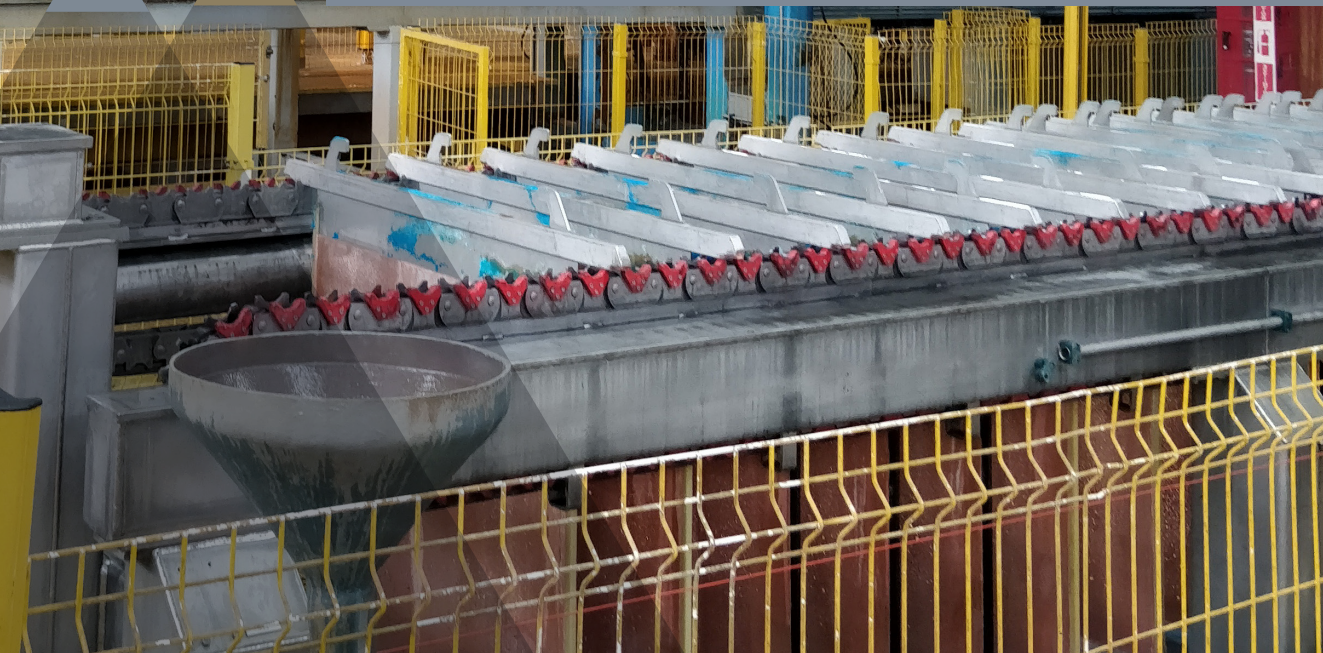




IMPACTO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS
en las Competencias Requeridas por la Industria Minera





El presente informe es un producto del Consejo de Competencias Mineras, una iniciativa del Consejo Minero que cuenta con la asesoría experta de Fundación Chile.

Equipo Consejo Minero

Verónica Fincheira H., Gerente CCM

Sofía Moreno C., Gerente Comisiones y Asuntos Internacionales;
ex Gerente CCM

José Tomás Morel L., Gerente de Estudios

Christel Lindhorst F., Gerente Comunicaciones

María Paz Baghetti O., ex Jefa de Proyectos de Comunicaciones

Equipo Fundación Chile

Hernán Araneda D., Gerente Centro de Desarrollo Humano

Diego Richard M., Director Programa Agendas Sectoriales

Philip Wood V., Director Capital Humano y Productividad

Gabriel Rojas L., Director de Estudios

Edición, diseño y diagramación

Alder Comunicaciones

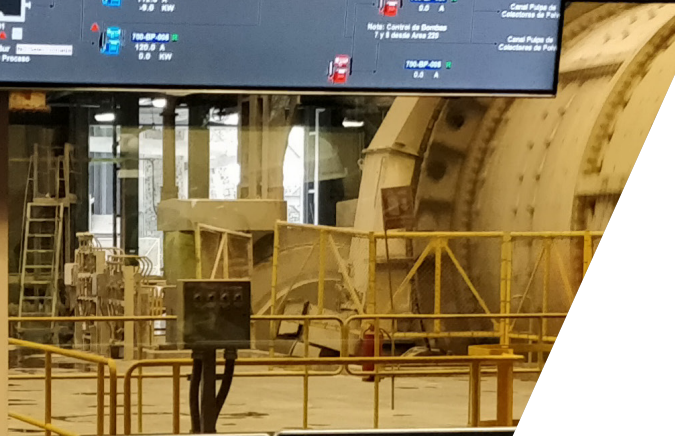
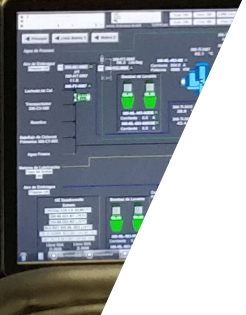
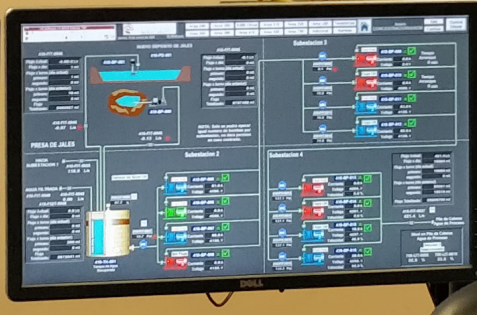
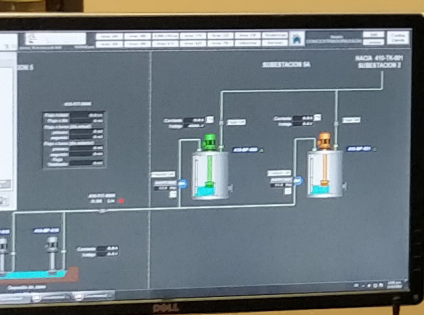
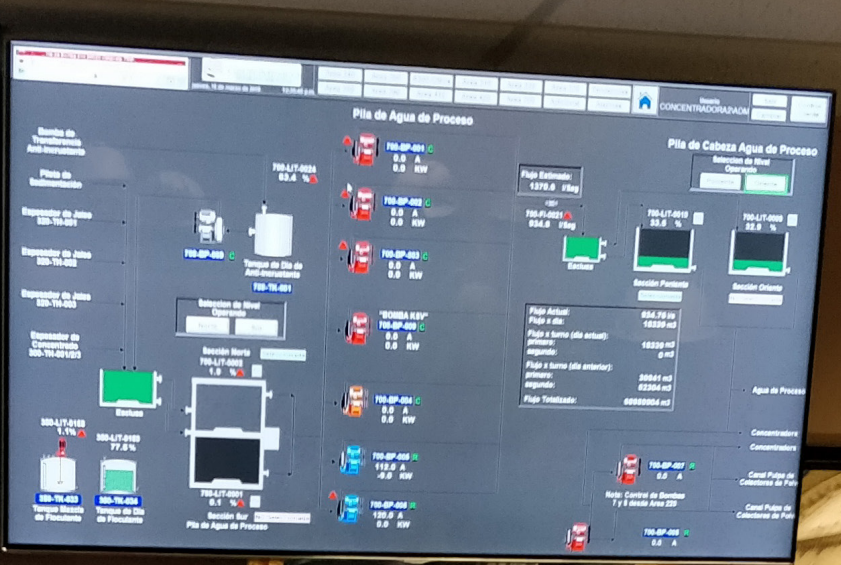
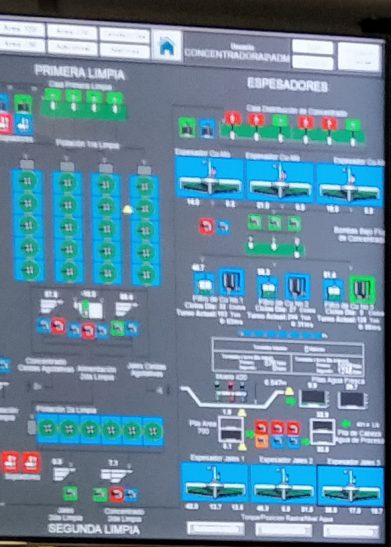
Todos los derechos reservados. Queda autorizada su reproducción y distribución citando a la fuente.

Santiago, junio de 2018



IMPACTO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS

en las Competencias Requeridas por la Industria Minera



INTRODUCCIÓN	9
• Objetivos	10
• Estrategia y metodología de trabajo	10
• Fronteras del estudio	12
LA TECNOLOGÍA Y SU IMPACTO EN LA INDUSTRIA MINERA	17
• La Cuarta Revolución Industrial	18
• Evolución tecnológica en minería	31
• Estado actual de las tecnologías	39
IMPACTO EN PROCESOS Y COMPETENCIAS DE LA MINERÍA	49
• Definición de instrumentos y variables de análisis	50
• Transformación Digital	55
• Nivel Tecnológico	69
• Integración del Nivel Tecnológico y Transformación Digital	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
ANEXOS	83
• Referencias	84
• Máximo Nivel Tecnológico identificado	87
• Algunas visiones encontradas en las entrevistas	91
• Expositores y participantes en talleres	92
• Distribución de competencias por procesos y subprocesos	93

Para la industria minera, la transformación tecnológica es un tema muy relevante. Las empresas mineras han incorporado en el último tiempo diversas tecnologías disponibles, tanto a sus operaciones actuales como a sus proyectos, explorando diferentes iniciativas para aprovechar el potencial inherente de la Cuarta Revolución Industrial.



La tecnología ha sido un complemento para los trabajadores, lo que ha permitido que se realicen una serie de actividades de manera más eficiente, además de una mayor productividad en diferentes industrias.

Desde el Consejo de Competencias Mineras (CCM), se promueve el desarrollo e incorporación de nuevas competencias a los trabajadores de la minería, actualizando los conocimientos y gestionando el tránsito hacia una minería digitalizada, con una estrategia de desarrollo de capital humano que considera una fuerza laboral capaz de adaptarse a diferentes escenarios y con resultados sostenibles más competitivos.

Este estudio intenta dar un anticipo respecto a las necesidades del sector minero en Chile, para poder preparar e impulsar los cambios en la formación alineada a esta industria. El trabajo definido desde el CCM siempre ha tenido este enfoque, determinando brechas y tendencias para establecer una línea de trabajo a modo de una respuesta formativa adecuada en calidad y tiempo.

Si bien este estudio tiene por objetivo vincular los principales cambios tecnológicos y de qué manera éstos impactan en las competencias laborales, uno de los principales desafíos que nos muestra es cómo desarrollamos planes para la reconversión de las competencias de los actuales trabajadores del sector, para adoptar las nuevas tecnologías.

Agradecemos a todos quienes fueron parte de este estudio, a nuestras empresas socias por haber entregado la información y la experiencia para desarrollar este documento que contribuye a promover y fortalecer la colaboración entre el mundo de la formación y las empresas del sector.

Verónica Fincheira
Gerente Consejo de Competencias Mineras



El impacto que la llamada revolución industrial 4.0 tendrá sobre el trabajo ha despertado un interés creciente. La transformación y eventual desaparición de empleos y ocupaciones, en la forma que las conocemos, genera una inquietud razonable, sobre todo considerando que un segmento importante de la población chilena se desempeña en oficios rutinarios, susceptibles de ser reemplazados por tecnología.

En el caso de la Gran Minería, la incorporación de tecnologías digitales (big data, inteligencia artificial o internet de las cosas, entre otras) representa una oportunidad de lograr mejoras significativas de productividad, así como condiciones de aún mayor seguridad para los trabajadores de las áreas de operaciones. La instalación de centros integrados de operación, la interoperabilidad y la disponibilidad de crecientes volúmenes de datos, abren la oportunidad de acercarse a la llamada minería inteligente, que cuenta ya con algunos notables ejemplos en países como Australia y con avances interesantes en Chile.

En este contexto, el presente trabajo es un primer acercamiento a comprender las implicancias de estos cambios sobre las habilidades, conocimientos y competencias que requerirá la fuerza laboral en la cadena de valor principal del negocio minero (extracción, procesamiento, mantenimiento).

El estudio se centra en los principales cambios tecnológicos en cada proceso productivo y a qué ritmo ocurrirá, además de analizar en qué medida estos cambios se traducirán en nuevos requerimientos de habilidades y conocimientos humanos que complementen la tecnología. Todo ello, con el objetivo de comprender la magnitud de los esfuerzos que deberán hacerse para actualizar y potenciar las competencias laborales y la conveniencia de intensificar la labor que realiza el CCM desde 2012 para transmitir al mundo de la formación cuáles son las habilidades, conocimientos y competencias que la minería requerirá en los próximos años.

Vayan los agradecimientos para las empresas y profesionales que participan en el CCM, que aportaron valiosa información y estuvieron disponibles para compartir décadas de experiencia operacional y visiones prospectivas sobre las oportunidades que la transformación digital abre al sector y a la fuerza de trabajo de la minería del futuro.

Hernán Araneda
Gerente Centro de Desarrollo Humano Fundación Chile



INTRODUCCIÓN

- Objetivos 10
- Estrategia y metodología de trabajo 10
- Fronteras del estudio 12

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

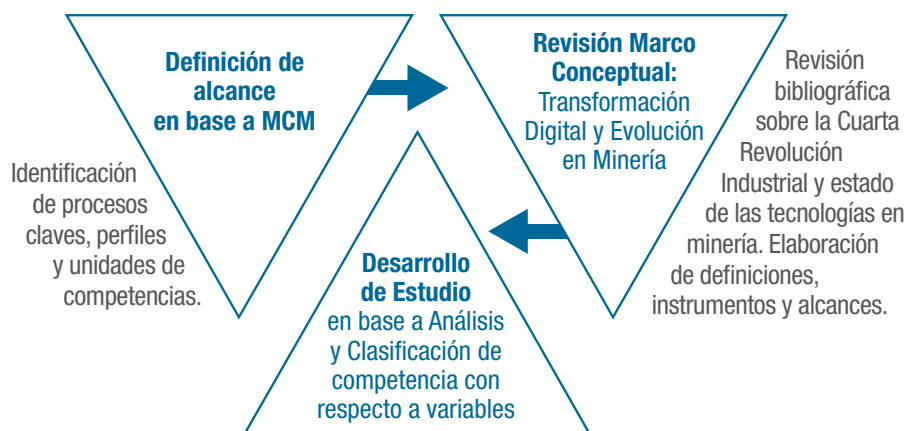
El objetivo de este estudio es estimar el grado de uso de tecnologías actuales y emergentes en las posiciones de la Cadena de Valor Principal (CVP) de la Gran Minería Metálica del Cobre (Cu), con foco en obsolescencia, creación o cambio de requerimiento de competencias. También evaluar el potencial de desarrollo de las nuevas tecnologías en los distintos procesos mineros.

Para esto, se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Establecer un alcance acotado de análisis de los procesos, perfiles y competencias a través de la CVP de la Gran Minería Metálica del Cu, utilizando como base el Marco de Cualificaciones de la Minería (MCM).
- Establecer un marco de análisis en relación a la Transformación Digital y la Evolución Tecnológica, con el fin de determinar instrumentos y variables que permitan clasificar las competencias laborales establecidas en el MCM.
- Identificar las tecnologías utilizadas actualmente por la industria minera y las que se podrían implementar, en un horizonte de 5 años, definiendo el potencial de cambio, reemplazo, ajuste y creación de competencias laborales, de acuerdo al cruce entre el MCM y las tecnologías identificadas.

ESTRATEGIA Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

Con el fin de conseguir los objetivos específicos mencionados en el punto anterior, la estrategia de trabajo consideró las siguientes fases:



Realización de entrevistas a encargados de tecnología de empresas mineras y proveedoras, talleres de validación por procesos y análisis de resultados frente a hipótesis.

Estas etapas incluyeron las siguientes acciones:

1 Identificación de procesos claves, sus perfiles y las unidades de competencias asociadas

Como base para el análisis se utilizó el Marco de Cualificaciones para la Minería y las Unidades de Competencias Laborales (UCL). El MCM establece cuáles son los principales procesos realizados en las labores mineras junto a sus respectivos subprocesos. Es así, como en el proceso de **Extracción**, se incluyeron en el alcance los subprocesos de extracción a rajo abierto, extracción subterránea y tronadura. En **Procesamiento**, los subprocesos de óxido, sulfuro, fundición y refinación, mientras que, en **Mantenimiento**, los subprocesos de mantenimiento mecánico y electro-instrumentista.

2 Definición del marco teórico y elaboración de variables de análisis

Se estableció un marco teórico basado en un concepto clave: la Cuarta Revolución Industrial, de Klaus Schwab, fundador del Foro Económico Mundial. Esto, considerando cómo ha sido la evolución de los procesos que históricamente conocemos como “revoluciones industriales”. Así, la primera de la que se tiene registro es aquella que incorporó equipos mecánicos impulsados por agua y energía a vapor en la cadena productiva; la Segunda Revolución Industrial se manifestó cuando se estableció la producción en masa, la división de tareas y el uso de energía eléctrica; la Tercera se caracterizó por el uso de la electrónica e informática, hasta desembocar en la actual, que se denomina Cuarta Revolución Industrial, en donde el uso de sistemas físicos cibernéticos, la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas y el *Big Data* son los principales actores.

En miras a proyectar cómo esta evolución tocaría a los procesos mineros, se establecieron tres fuentes de análisis, las que contemplaron una revisión del estado de tecnologías en minería, entrevistas con referentes de tecnologías en la industria minera y realización de mesas de trabajo técnicas por proceso. Como variables de análisis se consideraron, en primer lugar, la Transformación Digital y su impacto en funciones productivas (cuán permeadas están por la tecnología) y, en segundo lugar, la Evolución Tecnológica propiamente tal, es decir, si los procesos mineros seleccionados se realizan o no, mediante soluciones tecnológicas.

3 Revisión del estado de tecnologías en minería

Se realizó un levantamiento de información respecto de las principales tecnologías utilizadas en los diez subprocesos identificados. Para lograr una mayor comprensión, este levantamiento se enfocó en dos momentos: lo utilizado al momento de la realización del estudio (2018), y una proyección para los siguientes cinco años.

4 Entrevistas con referentes de tecnología de la industria minera

Se realizaron 26 entrevistas a encargados de administrar y desarrollar tecnología en las principales faenas de la industria nacional, así como también a los principales proveedores de equipos y soluciones para la minería. En ellas se indagó sobre los procesos de las faenas, las tecnologías en uso y las que se esperan aplicar, junto con las competencias enmarcadas en el MCM y la visión a cinco años sobre cómo esta realidad seguirá evolucionando.

5 Realización de mesas de trabajo técnicas por proceso

El objetivo principal en esta actividad fue identificar, en base a criterio experto, el impacto del cambio tecnológico, en términos de Transformación Digital y Nivel Tecnológico, sobre las competencias del Marco de Cualificaciones para la Minería en Chile.

FRONTERAS DEL ESTUDIO

Marco de Cualificaciones para la Minería

Para el análisis de los perfiles, planteado como objetivo de este estudio, se utilizó el Marco de Cualificaciones para la Minería (MCM).

Este marco no solo da cuenta de un ordenamiento en cuanto a procesos claves, perfiles ocupacionales y funciones críticas, sino también de los requerimientos de formación relevantes para el desarrollo de cada uno de ellos.

Cabe destacar que la construcción del MCM representa un trabajo colaborativo y consensado por 4 gremios, 14 empresas mineras y 2 proveedoras, que son parte del Consejo de Competencias Mineras (CCM) con la asesoría experta de Fundación Chile, por lo que la información recabada proviene de las distintas esferas del quehacer minero.

Para un mejor entendimiento de este estudio, a continuación entregamos una descripción, características y principales componentes del MCM.

Descripción del MCM

El MCM es una herramienta que permite organizar y clasificar, en niveles progresivos, los resultados de aprendizaje que se requieren para el desempeño competente de una persona/trabajador, en una organización, industria, región o país.

En la elaboración del MCM se analizaron los procesos de la cadena de valor principal de la industria, como son Extracción, Procesamiento y Mantenimiento y perfiles y competencias involucradas; la organización en los niveles de cualificación; la identificación de rutas de progresión entre ellos y la elaboración de cualificaciones.

Las cualificaciones que se obtienen constituyen resultados de aprendizaje en base a competencias que pueden desarrollarse conjuntamente, y que son conducentes a salidas laborales en la industria. Para cada cualificación, se elabora un descriptor general, que proporciona información de base para las instituciones que imparten la formación para la industria.

El MCM se desarrolló inspirado en el Marco de Cualificaciones Australiano. El resultado es un marco organizado en cinco niveles de cualificación, que corresponden a niveles de formación de carácter técnico, y comprenden desde la formación de oficios de entrada, hasta la formación de técnicos especializados.

En la generación del Marco de Cualificaciones para la Minería, participaron más de 300 representantes de la industria minera, quienes aportaron conocimientos y experiencia en sus áreas y procesos.

El MCM y sus componentes

El MCM está organizado en tres grandes procesos: Extracción; Procesamiento de Cobre, Oro y Plata, y Mantenimiento.

Cada proceso a su vez cuenta con una serie de subprocesos. De esta manera, Extracción cuenta con los subprocesos de exploración y sondaje, extracción rajo, extracción subterránea y tronadura. Procesamiento tiene como subprocesos a hidrometalurgia, concentrado, fundición y refinación. Mantenimiento en tanto, incorpora a mantenimiento mecánico y eléctrico-instrumentista.

En total el MCM incluye 175 perfiles, 308 competencias, 99 cualificaciones y 13 rutas formativas.

Alcance del estudio

Para lograr definir la injerencia de las nuevas tecnologías dentro del trabajo en minería, se acordó considerar para este estudio 3 procesos, 9 subprocesos, 76 perfiles y 265 competencias.

El proceso de **Extracción** corresponde a la primera etapa del ciclo de producción. Se lleva a cabo una vez que se ha habilitado una reserva de mineral como faena productiva. Se distinguen dos tipos de extracción de minerales: a rajo abierto y subterránea, dependiendo de la ubicación del mineral identificado y de las características de la roca que los hospeda. En ambos se hacen tronaduras en los sectores de producción y se habilitan zonas para el ingreso de equipos de carguío y transporte que luego trasladan al mineral para el siguiente paso del proceso productivo.

Los subprocesos involucrados y sus competencias más representativas son los siguientes:

a) Extracción rajo:

- Operar camión de alto tonelaje.
- Cargar mineral con palas.
- Realizar perforaciones en rajo abierto.
- Coordinar sistema de despacho minero.

b) Extracción subterránea:

- Operar cargador perfil bajo (LHD) por vía remota.
- Operar equipo jumbo (R. Secundaria).
- Reparar parrilla de producción.

c) Tronadura:

- Administrar abastecimiento y distribución de explosivos en polvorín en mina a rajo abierto y mina subterránea.
- Cargar tiro con equipo autónomo, en proceso de tronadura en mina de rajo abierto y mina subterránea.
- Diseñar secuencia de tronadura en mina a rajo abierto y mina subterránea.

El segundo proceso considerado en el MCM es **Procesamiento de Cobre**. Una vez que el mineral sale de la fase de Extracción inicia su Procesamiento para ser transformado desde la roca a cobre de alta pureza. Existen principalmente dos tipos de minerales: sulfurados y oxidados, que definen cómo esto se llevará a cabo. La primera etapa del proceso, de uno u otro material, involucra que estos pasen por un chancado primario que reduce las rocas con contenido de cobre hasta una granulometría que permite que continúe su procesamiento. Posteriormente los primeros, irán a un procesamiento de concentración de sulfuro y de subproductos asociados. Los minerales oxidados, en tanto, irán a un proceso de hidrometalurgia.

