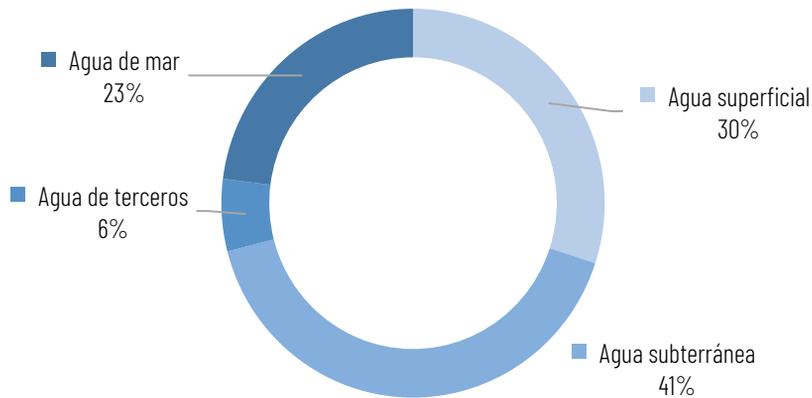
Consumo de agua por sector económico en el país



Fuente: Consejo Minero – Cifras Actualizadas de la Minería Julio 2020.

- Estadísticas de COCHILCO (año 2018) muestran que la gran minería extrae el suministro principalmente de aguas subterráneas (41%), aguas superficiales (30%) y agua de mar (23%).

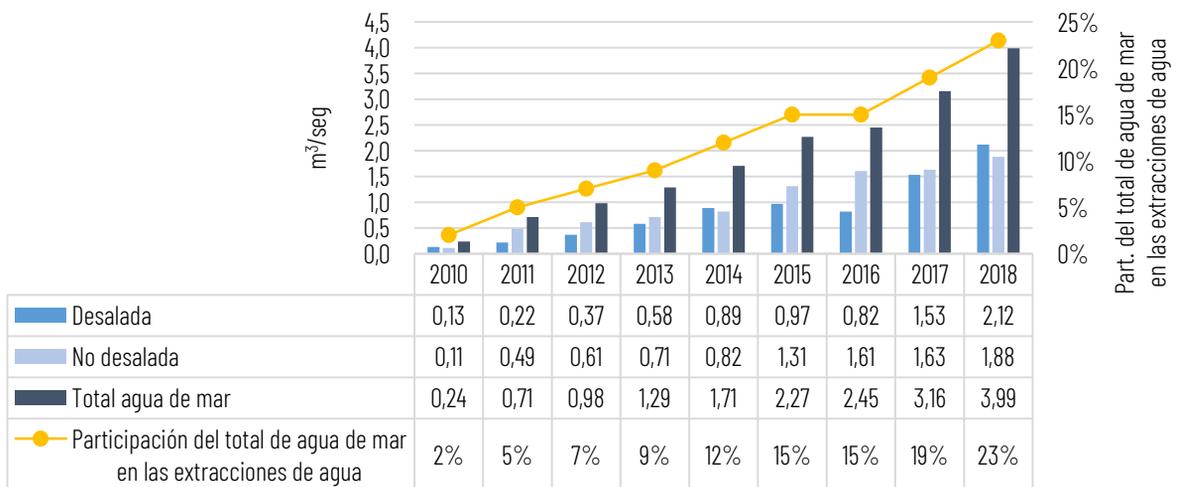
Extracciones de la gran minería por fuente de suministro



Fuente: Consejo Minero – Cifras Actualizadas de la Minería Julio 2020.

- Respecto al uso de agua de mar, desde el 2010 al último registro en 2018 se evidencia la intensidad de su uso pasando de 2% a 23% entre este período.