Los subprocesos involucrados y sus competencias más representativas son los siguientes:

a) Procesamiento de óxidos de cobre hidrometalurgia (LX, SX, EW):

- Apilar material para lixiviación.
- Despegar cátodos.
- Operar celdas de electro obtención.
- Operar rotopala.

b) Procesamiento de sulfuros de cobre:

- Operar celdas de flotación.
- Operar equipos planta de chancado.
- Operar equipos planta molienda SAG.
- Operar espesadores.
- Recepcionar y manipular reactivos.

c) Proceso de fundición y de refinación electrolítica:

- Ejecutar sangrado de líquidos fundidos horno flash.
- Operar equipo de moldeo.
- Calentar hornos.
- Operar horno flash.
- Controlar fusión conversión en hornos.

El tercer y último proceso considerado en el MCM es el **Mantenimiento**. Las labores de mantenimiento de equipos, instalaciones y sistemas que conforman una faena minera son un eje fundamental. En términos generales, el Mantenimiento se divide en mecánico, de ensayos o predictivo; eléctrico y mantenimiento instrumentista.

Los subprocesos involucrados aquí y sus competencias más representativas son los siguientes:

a) Mantenimiento mecánico:

- Mantener sistemas de lubricación.
- Mantener motores diesel.
- Diagnosticar y reemplazar bombas de desplazamiento positivo.

b) Mantenimiento eléctrico-instrumentista:

- Canalizar y cablear líneas de media tensión.
- Mantener motores y generadores eléctricos.
- Mantener tableros de distribución, fuerza y control.
- Mantener dispositivos de instrumentación de campo.
- Mantener sistemas de control.



LA TECNOLOGÍA Y SU IMPACTO EN LA INDUSTRIA MINERA

- La Cuarta Revolución Industrial 18
- Evolución Tecnológica en minería 31
- Estado actual de las tecnologías 39

LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Con el desarrollo tecnológico que se ha generado a lo largo del tiempo, hoy los avances están al alcance de la mano, en todos los ámbitos del diario vivir.

Tanto las tareas domésticas y personales, como aquellas relacionadas con el ámbito laboral, han presentado un cambio que obliga a adaptarse a nuevas maneras, otros métodos y una forma totalmente distinta de enfrentar al mundo respecto a cómo lo hacían las generaciones anteriores.

De trabajar en base a equipos de producción mecánicos impulsados por agua y energía a vapor, se pasó a funcionar bajo la lógica de cadena o líneas de producción, utilizando conceptos como la división de tareas, mientras en paralelo se daban los primeros pasos con el uso de energía eléctrica. Luego de este hito, vino el salto de la Informática (IT) para promover la producción automatizada, hasta que finalmente el uso de sistemas físicos cibernéticos (*Cyber Physical Systems* CPS), Inteligencia Artificial (AI), Internet de las Cosas (IoT) y *Big Data*, se convirtieron en los puntales del desarrollo para diversas industrias.

Revoluciones industriales

A lo largo del tiempo, se han producido muchas transformaciones en la forma de trabajar. Factores que han incidido en esto son, por ejemplo, la forma de comunicarse y de dónde se obtiene la energía necesaria para ejecutar cada tarea asignada.

Estos procesos de revolución tecnológica protagonizados por la industria han tomado el nombre de Revoluciones Industriales y se posicionan como hitos importantes dentro de la Edad Contemporánea, cambiando la forma de vivir, trabajar y pensar.

Durante la Primera Revolución Industrial, la producción con equipos mecánicos era posible gracias al poder del agua y el vapor, lo que permitió, entre fines del siglo XVIII e inicios del siglo XIX, sustituir por primera vez la labor humana y animal por máquinas. Esta época se caracteriza por la creación del barco y la locomotora a vapor, el telégrafo y la fabricación de maquinaria para la industria metalúrgica y textil. Debido a su naturaleza, era posible hallar este tipo de avances en las cercanías de puertos y yacimientos.

El desarrollo tecnológico continuó expandiéndose y después del 1900 alcanzó a las ciudades, permitiendo masificar la producción, principalmente gracias al uso del petróleo y la electricidad. La utilización de energía eléctrica impactó fuertemente en la industria química, siderúrgica y de automóviles, en las que se creó la división del trabajo y se instalaron líneas de producción. Esta Segunda Revolución Industrial se caracterizó por inventos tales como el motor a diésel, la radio, el telégrafo y el teléfono.

Ya hacia la segunda mitad del siglo XX, y luego de la invención del primer controlador lógico programable en Japón (1969), se instaura lo que denominamos una Tercera Revolución Industrial, basada en el uso de la informática para promover la producción automatizada. Bajo este contexto, las áreas más representativas de esta época son la energía nuclear, las telecomunicaciones, el espacio y el universo, la informática, la robótica y la biotecnología, obteniendo su éxito gracias a las redes, las telecomunicaciones y sistemas de transportación masivos. Es importante resaltar que las nuevas formas de comunicación, como el Internet, se convierten en el medio de organización y gestión, siendo el computador la herramienta más destacada para conducir estos procesos.

Hasta la Tercera Revolución Industrial, las personas se habían focalizado en crear los medios para buscar desarrollo en la industrialización y sacar ventaja de las posibilidades que tenían. En un comienzo esto fue intensificando el rendimiento de sus materias primas y posteriormente, la cadena se fortaleció gracias a la explotación de los recursos naturales, yendo hacia la escasez de los mismos, sin debatir ni tener conciencia aún respecto de una utilización más razonable o sustentable de estos en el tiempo.

En su libro “La Cuarta Revolución Industrial” (2016), el profesor Klaus Schwab, fundador del Foro Económico Mundial, describe esta época como aquella caracterizada por la fusión de las nuevas tecnologías con el mundo físico, el digital y el biológico. Los “sistemas ciberfísicos”, tales como un sistema de red eléctrica inteligente, automóviles autónomos, sistemas de monitoreo médico, entre otros, tendrían la capacidad de conectar a miles de personas entre sí en cualquier momento, pudiendo mejorar la eficiencia de cualquier organización y a la vez potenciando el cuidado del medio ambiente, algo que las revoluciones anteriores no habían tenido en cuenta.

EJES DE INNOVACIÓN	REVOLUCIÓN INDUSTRIAL			
	PRIMERA (1760 hacia mediados del 1800)	SEGUNDA (1870 hacia 2º Guerra Mundial)	TERCERA (1960 a inicios de los 2000)	CUARTA (2º década de los 2000 en adelante)
CONTROL	Mecanización	Estandarización	Automatización	Autonomía
INTEGRACIÓN	Transporte en red	Electrificación	Descentralización	Hiperconectividad
RECONFIGURABILIDAD	Máquinas de uso fijo	Construcción pesada	Reprogramabilidad	Adaptabilidad
ESCALA	Producción en fábrica	Sistemas de producción masiva	Digitalización	Bajo demanda
IMPACTO SUSTENTABILIDAD	Rendimiento Intensificado	Explotación de recursos	Agotamiento de recursos	Renovabilidad

De acuerdo a estimaciones del Foro Económico Mundial, se cree que el Internet de las Cosas jugará un rol preponderante en esta revolución y que la economía mundial recibirá 14,2 billones de dólares en los próximos 15 años como consecuencia de este proceso.

Según lo informado por Randstad en su artículo “La Cuarta Revolución Industrial ya está entre nosotros” (marzo, 2017), todas las instancias de las revoluciones industriales han impactado en el trabajo. A modo de ejemplo, entre 1900 a 1970, Estados Unidos vio cómo su fuerza de trabajo agropecuaria pasaba de un 41% a un 4% (hoy es de apenas el 2%), “como resultado de los avances tecnológicos e industriales sucesivos y su impacto en los comportamientos sociales”.

CALENDARIO PARA IMPACTAR INDUSTRIAS, MODELOS DE NEGOCIO		
IMPACTO YA SE SINTIÓ	2015 - 2017	2018 - 2020
Aumento de la volatilidad geopolítica	Nuevos suministros de energía y tecnologías	Robótica avanzada y transporte autónomo
Internet móvil y tecnología en la nube	Internet de las Cosas	Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático
Avances en poder de computación y <i>Big Data</i>	Fabricación avanzada e impresión 3D	Materiales avanzados, biotecnología y genómica
Crowdsourcing, la economía compartida y las plataformas peer-to-peer	Longevidad y envejecimiento de las sociedades	
Aumento de la clase media en los mercados emergentes	Nuevas preocupaciones de los consumidores sobre cuestiones éticas y de privacidad	
Rápida urbanización	Las crecientes aspiraciones de las mujeres y su poder económico	
Cambios en los entornos laborales y en los acuerdos de trabajo flexibles		
El cambio climático, las limitaciones de los recursos naturales y la transición a una economía más verde		

Megatendencias de la Cuarta Revolución Industrial

Dentro de todo este huracán que han significado las nuevas tecnologías en la forma de operar las industrias, surgen algunas tendencias que, tras imponerse globalmente, también están permeando hacia otros ámbitos. La primera y gran mega tendencia es la **Internet de las Cosas (IoT)**. Se refiere al salto sin vuelta hacia la hiperconectividad, es decir, conexión automática entre diversos niveles (personas /objetos). El hecho de que teléfonos, lavadoras, equipos eléctricos, pantallas, y otros equipos estén unidos y recolecten información como, por ejemplo, los gustos y preferencias de cada persona, creará un sistema de información que requerirá de diversos protocolos comunicacionales, junto con la necesidad de lograr una estandarización de los datos.

Otra mega tendencia son los **Sistemas Ciberfísicos**, que combinan infraestructura física con software, sensores, nanotecnología y tecnología digital de comunicaciones. Aquí también entra en juego el concepto de interoperabilidad, que es la habilidad de organizaciones y sistemas dispares y diversos para interactuar con objetivos consensuados y comunes, con la finalidad de obtener beneficios mutuos. Esta interacción implica que las organizaciones involucradas compartan información y conocimiento a través de sus procesos de negocio, mediante el intercambio de datos entre sus respectivos sistemas de tecnología de la información. Los sistemas ciberfísicos entonces, corresponden al primer cimiento de esta Cuarta Revolución Industrial.

En tercer lugar, la mega tendencia descrita es la **Producción Eficiente**. Este concepto también se puede ligar a las redes inteligentes (*smart grid*), puesto que como cada vez será más complejo contar con servicios tan usados y básicos como la energía eléctrica, se hará necesario optimizar su producción para lograr satisfacer toda la demanda que se genera día a día. Como ejemplo de las megatendencias anteriores, se puede mencionar el desarrollo de las Redes Eléctricas Inteligentes. Los edificios estarán conectados a las redes eléctricas de forma bidireccional, creando una *smart grid*, en la que tanto edificios como empresas eléctricas acrecentarán sus capacidades de administración de energía. El objetivo será optimizar al máximo la red de distribución de energía eléctrica, para un uso eficiente y sostenible de este recurso.

Las *smart grids* integran tecnologías avanzadas de adquisición de datos, métodos de control y comunicaciones de la red eléctrica tradicional. Implican la combinación de infraestructuras eléctricas y de tecnologías de la información y la comunicación (TIC), generándose una mayor convergencia tecnológica y, como ocurre con la primera megatendencia, una importante integración de equipos electrónicos inteligentes (IED, o *Intelligent Electronic Devices*) de distintas marcas, modelos y funcionalidades.

Otro ejemplo de estos desarrollos, como megatendencias, es la robótica colaborativa, la sensorización y la realidad aumentada. En cuanto a la robótica colaborativa, se ha llegado a ella gracias a los últimos avances en la tecnología de robótica y la miniaturización de los componentes electrónicos y procesadores. Caracterizados por ser ligeros, flexibles y fáciles de instalar, los robots colaborativos y la sensorización están diseñados especialmente para interactuar con humanos en un espacio de trabajo compartido sin

necesidad de instalar vallas de seguridad. Su reducido tamaño, flexibilidad y precio asequible los diferencian de los robots industriales tradicionales y los hacen idóneos, por ejemplo, para las pequeñas y medianas empresas. Ofrecen un rápido retorno de inversión, no requieren técnicos especializados para su montaje y puesta en marcha, se pueden reconfigurar para operar en diversos puntos de una línea de producción y permiten a las empresas optimizar su productividad. Representan una nueva era en la automatización industrial, porque permiten la introducción de robots en sectores y procesos industriales en los que, hasta ahora, no había sido viable. Esto significa el acceso a un mercado que supone el 90% de la industria.

Respecto a la realidad aumentada, queda establecido que es la visión de un entorno físico del mundo real, a través de un dispositivo tecnológico, es decir, los elementos físicos tangibles se combinan con elementos virtuales, logrando de esta manera crear una realidad aumentada en tiempo real. Consiste en un conjunto de dispositivos que añaden información virtual a la información física ya existente, es decir, añadir una parte sintética virtual a la real. Lo que hace la realidad aumentada es agregar elementos virtuales a una realidad existente, en lugar de crear esa realidad desde cero.

También es un ejemplo, asociado específicamente a la megatendencia de producción eficiente, la impresión 3D, el cual es un proceso aditivo que construye objetos de una capa a la vez, de abajo hacia arriba. La tecnología adecuada depende de los materiales, la estética, las propiedades mecánicas y el rendimiento que se requieren. Esta tecnología permite la fabricación de piezas mediante la aportación de material, a diferencia del tradicional (sustracción de material). Si se hace un paralelo con las bases de la Cuarta Revolución Industrial, es posible constatar que calza de lleno con la manufactura aditiva.

En cuarto lugar y como la gran mega tendencia que abarca todo el espectro de procesos y actividades, está el **Big Data**. Se trata de un nuevo término utilizado para identificar los conjuntos de datos que, debido a su gran tamaño, no pueden ser administrados con las herramientas típicas de software de datos. En lugar de definir *Big Data* como conjunto de datos de un gran tamaño concreto, por ejemplo, en el orden de magnitud de petabytes, la definición está relacionada con el hecho de que el conjunto de datos es demasiado grande para ser gestionado sin utilizar nuevos algoritmos o tecnologías. Por esto, el *Big Data Analysis* se está convirtiendo en una herramienta importante para mejorar la eficiencia y la calidad en las organizaciones, y su importancia va a aumentar considerablemente en los próximos años.

Para hacer frente al nuevo escenario que trae consigo el *Big Data*, se necesitan nuevas herramientas para poder trabajar. En este contexto, Doug Laney (2001) habla acerca de las 3V que se requieren para interactuar correctamente con el *Big Data*:

- Volumen: La cantidad de data que se está creando crece cada vez más, pero no así las herramientas y equipos que puedan procesarla.
- Variedad: el *Big Data* no es solo números, sino que contempla audios, videos, textos, por lo que es importante tener los conocimientos para relacionarse con esta diversidad de datos, así como también los equipos para procesarlos.
- Velocidad: los datos viajan hoy a una velocidad sin precedentes. Se necesita trabajar en tiempo real con aquellos datos que son relevantes para, por ejemplo, evitar fraudes o realizar ofertas personalizadas a clientes.

Transformación Digital: el enfoque del trabajo

Según la Universidad de Oxford, aproximadamente un 47% de la fuerza de trabajo de Estados Unidos está en riesgo de ser reemplazada por computadoras (Frey & Osborne, 2013). Por otra parte, McKinsey Global Institute (2017) concluye que casi la mitad de las actividades de trabajo a nivel mundial tienen el potencial de ser automatizadas* entre el 2025 y el 2050. Esto no distaría mucho de lo visualizado por Keynes en la década del 30', cuando promovía que el incremento de la eficiencia por medio de la tecnología ha estado tomando lugar más rápidamente de lo que podemos lidiar con el problema de la absorción del trabajo.

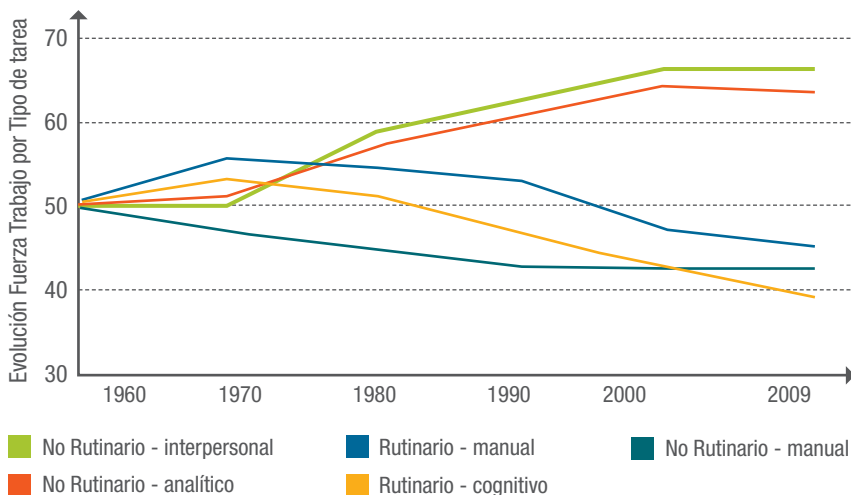
RUTINARIAS		NO RUTINARIAS		
MANUALES	COGNITIVO (Mental)	MANUALES	COGNITIVO-ANALÍTICAS (Pensamiento abstracto)	COGNITIVO-INTERPERSONALES
DEFINICIONES				
Actividades como producción y monitoreo; trabajos realizados en líneas de producción.	Actividades que están lo suficientemente bien definidas para que puedan ser llevadas a cabo por un trabajador con bajo nivel de cualificación.	Actividades que demandan adaptabilidad situacional, reconocimiento visual y de idioma, y quizás interacción persona a persona.	Actividades que requieren resolución de problemas, intuición y creatividad.	Además de lo anterior, estas actividades requieren la habilidad de mutar las acciones a realizar según el contexto, estableciendo, priorizando y revisando el objetivo o metas que se quiere conseguir.
¿AUTOMATIZABLE?				
Fácilmente automatizable y frecuentemente reemplazados por máquinas.	Crecientemente reemplazadas por algoritmos (softwares computacional).	Requiere cantidades modestas de entrenamiento (robótica avanzada).	Facilitadas y complementadas por computadores, sin poder ser reemplazadas por éstos.	Difícilmente reemplazables: requieren de habilidades de persuasión, negociación y gestión de personas.
EJEMPLOS				
Actividades de construcción, transporte y reparación: Cochechar, clasificar, ensamblaje repetitivo.	Actividades de escritorio: Bibliotecario, mantenimiento de registros o entrada de datos, servicio al cliente repetitivo (Ej.: venta transaccional).	Ocupaciones de servicio para asistir a otro: Conducir un camión, limpiar una habitación de hotel, preparar una comida.	Diagnóstico, análisis, y escritura: Pruebas de hipótesis en ámbitos de ciencia, ingeniería, derecho, medicina, diseño y marketing.	Alta adaptabilidad situacional: Analítico abstracto + habilidades de Management (Inteligencia Emocional)

* Se entiende como automatización la introducción de robots para el reemplazo, total o parcial, de una función que antes era realizada por operadores humanos.

Cortés (2016) infiere que, si bien los avances en la tecnología por sí mismos no son capaces de generar cambios en las proporciones ocupacionales, “la automatización ha hecho que una muestra de los trabajadores abandone las ocupaciones de rutina y se clasifiquen en trabajos manuales “no-rutinarios” (o bien queden sin empleo). En ese sentido, Autor y Price (Autor y Price, 2013) permiten observar a través de una muestra del mercado estadounidense que la composición de las funciones de los trabajadores ha ido mutando y polarizando a partir de 1970. La tendencia demuestra que el crecimiento se da en el número de posiciones que realizan tareas no-rutinarias (cognitivas e interpersonales), mientras que aquellas tareas rutinarias (manuales o cognitivas) van disminuyendo sustantivamente.

Fuerza Laboral en la economía de Estados Unidos 1960-2009

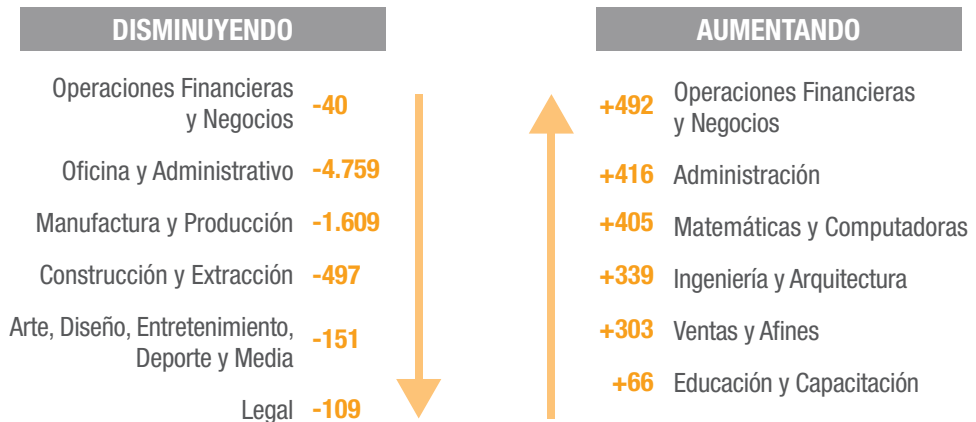
(todos los estamentos educacionales)



Adaptado de: D.H. & Price, B (2013, June). The changing task composition of the U.S labor market: An update of Autor, Levy & Murnane (2003). Disponible en: <http://economics.mit.edu/files/9758>

Un estudio de Carl Frey y Michael Osborne (Frey y Osborne, 2013) examina qué tan susceptibles a la Transformación Digital resultan algunas posiciones, prediciendo que el sector de los servicios, transporte y ocupaciones relacionadas a la logística y apoyo administrativo serán las más afectadas. Por su parte, el Foro Económico Mundial, en su informe sobre el Futuro de los Empleos, sentencia que, impactadas por la disrupción de este cambio tecnológico, se verán afectadas las siguientes familias de trabajo:

Familias de Trabajo Impactadas (En miles de puestos de trabajo)



Adaptado de: Future of Jobs Report, World Economic Forum.

Entonces cabe preguntarse: ¿son la digitalización y la automatización el real problema, o es que las empresas no se están preparando con la necesaria rapidez? Al parecer, y a diferencia de las demás revoluciones industriales, la discusión no está en cómo se reemplazarán a los trabajadores, sino cómo se transformarán los puestos de trabajo.

Si se busca el origen de la disyuntiva, es posible ver la necesidad de poner el acento en la educación para sacar adelante profesionales realmente preparados para enfrentar este nuevo escenario laboral en donde la tecnología es la gran protagonista. En este contexto, entra de lleno lo que se conoce como Educación STEM (Science, Technology, Engineering and Math). Esta permite que las personas desarrollen habilidades y competencias relacionadas con la innovación, independientemente de que se vayan a dedicar o no a una profesión científico-técnica. Es un nuevo modelo de aprendizaje basado en la enseñanza de las cuatro disciplinas de manera integrada en lugar de áreas de conocimiento separadas, con un enfoque interdisciplinar y aplicado. En otras palabras, la STEM se torna un elemento esencial para adaptarse a la incorporación de nuevas tecnologías que llevan consigo una mayor preparación para el nuevo modelo operativo frente a la automatización, como por ejemplo, para la toma de decisiones.

Competencias para la industria inteligente

“[...] la emoción es a menudo la verdadera salsa secreta de éxito en muchos puestos de trabajo, ya sea de alta habilidad o baja.” (Colvin, 2016)

Geoff Colvin, autor de *Humans are Underrated*, argumenta que, si bien pareciera que ningún trabajo está fuera de peligro de ser automatizado o digitalizado, las personas poseen características que están obligadas a demostrar. Las han aprendido a través de la historia y las determinan en cuanto a supervivencia: se trata de las habilidades relacionales.

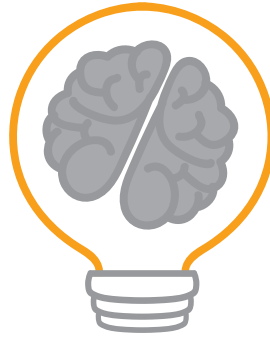
En ese sentido, Goldin y Katz (1998) señalan que las habilidades para empleos no-rutinarios y los trabajos que requieren de habilidades personales son menos susceptibles a la competencia por bajo costo. Colvin concluye: “las habilidades de interacción se están volviendo la clave para el éxito”. Por otra parte, Autor (2015) explica que la creciente importancia de las habilidades sociales en el mercado laboral se debería a que las tareas y competencias que no pueden ser sustituidas por la automatización son complementadas por ésta.

A diferencia de lo que proponía Peter Drucker en la década de los 50', Towers Watson y Oxford Economics notaron que los empleadores de la actualidad priorizan que sus empleados desarrollen competencias tales como construcción de relaciones o equipos, co-creatividad, lluvia de ideas, sensibilidad cultural y habilidad para manejar empleados diversos, por sobre aquellas relacionadas al análisis de datos o desarrollo de proyectos. En otras palabras, los trabajadores del conocimiento ya no estarían aptos para desenvolverse exitosamente en un mundo ahora relacional, puesto que en los próximos 5 a 10 años ya no se requerirá de trabajadores con más conocimiento, sino que agreguen valor mediante la interacción social.

En suma, Oosthuizen (2006) agrega: “si bien los cargos ejecutivos están lejos de ser obsoletos, estos deben crear nuevas e innovadoras formas de gestión en las organizaciones en la era de las máquinas inteligentes”, acentuando habilidades creativas, de liderazgo, y pensamiento estratégico (McAfee, Goldbloom, Brynjolfsson and Howard, 2014).

Por otra parte, Deming (2017) considera que la interacción entre personas en el lugar de trabajo es vital para mantener la producción en equipo, puesto que los trabajadores con habilidades sociales más desarrolladas podrían intercambiar tareas a menor costo, permitiéndoles trabajar con otros de forma más eficiente. Esa interacción no-rutinaria, tener la capacidad de adaptarse con flexibilidad a las circunstancias cambiantes, “está a la base de la ventaja del hombre por sobre las máquinas”. O como menciona Klaus Schwab, “estoy convencido que, en el futuro, el talento más que el capital representará el factor crítico de la productividad.”

La Revolución Digital en sí misma no transformará la educación. Es posible prepararse para la disrupción, pero ¿se está capacitando a las personas y desarrollando sus competencias?



LAS 10 MEJORES HABILIDADES

EN 2015		EN 2020
Resolución de Problemas Complejos	1	Resolución de Problemas Complejos
Coordinación con otros	2	Pensamiento Crítico
Gestión de Personas	3	Creatividad
Pensamiento Crítico	4	Gestión de Personas
Negociación	5	Coordinación con otros
Control de Calidad	6	Inteligencia Emocional
Orientación de Servicio	7	Juicio y Toma de Decisiones
Juicio y Toma de Decisiones	8	Orientación de Servicio
Escucha Activa	9	Negociación
Creatividad	10	Flexibilidad Cognitiva

Adaptado de: Future of Jobs Report, World Economic Forum.

Cuarta Revolución Industrial en Minería

La denominada Cuarta Revolución Industrial ha avanzado a pasos agigantados dentro de los procesos productivos y también en el quehacer diario de la humanidad. Pero ¿cómo se interna en la minería? ¿Se trata ya de una realidad dentro de las faenas? ¿Las operaciones están siendo llevadas a cabo bajo los cimientos de esta revolución?

A continuación, se muestra qué tecnologías en general cambiarán la extracción de los recursos naturales no renovables, esto considerando la minería no metálica y metálica:

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA
Drones	Detección de petróleo, gas o reservas minerales mediante imágenes hiperspectrales.
Inteligencia Artificial	Modelos de predicción numérica +AI para evaluar recursos de energía solar.
Digitalización <i>Big Data</i>	Uso de <i>Big Data</i> para optimizar producción y planear mantenimiento de equipos.
Robótica	Minería de fondos marinos.
Bioteconlogías Nanotecnologías	Producción ecoeficiente.
Nexo Energía - Agua - Alimentos	Topografía y recolección de data para determinar consumos.

Ahora bien, al revisar en detalle el estado actual de la extracción de recursos no renovables de acuerdo a las megatendencias definidas bajo la Cuarta Revolución Industrial se puede decir lo siguiente:

En primer lugar, y asociado a la primera megatendencia, la **Internet de las Cosas (IoT)**, el desarrollo de tecnologías autónomas para la minería ha sido un tema de debate por más de una década. Antes, ni la tecnología ni las operaciones estaban listas para dar el gran salto hacia la automatización, pero ahora que las empresas deben extraer el mineral tan rápida y eficientemente como sea posible para estar a la altura de una creciente demanda de metales, sumado a los gigantescos avances de la tecnología en los últimos años, se han generado las condiciones propicias para poner a la automatización al servicio de la minería (distintas tecnologías autónomas que se han abierto camino en esta industria).

Un ejemplo emblemático son los camiones autónomos. El sistema de acarreo autónomo equipa a cada camión con un sistema GPS de alta precisión, de manera que su posición sea conocida y controlada desde una sala de control en todo momento, además de un sistema de red inalámbrico, que le permite mantener un flujo continuo de información.

También cuenta con un sistema de detección de obstáculos que, usando sensores, le permite detectar la presencia de otros camiones, vehículos de servicios o personas que estén trabajando en la mina, en cuyo caso el camión reducirá su velocidad o se detendrá por completo.

Estos sistemas permiten al camión operar de manera segura en un ciclo de carguío, acarreo y descarga de manera autónoma, al mismo tiempo que interactúa con otros camiones, vehículos de apoyo y personas que se mueven por la operación minera.

Antecedente a destacar es que, en el año 2008, la División Gabriela Mistral, de Codelco Chile, fue la primera en integrar camiones autónomos en uno de sus procesos mineros.

En relación a los **Sistemas Ciberfísicos**, la robótica se hace cada vez más presente en la minería y su desarrollo crece en forma exponencial. La preocupación por la salud, integridad y seguridad de los trabajadores, sumado a que su presencia en el proceso minero incrementa las tasas de productividad, ha decantado en que la industria fije sus ojos en la tecnología y las soluciones que ofrece.

Un ejemplo del uso de estos sistemas es el despegue de cátodos, el cual antes era manual, realizado por operadores de manera directa, y hoy está completamente robotizado, existiendo una “máquina despegadora de cátodos” con brazos robóticos que realizan esta tarea. Otro ejemplo es la toma de muestras de material a granel, que antes era realizada con intervención humana, extrayendo una muestra de menor tamaño en la superficie del material y hoy es ejecutada con brazos robóticos que permiten asegurar una muestra más representativa, ya que estos penetran y extraen material en distintas capas.

Si bien la implementación de estas tecnologías implica importantes costos asociados, los resultados compensarían los esfuerzos no sólo monetarios, sino también humanos. Con ello se retira a personas donde hay riesgos de accidentes o de ambientes de trabajo inadecuados por carga suspendida, ruido excesivo, vibraciones, exposición a partículas, gases tóxicos y riesgo de atrapamiento o explosión, entre otros.

Con la robótica se reducirían los costos operacionales, optimizando los tiempos, permitiendo mayor efectividad y seguridad de los procesos.

En lo referido a la producción eficiente, un claro ejemplo es la **Fabricación Aditiva**, que busca organizar los medios de producción haciéndolos más eficientes, esto considerando la libertad de las técnicas aditivas de diseño y a la ausencia de restricciones que si afectan a otros métodos. Otra de las grandes ventajas es la adaptabilidad, pues es capaz de fabricar piezas totalmente complejas y 100% orientadas a la necesidad de cada requerimiento. Un ejemplo es la fabricación de piezas multimaterial, esto es, una pieza con una base interior sencilla y de características determinadas y superficies añadidas por fabricación aditiva de otros materiales de alta resistencia al desgaste. También la posibilidad de reparación de piezas de alto valor sin tener que hacerlas nuevas e inclusive realizarlas in situ. Esto sería de gran valor en la minería, permitiendo un mejor manejo de almacenamiento, disminución de costos por gastos de envío y a su vez permitiendo disminuir los tiempos de reparaciones o cambios.

Uno de los desafíos importantes que ha enfrentado la industria minera es incorporar *Big Data* en sus labores diarias y ocupar los datos obtenidos como un beneficio para el negocio. En este sentido, lo principal es decidir qué datos deben ser recopilados y analizados, poder seleccionar aquellos que son relevantes para la operación que se está realizando, mientras otros puedan quedar almacenados y ser ocupados en un futuro. La creación de un consolidado de datos es otro desafío importante para la industria minera. Contar con diversos sistemas, proveedores, plataformas y capital humano con las competencias requeridas para hacer dichos análisis se hace indispensable, puesto que interpretar los datos recopilados no es una tarea sencilla de realizar.

Junto con todo lo anterior, si se ejecuta una correcta utilización del Internet de las Cosas, el equipo podría estar equipado con sensores que envían datos sobre sus operaciones en tiempo real alimentando esta enorme base de datos.

Mediante el uso de *Big Data* para hacer predicciones, las empresas mineras no sólo aumentarían la confiabilidad general de sus máquinas, sino que también mejorarían la eficiencia de las operaciones comerciales y terminaría potencialmente ahorrando millones de dólares. Es un hecho que con el uso de todos estos equipos que funcionan de manera autónoma, se producirá un aumento contundente de los datos que se generan en las distintas instancias del proceso minero. Esta acumulación de “data”, tendrá que ser almacenada en alguna parte y es aquí en donde surge la necesidad de crear un “*Big Data* de la Minería”.

Contar con *Big Data* y ser capaces de gestionar eficientemente dicha información puede otorgarle ventajas competitivas a la industria minera, ya que se pueden tomar decisiones con información con la que antes no se disponía.

El problema es que aún no se están ocupando las tecnologías apropiadas para poder analizar dichos datos y ocuparlos como una ventaja y mejorar la productividad. Un ejemplo del efecto que puede tener el uso de *Big Data* en minería es que se podría predecir cuándo un equipo estaría por fallar o sería necesario hacerle mantenimiento. IBM, con la tecnología que está utilizando, puede predecir cuándo una pieza del equipo podría estar por fallar, todo esto a través de análisis de datos en tiempo real (mining.com, 2017).

Un ejemplo tangible de cómo el *Big Data* puede ser incorporado en esta cadena, es contar con un modelo en minería basado en la Gestión Integrada de la Operaciones. Esto facilita una planificación colaborativa, focalizada en aspectos críticos para el negocio, permitiendo enfrentar, por ejemplo, la alta variabilidad de los procesos mineros, reduciendo pérdidas; gestionar eficientemente recursos energéticos y mantener controlados aspectos de seguridad de las personas, por mencionar algunos casos. En definitiva, incrementa la eficiencia y productividad.

Este modelo es soportado gracias a los Centros Integrados de Operaciones (CIO), ya que es en ellos donde se registra y analiza información fidedigna y on line de los procesos mineros, logrando de esta forma una visión en tiempo real de la operación en su

conjunto. Lo descrito posibilita una toma de decisiones de gestión en forma integrada.

En este sentido, es posible conectar directamente el uso de estos CIO con los Sistemas Ciberfísicos propuestos como uno de los cimientos de la Cuarta Revolución Industrial. Esto porque un Sistema Ciberfísico es todo aquel dispositivo que integra capacidades de computación, almacenamiento y comunicación para controlar e interactuar con un proceso físico. Los Sistemas Ciberfísicos están normalmente conectados entre sí y, a su vez, conectados con el mundo virtual y las redes digitales globales.

Todo esto implica que algunas competencias sean modificadas o que simplemente se creen otras nuevas, en las cuales se reflejen los conocimientos y habilidades que es necesario tener para enfrentarse a un equipo automatizado o autónomo sin ningún inconveniente.

EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA EN MINERÍA

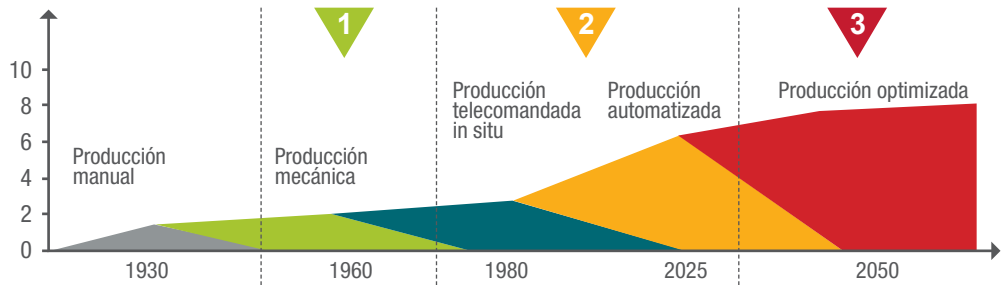
La minería durante mucho tiempo fue operada de manera manual, pero a mitad del siglo XX comenzó a experimentar los primeros cambios en su operación y ya entre los años 1960-1970 se empezaron a crear e incorporar los primeros equipos automatizados. Ejemplos de estos son los rieles de transporte, los taladros automatizados y las máquinas subterráneas controladas (Fisher, S., Schnittger, S., 2012).

Fue así como con el paso del tiempo se empezaron a crear nuevos equipos con tecnologías más avanzadas para aumentar la productividad en la industria minera. Un ejemplo de lo anterior, y de los beneficios que trae consigo la incorporación de tecnologías, es que se han logrado incrementos significativos en la productividad gracias al aumento del tamaño de los camiones: Se pasó de una carga útil de 25 toneladas a unas 400 toneladas hoy en día (junto con la mejora sustancial de la eficiencia energética que esto trae consigo) (Giurco et al. 2010).

Innovar y crear nuevas soluciones con las tecnologías del momento no es un proceso fácil. A pesar de lo anterior, la innovación en minería ha ido aumentando en el último tiempo y se han tratado de implementar tecnologías propias del siglo XXI en la industria. Muchas mineras están pasando ahora mismo por este proceso de cambio en la forma de operar sus equipos.

Para hacer frente a las demandas y complejidades que hoy en día presenta el mercado, las empresas mineras chilenas han ido adoptando un nuevo modelo de negocio y una nueva forma de operar. Si el propósito es dar un giro al uso de la tecnología autónoma, no basta solo contar con equipos autónomos, sino que las empresas deben cambiar el diseño de las operaciones actuales, conocer los cambios en el negocio que esto producirá, así como también los cambios en las competencias de los trabajadores que tendrá la incorporación de esta tecnología. Dentro de este contexto, el término automatización se erige como el estandarte de esta nueva forma de enfrentar el trabajo.

Productividad en toneladas por persona por año (miles de toneladas)



1 MECANIZACIÓN

- Estandarización de procesos.
- Cambios relevantes en capacidades productivas.
- Operación de equipos requiere de participación de personas.

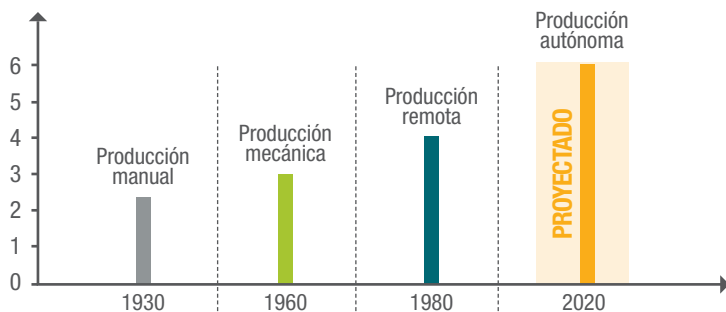
2 TELECOMANDO AUTOMATIZACIÓN

- Modelamiento y planificación integradas para una mayor calidad.
- Mayor visibilidad de las etapas de la cadena de valor.
- Información detallada proveniente de los equipos y planta habilitadora de minería telecomandada.

3 OPTIMIZACIÓN

- Mayor nivel de automatización guiada por menor mano de obra y minería telecomandada.
- Limitación de cuellos de botellas por la adopción de un proceso más continuo.
- Altos niveles de visibilidad a lo largo de la cadena de valor y entre operaciones.
- Interoperabilidad.

Productividad en toneladas/personas



*Fuente: ABB Integrated Mine Automation

Estado de las cosas: Evolución Tecnológica en la minería de hoy

Con el fin de poder visualizar cómo la tecnología va permeando los procesos mineros, es necesario primero hacer algunas distinciones entre los términos automático y autónomo, también establecer de qué forma se están operando los equipos hoy, cómo funciona el sistema cuando ya está operando la autonomía y en qué medida el *Big Data* está influyendo en el manejo del proceso.

Camino desde la automatización hacia la autonomía

Para poder entender la automatización dentro del desarrollo tecnológico presente, es necesario diferenciar los conceptos de automatización (equipos automatizados) y autonomía (algoritmos, inteligencia artificial), para luego comprender cómo estos han evolucionado en el contexto de la tecnología minera.

La automatización de los equipos supone que el operador realiza cualquier requisito antes o después de la secuencia automatizada para completar la tarea. Se necesitan múltiples secuencias de automatización para permitir que el equipo funcione de forma semi-autónoma o autónoma. La operación autónoma, en tanto, se refiere al estado de un equipo que no necesita ayuda humana y realiza las operaciones programadas bajo condiciones previamente definidas.

Por lo tanto, cuando se habla de automatización, se hace referencia al reemplazo total o parcial de una función que antes era realizada por operadores humanos, ya sea una operación mental o física (Parasuraman & Riley, 1997). El equipo minero automatizado opera a través de una rutina programada o es controlado centralmente, con relativamente pocas personas supervisando la operación. Para lograrlo, es necesario contar con un sistema computarizado (Lynas et al, 2011) que sea capaz de mostrar el funcionamiento de los equipos en tiempo real y se puedan operar con facilidad, gracias a la información proporcionada por los computadores. Es posible alcanzar distintos grados de automatización, incorporando y disminuyendo procesos de manera segmentada. Así, en puntos como el control directo, la supervisión y los sistemas automatizados y autónomos describen un continuo cambio de niveles crecientes de automatización y disminución de la intervención humana.

La automatización con altos niveles de autonomía puede realizar funciones con solo iniciar la entrada del operador y en los niveles más altos, las funciones no pueden ser anuladas por el operador humano (Parasuraman, 1997 en Lynas y Horberry, 2011). Según datos de la OCDE, se estima que entre el 2030 y 2040, un 57% de los trabajos serán automatizados en los países que pertenecen a esta organización.

A pesar de la capacidad para disminuir los niveles de participación del hombre, varios autores destacan la importancia continua del ser humano. Lynas y Horberry (2011) estudiaron procesos en los que falla la automatización debido a que se subestima el papel de la persona que realiza la tarea, en particular su capacidad de compensar lo inesperado o su rol continuo en la observación de datos. Sheridan (2002) también sostiene que los sistemas automatizados a menudo carecen de la flexibilidad de los humanos, necesarios para manejar situaciones imprevistas. Por esta razón, en algunos

casos eliminar cien por ciento a los operarios de terreno no sería la mejor solución.

En el sector minero, la automatización se ha utilizado en los últimos 50 años para mejorar la eficiencia, eliminando a los operadores de entornos riesgosos y mejorando la exactitud y fiabilidad de la recopilación y procesamiento de datos para informar sobre la gestión ambiental y el procesamiento de minerales. Se ha aplicado tanto a la maquinaria como a equipos utilizados en el proceso de minería (tales como perforación, chorreado, carga y acarreo) a sistemas de monitoreo, control y comunicaciones y herramientas de planificación y diseño (Lever y McAree, 2003).

Pero, ¿cómo es posible lograr un funcionamiento autónomo? La respuesta contiene cuatro puntos claves: cambios en la infraestructura, nuevos conocimientos, mejora en la comunicación y centros integrados de operación.

Hay dos opciones para introducir tecnología autónoma en minería. Una, de “todo o nada”, donde el cambio se produce desde equipos operados manualmente a equipos completamente autónomos y en donde no es necesaria la presencia de un operador en el equipo, o una opción más “moderada” en la cual el equipo es asistido –en primera instancia- por un usuario, luego pasa a ser teleoperado y finalmente se convierte en un equipo cien por ciento autónomo, disminuyendo así el impacto que podría tener un cambio tan disruptivo en los trabajadores.

Es importante considerar que para que se produzca este cambio no basta con cambiar los equipos y máquinas, sino que también tienen que existir cambios en diversos procesos para que los equipos puedan funcionar de mejor manera. Por ejemplo, la mayor parte del trabajo involucra aplicaciones superficiales con uso de GPS, por lo que no sería suficiente contar con un camión o equipos que funcionen de manera autónoma, si es que no se producen cambios previos en las instalaciones mineras. Otro cambio que se puede dar es en los conocimientos de los operadores, ya que se estaría transformando su trabajo actual y/o agregando nuevas tareas, por lo que habría que tener un capital humano calificado para ejecutar la nueva operación.

Para que se pueda contar con operación remota en minería es importante tener en consideración el factor que juega la comunicación en dicho proceso. Cuando se utilizan equipos mecánicos con operadores en terreno, hay que considerar que son ellos quienes toman las decisiones basándose en su visión, sonidos del entorno y vibraciones de la máquina, es decir, ponen todos sus sentidos a disposición del trabajo que están realizando (Hemani & Hassani, 2009). A diferencia de la operación mecánica, una operación tele remota debería contar con un feedback apropiado, más que solo videos que muestren cómo está operando la máquina. Dentro de las instalaciones mineras debería existir una buena conexión a internet, lo cual resulta importante al minuto de controlar y operar las máquinas en tiempo real (Dadhich, Bodin & Anderson, 2016).

Ya que al ver por video el funcionamiento de la máquina hay vibraciones, sonidos o imágenes que se podrían pasar por alto o que puedan ser un poco confusas, existen cuatro dispositivos que entregan el feedback correspondiente para que así se pueda dar una operación tele remota (Dadhich, Bodin & Anderson, 2016). El contacto con la máquina se puede dar siempre y cuando sea para mejorar las condiciones de eficiencia.



Para que todo lo anterior funcione, es necesario que exista un lugar desde donde se puedan monitorear las condiciones de la máquina. Por esta razón, los Centros Integrados de Operación resultan relevantes al querer contar con equipos teleoperados y/o equipos autónomos. Pero no basta solamente con el monitoreo, sino que además se requiere que este espacio sirva como una herramienta para tomar decisiones alineadas con los intereses del negocio.

El uso de la automatización en la minería también ha implicado varias formas de control remoto. Aquí es donde las máquinas y los procesos son supervisados y controlados en una ubicación alejada de la actividad. Esto incluye operación remota (por ejemplo, perforación realizada por trabajadores que usan un joystick a una distancia) y tele operación directa (por ejemplo, control del proceso de extracción desde un ordenador en una sala de control) (Meech & Parreira, 2011).

Estas formas de control remoto han permitido que los operadores se ubiquen en entornos más seguros y que además se centralicen las funciones que reúnen sistemas de control normalmente dispares. Aquí el personal que supervisa esos sistemas está muy cerca uno de otro. Esta habilidad permite una mayor conciencia del estado de cada componente de una operación, mejorando la integración de la información disponible y proporcionando una visión de toda la operación. Hoy, con la creciente capacidad de los sistemas de comunicación, la avanzada tecnología de detección, los procesos de sistemas, la navegación y tecnología de imagen, es posible ubicar los centros de control remoto a mayores distancias de las minas.

Contar con un Centro Integrado de Operación (CIO) implica contar con una estrategia determinada, así como también cambiar procesos, tecnologías y capital humano. De esta manera se puede tener una vista de toda la cadena de producción e identificar posibles problemas, mantenciones, e in situ generar soluciones a dichos problemas, y encontrarles soluciones en tiempo real (Cyliani, s.f).

En síntesis, es cada vez más evidente que todos los caminos conducen hacia una operación autónoma. Entre los beneficios que acarrea su implementación, es posible identificar cinco puntos clave:

Fuerza laboral calificada: debido a la incorporación de equipos con tecnología autónoma, varias funciones que antes eran realizadas por un operador pasarán a ser llevadas a cabo por dichos equipos, lo que hace cuestionarse qué es lo que pasará con los trabajadores que realizan estas funciones. Cabe mencionar que con la incorporación de equipos autónomos no se busca un reemplazo de personas, sino que el desafío es capacitar y entrenar a los trabajadores para desempeñar nuevas funciones y adecuarse a los cambios tecnológicos que se están produciendo. Poder contar con trabajadores con mayores conocimientos y mejor calificados es el beneficio que dejará a las mineras la incorporación de este tipo de tecnologías.