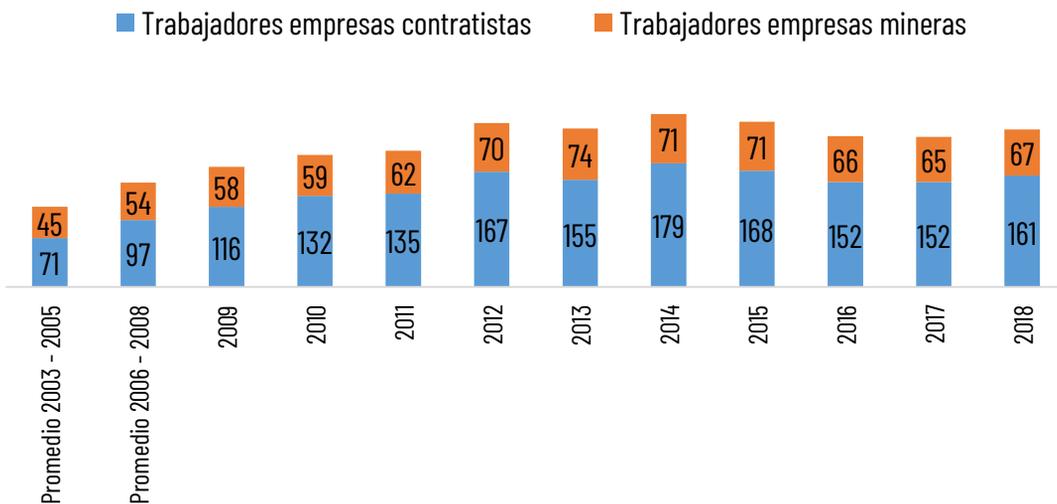
Uso de agua de mar en la minería del cobre



Fuente: Consejo Minero – Cifras Actualizadas de la Minería Julio 2020.

- Los indicadores ya mencionados se complementan con los relacionados al capital humano. Continuando con cifras extraídas del Consejo Minero, se observa la capacidad de sector para generar empleos directamente en las mineras y para generar empleos por medio de las empresas contratistas, la composición del empleo directo se distribuye 30% en trabajadores de empresas mineras y 70% en trabajadores de empresas contratistas,

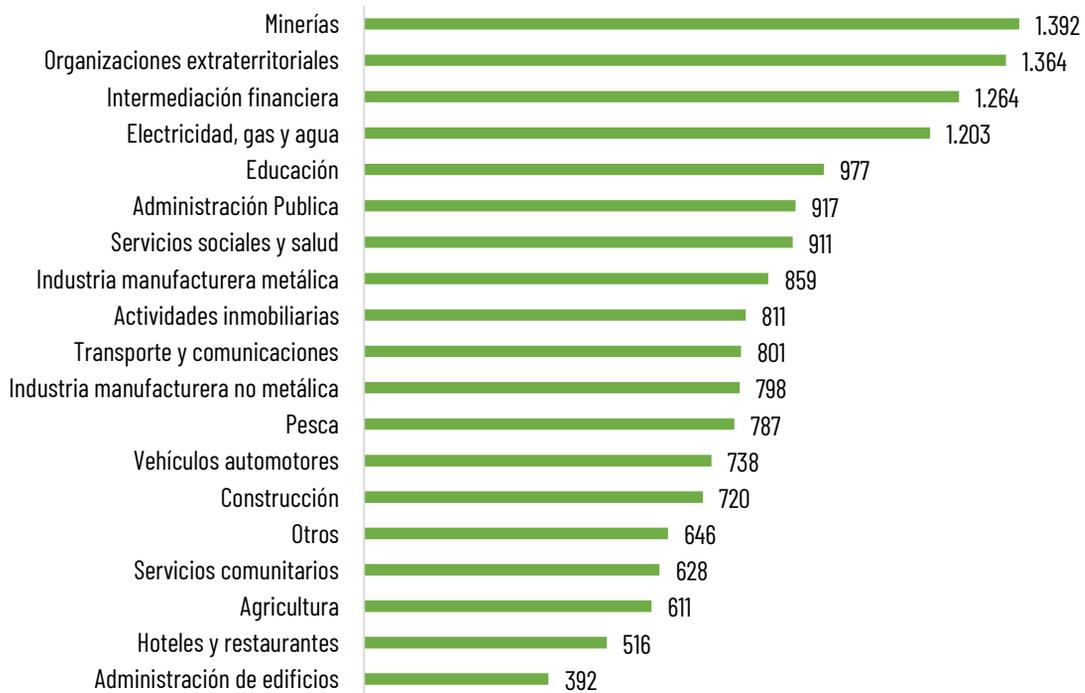
Composición del empleo directo de la minería por tipo de empresa
(Miles de trabajadores)



Fuente: Consejo Minero – Cifras Actualizadas de la Minería Julio 2020.