Desempeño: los equipos autónomos deberían funcionar de forma más predecible. Con un menor control directo del operador sobre los camiones y otros equipos, el tiempo de inactividad debería reducirse drásticamente. Esta mejora en el rendimiento del equipo debe mejorar directamente la productividad de la mina y los rendimientos. Al no contar con operadores directos en los equipos los costos de producción van a disminuir, y también se podrían reducir otros costos operativos, ya que sin la operación humana, la disponibilidad de equipos y las tasas de utilización deberían aumentar, se disminuirían los tiempos de inactividad al hacer cambio de turno y en mantenimiento que no esté planificado (Accenture, 2010). El trabajo humano se reduce y se aumenta la eficiencia, ya no hay un contacto directo con los equipos, sino que hay un contacto máquina a máquina, con lo que se pretende mejorar y aumentar el desempeño (Bloem, van Doorn, Duivestein, Excoffier, Maas, van Ommeren, 2014). Cabe señalar que el desempeño de los equipos podría mejorar debido a un mantenimiento predictivo, en vez de un mantenimiento programado. Con las nuevas tecnologías, se podrá monitorear con mayor precisión el estado de los equipos y así será posible identificar la necesidad de cuándo realizar la mantención correspondiente.

Seguridad: se espera que el uso de equipos autónomos reduzca los eventos relacionados con la seguridad simplemente mediante la eliminación o reducción significativa de la presencia del operador en el equipo. Dada la poca presencia de operadores en terreno se pretende que los errores comunes disminuyan o desaparezcan del todo. Al reducir el número de operadores, el equipo autónomo puede ayudar a que en los lugares más duros y riesgosos aumente la productividad (Accenture, 2010).

Desarrollo sustentable: hoy en día no basta con que las empresas mineras cumplan las obligaciones formales de una explotación minera. Además de esto, se requiere que las empresas estén conectadas con las comunidades locales, con sus necesidades y desarrollo, para mitigar los posibles efectos adversos que sus operaciones podrían causar, además de tener en mente el impacto medio ambiental que puedan tener (Moffat & Zhang, 2013). Los procesos automatizados pueden ayudar a disminuir el impacto ambiental mediante el modelamiento de las mejores maneras de manejar y reducir la contaminación y posibles daños a su entorno. Previo a incorporar los equipos automatizados a la operación se hacen simulaciones, por lo que las pruebas que se realizan no tienen un gran impacto, y así las organizaciones pueden implementarlos sin pruebas y errores en el campo (Dionne, 2014). La incorporación de este tipo de tecnologías podría ayudar a dar viabilidad a nuevos proyectos mineros o aumentar el tiempo de operación de los ya existentes, pero teniendo en consideración siempre el impacto que una faena de este tipo podría tener y qué es lo que se podría hacer para disminuir el impacto negativo en la comunidad y en el medio ambiente. La Iniciativa Minera Global (GMI por sus siglas en inglés) señala que se debe estar consciente de los nuevos desafíos socio ambientales que tiene que enfrentar las mineras en el mundo actual y específicamente en lo referente al desarrollo sustentable.

Mejoras en productividad: la productividad de una mina se determina por cuántas toneladas de mineral se produce por cada pieza del equipo, en el período de un año. El uso de equipos autónomos puede mejorar la productividad en dos líneas; la utilización del equipo y la eficacia del operador.

- La utilización del equipo se mide como el número de horas operadas por año sin tiempo de inactividad inducido por el operador. La autonomía aumentaría la utilización del equipo al reducir el número de horas inactivas, como ocurre por ejemplo con el tiempo que se pierde durante un cambio de turno, condiciones de seguridad o en otras situaciones que pueden reducir el tiempo del operador para operar el equipo con seguridad (Accenture, 2010).
- La eficacia del operador se mide por las toneladas que un operador puede mover por hora. La variación de rendimiento inducida por el operador podría ser casi eliminada por equipos autónomos. Por ejemplo, si la efectividad manual del operador se encuentra entre el 50 y el 70%, el uso de equipos autónomos podría aumentar potencialmente al rango del 90%. Esto podría resultar en un aumento de productividad del equipo de 20 a 40% (Accenture, 2010).

Formas de operar un equipo

Tras el análisis de los procesos mineros que son parte de este estudio, es posible establecer que hoy en día hay tres formas de operar los equipos: manual, a través de la teleoperación y de manera autónoma.

- 1. Operación manual:** el trabajador está sentado en la máquina y la opera manualmente. Existe una estandarización de procesos y se generan cambios relevantes en las capacidades productivas (ABB Group, 2016).
- 2. Teleoperación:** se hace con máquinas controladas por un operador desde otro lugar, a distancia. Esto es posible gracias al uso de cámaras, sensores y software. En este formato se produce una mayor visibilidad de las etapas y hay información más detallada de los equipos y su funcionamiento (ABB Group, 2016). En este punto ya se puede hablar de un proceso con nivel medio de automatización. Según Dadhich, Bodin & Andersson (2016) existen tres tipos de teleoperación:
 - a) In-sight tele operation:** el operador está afuera de la máquina y la controla manualmente, pero a distancia.
 - b) Operación tele remota:** el operador está en una sala de control, lejos de donde la máquina está operando, y desarrolla todas las tareas de la máquina con la ayuda del video y audio que entrega el feedback de la máquina.
- 3. Automatización:** la máquina desarrolla varias tareas por su propia cuenta con la asistencia de un operador, que interviene en tareas cuando la supervisión de un humano es importante.
- 4. Operación completamente autónoma:** la máquina hace todas las tareas por sí misma. El operador está presente solo para dar comandos de alto nivel y preocuparse de posibles emergencias y fallas. En este punto, el proceso se encuentra automatizado en su totalidad. Con este tipo de operación se pretende llegar a optimizar ciertos procesos, eliminando los cuellos de botella y consiguiendo tener visión de todo el proceso y las operaciones que se realizan (ABB Group, 2016).

ESTADO ACTUAL DE LAS TECNOLOGÍAS

Con el objetivo de contar con un catastro que permita establecer una frontera tecnológica de mediano plazo, se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica que diera cuenta de cómo es la realidad actual en cuanto al uso de tecnologías, tanto en las empresas mineras como en las proveedoras, que son parte fundamental del proceso productivo.

En el siguiente cuadro mostramos de forma detallada el resultado de este análisis, donde se explicitan para cada proceso y subproceso los equipos/maquinaria y el máximo Nivel Tecnológico identificado:

Extracción: Exploración y Sondaje

EQUIPOS	FUNCIONAMIENTO	MÁXIMO NIVEL TECNOLÓGICO IDENTIFICADO
PERFORADORA	Al proveedor se le puede pedir en una configuración de montaje sobre orugas o bien sobre camión. El montaje del camión es compatible con camiones internacionales. Además se autorregula según el tipo de roca al que se ve enfrentado el equipo.	TELEOPERADO

Extracción: Rajo Abierto

EQUIPOS	FUNCIONAMIENTO	MÁXIMO NIVEL TECNOLÓGICO IDENTIFICADO
PERFORADORA	Es posible manejar hasta tres equipos desde una sola estación de control. Se autorregula según el tipo de roca al que se ve enfrentando el equipo.	TELEOPERADO
PALAS	Se denomina pala excavadora o pala mecánica a una máquina autopropulsada, sobre neumáticos u orugas, con una estructura capaz de girar al menos 360° (en un sentido y en otro, y de forma ininterrumpida) que excava terrenos, o carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de la cuchara, fijada a un conjunto formada por pluma y brazo o balancín, sin que la estructura portante o chasis se desplace. Las palas eléctricas son las excavadoras cargadoras de mayor tamaño que existen.	OPERACIÓN MANUAL
CARGADOR FRONTAL	Cuentan con un sistema sensible a la carga y motores de alto rendimiento, con gran ahorro de combustible y bajas emisiones de gases. Cuentan con cojinetes del eje trasero de lubricación permanente. Su gran funcionalidad les permite ser utilizados en el área forestal, agricultura, construcción de caminos y carreteras, en tratamiento de áridos y en la minería.	OPERACIÓN MANUAL
CAMIONES	El camión minero autónomo es una tecnología que se basa en el empleo de la señal satelital GPS, en conjunto con otras señales de apoyo en tierra, como sistema de posicionamiento y navegación de estos equipos de transporte, sin la necesidad de operadores o de un telecomando remoto.	AUTÓNOMOS
BULLDOZER	Es un tipo de topadora que se utiliza principalmente para el movimiento de tierras, de excavación y empuje con otras máquinas. Aunque la cuchilla permite un movimiento vertical de elevación, con esta máquina no es posible cargar materiales sobre camiones o tolvas, por lo que el movimiento de tierras lo realiza por arrastre.	OPERACIÓN MANUAL

EQUIPOS	FUNCIONAMIENTO	MÁXIMO NIVEL TECNOLÓGICO IDENTIFICADO
SISTEMA DE DESPACHO	Sistema de planificación dinámica (sistema de despacho) que dirige y controla los movimientos de los equipos de carguío y transporte en forma remota, con el objetivo de cumplir diariamente con el programa de extracción. Este sistema se basa en tecnología computacional, y efectúa la combinación de los diferentes frentes de carguío, el tipo de material y sus destinos, y los equipos asociados al movimiento de material (palas y camiones), todo lo cual obedece a una programación diaria que es manejada por los ingenieros a cargo de la mina.	TELEOPERADO
SIGNOS VITALES EQUIPOS	Es un sistema de monitoreo satelital para equipos de alto tonelaje (minería y producción). Permite acceder de manera remota a la información de la operación de los equipos y conocer la condición de los componentes mayores. Está diseñado para contribuir a la reducción en el costo de mantenimiento y mantener una disponibilidad y confiabilidad óptima.	OPERACIÓN MANUAL
CHANCADOR GIRATORIO	El sistema de automatización simplifica el funcionamiento y proporciona información en tiempo real sobre la condición del chancador.	AUTÓNOMO
CHANCADOR MANDÍBULA	Con un alto nivel de automatización y excelentes características de enclavamiento, una o más unidades pueden ser controladas por un solo operador.	SEMIAUTÓNOMO
CHANCADOR DE CONO	El sistema de automatización simplifica el funcionamiento y proporciona información en tiempo real sobre la condición del chancador.	AUTÓNOMO

Extracción: Subterránea

EQUIPOS	FUNCIONAMIENTO	MÁXIMO NIVEL TECNOLÓGICO IDENTIFICADO
LHD	Operación desde una Sala de Control acondicionada versus operación on board.	TELEOPERADO
JUMBO PRODUCCIÓN	La automatización del control de diversas funciones del equipo sustituye a la experiencia humana y las múltiples órdenes de palancas de mando e interruptores con información computarizada basada en sensores y software. La ventaja más notable de la automatización es que el sistema de control no se desvía de lo que se le ha enseñado hacer.	TELEOPERADO
MARTILLO	Con el sistema de control opcional puede añadir funciones automatizadas fáciles de usar para aumentar la seguridad, la precisión y la producción.	TELEOPERADO
DUMPER	Vehículo autopropulsado sobre grandes ruedas, con caja abierta y muy resistente. Se utiliza para transporte de grandes volúmenes de acarreo de tierra o roca.	OPERACIÓN MANUAL
FERROCARRIL	Características de esta locomotora son su sistema de protección antideslizamiento y deslizamiento altamente eficiente y su tecnología de tracción de CA de última generación, que también garantiza un mantenimiento reducido y costos de inactividad. La locomotora se puede dividir en cuatro módulos separados para facilitar el transporte y el montaje bajo tierra.	SEMIAUTÓNOMO

Procesamiento: Proceso de concentrado

EQUIPOS	FUNCIONAMIENTO	MÁXIMO NIVEL TECNOLÓGICO IDENTIFICADO
MOLINO BARRAS	Operación automática que ahorra energía.	AUTOMATIZADO
MOLINO BOLAS	Analiza una amplia gama de señales y acciona los ajustes automáticos para administrar el equipo y el rendimiento del proceso, lo que resulta en una mejor eficiencia de molienda.	AUTOMATIZADO
MOLINO SAG	Analiza una amplia gama de señales y acciona los ajustes automáticos para administrar el equipo y el rendimiento del proceso, lo que resulta en una mejor eficiencia de molienda.	AUTOMATIZADO
HARNERO	Los harneros vibratorios son equipos de tipo mecánico y eléctrico con baja amplitud y alta frecuencia, que en resumen constan de superficies de mallas o chapas perforadas con una determinada abertura. Estas mallas o chapas están sobre un marco que está adherido a las paredes del equipo denominado caja vibratoria la cual se encuentra a una pequeña inclinación. Esta caja es movida por un motor que hace funcionar una polea y un eje que cruza a la estructura. Además se constituye de una caja de alimentación y el marco base que sostiene a toda la estructura a con los amortiguadores.	OPERACIÓN MANUAL
CHANCADOR PEBBLES	El sistema de automatización simplifica el funcionamiento y proporciona información en tiempo real sobre la condición del chancador.	AUTOMATIZADO
HPGR	La velocidad y la presión se pueden ajustar para cambiar las condiciones del mineral y las exigencias del circuito hacia abajo.	SEMIAUTÓNOMO
MOLINO VERTICAL	El sistema de automatización simplifica el funcionamiento y proporciona información en tiempo real sobre la condición del molino.	AUTOMATIZADO
HIDROCICLONES	Sistema analiza una amplia gama de señales y ejecuta ajustes automáticos para gestionar el rendimiento de los equipos y del proceso con el fin de ofrecer una mayor eficiencia en la molienda.	AUTOMATIZADO

EQUIPOS	FUNCIONAMIENTO	MÁXIMO NIVEL TECNOLÓGICO IDENTIFICADO
CELDAS COLUMNAS	La aplicación de control avanzado de procesos para circuitos de flotación está diseñada para gestionar el flujo de material a través del circuito de flotación y los niveles de pulpa y espuma.	AUTOMATIZADO
CELDAS DE FLOTACIÓN	El sistema monitorea varias señales en el sistema de control de la planta y manipula una serie de actuadores clave para lograr la máxima recuperación y grado de concentrado.	AUTOMATIZADO
ESPEADOR	<p>Controles sencillos y fáciles de usar que mantienen todo el proceso en funcionamiento de forma eficiente.</p> <p>Para asegurar que todos, desde los operadores hasta los técnicos, puedan navegar y usar el sistema fácilmente, la plataforma usa una interfaz de usuario gráfica, intuitiva y común con representaciones claras y precisas del proceso de producción.</p>	AUTOMATIZADO

Procesamiento: Hidrometalurgia

EQUIPOS	FUNCIONAMIENTO	MÁXIMO NIVEL TECNOLÓGICO IDENTIFICADO
CORREAS	Tiene control de procesos y automatización.	AUTOMATIZADO
PILAS	Una vez preparado el mineral, se coloca en montones de sección trapezoidal y altura calculada (pilas) para proceder a su riego con una solución preparada. Tras percollar la solución a través de toda la pila, se recolectan los líquidos enriquecidos que se llevan a la planta de proceso de recuperación de la sustancia mineral (sal o metal).	MONITOREO, VISUALIZACIÓN
APILADOR RADIAL	Un operador puede controlar todas las funciones del sistema, así como supervisar el estado de la máquina y realizar la resolución de problemas, ya sea desde una sala de control remoto, o desde una cabina del operador ergonómicamente dispuesta.	AUTOMATIZADO
ROTOPALA	Es una máquina de producción continua en la que las funciones de arranque, carga y transporte, dentro de ella están separadas, siendo realizadas las dos primeras por el rodete y la última por un sistema de cintas transportadoras.	OPERACIÓN MANUAL
CELDAS ELECTROLÍTICAS (EW)	Equipo utilizado para la descomposición mediante corriente eléctrica de sustancias ionizadas denominadas electrolitos. Los electrolitos pueden ser ácidos, bases o sales. Al proceso de disociación o descomposición realizado en la celda electrolítica se le llama electrólisis.	VISUALIZACIÓN
LAVADORA DE CÁTODOS	Realiza automáticamente todas las tareas de manejo de materiales para desechos de ánodo. La lavadora de desechos lavará y empaquetará eficientemente los ánodos de desecho en las plantas de refinado de cobre para su reciclaje. Utiliza la circulación de agua de lavado cerrada para un proceso de lavado limpio, sin limo y seco.	AUTOMATIZADO

EQUIPOS	FUNCIONAMIENTO	MÁXIMO NIVEL TECNOLÓGICO IDENTIFICADO
DESPEGADORA DE CÁTODOS	<p>El transportador de entrada recibe la lingada de cátodos y traslada uno a uno hacia la estación de despegue. En la posición final del transportador, el manipulador robótico toma el cátodo, lo desplaza a través de la estación de lavado y lo inserta en la estación de separación, donde el cátodo es sometido a flexión, martilleo y separación para desprender el cobre de la placa madre. El cobre en forma de libro, cae sobre el transportador de cátodos, el cual avanza paso a paso hasta llegar a la estación de corrugado. Al final del transportador de cátodos, un manipulador toma los libros y los arma en paquetes sobre el transportador de paquetes. La placa base que ha sido liberada en la estación de separación es tomada por otro manipulador robótico y posicionada sobre el transportador de salida, por medio del cual el cátodo regresa a la celda.</p>	AUTOMATIZADO

Procesamiento: Pirometalurgia

EQUIPOS	FUNCIONAMIENTO	MÁXIMO NIVEL TECNOLÓGICO IDENTIFICADO
HORNO DE FUSIÓN (HF)	La tecnología HF corresponde a un proceso de fusión-conversión continua de concentrados, desarrollado por Outkumpu, que aprovecha el calor generado en las reacciones del oxígeno presente en el aire del proceso, con los sulfuros de hierro contenidos en el concentrado alimentado al reactor. Dependiendo principalmente de las características mineralógicas o químicas del concentrado, de los flujos y enriquecimientos en oxígeno del aire soplado, se generarán importantes cantidades de calor en el reactor, suficientes para tener un proceso totalmente autógeno, donde se funden, además, materiales fríos de recirculación con cobre o carga fría, generada en el proceso productivo y utilizada para regular la temperatura del horno.	AUTOMATIZADO
HORNO ELÉCTRICO DE LIMPIEZA DE ESCORIA	En el HELE se genera la reducción del contenido de Fe3O4, permitiendo mejorar las propiedades fisicoquímicas de la escoria optimizándose la separación y la sedimentación de las partículas del cobre. El metal blanco obtenido contiene un 70% de cobre y la escoria descartable queda con un contenido de cobre de alrededor de 0.70%.	AUTOMATIZADO
HORNO FLASH	En la torre de reacción se encuentra el quemador donde se alimenta la carga. Una lanza central, con aire enriquecido, facilita su distribución con la consecuente reacción el sulfuro contenido, lo que genera el calor de fusión requerido para el correcto funcionamiento del proceso. Aquí el material se funde de manera instantánea (flash) produciendo cobre blíster, escoria y gases metalúrgicos con altos contenidos de SO ₂ (35%-45%).	AUTOMATIZADO



IMPACTO EN PROCESOS Y COMPETENCIAS DE LA MINERIA

- Definición de instrumentos y variables de análisis 50
- Transformación Digital 55
- Nivel Tecnológico 69
- Integración del Nivel Tecnológico y Transformación Digital 76

DEFINICIÓN DE INSTRUMENTOS Y VARIABLES DE ANÁLISIS

Considerando el Marco Conceptual y los antecedentes revisados para este estudio, se definieron dos ámbitos de análisis: uno conectado directamente con la Cuarta Revolución Industrial, la cual definimos como la era de la **Transformación Digital**; y un segundo ámbito que será la **Evolución Tecnológica**, entendiendo que esta considera una mirada futura a cinco años de los que podremos encontrar en minería en Chile.

Dado lo anterior en cuanto a la **Transformación Digital**, se realizó una categorización de funciones, las cuales se clasificaron en tareas rutinarias, no rutinarias, manuales o cognitivas. En relación a la **Evolución Tecnológica** la clasificación realizada consideró lo siguiente: si la función laboral puede ser realizada manualmente, si considera teleoperación, si esta automatizada, o si se realiza de manera autónoma.

TRANSFORMACIÓN DIGITAL

¿Cuán digitalizadas están hoy las competencias estudiadas? ¿Qué proyección de digitalización tienen? Para llegar a determinar estas interrogantes, se definieron cuatro tipos de actividades dentro de las competencias:

a) Rutinario: se refiere a actividades que se realizan de manera repetitiva o con mayor frecuencia, bajo procedimientos exactos (fácilmente automatizables). Estas actividades a su vez se subdividen en:

a.1) Rutinarias Manuales: son actividades como producción y monitoreo, trabajo realizados en líneas de producción. Fácilmente automatizables y frecuentemente reemplazados por máquinas.

a.2) Rutinarias Cognitivo-mental: actividades que están lo suficientemente bien definidas para que puedan ser llevadas a cabo por un trabajador con baja educación en un país en desarrollo y con mínima discreción. Pueden ser fácilmente reemplazadas por algoritmos (software computacional).

b) No rutinario: son actividades que requieren para su realización cambios de ritmo de trabajo, como por ejemplo una tarea de producción especializada. Hay tres tipos:

b.1) No rutinarios Manuales: actividades que demandan adaptabilidad situacional, reconocimiento visual y de idioma, y quizás interacción persona a persona. Requieren cantidades modestas de entrenamiento. Pueden ser reemplazadas por robótica avanzada.

b.2) No rutinarias Cognitivo-analíticas: actividades que requieren resolución de problemas, intuición y creatividad. Son facilitadas y complementadas por computadores, sin poder ser reemplazadas por éstos.

b.3) No rutinarias Cognitivo-interpersonales: además de lo anterior, estas actividades requieren la habilidad de mutar las acciones a realizar según el contexto, estableciendo, priorizando, y revisando. Requieren de habilidades de persuasión, negociación y gestión de personas.

c) Manual: actividades como producción y monitoreo, trabajo realizados en líneas de producción.

d) Cognitivo: actividades que requieren resolución de problemas, intuición, persuasión, y creatividad.

EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

¿Qué nuevas tecnologías han logrado penetrar y establecerse dentro de las competencias revisadas en este análisis? ¿Cómo se han ido adaptando a ellas las competencias laborales? Dentro de la Evolución Tecnológica, se pueden establecer cuatro niveles:

a) Operación Manual: el operador está sentado en la máquina y manualmente desarrolla la operación.

b) Teleoperación: máquinas controladas por operador a distancia, gracias al uso de cámaras, sensores y otro tipo de software.

c) Operación Automatizada: la máquina desarrolla varias tareas por su propia cuenta con la asistencia de un operador que interviene en tareas cuando la supervisión de un humano es importante.

d) Operación Autónoma: la máquina hace todas las tareas por sí misma. El operador está presente solo para dar comandos de alto nivel.

En cuanto a los instrumentos de medición y con el fin de indagar en profundidad en la realidad del sector minero en Chile, tanto en las tendencias en ámbitos tecnológicos, como en recursos humanos, se realizó una etapa de entrevistas a responsables de los procesos en las faenas mineras (Operadores), proveedores de la minería (Proveedores) y ejecutivos del ámbito de la innovación (Innovación) de las compañías mineras.

El objetivo fue conocer su visión sobre la realidad del trabajo con la que se enfrentan hoy, considerando el impacto de la irrupción de las nuevas tecnologías. Para ello, las entrevistas se estructuraron en cuatro partes, con el objetivo de conocer la visión del proceso, la tecnología asociada, la forma a operar frente a estas tecnologías (competencias) y percepción de cambio en cinco años más.

Las entrevistas se estructuraron de la siguiente forma:

ÁMBITO	OPERADORES	PROVEEDORES	EJECUTIVOS INNOVACIÓN
Parte I: Descripción del Proceso	Conocer de manera general los procesos y sus equipos críticos principales.	Identificar en qué proceso está presente su oferta y equipos/sistemas asociados.	Visión de las compañías mineras con respecto a la incorporación de tecnología a los procesos.
Parte II: Tecnologías asociadas al proceso/equipo y Continuo Tecnológico	Identificar la tecnología de los equipos y su Nivel Tecnológico.	Tecnología asociada a su oferta de equipos/sistemas.	Nivel de desarrollo tecnológico de los procesos en las compañías mineras.
	Detectar cambios de Nivel Tecnológico en los últimos cinco años.	Identificación de barreras de entrada a implementación de tecnologías.	Identificar cambios tecnológicos y la adaptación al cambio.
Parte III: Competencias de trabajadores asociados a la tecnología	Identificar el nivel de desarrollo de las competencias asociada a la tecnología y dominio de los trabajadores de las tecnologías. Mejoras y/o ajustes a las competencias.		
Parte IV: Percepción de cambio tecnológico a cinco años	Visión sobre cambios tecnológicos en cinco años más.		

Entrevistas a encargados de tecnología de empresas mineras y proveedoras

Se realizaron un total de 26 entrevistas, 10 de ellas a empresas mineras, 12 a empresas proveedoras y 4 especialistas asociados a la innovación. Las empresas participantes fueron:

Empresas Mineras	Proveedores	Ejecutivos Innovación
<ul style="list-style-type: none"> Anglo American, Chagres AMSA, Centinela AMSA, Pelambres AMSA, Antucoya CODELCO, DMH BHP, Escondida CODELCO, Andina 	<ul style="list-style-type: none"> Komatsu Aplik Modular Jigsaw - Hexagon Mining Atlas Copco Yokogawa Orica AMTC Phoenix Finning Sandvik FLSmidth 	<ul style="list-style-type: none"> FCH CODELCO, Chuquicamata AMSA CODELCO

Tras la realización de las entrevistas, se encontró que existen diferentes visiones entre los tres actores con respecto a la adopción de nuevas tecnologías.

En las empresas mineras, el nivel de tecnología depende mucho de la estrategia de negocios y qué tan involucrados estén los ejecutivos en incorporar las tecnologías a los procesos mineros. Los proveedores, por otro lado, ofrecen soluciones de alta tecnología en el mercado, pero enfrentan desafíos para facilitar su adopción por parte de las compañías mineras.

Las empresas mineras hoy no tienen adoptada la última tecnología que está disponible en el mercado, sino que de a poco han ido incorporando de manera unitaria cambios y/o soluciones tecnológicas. Por ejemplo, en Mina Rajo, solo una faena minera tiene la tecnología de camiones autónomos, mientras en la planta, la automatización de los procesos ya está instalada como un cambio que se debe realizar y en la mayoría de sus labores ya existen grados de automatización.

Por su parte, hoy los proveedores disponen de sistemas de monitoreo, especialmente en los subprocesos de extracción que pueden impactar positivamente en la disminución a la exposición al riesgo por parte de los trabajadores. Estos mismos proveedores, ya están apuntando a cambios como el *Big Data* y la inteligencia artificial, dado que la teleoperación de equipos y la automatización de procesos son tecnologías ya disponibles.

A juicio de los proveedores y empresas mineras, la mayor dificultad para incorporar nuevas tecnologías es la adaptación de las personas y la existencia de expertise para llevar a cabo la implementación. Existen resistencias al cambio y hay brechas en la formación de éstos.

Los procesos de cambio tecnológico, por lo tanto, deben estar acompañados por una gestión de cambio. Se pueden identificar dos grupos de trabajadores, los menores de 25 años que manejan bien la tecnología y la incorporan rápidamente, pero no tienen la experiencia necesaria para tomar decisiones en el proceso de negocios, y un segundo grupo, los mayores de 50 años que si bien poseen la experiencia y conocimientos del proceso, no adoptan la tecnología fácilmente. Una gestión de cambio efectiva debería hacerse cargo de esta problemática.

Talleres de validación por macro procesos

Como parte del proceso de levantamiento de información, se realizaron talleres de clasificación de Competencias del MCM, de acuerdo a las variables de análisis anteriormente mencionadas.

El taller se compuso de:

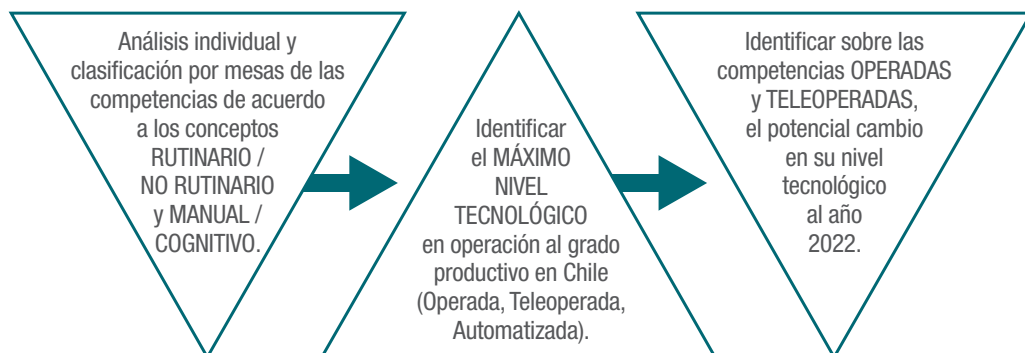
1. Contexto Taller:

- a. Presentación de objetivos del Estudio y sus etapas.
- b. Presentación del Marco de Cualificaciones para la Minería (MCM).
- c. Presentación Marco Conceptual del Estudio.

2. Actividades de análisis de competencias por proceso:

- a. Clasificación de Competencias por Proceso.
- b. Categorización actual del Nivel Tecnológico de competencias por proceso.
- c. Análisis y Proyección de Competencias al 2022.

Para el desarrollo de las actividades, la metodología de análisis de las competencias, se diseñó de la siguiente manera:



TRANSFORMACIÓN DIGITAL

De acuerdo al marco teórico y las variables de análisis establecidas en el estudio, que clasifica las tareas en rutinarias/no-rutinarias y manuales/cognitivas, para luego definir su máximo potencial de cambio, y el juicio experto extraído en entrevistas y mesas técnicas de trabajo que describe el estado actual y a cinco años de las funciones productivas en base al uso de tecnologías, a continuación se describen los resultados del análisis realizado para cada uno de los procesos y subprocesos.

Cabe destacar que las hipótesis generadas en base al marco conceptual son resultantes de lo que ha sucedido en la historia a través de los años, respecto de los tipos de tareas/ trabajos y cómo han ido evolucionado en el tiempo. De esta manera y para un mejor entendimiento de nuestro análisis, comenzaremos por explicar la segmentación realizada y que resultados en términos de hipótesis conlleva cada una de estas clasificaciones.

Definiciones

Inicialmente definimos dos ejes, uno horizontal que discriminará si una tarea es manual o cognitiva y uno vertical que establecerá si el tipo de trabajo es rutinario o no-rutinario. Dado lo anterior y el cruce de estas variables (ejes) se generarán cuatro cuadrantes y sus respectivas hipótesis en relación al máximo potencial de cambio.



La hipótesis asociada al primer cuadrante, rutinario/manual, define que su máximo potencial de cambio está en la automatización.

Mayor Potencial de Automatización: las actividades ubicadas en este cuadrante responden a competencias asociadas a la producción y al monitoreo en procesos descritos y definidos previamente que requieren de un esfuerzo físico. Por ejemplo, las actividades que podemos identificar en una línea de producción, cuya condición es ser realizadas de la misma forma una y otra vez. Esto se traduce en un fácil y frecuente reemplazo de éstas por máquinas.

La segunda hipótesis, asociada al cuadrante de trabajo rutinario/cognitivo, determina que su máximo potencial de cambio irá hacia la digitalización.

Mayor Potencial de Digitalización: la descripción de las competencias asociadas a este cuadrante tiene relación con la identificación de variables que impactan en un resultado cuyo algoritmo puede ser identificado y replicado, son actividades claramente definidas y repetitivas, pero que han requerido de un esfuerzo cognitivo en su determinación, por lo mismo se traducen habitualmente en software computacionales.

La tercera hipótesis, asociada al cuadrante de tareas no rutinarias/manuales, define que su máximo potencial de cambio es la teleoperación.

UCL cambian por Tecnología (Ej. Teleoperación): en este cuadrante se ubican competencias que requieren de habilidades de adaptación situacional, asociadas a procesos y actividades que son parte de un flujo de trabajo que considera la toma de decisiones constante y a distancia, que podría traducirse a futuro en la incorporación de la robótica avanzada.

Finalmente tenemos una cuarta hipótesis, asociada al cuadrante de no rutinario/cognitivo, que describe funciones que no serán susceptibles de cambio futuro.

UCL se mantienen: en este cuadrante se encuentran todas aquellas competencias que dan cuenta de habilidades tales como, la resolución de problemas, la intuición y la coordinación, las cuales se basan en el desarrollo de un pensamiento analítico, que si bien es cierto puede ser complementado por el uso de computadores, no podrían ser reemplazadas. Además de las descritas anteriormente nos encontramos también con las habilidades asociadas a la toma de acciones en función de diversos escenarios, teniendo claridad de la situación, priorizando y estableciendo un plan para el logro de los objetivos y metas planteadas. Entre ellas tenemos la persuasión, la negociación y la gestión de un equipo de trabajo, que al igual que las anteriores, serán difícilmente factibles de reemplazar.

Dadas las hipótesis planteadas, realizamos una revisión y asignación de las competencias para cada uno de los cuadrantes definidos, de manera de proveer de una propuesta inicial para la revisión y validación por parte de expertos en procesos y subprocesos en mesas técnicas de trabajo, lo cual finalmente definió los resultados que pasamos a revisar.

Impacto potencial de la Transformación Tecnológica en la minería

En total se analizaron y clasificaron 265 competencias, correspondientes a los procesos de Extracción (72), Procesamiento de Cobre (116) y Mantenimiento (77) descritas en el MCM versión 2017, esto con el fin de poder determinar su máximo potencial de cambio de acuerdo a las hipótesis definidas anteriormente. La metodología de trabajo se basó en la validación mediante juicio de expertos en base a una propuesta inicial, respecto al máximo potencial de cambio.

De acuerdo a la distribución realizada, es posible ver que la mayoría de las competencias presentan un máximo potencial de cambio a futuro (Transformación Digital), entendiéndose que éste tenderá:

- En primer lugar, hacia la automatización, ya que históricamente las actividades realizadas de manera repetitiva y con procedimientos descritos en detalle, han sido reemplazadas por este tipo de tecnología.
- En segundo lugar, hacia la digitalización, entendiéndose que son estas funciones las que serán enriquecidas y complementadas con algoritmos que faciliten el trabajo y entreguen mayor información para la toma de decisiones.
- En un grado muy menor en relación a los otros, está la teleoperación, lo cual podría ser explicado porque el uso de esta tecnología ya se encuentra instalado en la mayor parte de equipos y procesos.

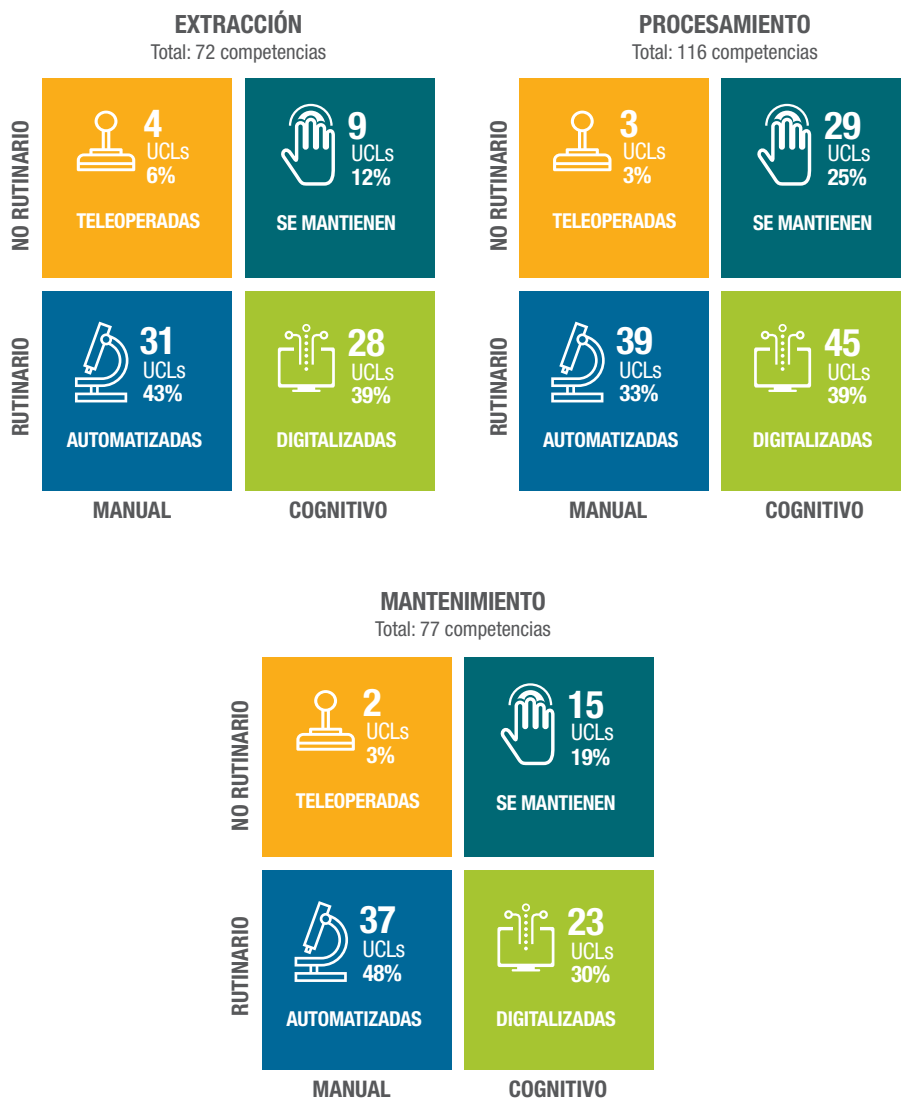
Por otro lado, un porcentaje menor, en comparación a las competencias que sí presentarán un máximo potencial de cambio, se mantendrán como se realizan hoy, ya que están más asociadas a funciones de coordinación y supervisión.

En resumen, es posible señalar que la minería se verá impactada por la Transformación Digital, por lo que tendrá una alta oportunidad de cambio en el futuro ya que en general los procesos de Extracción, Procesamiento de Cobre y de Mantenimiento podrían integrar el uso de tecnologías emergentes. El desafío estará en que las empresas mineras puedan implementar estas nuevas soluciones y preparar al capital humano responsable de éstas.



Impacto potencial de la Transformación Digital por procesos: Extracción, Procesamiento de Cobre y Mantenimiento

En un segundo nivel de análisis, que consideró la clasificación de las competencias en base a las variables definidas para cada uno de los procesos en revisión, se identificaron los siguientes resultados:



Con respecto al proceso de **Extracción**, el máximo potencial de cambio tenderá en primer lugar a la automatización y en segundo lugar a la digitalización, lo cual podría ser explicado por la tendencia que existe hoy en la minería en temas de seguridad, privilegiando una operación a distancia.

Destaca también que, si bien un número menor de competencias de este proceso tenderá a la teleoperación, entendiéndose que la mayoría de los equipos y funciones ya se encuentran en esta condición, este número será mayor al encontrado en los procesos de Mantenimiento y Procesamiento, esto considerando que la mayoría de los equipos de Extracción, al ser móviles, presentan una mayor factibilidad de integrar dicha tecnología.

Finalmente, Extracción contiene la menor cantidad de competencias que deberían mantenerse (supervisión y coordinación) en relación a los otros procesos. Esto podría explicarse porque al contar con sistemas de despacho cada vez más desarrollados, hacen que este tipo de funciones vayan disminuyendo.

Respecto del **Procesamiento de Cobre**, la mayoría de sus competencias tenderán a un máximo potencial de cambio hacia la Transformación Digital, lo que está relacionado con que muchas de sus funciones ya se encuentran automatizadas, por lo que el mayor desafío futuro está en potenciarlas mediante el uso de software y de algoritmos que impacten y fortalezcan la toma de decisiones.

Además, y en relación a los otros procesos, es en el Procesamiento de Cobre donde existe la mayor cantidad de competencias que se mantendrán, ya que éste incluye subprocesos integrados y continuos que requieren de un mayor control de variables, lo que exige competencias de supervisión y control.

En el caso de las competencias asociadas al proceso de **Mantenimiento** y su distribución en los cuadrantes definidos, el máximo potencial de cambio estará dado hacia la automatización, dado que este proceso, a diferencia del Procesamiento y la Extracción, presenta un menor desarrollo tecnológico.

Impacto potencial de la Transformación Digital: proceso de Extracción y sus subprocesos

En un tercer nivel de análisis por subprocesos, en Extracción destacan los siguientes resultados:

Subproceso Rajo Abierto

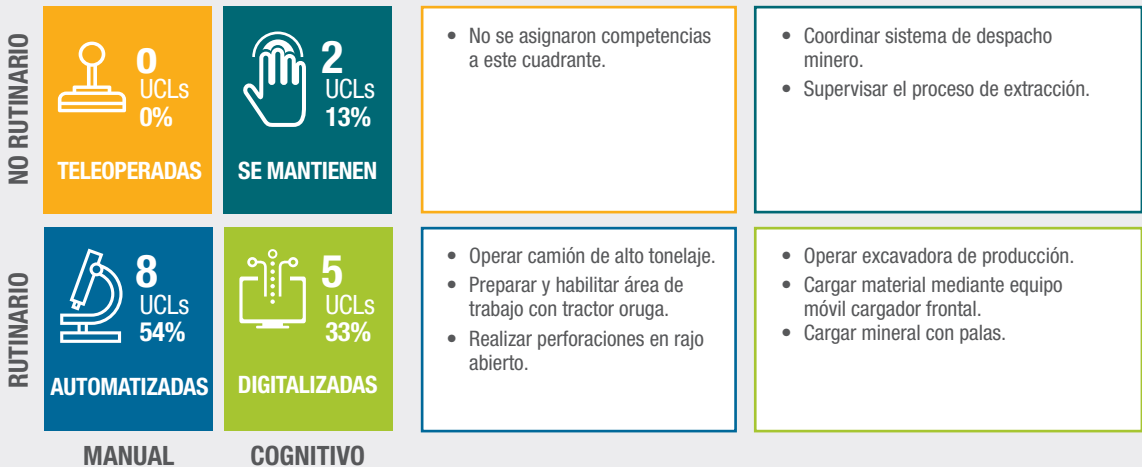
El máximo potencial de cambio en este subproceso será hacia la automatización. Esto considerando el desafío que ya existe desde hace un tiempo en la minería de lograr operar a distancia los equipos móviles presentes en la mina, como por ejemplo, la operación de camiones de alto tonelaje.

La tendencia en relación a los equipos autónomos en la mina no solo apunta a los camiones de alto tonelaje, sino también a equipos como palas excavadoras, los que además debieran comenzar a estar vinculados automáticamente (Internet de las Cosas IoT).

Como segundo potencial de cambio está la digitalización, referido a complementar, mediante la integración de algoritmos, la eficiencia en el funcionamiento de los equipos auxiliares.

Total: 15 competencias

Ejemplo de competencias



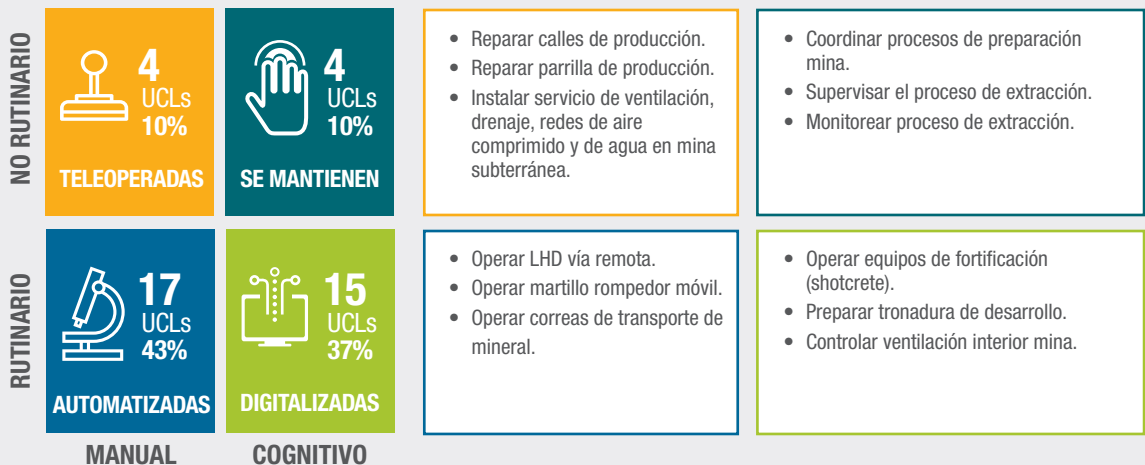
Subproceso Extracción Subterránea

En el subproceso Extracción Subterránea, todas las competencias impactadas por el cambio van hacia la teleoperación, ya que se relacionan con actividades de reparación e instalación, que podrían ser realizadas a distancia principalmente por temas de seguridad.

Se aprecia además para este subproceso que los equipos con mayor complejidad serán susceptibles de digitalizarse, por ejemplo, el jumbo, y los de operación más sencilla tenderán a automatizarse, como el martillo rompedor móvil. Destaca también que, consistente con el tipo de actividad, las competencias que se mantendrán serán las de coordinación y supervisión.

Total: 40 competencias

Ejemplo de competencias



Subproceso Tronadura

En este subproceso el mayor potencial de cambio estará en la digitalización, lo cual podría ser explicado porque la mayoría de sus funciones, principalmente las referidas a la programación, el diseño y la administración, serán complementadas con algoritmos y sistemas que permitan una mejor toma de decisiones, por ejemplo, el modelamiento y diseño de la secuencia de tronaduras.

Al igual que en el proceso anterior, se aprecia que las competencias asociadas a los equipos con mayor complejidad serán susceptibles de digitalización, por ejemplo, el camión polvorín y los equipos de operación más sencilla tenderán a automatizarse como el mini cargador frontal. Finalmente, serán las competencias asociadas a la coordinación y supervisión las que se mantendrán.

Total: 17 competencias

Ejemplo de competencias

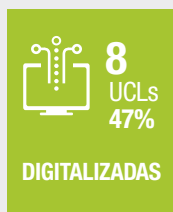
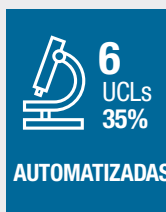
NO RUTINARIO



- No se asignaron competencias a este cuadrante.

- Asegurar condiciones de tiro en proceso de tronadura en mina rajo abierto y mina subterránea.
- Supervisar proceso de tronadura en mina rajo abierto.
- Supervisar proceso de tronadura en mina subterránea.

RUTINARIO



- Cargar tiro con equipo autónomo en proceso de tronadura en mina rajo abierto y mina subterránea.
- Operar mini cargador frontal en proceso de tronadura.
- Preparar condiciones para carguío de pozo con camión fábrica en proceso de tronadura en mina a rajo abierto.

- Administrar abastecimiento y distribución de explosivos en polvorín en mina rajo abierto y mina subterránea.
- Diseñar secuencia de tronadura en mina rajo abierto y mina subterránea.
- Realizar carguío de tiro a mano en proceso de tronadura en mina rajo abierto y mina subterránea.
- Programar la secuencia de tronadura en mina rajo abierto y mina subterránea.

MANUAL

COGNITIVO

Impacto potencial de la Transformación Digital: Procesamiento de Cobre y sus subprocesos

En relación al Procesamiento de Cobre y sus subprocesos, se observa lo siguiente.