- El Ingreso Medio Imponible de la minería, al año 2018, se sitúa como el más alto de país con una media de \$1.392.000, superando la media del país en \$616.000.

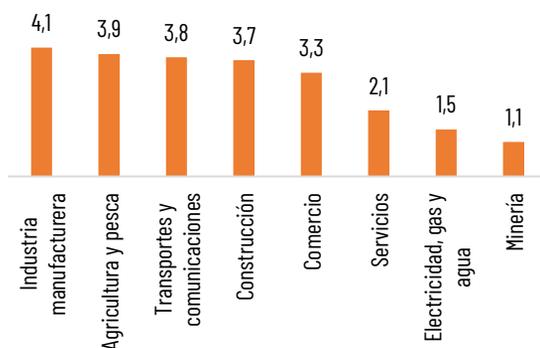
Ingreso Medio Imponible mensual por actividad económica a diciembre de 2018 (en miles de \$)



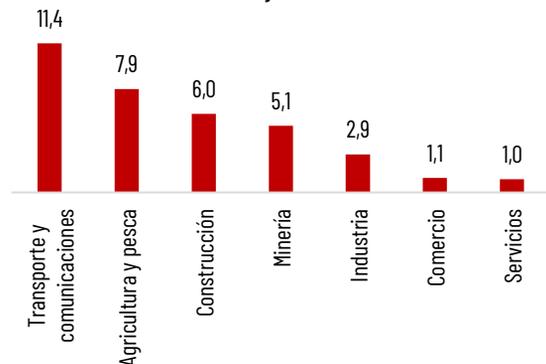
Fuente: Consejo Minero – Cifras Actualizadas de la Minería Julio 2020.

- La tasa de accidentabilidad de la minería se posiciona como una de las menores del país con una tasa de 1,1 accidentes por cada 100 trabajadores, mientras que la tasa de mortalidad se encuentra en un rango medio con una tasa de 5,1 trabajadores muertos por cada 100 mil trabajadores.

Tasa de accidentabilidad por actividad económica (N° de accidentes por cada 100 trabajadores)



Tasa de mortalidad por actividad económica (N° de accidentes por cada 100 trabajadores)



Fuente: Consejo Minero – Cifras Actualizadas de la Minería Julio 2020.

- El estudio “Caracterización Mercado Laboral Minero” de 2020 de COCHILCO destaca que el promedio de escolaridad en el sector minero es de 13 mientras que la escolaridad del resto de las industria (sin considerar la minería) es de aproximadamente 9,6 años, pudiéndose concluir que a minería concentra un mayor porcentaje de trabajadores con estudios superiores.

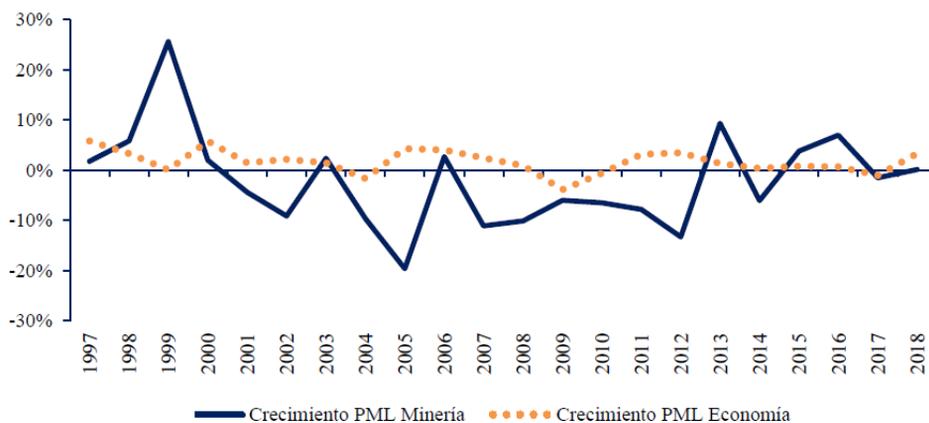
Composición de la fuerza laboral minera por nivel educacional

Nunca estudió	0,2%
Educación preescolar	0,1%
Educación primaria (nivel 1)	2,3%
Educación primaria (nivel 2)	5,1%
Educación secundaria	49,5%
Educación técnica (educación superior no universitaria)	17,0%
Educación universitaria	23,3%
Postítulos y maestría	1,9%
Doctorado	0,1%
Nivel ignorado	0,4%

Fuente: Comisión Chilena del Cobre – Estudio Caracterización Mercado Laboral Minero.