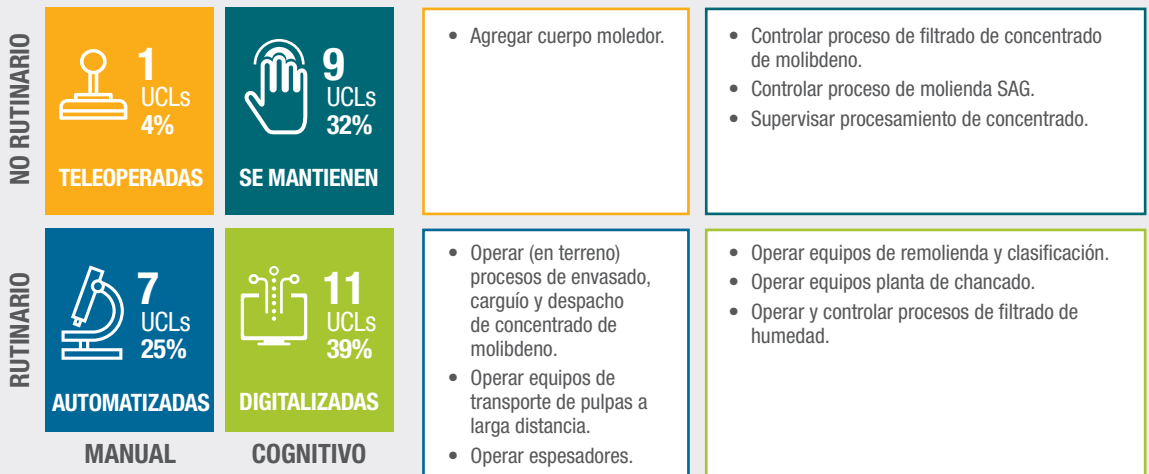
Subproceso de Concentrado

Este subproceso es el que tiene la menor cantidad de competencias con potencial de automatización, debido a que la mayoría de las funciones ya se están realizando a distancia con integración de la tecnología pertinente para ello.

Por otro lado, el máximo potencial de cambio estará en la digitalización y las competencias impactadas serán las que estén asociadas al control de procesos secundarios, como es el envasado, el carguío y despacho de molibdenos y la conducción de relaves en el concentrado.

Total: 28 competencias

Ejemplo de competencias



Subproceso de Hidrometalurgia

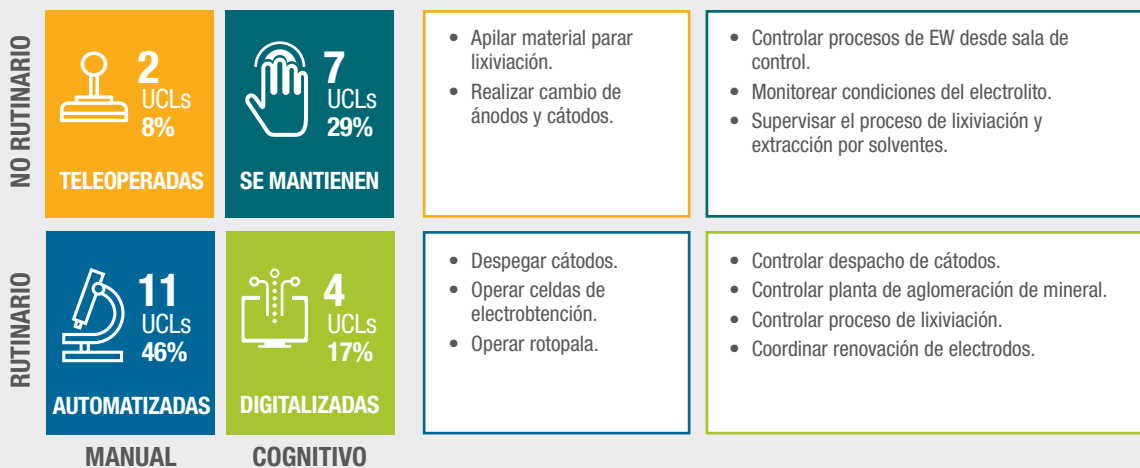
Al contrario de la Concentradora, este subproceso debiera aglutinar la mayor cantidad de competencias que tenderán hacia la automatización, debido a que aún existe una gran cantidad de competencias que se realizan en terreno, como el apilamiento y la operación de celdas.

También es uno de los subprocesos que tiene la mayor cantidad de competencias que llegarán a ser teleoperadas respecto del concentrado y la fundición y refinera, esto considerando la operación discontinua de equipos, como la rotopala y el apilador, que podrían integrar la teleoperación como el siguiente paso en su Evolución Tecnológica.

Al igual que en el subproceso anterior, son las competencias que tienen que ver con el control de procesos secundarios las que tenderán hacia la digitalización. En cambio, las que se mantendrán tendrán relación con el control de procesos estratégicos como son el chancado, SX y EW.

Total: 24 competencias

Ejemplo de competencias



Subproceso de Fundición/Refinería

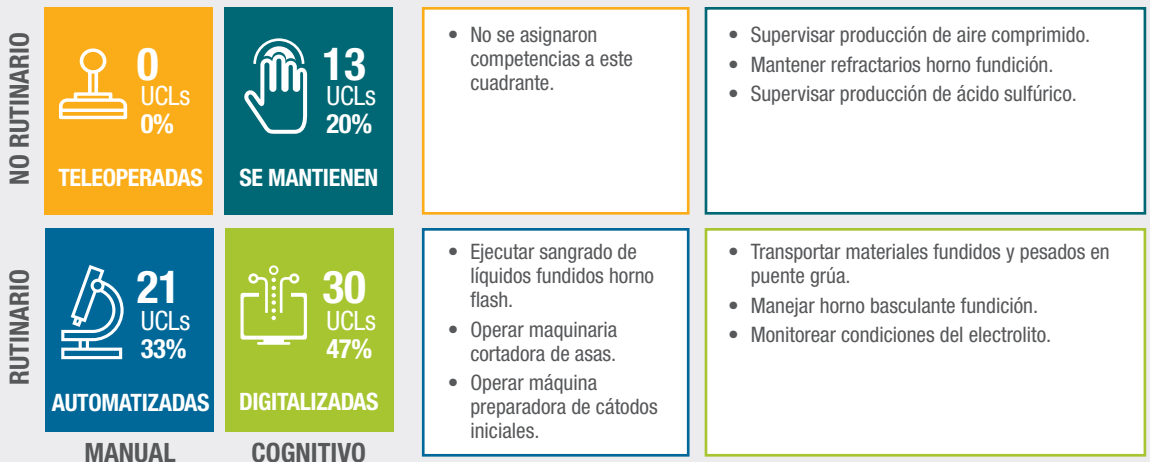
En Fundición y Refinería, el mayor potencial de cambio se verá reflejado en la digitalización de funciones de mayor complejidad, gracias a la implementación de salas de control, lo que implica generar programas, modelamiento y diseño para su posterior operación.

En relación al máximo potencial de automatización, este estará concentrado en equipos auxiliares o secundarios, por ejemplo, grúa orquilla, cargador frontal, puente grúa, entre otros.

Si bien el máximo potencial debiese ser la automatización, hay algunos equipos y funciones que podrían ser teleoperados por temas de mayor seguridad, como por ejemplo, algunos de los equipos auxiliares.

Total: 28 competencias

Ejemplo de competencias



Impacto potencial de la Transformación Digital: proceso de Mantenimiento y sus subprocesos

En relación al proceso de Mantenimiento y sus subprocesos, mecánico, eléctrico y de instrumentación, se observa lo siguiente.

Subproceso Mantenimiento Mecánico

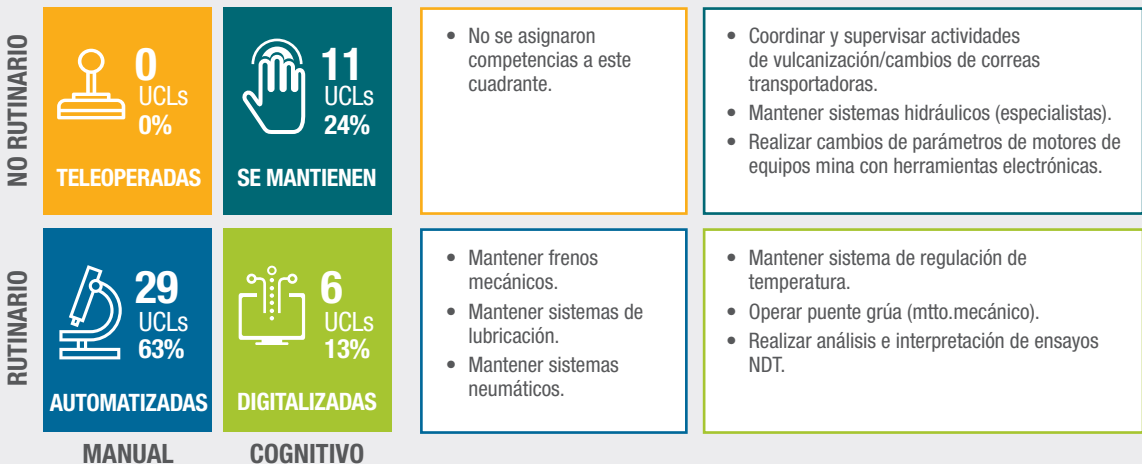
En el caso del Mantenimiento y sus subprocesos, las competencias con mayor susceptibilidad de automatización serán las asociadas a Mantenimiento Mecánico, considerando la creciente necesidad de generar un proceso de MONCON (Monitoreo de Condiciones) que cumpla con la inclusión de esta tecnología.

Dado lo anterior y que la mayoría de las competencias serán susceptibles de automatizarse para este subproceso, el mayor desafío estará en la incorporación en faenas de la robótica, por ejemplo, para lograr el máximo potencial de cambio.

Por otro lado, las competencias que se mantendrán para este subproceso serán las asociadas a la coordinación y diagnóstico de equipos fijos y móviles.

Total: 46 competencias

Ejemplo de competencias



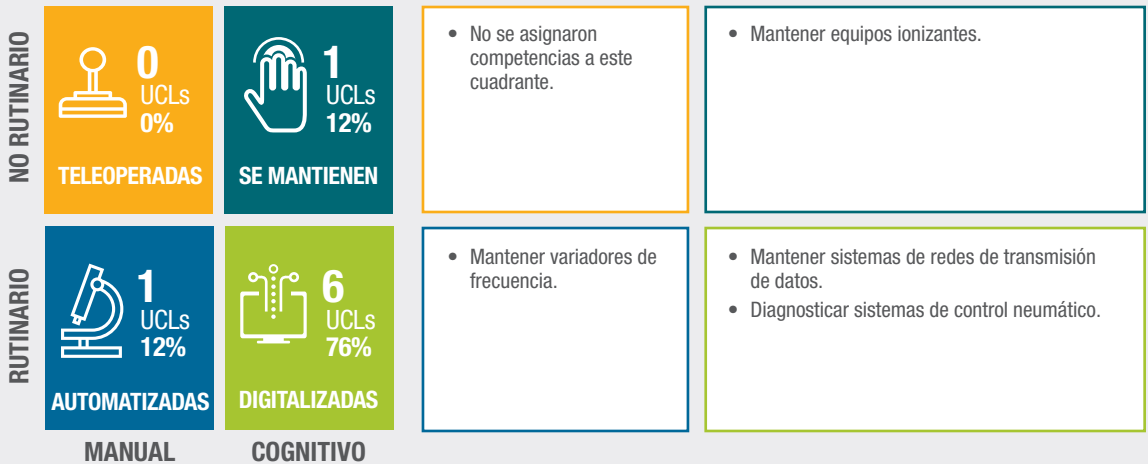
Subproceso Instrumentista

En el caso de las competencias asociadas al subproceso de Instrumentación, el máximo potencial de cambio es hacia la digitalización, lo que podría ser explicado por el procesamiento y análisis de los datos que será requerido a futuro para este subproceso.

La integración de programas, por ejemplo, para mantener los controladores de ciertos equipos o sistemas de control, representará un desafío en términos de lograr contar con la inteligencia artificial necesaria.

Total: 8 competencias

Ejemplo de competencias



Subproceso Eléctrico

En el caso del Mantenimiento Eléctrico, las competencias que tienen un mayor potencial de digitalización son las que están asociadas al diagnóstico de equipos, cuya tendencia será la integración de algoritmos para la toma de decisiones.

En cambio, las competencias que se mantendrán están relacionadas con líneas de media tensión, principalmente por condiciones ambientales y logísticas.

Total: 23 competencias

Ejemplo de competencias

NO RUTINARIO



2
UCLs
9%

TELEOPERADAS



3
UCLs
13%

SE MANTIENEN

- Mantener motores y generadores eléctricos.
- Mantener motores y generadores equipos mina (especialista).

- Canalizar y cablear líneas de media tensión.
- Canalizar y cablear líneas de media tensión (especialista).
- Mantener medidores de energía (especialista).

RUTINARIO



7
UCLs
30%

AUTOMATIZADAS



6
UCLs
48%

DIGITALIZADAS

- Mantener interruptores y desconectores.
- Mantener sistema de celdas de baja, media y alta tensión.
- Mantener tableros de distribución, fuerza y control.

- Mantener sistemas celdas de baja, media y alta tensión (especialista).
- Monitorear funcionamiento de equipos mina con herramientas electrónicas.
- Realizar cambio de parámetros de motores de equipos mina con herramientas electrónicas.

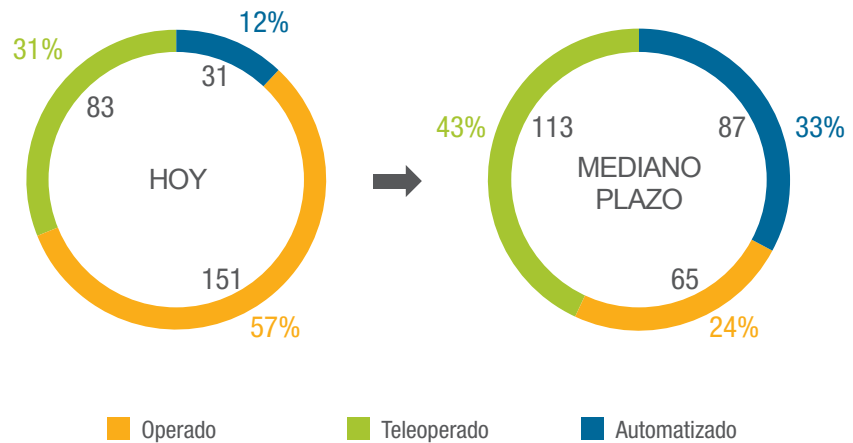
MANUAL

COGNITIVO

NIVEL TECNOLÓGICO

En mesas de trabajo¹ realizadas con diversos representantes de compañías mineras y proveedores de la gran minería, se determinó, a juicio experto, el Nivel Tecnológico en el que se encuentran las 265 competencias analizadas, es decir, si se realizan de manera Operada, Teleoperada o Automatizada. Además, se proyectó a cinco años para ver el comportamiento de estas competencias, esto es: si se mantendrían o variarían de acuerdo al cambio de Nivel Tecnológico.

El análisis realizado concluye los siguientes resultados:



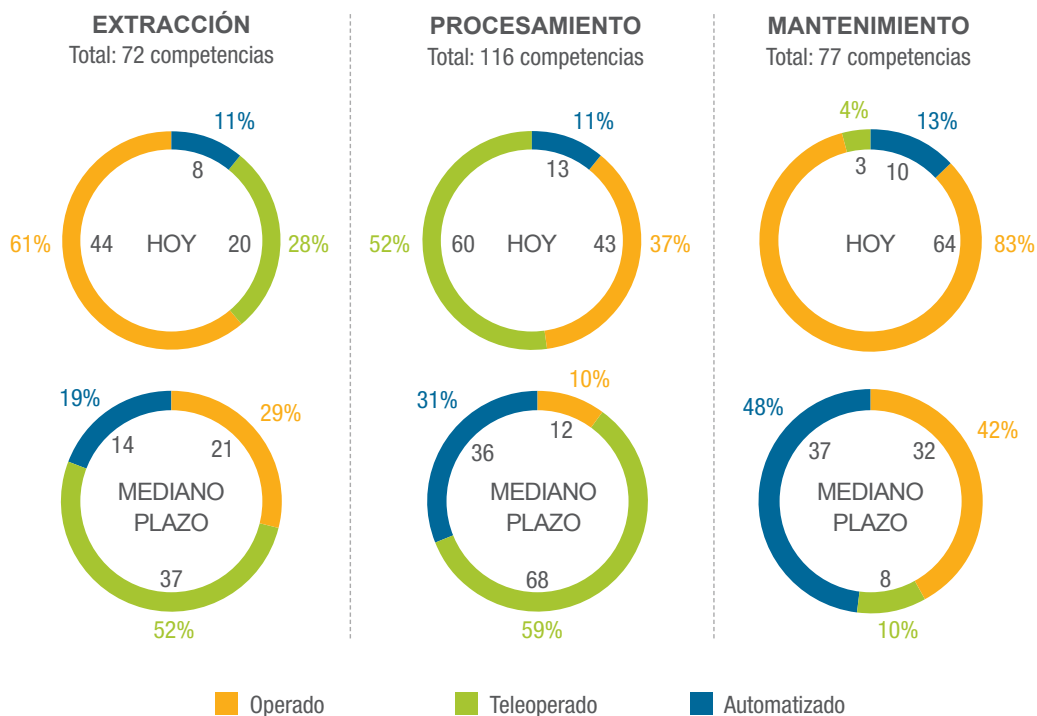
Evolución de requerimientos de competencias a mediano plazo:

- 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).

¹ La conformación de esas mesas de trabajo, las empresas que participaron y sus representantes técnicos, se puede ver en la página 94 del presente informe.

Nivel Tecnológico por procesos

Al realizar el análisis por procesos (Extracción, Procesamiento de Cobre y Mantenimiento) del 2017 al 2022, se obtienen los resultados que se muestran en los siguientes gráficos:



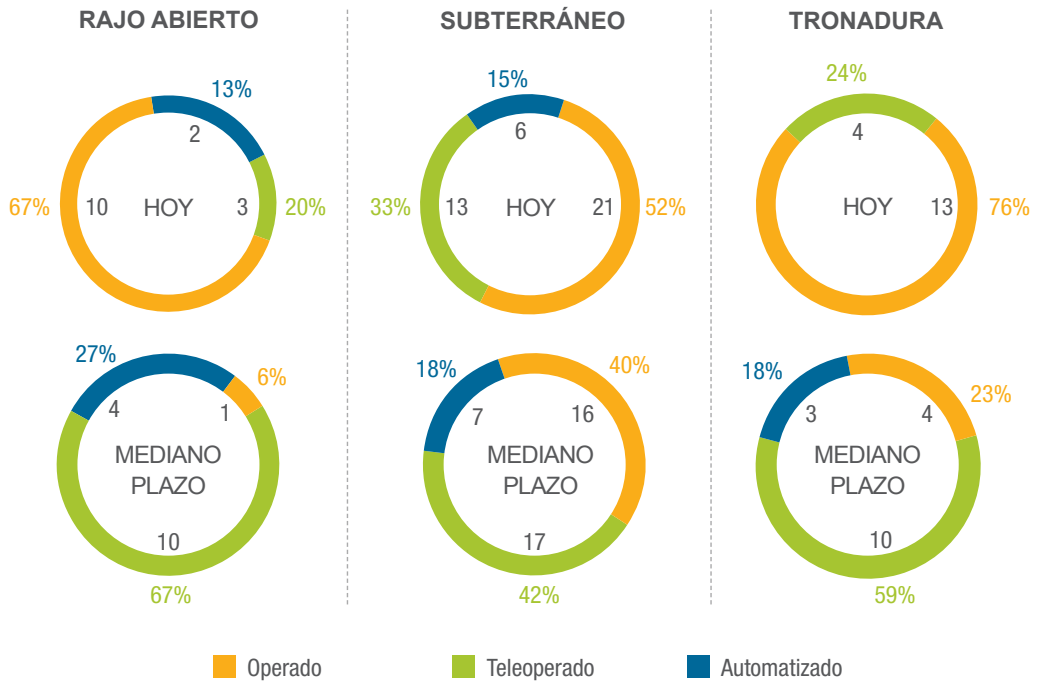
- Si bien la Evolución Tecnológica podría ser más radical, aproximadamente un tercio de las competencias sufrirán cambios en el mediano plazo.
- En Extracción, las competencias Teleoperadas aumentarán en un 85% (de 20 a 37 competencias).
- En Procesamiento y Mantenimiento el mayor impacto es el cambio hacia la Automatización.

Nivel Tecnológico por subprocesos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis para los subprocesos, el que se desarrolló en mesas de trabajo específicas por cada subproceso, llegando a:

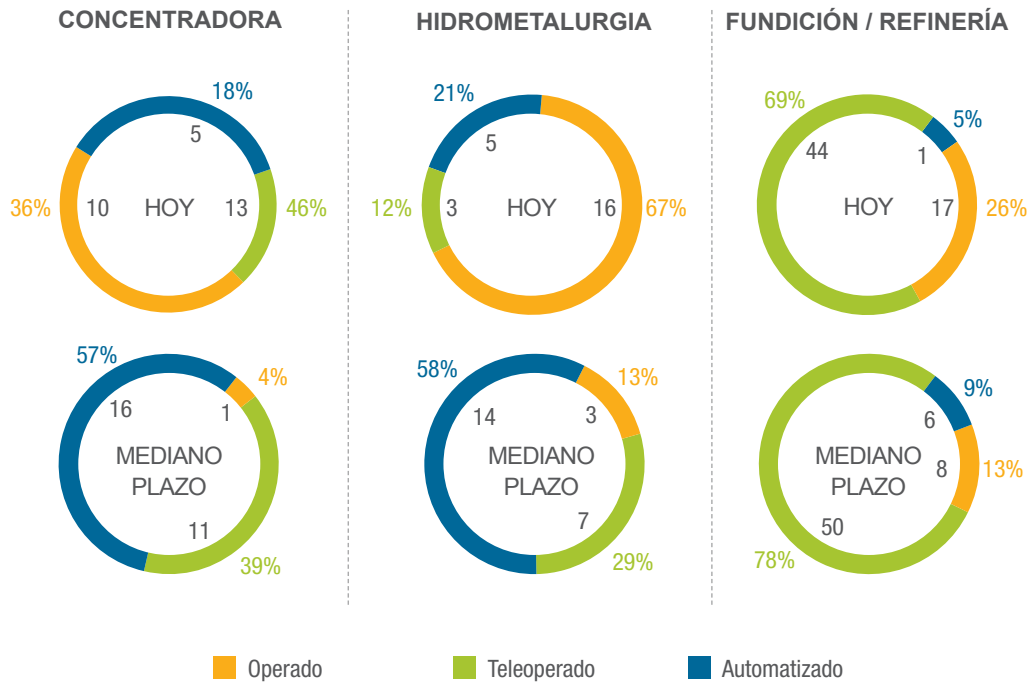
Subprocesos Extracción

- Destaca en Rajo Abierto la disminución del Nivel Tecnológico Operado, de 10 a 1 UCL. Asimismo, el aumento de 3 a 10 UCL en el Nivel Tecnológico Teleoperado.
- En Subterránea destaca el aumento del Nivel Tecnológico Teleoperado de 13 a 17 UCL.
- En Tronadura aparece la Automatización como alternativa tecnológica (3 UCL). Sin embargo, el mayor crecimiento es en Teleoperado (4 a 10 UCL).