- Todos los indicadores anteriormente mencionados inciden en la productividad del sector, tal como se analizan en el informe “Productividad en la Minería en Chile 2018” de CLAPES UC. En este informe se abarca la Productividad Media Laboral y la Productividad Total de Factores.
- Este estudio establece la Productividad Media Laboral mediante la relación del valor agregado de la producción minera nacional, medido como el PIB minero, con la cantidad de trabajadores que participan en minas y canteras. De este análisis se desprende que “la Productividad Media Laboral de la industria minera nacional tuvo un crecimiento medio anual de -2,0% entre 1997 y 2018, mientras que la economía tuvo un crecimiento medio anual de 1,7% en el mismo periodo”. También “se puede observar que la productividad media laboral de la minería había alcanzado crecimientos positivos en 2015 y 2016 con variaciones de 3,8% y 7,0% respectivamente, para luego en 2017 decrece en 1,5%, obteniendo valores negativos para finalmente en 2018 volver a cifras positivas con un crecimiento de 0,1%”.

Variación Productividad Media Laboral Minería y Economía

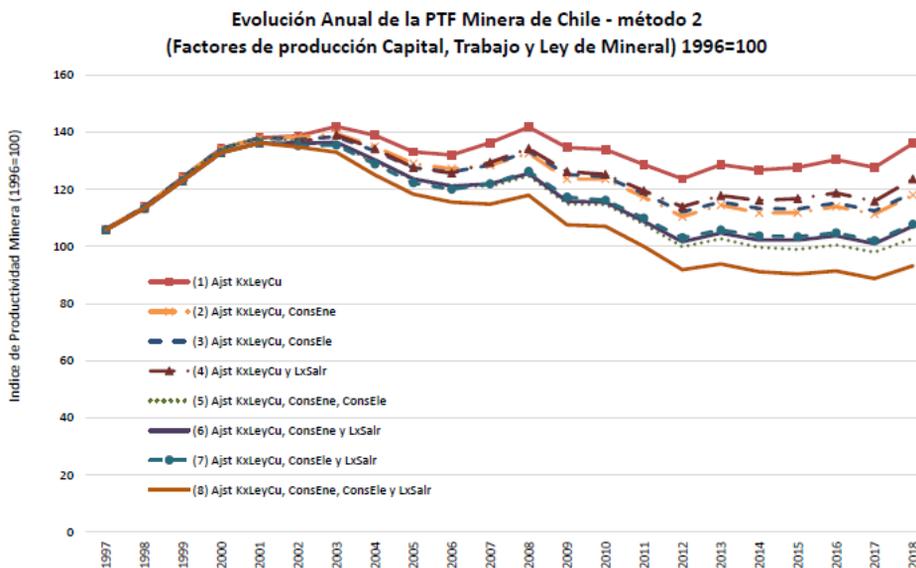
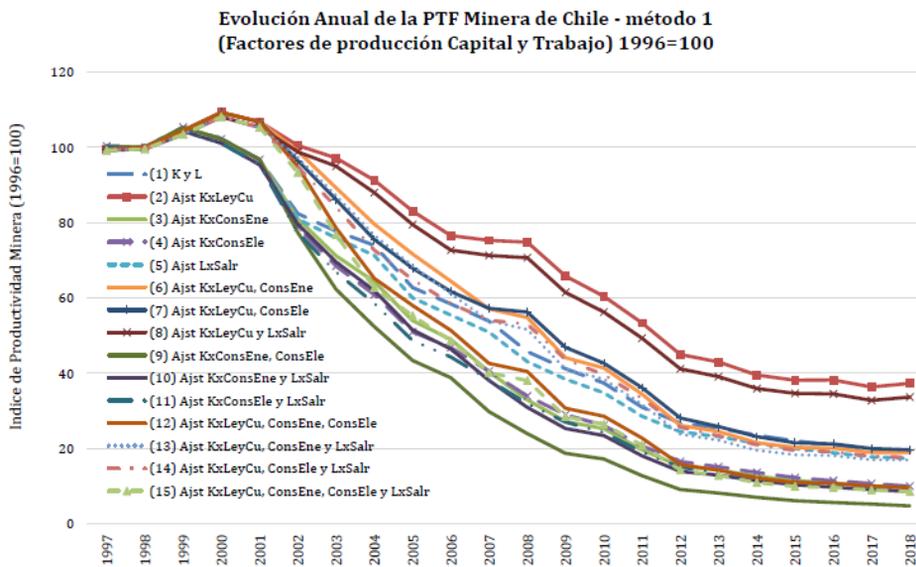


Fuente: Elaborado por CLAPES UC

Productividad en la Minería en Chile 2018: Productividad Total de Factores y Productividad Media Laboral

- En el estudio también se calcula la Productividad Total de Factores, “cuyo enfoque consiste en estimar la productividad mediante el residuo de Solow, el cual explica toda aquella parte del crecimiento del valor agregado de la producción que no es precisado por los factores capital y trabajo”.

- En el estudio se estimó la PTF mediante dos métodos. Bajo la modalidad del método 1 considerando el capital y el trabajo como los dos únicos insumos de producción. Con este método la PTF pura disminuyó 2,5% en 2018 presentando un descenso acumulado de 80,7% desde 1997”.
- La PTF bajo la modalidad del método 2 considerando el capital, el trabajo y la ley del mineral como tres insumos de producción. La PTF ajustada por todos los factores presentó un aumento de 5,1% en 2018, presentando un descenso acumulado de 11,9% desde 1997.



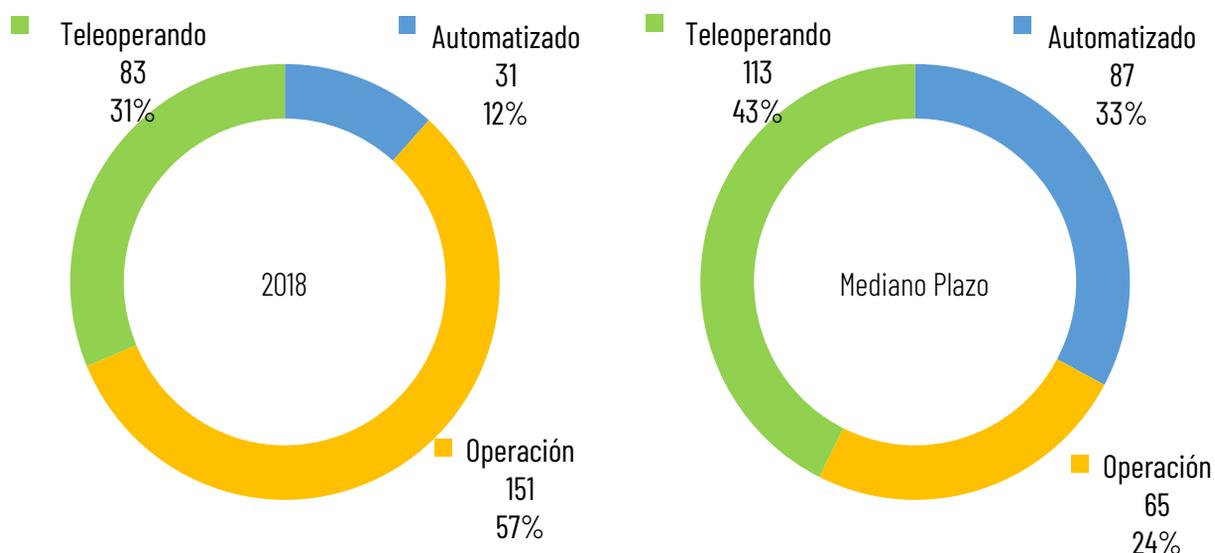
Fuente: Elaborado por CLAPES UC
Productividad en la Minería en Chile 2018: Productividad Total de Factores y Productividad Media Laboral