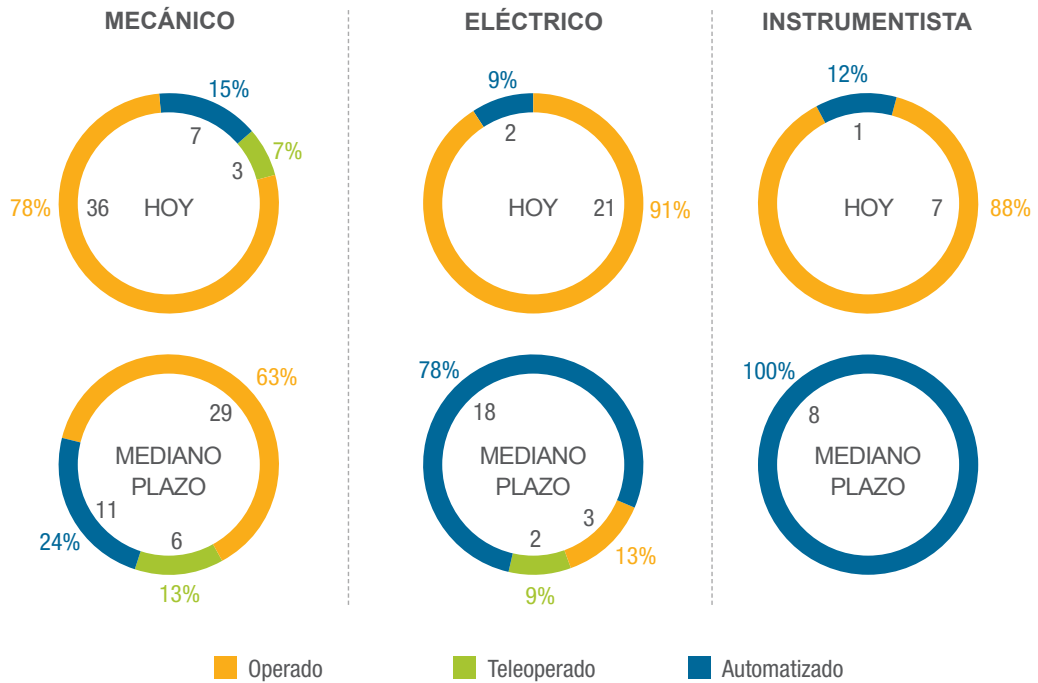
Subprocesos Procesamiento de Cobre

- En Concentradora destaca el aumento de la Automatización (5 a 16 UCL), lo mismo que en Hidrometalurgia (5 a 14 UCL).
- En Fundición/Refinería se observa una profundización de la opción tecnológica Teleoperada, pasando de 44 a 50 UCL.



Subprocesos de Mantenimiento

- En Mantenimiento Mecánico se observan cambios menores, donde el Nivel Tecnológico Operado baja de 36 a 29 UCL.
- Por otra parte, tanto en Mantenimiento Eléctrico (2 a 18 UCL) como en Instrumentista (1 a 8 UCL) se observa un significativo potencial de incorporar Automatización.



Resumen

Es posible establecer que disminuirán las competencias operadas y aumentarán las teleoperadas en el proceso de Extracción (85%) y las Automatizadas principalmente en el proceso de Procesamiento (180%) y de Mantenimiento (270%).

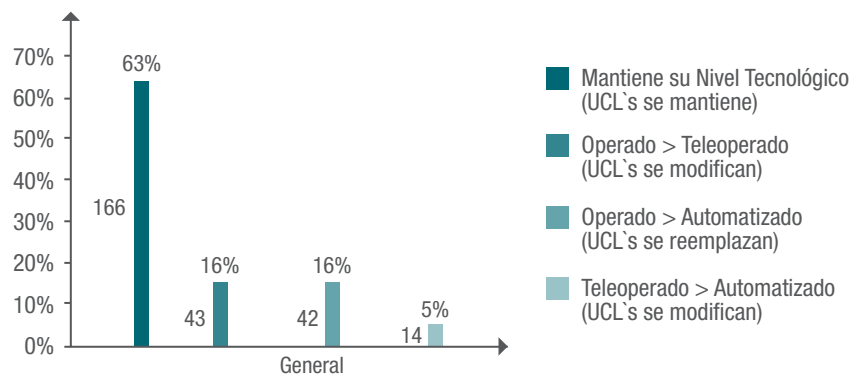
Dentro del proceso de Extracción, el subproceso de Mina Rajo es el que presenta mayor variación tanto en las teleoperadas, que aumentan, como en las operadas, que disminuyen significativamente. Otro subproceso que muestra variación es Tronadura, donde la Automatización crecerá más.

En relación al Procesamiento, el subproceso que se verá más afectado es Hidrometalurgia, aumentando la Teleoperación y disminuyendo las competencias Operadas. Es en el subproceso de Concentradora donde aumentará mayormente la Automatización.

Finalmente, en el proceso de Mantenimiento, tanto los subprocesos Eléctricos e Instrumentistas sufrirán los mayores cambios, tendiendo hacia la Automatización.

Cambio en el Nivel Tecnológico general a cinco años

Considerando las 265 competencias definidas en el alcance del estudio, se establecieron los cambios de Nivel Tecnológico y la consecuente evolución de las actividades productivas que se llevarían a cabo a mediano plazo, ya sea manteniendo su condición actual, pasando a Telecomandado o a Automatizado. Este análisis arroja los resultados que se muestran en el siguiente gráfico:



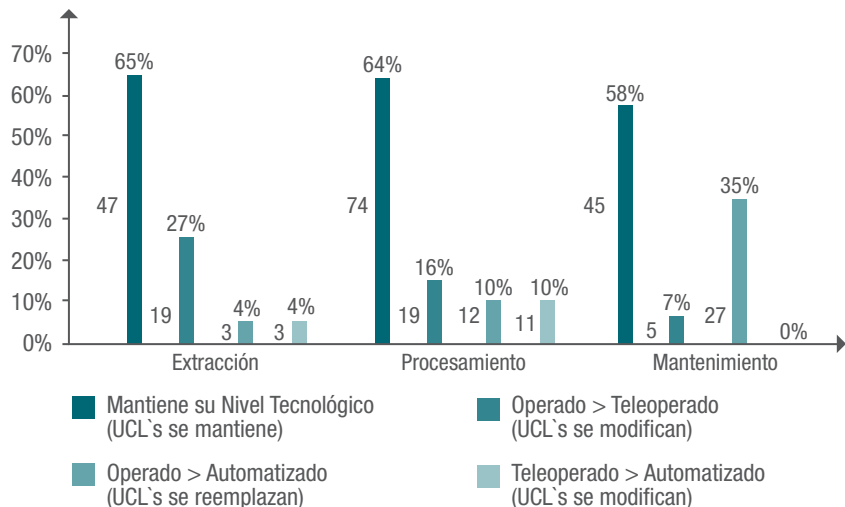
De acuerdo a estos resultados, se proyecta que a mediano plazo el 37% de las competencias variará de acuerdo al cambio tecnológico actual de las actividades productivas. Ahora bien, de este 37% el 16% implica pasar de un Nivel Tecnológico Operado a Teleoperado, otro 16% pasar de un Nivel Tecnológico Operado a Automatizado y el 5% restante pasar de Teleoperado a Automatizado.

La mayor tendencia, de acuerdo a juicio experto, es hacia la Automatización, generando una variación de un 21% del total de competencias.

Otro de los resultados obtenidos es que de aquí a cinco años se proyecta que el 63% de las competencias se mantendrán, de acuerdo a los cambios de Nivel Tecnológico.

Cambio Nivel Tecnológico por proceso

Como se puede visualizar en el gráfico siguiente, se proyecta que un porcentaje importante de las competencias se mantengan en un mediano plazo. En el proceso de Extracción, de las 72 competencias analizadas, el 35% se proyecta varíen por el potencial cambio de Nivel Tecnológico (Teleoperado a Automatizado, Operado a Automatizado y Operado a Teleoperado). En lo referido al Procesamiento, el 64% de las 116 competencias analizadas se mantendrían. Esto, considerando que gran parte de las competencias están relacionadas con funciones ya automatizadas al día de hoy, por lo que su variación se proyecta en un 36%. Finalmente, de las 77 competencias analizadas para el proceso de Mantenimiento, el 58% tienen una proyección de mantenerse, mientras que el 42% podría modificarse producto del potencial cambio de Nivel Tecnológico.



INTEGRACIÓN DEL NIVEL TECNOLÓGICO Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL

La tendencia identificada por los expertos, en distintas instancias, es que las competencias de la industria cambiarán, yendo de una operación -ya sea Manual o Teleoperada- a una Automatizada. Si bien existe la tendencia y potencialmente la Transformación Digital podría ser más radical, los expertos consideran que aproximadamente un tercio de las competencias sufrirían cambios y los otros dos tercios se mantendrían igual de aquí a cinco años.

Como se planteó al inicio del estudio, el máximo potencial teórico de cambio de las competencias de la industria se produce por el proceso de Transformación Digital, donde predominan las competencias que se automatizarán o digitalizarán, es decir, todas las competencias con algún componente rutinario sufrirían algún cambio, ya sea por la introducción de la automatización o algún algoritmo.

Sin embargo, en un horizonte de mediano plazo y considerando la tecnología que podría estar disponible en ese periodo, se puede establecer que existe un continuo que va desde la operación manual a la teleoperada y de ahí a la automatizada. Si este continuo se lleva a la matriz de análisis de potencial de cambio, las competencias quedan distribuidas de la siguiente forma:



Finalmente, se propone un continuo de desarrollo de la Transformación Digital para la industria minera, que tiene como primera etapa el 2022, y se proyecta al máximo potencial teórico de cambio, para visualizar la dirección de la transformación y confirmar la hipótesis de que las competencias tenderán hacia la automatización y digitalización (algoritmos).



Este proceso de avance en el Nivel Tecnológico y Transformación Digital dependerá de las condiciones de explotación de cada operación productiva, sus características geológicas, horizonte de explotación, prioridades de inversión, etc., por lo que se espera una evolución no homogénea, donde coexistirán los diferentes escenarios tecnológicos. Esto implica que toda estrategia de desarrollo de capital humano debiera considerar una fuerza laboral capaz de adaptarse a diversos escenarios tecnológicos.

Para realizar este análisis, se llevó a cabo una revisión detallada de las unidades de competencias, lográndose identificar vía juicio experto qué competencias del continuo de tecnología minera se digitalizaban (algoritmos), ya que al inicio de este análisis solo se podían identificar las competencias que se mantenían, teleoperaban o se automatizaban. Esto permitió construir la siguiente matriz:





CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante el análisis realizado en base al marco teórico, la revisión de antecedentes en relación al estado actual de las tecnologías y el juicio experto de actores claves de la industria, se logró identificar el impacto previsto que tendrá la Transformación Digital y la Evolución Tecnológica en los distintos procesos, subprocesos y, por consiguiente, en las competencias laborales asociadas a estos.

De acuerdo a la revisión del estado actual de las tecnologías en la industria minera, ya es posible encontrar algunos cambios, como el *Big Data*, la utilización de camiones autónomos (situación pionera en la industria minera chilena) y la Automatización de procesos a través de los Centros Integrados de Operación. Queda aún desarrollar de manera más profunda el Internet de las Cosas y la Fabricación Aditiva.

Al 2017, el proceso con mayor cantidad de operación manual es el de Mantenimiento. En Procesamiento de Cobre, la Teleoperación ya está integrada.

A mediano plazo (Evolución Tecnológica) se estima que se requerirán 86 nuevas competencias (32% de crecimiento del MCM).

- Mantenimiento estaría expuesto a un mayor impacto, donde se prevé un cambio de una operación manual a una Automatizada, considerando 32 nuevas competencias (42%), especialmente las orientadas a los subprocesos eléctrico e instrumentista.
- Extracción pasaría de una operación manual a una mayoritariamente Teleoperada, con un requerimiento de 23 nuevas competencias (32%). El subproceso más impactado sería extracción rajo. Cabe señalar que en el subproceso de tronadura es donde más aumentaría la automatización.



- En Procesamiento de Cobre se prevé un incremento en la automatización, considerando el requerimiento de 31 nuevas competencias (27%), con énfasis en el subproceso de concentradora. En el subproceso de hidrometalurgia se vería una disminución importante de las competencias operadas.

El máximo potencial tecnológico (Transformación Digital) permite prever que el 80% de las competencias consideran un cambio.

- El proceso de Mantenimiento es donde se proyecta el mayor impacto, ya que el 48% de las competencias serían reemplazadas. Le sigue el de Extracción, con un 43%.
- Las competencias que tenderían a mantenerse son las relacionadas a aquellas funciones de Supervisión, Coordinación y Control en los distintos procesos.

La evolución de las competencias entre la actualidad, el mediano y largo plazo, no tendría un comportamiento continuo. Se espera un tránsito desde un Nivel Tecnológico Operado a Teleoperado y de Teleoperado a Automatizado.

Llegar al máximo potencial de cambio (Transformación Digital) dependerá de la política de inversiones, estrategia y de las condiciones de cada una de las faenas mineras.

Este estudio es el inicio para dimensionar la transformación del trabajo en minería, dado el impacto de la implementación de la Cuarta Revolución Industrial. Es recomendable, que se realice un levantamiento del Nivel Tecnológico actual en cada una de las faenas mineras en Chile e identificar su disposición / necesidad de avanzar hacia mayores procesos de automatización y optimización. Esto permitirá establecer las brechas respecto al potencial esperado y así definir los requerimientos reales de capital humano con las competencias requeridas para acompañar el proceso de absorción tecnológica.





ANEXOS

• Referencias	84
• Máximo Nivel Tecnológico identificado	87
• Algunas visiones encontradas en las entrevistas	91
• Expositores y participantes en talleres	92
• Distribución de competencias por procesos y subprocesos	93
-Transformación Digital	
- Nivel Tecnológico	

REFERENCIAS

- A Chin, C Juhn, P Thompson 2006. The Review of Economics and Statistics, MIT Press.
- Autor, D., L. Katz and A. Krueger 1998. Computing Inequality: Have Computers Changed the Labor Market? Quarterly Journal of Economics 113, 1169-1213.
- Autor, D., & Dorn, D. (2013). The growth of low skill service jobs and the polarization of the US labor market. American Economic Review, 103, 1553–1597.
- Autor, D., Levy, F., & Murnane, R. J. (2003). The skill content of recent technological change: An empirical exploration. The Quarterly Journal of Economics, 118, 1279–1333.
- Disappearing Routine Jobs: Who, How, and Why? Guido Matias Cortes, Nir Jaimovich, Henry E. Siu <http://www.nber.org/papers/w22918>.
- Michael A. Peters (2017) Technological unemployment: Educating for the fourth industrial revolution, Educational Philosophy and Theory, 49:1, 1-6, DOI:10.1080/00131857.2016.1177412.
- The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs To Computerisation? Carl Benedikt Frey† and Michael A. Osborne‡ September 17, 2013.
- The Future of Jobs Report, World Economic Forum 01/2016.
- Cognitive vs. manual and routine vs. non-routine: Daron Acemoglu, David Autor (Labor Economics, MIT).
- ABB Group (2016). ABB Integrated Mine Automatio. ABB Mining Sweden.
- Accenture (2010). Using autonomous equipment to achieve high performance in the mining industry Is there a benefits case for broader adoption? Mining Executive Series.
- Bellmy D, Pravica L, 2010, “Assessing the Impact of Driverless Haul Truck in Australian Surface Mining”.
- Bifet, A. (2012). Mining *Big Data* in Real Time. Barcelona, España.
- Bloem, J., Duivesteyn, S., Excoffier, D., Maas, R., van Doorn, M., van Ommeren, E. (2014). The Fourth Industrial Revolution Things to Tighten the Link Between IT and OT. Sogeti VINT, España. Recuperado de <https://www.fr.sogeti.com/globalassets/global/downloads/reports/vint-research-3-the-fourth-industrial-revolution>.

- Cyliani (s.f). Diseño de centros integrados de operación más allá de la tecnología. Santiago, Chile. Recuperado de http://www.cyliani.cl/articulo%20diseño_centrosintegrados.pdf.
- Dadhich, S., Bodin, U. & Andersson, U. (2016). Key challenges un automation of earth-moving machines. Department of Computer Science, Electrical and Space Engineering, Lulea University of Technology, Suecia.
- Dionne, Y. (2014), 9 Reasons Automation Matters in Mining. Promine Mining and Geology Software, Quebec, Canada. Recuperado de <https://www.promine.com/blog/9-reasons-automation-matters-in-mining>.
- Fisher, B. & Schnittger, S. (2012). Autonomous and Remote Operation Technologies in the Mining Industry: Benefits and Costs, BAE Report 12.1, Canberra, Australia.
- Giurco, D., Prior, T., Mudd, G., Mason, L. and Behrisch, J. (2010), 'Peak minerals in Australia: a review of changing impacts and benefits', prepared for CSIRO Minerals Down Under Flagship, by the Institute for Sustainable Futures (University of Technology, Sydney) and Department of Civil Engineering (Monash University), March.
- Hemani, A., Hassani, F. (2009). An overview of autonomous loading of bulk material, Proceedings of the 26th ISARC, Austin TX, U.S.A. 2009, pp. 405–411.
- Khoso, M. (2016). How Much Data is Produced Every Day? Northeastern Univeristy, Boston, Estados Unidos. Recuperado de <http://www.northeastern.edu/levelblog/2016/05/13/how-much-data-produced-every-day/>.
- Laney, D. (2001). Application Delivery Strategies, 3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety. Meta Group Inc, 208 Harbor Drive, P.O., Stanford, Estados Unidos. Recuperado de <https://blogs.gartner.com/doug-laney/files/2012/01/ad949-3D-Data-Management-Controlling-Data-Volume-Velocity-and-Variety.pdf>.
- Lever, P. & McAree, P. (2003). Open Cut Automation Scoping Study. Report C11054. Brisbane: Australian Coal Association Program.
- Lynas D, Horberry T, 2011, "Human Factors Issues with Automated Mining Equipment", Minerals Industry Safety and Health Centre, Sustainable Minerals Institute, University of Queensland.
- Lynas D, Horberry T, 2011, "Literature review: Emerging Human Factors Trends Regarding Automated Mining Equipment", Minerals Industry Safety and Health Centre, Sustainable Minerals Institute, University of Queensland.
- Meech, J. & Parreira, J. (2011). An interactiva simulation model of human drivers to study autonomous haulage trucks. Department of Mining Engineering, The University of British Columbia. Vancouver, Canada.

- Mining.com (2017). How can you use data analytics in mining? Recuperado de <http://www.mining.com/web/how-can-you-use-data-analytics-in-mining/>.
- Moffat, K. & Zhang, A. (2013). The paths to social licence to operate: An integrative model explaining community acceptance of mining.
- Parasuraman, R. & Riley, V. (1997) "Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse," *Human Factors*, vol. 39, pp. 230–253. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*.
- Sheridan, TB, (2002). *Humans and Automation: System Design and Research Issues*. John Wiley & Sons, Inc., Santa Monica, USA.

MÁXIMO NIVEL TECNOLÓGICO IDENTIFICADO

Proceso	Subproceso	Equipos	Proveedores	Máximo Nivel Tecnológico identificado	
Extracción	Exploración y Sondaje	Perforadora	Sandvik	Teleoperado	
			Atlas Copco		
			Boart Longyear		
	Extracción Rajo	Perforadora		CAT	Teleoperado
				Sandvik	
				Atlas Copco	
				Komatsu	
		Palas		CAT	Operación Manual
				Sandvik	
				Liebherr	
		Cargador Frontal		CAT	Operación Manual
				Komatsu	
		Camiones		CAT	Autónomos
	Komatsu				
	Bulldozer		CAT	Operación Manual	
			Komatsu		
			Liebherr		
	Sistema de Despacho		CAT	Monitoreo, visualización	
			Modular		
Jiwsaw					
Seguridad equipos		Modular	Monitoreo, visualización		
Ubicación satelital, GPS		Komatsu	Monitoreo, visualización		
Signos vitales equipos		CAT	Monitoreo, visualización		
		Komatsu			

Proceso	Subproceso	Equipos	Proveedores	Máximo Nivel Tecnológico identificado
Extracción		Chancado Giratorio	Metso	Automatizado
			Sandvik	
			FLSmidth	
		Chancador Mandíbula	Metso	Semiautomatizado
			Sandvik	
			FLSmidth	
		Chancador de Cono	Metso	Automatizado
			Sandvik	
		Sistema de Control	Sandvik	Automatizado
		Extracción Subterránea	LHD	CAT
	Komatsu			
	Atlas Copco			
	Sandvik			
	Jumbo producción		Komatsu	Teleoperado
			Atlas Copco	
			Sandvik	
	Martillo		Sandvik	Teleoperado
			Atlas Copco	
			BTI	
		Brokk		
Correas	Good year	Monitoreo, visualización		
	Phoenix			
	Contitech			
	Bridgestone			
Dumper	CAT	Operación Manual		
	Sandvik			
	Komatsu			
	Atlas Copco			

Proceso	Subproceso	Equipos	Proveedores	Máximo Nivel Tecnológico identificado
Procesamiento		Tren	Ferroestatal	Semiautónomo
			Kiruna	
	Tronadura	Camión fábrica	Enaex	Teleoperado
			Orica	
	Proceso de Concentrado	Molino Barras	Metso	Automatizado
			Molino Bolas	
			FLSmidth	
		Molino SAG	Metso	Automatizado
			FLSmidth	
		Harnero	Metso	Operación Manual
			Sandvik	
			Tyler	
			Ludowici	
		Chancador Pebbles	Metso	Automatizado
			FLSMidth	
		AG	Metso	Automatizado
	FLSmidth			
	Outotec			
	HPGR	ABB	Semiautónomo	
		Metso		
FLSmidth				
Celdas	Metso	Automatizado		
	FLSmidth			
	Outotec			
Molino Vertical	Metso	Automatizado		
	FLSmidth			
Hidrociclones	Weir	Automatizado		
	FLSmidth			
Celdas Columnas	Metso	Automatizado		
	FLSmidth			
	Outotec			

Proceso	Subproceso	Equipos	Proveedores	Máximo Nivel Tecnológico identificado
Procesamiento		Celdas de flotación	Metso	Automatizado
			FLSmidth	
			Outotec	
		Espesador	FLSmidth	Automatizado
			Outotec	
			Delkor	
		Filtro al vacio	Outotec	Automatizado
			Delkor	
		Hidrometalurgia	Correas	Metso
	Aplik			
	Sandvik			
	Pilas		Aplik	Monitoreo, visualización
	Apilador radial		Metso	Automatizado
			FAM	
			Sandvik	
	Rotopala		FAM	Operación Manual
			FLSmidth	
			Sandvik	
Celdas electrolíticas (EW)				
Circuito electrolítico	Outotec	Monitoreo, Visualización		
	Aplik			
Lavadora de cátodos	Outotec	Automatizado		
Despegadora de cátodos	MIRS	Automatizado		
	Outotec			
	Aplik			

ALGUNAS VISIONES ENCONTRADAS EN LAS ENTREVISTAS

Operadores:

“Tenemos equipos de alta tecnología. Ellos especifican en las licitaciones que los equipos tienen que ser automáticos, de alta tecnología. Tienen que hacer manipulación automática de barras, para minimizar el riesgo de accidentes por barro. Esto ya es una definición de compañía. Especifican que sea lo más seguro posible. Han reducido la gente en el terreno. Con un operador de sonda y un ayudante que usan telecomando para realizar los sondajes, nada se pierde, es más caro pero vale la pena el gasto por la seguridad”.

- *“Maquinaria pesada de movimiento de materiales (cargadores, retro, bulldozers, celdas columnares y sistema de control distribuido que permite operar la planta de forma automática). Hay nivel de automatización importante”.*
- *“Tenemos muy poca tecnología, esa es mi primera mirada. En minería se ha evolucionado poco en tecnología, no hay muchos cambios desde el 90, poca innovación”.*
- *“Cambiar mentalidad para operar de manera automatizada o tele comandada”.*
- *“Todos son de operación manual, todos los equipos de tierra y eléctrico es manual, por eso también es más riesgoso. Tenemos para el próximo año sistema tele comandados”.*
- *“Hay procesos manuales que pueden ser automatizados pero de todas maneras se requiere mucha supervisión en terreno”.*
- *“En la mina los equipos tienen alta tecnología, no ha habido mucha variación en los últimos cinco años en el tipo de tecnología incorporada, pero sí de los software que operan este equipo, se permite monitorear las condiciones de operación, y eso permite mejorar las prácticas de los operadores también”.*
- *“Los cambios van a ser más adelante. Esto se hace igual desde hace cinco años, se han realizado mejoras, pero es el mismo proceso”.*
- *“El cambio cultural es el mayor desafío, la gente lo rechaza. Nosotros trabajamos con las personas, mostramos los beneficios que les traen, buscamos que su trabajo sea mejor y haya una menor carga de trabajo (menor desgaste). Cuando se explica el objetivo, la persona lo asume”.*
- *“Yo creo que cinco años es muy poco para eso, viendo como tenemos la mina ahora, yo creo que se van a incorporar tecnologías para proteger a los trabajadores y tener más seguridad para ellos. Que impida que las personas estén expuestas a un trabajo riesgoso, daños físicos o accidentes graves. Más adelante deberíamos contar con equipos autónomos, pero por ahora enfocados en seguridad”.*

Proveedores:

- *“Para que se pueda dar el proceso de manera autónoma o automatizada es necesario que exista un proceso de enseñanza a los equipos, que se programen para ver por dónde hay que pasar, por dónde tienen que moverse y cómo cumplir las misiones. Entonces una vez que tú haces todo eso el equipo puede funcionar para cumplir las misiones que tienen indicadas, el operador solo tiene que monitorear el cumplimiento de las misiones. Tenemos un sistema que lee la cantidad de misiones del equipo y cuando lo cumple pasa a la siguiente misión, el equipo sabe cómo funciona y puede hacer toda su rutina solo”.*
- *“Los equipos inteligentes ya vienen con todos los sistemas incorporados, se establece la sala de operación y queda funcionando”.*
- *“Equipos desde lo más simple hasta lo más avanzado, la mayoría esta automatizado y lo que no*

se está en proceso de automatización. Además todos nuestros equipos funcionan con Tablet y el operador va retroalimentado el sistema a medida que avanza el turno”.