- El manejo de la productividad, el desarrollo del capital humano e impulsar la sostenibilidad de la industria presentan una serie de desafíos. El estudio “Caracterización de proveedores de la minería chilena” elaborado por Fundación Chile expone las tendencias y desafíos del sector, recalcando en las tendencias de la industria minera a las siguientes:
 - Productividad: Ante la caída en la productividad, “el uso de nuevas tecnologías, así como capitalizar de mejor forma el escenario de precios que plantea el mercado puede implicar mejorar en este ámbito contribuyendo a aumentar la productividad de la industria”.
 - Interoperabilidad: el uso de tecnologías específicas en cada faena conlleva problemas de incompatibilidad entre las tecnologías de monitoreo, automatización y robótica utilizadas en estas, incrementando costos de mantención, adquisición y compatibilización.
 - Electromovilidad: las nuevas aplicaciones del cobre en vehículos eléctricos representan una oportunidad de mercado, a esto se suma la existencia de una “Política Nacional de Energía 2050, la cual establece en uno de sus lineamientos el mejorar la eficiencia energética de los vehículos y de su operación y, como una de sus metas que al 2035 se adopten estándares de eficiencia energética para el parque de vehículos livianos nuevos, resultado de esta forma una tendencia para la minería”.
 - Minería Sostenible: “se busca una visión de la actividad minera que sea compartida por todos los actores interesados, para promover efectivamente el desarrollo sostenible del país. En este marco se promueve una actividad minera que equilibre los enfoques económicos, ambientales y sociales, permitiendo construir una minería armónica con su entorno”.
- A estas se añaden las siguientes tendencias tecnológicas:
 - Realidad digital: uso de entornos digitales que reemplazan el real y la combinación de ambos entornos (virtual y real) mediante sensores avanzados para la conciencia espacial y reconocimiento de gestos.
 - Digital twins: modelo digital, a través del cual un sensor simula un objeto o proceso a través de una configuración en línea. Este perfil digital mide la evolución del comportamiento histórico y actual de algún producto, optimizando con ello el rendimiento global.
 - Gobierno y gestión de datos: uso de tecnologías para el proceso de asegurar la calidad de los datos a través de sus ciclos de vida, facilitando la transmisión y colaboración en torno a información derivada de la operación, lo cual sumado a políticas y protocolos para compartir la información mejora la gestión global.

- Big data: tecnologías que gestionan información estructurada y no estructurada a partir de diversas fuentes en tiempo real.
 - Machine learning: método de análisis de información que automatiza la construcción de modelos analíticos. Estos modelos se construyen a partir de técnicas estadísticas y ciencia de la computación, en que se aprovecha el gran volumen de datos para aprender y mejorar continuamente.
 - Nubes de información: asocia a la digitalización, disponibilidad y descentralización de la información de los servidores físicos tradicionales, y el traslado de los flujos de datos hacia servidores virtuales que permitan el acceso desde cualquier punto.
 - Blockchain: Conjunto de aplicaciones relacionadas con la comunicación y transmisión de datos y archivos digitales entre diferentes compañías e industrias.
 - Automatización y robótica: integración de sensores, actuadores y computadores para controlar la operación de máquinas y diversos procesos industriales, mientras que a robótica es la implementación de la automatización de tareas, con el objeto que sean realizadas con la mínima intervención humana, disminuyendo la exposición al riesgo.
 - Transformación digital: desarrollo de un nuevo modelo de negocio, basados en un entorno digital que posibilita la optimización de las operaciones y mejora en interacción con el cliente, entre otros.
 - Sensorización e IOT: agrupación e interconexión de dispositivos y objetos a través de una red, donde todos ellos podrían ser visibles e interactuar, esto permite la captura de información en tiempo real de procesos y con ello generar grandes volúmenes de datos que, posteriormente, pueden ser analizados.
-
- Esta revolución tecnológica necesaria para lograr el desarrollo sustentable de la actividad y es abordada en el estudio "Revolución Tecnológica 4.0 y Capital Humano" realizado por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. En este estudio se alude a información de la OCDE que ha estimado que un trabajador promedio chileno tiene un 55% de probabilidades de que sus labores sean automatizadas, lo que implica una necesidad urgente de desarrollar nuevas habilidades.
 - Con estimaciones de que en el futuro la minería esté totalmente robotizada y las operaciones sean mayoritariamente remotas; con esto en consideración en el corto plazo los sensores desempeñan y desempeñarán un rol fundamental lo que requerirá profesionales para desarrollar esta tecnología en cada fase (fabricación, colocación, operación, captación de datos, procesamiento de datos y análisis de datos).

- A largo plazo, de acuerdo a esta investigación, el nivel de incertidumbre complejiza el análisis, sin embargo ante tal escenario los trabajadores deberán desarrollar habilidades no técnicas, como el autoaprendizaje, el liderazgo, compromiso, retroalimentación y comunicación.
- El carácter de largo plazo de la planificación en la minería requiere que, según el estudio de la Universidad de Chile, se defina el marco de referencia en el cual se va a posicionar Chile respecto de las futuras innovaciones tecnológicas antes de pensar en el capital humano especializado que se formará. Una vez definido se puede establecer cuanto invertir y cuanto profesionales se necesitarán. “Es fundamental definir si vamos a transformarnos en productores de tecnología o si seguiremos importándola.
- En una línea similar desarrolló el estudio del Consejo Minero “Impacto de las nuevas tecnologías en las competencias requeridas por la industria minera”. Este estudio dimensiona la transformación del trabajo que requiere la minería considerando a mediano plazo la evolución tecnológica y a largo plazo la transformación digital.
- El estudio estima los posibles cambios en las competencias en base a los requerimientos y evolución tecnológica a mediano plazo, para ello considera los procesos de extracción, procesamiento y mantenimiento; estos tres procesos incluyen 76 perfiles ocupacionales los que a su vez se traducen en 265 competencias.
- El cambio de una operación manual o teleoperada a una automatizada requiere que las competencias evolucionen. El estudio establece que los requerimientos de competencias a evolucionaran de la siguiente forma:
 - Aumento de 43% a un 76% en competencias asociadas a la Automatización y Teleoperación.
 - Incremento de un 36% (de 83 a 113) de competencias asociadas al nivel tecnológico Teleoperado.
 - Incremento de un 180% (de 31 a 87) de competencias asociadas al nivel tecnológico Automatizado.
 - Disminución de funciones Operadas en torno al 57% (de 151 a 65 competencias).

Evolución de requerimientos de competencias a mediano plazo



Fuente: Consejo Minero - Impacto de las nuevas tecnologías en las competencias requeridas por la industria minera.

- A largo plazo, el posible impacto de la transformación digital implica que al menos el 80% deban evolucionar.

Impacto de la Transformación Digital en las competencias
De un total de 265 competencias analizadas, los resultados son:
80% tiene un potencial de cambio a futuro.
40% presenta un mayor potencial de Automatización.
40% deberían sufrir ajustes.
20% no debieran sufrir cambios.

Fuente: Consejo Minero - Impacto de las nuevas tecnologías en las competencias requeridas por la industria minera.

- La evolución del capital humano tiene un largo camino por recorrer, en cifras obtenidas del estudio "Fuerza laboral de la gran minería chilena 2019 - 2028" del Consejo Minero, al año 2019 la cantidad de horas promedio de capacitación por trabajador en las grandes empresas de la minería* es de 29,9 horas y el índice de capacitación (horas de capacitación respecto al total de horas trabajadas es de 1,36%.

* El estudio utilizó la información demográfica y laboral entregada por 13 empresas mineras (43.942 personas) y 17 empresas proveedoras (17.336 personas).

Indicadores de Capacitación

	2017	2019
Horas promedio de capacitación por trabajador (Horas de capacitación / dotación)	31,1 hrs.	29,9 hrs.
Participación promedio por persona (Asistentes / dotación)	2,3	2,4
Índice de capacitación (Horas de capacitación / horas totales trabajadas)	1,55%	1,36%
Inversión promedio por trabajador (Inversión / dotación)	\$231.320	\$308.609
Costo promedio por capacitación (Inversión / hora de capacitación)	\$8.498	\$10.920
Costo promedio por participante (Inversión por asistente)	\$126.228	\$183.476

Fuente: Consejo Minero - Fuerza laboral de la gran minería chilena 2019 - 2028.