- “Todo apunta a la autonomía de los procesos, camiones, palas, etc. Es decir equipos inteligentes que operen de manera autónoma”.
- “El cambio que viene es brusco, en dos o tres años se van a ver cambios. Va hacia la automatización, sacar gente del proceso minero y tener gente con otro perfil, poder controlar la mina a distancia, permitiendo mayor seguridad, salud, productividad y eficiencia”.
- “En cinco años viene todo lo que es realidad virtual, viene la digitalización masificada (ejemplo: interruptores mediante aplicación). Aumentar la tecnología wireless, tecnologías sobre la electrificación. Con realidad virtual puedo explorar un equipo sin intervenirlo. La utilización de la información en tiempo real es otro tema que se viene”.

EXPOSITORES Y PARTICIPANTES TALLERES

Facilitador	Cargo	Función
Diego Richard	Director Agendas Sectoriales	Anfitrión Taller
Rafael Pizarro	Líder Estándares Laborales	Expositor MCM
Eduardo Soto	Jefe Proyectos	Coordinador participantes
Paulina Peña	Jefe de Proyectos	Experto Estudios
Carolina Águila	Jefe de Proyectos	Moderador/Facilitador mesas
Patricio Balmaceda	Jefe de Proyectos	Facilitador mesas
Felipe Dosal	Consultor	Facilitador mesas
Guillermo Álvarez	Consultor	Facilitador mesas
Angela Ventura	Consultor	Facilitador mesas

Nombre	Empresa	Proceso
Cristian Araya	AMSA	Extracción Rajo
Juan Pizarro	AMSA	Extracción Rajo
Pablo Moore	Modular Mining	Extracción Rajo
Ismael Gottreux	Orica	Extracción Subterránea
Manuel Espejo	FLSMidth	Mantenimiento Mecánico
Francisco Rivera	Komatsu	Mantenimiento Mecánico

Nombre	Empresa	Proceso
Francisco Reyes	BASF	Hidrometalurgia
Silvana Zeballos	FESTO	Concentradora
Diego Rodríguez	FESTO	Concentradora
Patricio Rojas	METSO	Concentradora
Jorge del Castillos	Codelco	Fundición/Refinería
Marco Henríquez	Universidad de Santiago	Mantenimiento Eléctrico/ Instrumentista

DISTRIBUCIÓN DE COMPETENCIAS POR PROCESOS Y SUBPROCESOS

Transformación Digital

A continuación, se expondrá el detalle de la distribución de competencias por Proceso/Subproceso, de acuerdo al mayor potencial de Transformación Digital.

Competencias proceso de Extracción: Subproceso de Extracción Rajo Abierto

Mayor Potencial de Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Operar camión de alto tonelaje.
- Preparar y habilitar área de trabajo con tractor oruga.
- Realizar perforaciones en rajo abierto.
- Preparar y habilitar área de trabajo con tractor neumático.
- Reducir bolones y pisos con martillo rompedor móvil.
- Trasladar equipos eléctricos con generador autónomo.
- Trasladar equipos en instalaciones mina.
- Perforar bolones.

Mayor Potencial de Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Operar excavadora de producción.
- Cargar material mediante equipo móvil cargador frontal.
- Cargar mineral con palas.
- Regar área de trabajo y asistir operaciones.
- Perfilar y afinar área de trabajo.

Mayor Potencial de Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

No se asignaron competencias a este cuadrante.

Competencias que se mantienen (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Coordinar sistema de despacho minero.
- Supervisar el proceso de extracción a rajo abierto.

Competencias proceso de Extracción: Subproceso de Extracción Subterránea

Mayor Potencial de Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Operar LHD vía remota.
- Operar martillo rompedor móvil.
- Operar correas de transporte de mineral.
- Regular traspaso de mineral vía remota.

- Instalar fortificaciones pernos, cables y mallas.
- Realizar reparación básica de piping.
- Realizar transporte de explosivos interior mina.
- Operar acuñador mecanizado de acuerdo.
- Operar bomba de hormigón.
- Operar equipo mixer de bajo perfil.
- Operar equipo telescópico.
- Realizar acuñadura.
- Ejecutar perforación manual de rocas en mina subterránea.
- Instalar marcos de fortificación.
- Transportar mineral con camiones de alto tonelaje en mina.
- Operar martillo rompedor fijo.
- Operar buzón de traspaso.

Mayor Potencial de Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Operar equipos de fortificación (shotcrete).
- Preparar tronadura de desarrollo.
- Controlar ventilación interior mina.
- Operar sistema de chancado de mineral interior mina.
- Realizar tronadura secundaria.
- Controlar servicio de apoyo a la producción agua y aire.
- Operar equipo jumbo.
- Operar LHD en producción.
- Registrar el estado productivo y operacional de puntos de operación.
- Controlar planta de chancado desde sala de control.
- Destrancar con explosivos vías de traspaso.
- Preparar y realizar tronadura de hundimiento.
- Muestrear puntos de extracción.
- Operar equipo jumbo (R. Secundaria).
- Operar sistemas de harneros y alimentadores.

Mayor Potencial de Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

- Reparar calles de producción.
- Reparar parrilla de producción.
- Instalar servicio de ventilación, drenaje, redes de aire comprimido y de agua en mina subterránea.
- Realizar soldadura y oxicorte.

Competencias que se mantienen (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Coordinar procesos de preparación mina subterránea.
- Supervisar el proceso de extracción subterránea.
- Monitorear proceso de extracción subterránea.
- Coordinar procesos de desarrollo y servicios mina subterránea.

Competencias proceso de Extracción: subproceso de Tronadura

Mayor Potencial de Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Cargar tiro con equipo autónomo en proceso de tronadura en mina rajo abierto y mina subterránea.
- Operar mini cargador frontal en proceso de tronadura.
- Preparar condiciones para carguío de pozo con camión fábrica en proceso de tronadura en mina a rajo abierto.
- Operar camión carguío subterráneo automatizado, en proceso de tronadura en mina subterránea.
- Operar camión carguío subterráneo manual, en proceso de tronadura en mina subterránea.
- Operar equipo tapa pozos en proceso de tronadura.

Mayor Potencial de Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Administrar abastecimiento y distribución de explosivos en polvorín en mina rajo abierto y mina subterránea.
- Diseñar secuencia de tronadura en mina rajo abierto y mina subterránea.
- Realizar carguío de tiro a mano en proceso de tronadura en mina rajo abierto y mina subterránea.
- Programar la secuencia de tronadura en mina rajo abierto y mina subterránea.
- Operar camión fabrica en procesos de tronadura en mina rajo abierto.
- Operar camión polvorín en procesos de tronadura en mina rajo abierto y mina subterránea.
- Operar camión pluma en proceso de tronadura en mina rajo abierto y mina subterránea.
- Preparar tiro en proceso de tronadura mina a rajo abierto y mina subterránea.

Mayor Potencial de Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

No se asignaron competencias a este cuadrante.

Competencias que se mantienen (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Asegurar condiciones de tiro en proceso de tronadura en mina rajo abierto y mina subterránea.
- Supervisar proceso de tronadura en mina rajo abierto.
- Supervisar proceso de tronadura en mina subterránea.

Competencias proceso de Mantenimiento: Subproceso de Mantenimiento Mecánico

Mayor Potencial de Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Mantener frenos mecánicos.
- Mantener sistemas de lubricación.
- Mantener sistemas neumáticos.
- Apoyar la instalación y desinstalar correas transportadoras.
- Apoyar la vulcanización de correas.
- Instalar y desinstalar correas transportadoras.

- Mantener bombas centrifugas.
- Mantener correas transportadoras y alimentadores.
- Mantener en forma básica correas transportadoras y alimentadores.
- Mantener motores diesel.
- Mantener sistemas de piping de acero.
- Mantener sistemas de piping de polímeros.
- Mantener sistemas de transmisión.
- Mantener sistemas hidráulicos.
- Mantener válvulas.
- Mantener ventiladores.
- Monitorear funcionamiento de equipos mina con herramientas electrónicas.
- Realizar ensayos eléctricos de partículas magnéticas.
- Realizar ensayos mecánicos de espesor y control dimensional.
- Realizar ensayos mecánicos de lubricantes.
- Realizar ensayos mecánicos de radiografías.
- Realizar ensayos mecánicos de ultrasonido.
- Realizar ensayos mecánicos de vibraciones.
- Realizar ensayos mecánicos eléctricos armónicos.
- Realizar mantenimiento mecánico básico de equipos fijos.
- Realizar mantenimiento mecánico básico de equipos móviles.
- Realizar soldadura al arco (convencional), mig y tig.
- Realizar soldadura con arco (convencional).
- Realizar vulcanización de correas.

Mayor Potencial de Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Mantener sistema de regulación de temperatura.
- Operar puente grúa (mto. mecánico).
- Realizar análisis e interpretación de ensayos NDT.
- Diagnosticar y reemplazar bombas de desplazamiento positivo.
- Mantener elementos de desgaste.
- Realizar ensayos mecánicos de dureza.

Mayor Potencial de Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

No se asignaron competencias a este cuadrante.

Competencias que se mantienen (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Coordinar y supervisar actividades de vulcanización/ cambios de correas transportadoras.
- Mantener sistemas hidráulicos (especialista).
- Realizar cambio de parámetros de motores de equipos mina con herramientas electrónicas.
- Coordinar actividades de ensayos NDT.
- Coordinar actividades de mantenimiento.
- Diagnosticar y reemplazar bombas de desplazamiento positivo (especialista).
- Mantener frenos mecánicos (especialista).
- Mantener motores diesel (especialista).

- Mantener sistemas de transmisión (especialista).
- Mantener sistemas neumáticos (especialista).
- Mantener válvulas (especialista).

Competencias proceso de Mantenimiento: Subproceso de Mantenimiento Instrumentista

Mayor Potencial de Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Mantener variadores de frecuencia.

Mayor Potencial de Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Mantener sistemas de redes de transmisión de datos.
- Diagnosticar sistemas de control neumático.
- Mantener dispositivos de instrumentación de campo
- Mantener sistemas de instrumentación análogo y digital.
- Mantener controladores de procesos.
- Mantener sistemas de control.

Mayor Potencial de Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

No se asignaron competencias a este cuadrante.

Competencias que se mantienen (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Mantener equipos ionizantes.

Competencias proceso de Mantenimiento: Subproceso de Mantenimiento Eléctrico

Mayor Potencial de Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Mantener interruptores y desconectores.
- Mantener sistemas celdas de baja, media y alta tensión.
- Mantener tableros de distribución, fuerza y control.
- Mantener motores y generadores eléctricos.
- Mantener motores y generadores eléctricos de equipos mina.
- Mantener tableros de distribución, fuerza y control (Especialista).
- Realizar mantenimiento eléctrico-instrumentista básico general.

Mayor Potencial de Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Mantener sistemas celdas de baja, media y alta tensión (especialista).
- Monitorear funcionamiento de equipos mina con herramientas electrónicas.
- Realizar cambio de parámetros de motores de equipos mina con herramientas electrónicas.
- Mantener interruptores y desconectores (especialista).

- Mantener líneas de distribución eléctrica.
- Mantener líneas de distribución eléctrica (especialista).
- Mantener protecciones en sistemas eléctricos de potencia (especialista).
- Mantener sistemas de arranque equipos mina.
- Mantener transformadores de media tensión.
- Mantener transformadores de media tensión (especialista).
- Mantener unidades de rectificadores de media tensión (especialista).

Mayor Potencial de Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

- Mantener motores y generadores eléctricos.
- Mantener motores y generadores equipos mina (especialista).

Competencias que se mantienen (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Canalizar y cablear líneas de media tensión.
- Canalizar y cablear líneas de media tensión (especialista).
- Mantener medidores de energía (especialista).

Competencias proceso de Procesamiento: Subproceso de Concentrado

Mayor Potencial de Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Operar (en terreno) procesos de envasado, carguío y despacho de concentrado de molibdeno.
- Operar equipos de transporte de pulpas a larga distancia.
- Operar espesadores.
- Operar (en terreno) procesos de filtrado de molibdeno.
- Operar en terreno procesos de espesamiento de concentrados (cobre y molibdeno)
- Operar equipos de conducción de relave, depositación y recuperación de agua.
- Operar unidades de filtrado a presión.

Mayor Potencial de Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Operar equipos de remolienda y clasificación.
- Operar equipos planta de chancado.
- Operar y controlar procesos de filtrado de humedad.
- Controlar proceso de envasado, carguío y despacho de concentrado de molibdeno.
- Controlar proceso de conducción de relaves y recuperación de H2O.
- Operar (en terreno) proceso de flotación molibdeno.
- Operar celdas de flotación.
- Operar columnas de flotación.
- Operar equipos planta molienda convencional.
- Operar equipos planta molienda SAG.
- Recepcionar y manipular reactivos.

Mayor Potencial de Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

- Agregar cuerpo molidor.

Competencias que se mantienen (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Controlar proceso de filtrado de concentrado de molibdeno.
- Controlar proceso de molienda SAG.
- Supervisar procesamiento de concentrado.
- Controlar proceso de espesamiento de concentrados (cobre y molibdeno).
- Controlar planta de chancado desde sala de control.
- Controlar proceso de flotación de molibdeno.
- Controlar proceso de flotación en celdas.
- Controlar proceso de flotación en columnas.
- Controlar proceso de molienda convencional.

Competencias proceso de Procesamiento: Subproceso de Hidrometalurgia**Mayor Potencial de Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)**

- Despegar cátodos.
- Operar celdas de electrobtención.
- Operar rotopala.
- Inspeccionar celdas de electrobtención.
- Instalar sistema de irrigación de pilas.
- Operar en terreno proceso de lixiviación.
- Operar equipos planta de aglomeración.
- Operar equipos planta de chancado.
- Operar equipos planta extracción por solventes.
- Operar esparcidor.
- Operar puente grúa (EW).

Mayor Potencial de Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Controlar despacho de cátodos.
- Controlar planta de aglomeración de mineral.
- Controlar proceso de lixiviación.
- Coordinar renovación de electrodos.

Mayor Potencial de Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

- Apilar material para lixiviación.
- Realizar cambio de ánodos y cátodos.

Competencias que se mantienen (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Controlar procesos de EW desde sala de control.

- Monitorear condiciones del electrolito.
- Supervisar el proceso de lixiviación y extracción por solventes.
- Controlar planta de chancado (oxido) desde sala de control.
- Control planta de SX desde sala de control.
- Supervisar el proceso área seca hidrometalurgia.
- Supervisar el proceso de electrobtención.

Competencias proceso de procesamiento: Subproceso de Fundición/Refinería

Mayor Potencial de Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Ejecutar sangrado de líquidos fundidos horno flash.
- Operar máquina cortadora de asas.
- Operar máquina preparadora de cátodos iniciales.
- Preparar cuchara de moldeo.
- Operar mini cargador.
- Operar grúa orquilla.
- Calentar hornos.
- Operar despacho de ánodos.
- Operar sistemas de refrigeración horno flash.
- Operar despacho de ácido por vía terrestre (en terreno).
- Operar suministros de agua.
- Controlar producción de aire comprimido.
- Inspeccionar celdas de electrobtención.
- Operar secado, disgregado y despacho de barro anódico.
- Operar unidades de filtrado a presión.
- Operar celdas de electrobtención.
- Operar máquina lavadora de cátodos.
- Operar máquina lavadora de scrap.
- Operar máquina preparadora de ánodos.
- Operar proceso de lixiviación de barro anódico.

Mayor Potencial de Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Transportar materiales fundidos y pesados en puente grúa.
- Manejar horno basculante fundición.
- Monitorear condiciones del electrolito.
- Operar equipos de moldeo.
- Operar martillo rompedor móvil.
- Abastecer carga a fundición.
- Controlar secado de concentrado de cobre.
- Operar hornos basculantes de fusión-conversión.
- Operar hornos basculantes de refinación.
- Operar horno flash.
- Operar planta de ácido.
- Operar planta de tratamiento de ácidos débiles.
- Operar planta de manejo de gases.

- Operar suministro de combustible.
- Operar planta oxígeno.
- Operar planta de aire.
- Controlar limpieza escorias horno basculante.
- Controlar fusión-conversión en hornos.
- Controlar producción de cobre anódico.
- Controlar moldeo de barras de ánodo.
- Controlar manejo de gases.
- Controlar tratamiento de ácidos débiles.
- Controlar producción de ácido sulfúrico.
- Controlar producción de oxígeno-nitrógeno.
- Controlar despacho de cátodos.
- Controlar planta de tratamiento de barro anódico desde sala de control.
- Controlar proceso de refinación desde sala de control.
- Despegar cátodos.
- Operar puente grúa (EW).
- Realizar cambio de ánodos y cátodos.

Mayor Potencial de Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

No se asignaron competencias a este cuadrante.

Competencias que se mantienen (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Supervisar producción de aire comprimido.
- Mantener refractarios horno fundición.
- Supervisar producción de ácido sulfúrico.
- Fabricar moldes y piezas de cobre.
- Controlar conversión de metal blanco a cobre blíster en hornos CPS.
- Coordinar servicios de fusión-conversión.
- Supervisar hornos de fusión-conversión.
- Supervisar producción de cobre anódico.
- Supervisar moldeo de ánodo.
- Supervisar producción de oxígeno.
- Supervisar tratamiento de ácidos débiles.
- Supervisar operación manejo de gases.
- Supervisar proceso de refinación electrolítica.

Nivel Tecnológico

A continuación, se expondrá el detalle de la distribución de competencias por Proceso/Subproceso, de acuerdo al Nivel Tecnológico esperado al 2022.

Competencias proceso de Extracción: Subproceso de Extracción Rajo Abierto

Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Operar camión alto tonelaje.
- Reducir bolones y pisos con martillo rompedor móvil.
- Perforar bolones.
- Coordinar sistema de despacho minero.

Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

No se asignaron competencias a este cuadrante.

Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

- Operar excavadora de producción.
- Preparar y habilitar área de trabajo con tractor neumático.
- Regar área de trabajo y asistir operaciones.
- Perfilar y afinar área de trabajo MO.
- Preparar y habilitar área de trabajo con tractor oruga.
- Trasladar equipos eléctricos con generador autónomo.
- Trasladar equipos en instalaciones mina.
- Cargar material mediante equipo móvil cargador frontal.
- Cargar mineral con palas.
- Realizar perforaciones en rajo abierto.

Operadas/Pensamiento Analítico (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Supervisar el proceso de Extracción a Rajo Abierto

Subproceso de Extracción Subterránea

Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Operar por vía remota.
- Operar martillo rompedor móvil.
- Instalar marcos de fortificación de acuerdo a normativa legal vigente.
- Operar LHD en producción.
- Operar correas de transporte de mineral.
- Operar martillo rompedor fijo.
- Operar buzón de traspaso.

Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Destrancar con explosivos vías de traspaso.

Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

- Regular traspaso de mineral vía remota.
- Operar sistema de chancado de mineral interior mina.
- Instalar fortificaciones pernos, cables y mallas.
- Operar equipo de fortificación (shotcrete).
- Operar acuñador mecanizado de acuerdo a normativa legal vigente.
- Operar equipo telescópico.
- Ejecutar perforación manual de rocas en mina subterránea.
- Realizar tronadura secundaria.
- Preparar tronadura de desarrollo.
- Controlar ventilación interior mina.
- Operar equipo jumbo.
- Transportar mineral con camiones de alto tonelaje en mina.
- Monitorear proceso de extracción subterránea.
- Controlar planta de chancado desde sala de control.
- Operar equipo jumbo (r. secundaria).
- Operar sistemas de harneros y alimentadores.

Operadas/Pensamiento Analítico (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Coordinar procesos de preparación mina subterránea de acuerdo a normativa legal vigente.
- Coordinar procesos de desarrollo y servicios mina subterránea de acuerdo a normativa legal vigente.
- Supervisar el proceso de extracción subterránea.
- Reparar calles de producción.
- Reparar parrilla de producción.
- Realizar soldadura y oxicorte.
- Realizar transporte de explosivos interior mina.
- Operar bomba de hormigón de acuerdo a normativa legal vigente.
- Operar equipo mixer de bajo perfil de acuerdo a normativa legal vigente.
- Realizar acuñadura.
- Realizar reparación básica de piping.
- Instalar servicios de ventilación, drenaje, redes de aire comprimido y de agua en mina subterránea de acuerdo a normativa legal vigente.
- Controlar servicio de apoyo a la producción agua y aire.
- Registrar el estado productivo y operacional de puntos de operación.
- Preparar y realizar tronadura de hundimiento.
- Muestrear puntos de extracción.

Subproceso de Tronadura

Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Administrar abastecimiento y distribución de explosivos en polvorín en mina a rajo abierto y mina subterránea, de acuerdo a normativas vigentes de seguridad
- Diseñar secuencia de tronadura, en mina a rajo abierto y mina subterránea, de acuerdo a normativa vigente de seguridad.
- Programar la secuencia de tronadura en mina a rajo abierto y mina subterránea de acuerdo a normativa vigente de seguridad.

Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

No se asignaron competencias a este cuadrante.

Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

- Asegurar condiciones de tiro en proceso de tronadura en mina de rajo abierto y mina subterránea, de acuerdo a normativas vigentes de seguridad.
- Operar camión carguío subterráneo automatizado, en proceso de tronadura en mina subterránea, de acuerdo a normativas vigentes de seguridad.
- Operar camión carguío subterráneo manual, en proceso de tronadura en mina subterránea, de acuerdo a normativas vigentes de seguridad.
- Operar camión fábrica, en proceso de tronadura en mina a rajo abierto.
- Operar camión pluma en proceso de tronadura en mina a rajo abierto y mina subterránea, de acuerdo a normativas vigentes de seguridad.
- Operar camión polvorín en proceso de tronadura en mina a rajo abierto y mina subterránea, de acuerdo a normativas vigentes de seguridad.
- Operar equipo tapapozos en proceso de tronadura, de acuerdo a normas vigentes de seguridad.
- Operar mini cargador frontal en proceso de tronadura, de acuerdo a normas vigentes de seguridad.
- Preparar condiciones para carguío de pozo con camión fábrica, en proceso de tronadura en mina a rajo abierto.
- Realizar carguío de tiro a mano en proceso de tronadura en mina de rajo abierto y mina subterránea, de acuerdo a normativas vigentes de seguridad.

Operadas/Pensamiento Analítico (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Cargar tiro con equipo autónomo, en proceso de tronadura en mina de rajo abierto y mina subterránea, de acuerdo a normativas vigentes de seguridad.
- Preparar tiro en proceso de tronadura en mina de rajo abierto y mina subterránea, de acuerdo a normativas vigentes de seguridad.
- Supervisar proceso de tronadura en mina a rajo abierto de acuerdo a normativas vigentes de seguridad.
- Supervisar proceso de tronadura en mina subterránea de acuerdo a normativas vigentes de seguridad.

Competencias proceso de Mantenimiento: Subproceso de Mantenimiento Mecánico

Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Monitorear funcionamiento de equipos mina con herramientas electrónicas.
- Realizar análisis e interpretación de ensayos NDT.
- Realizar ensayos eléctricos de partículas magnéticas.
- Realizar ensayos mecánicos de lubricantes.
- Realizar ensayos mecánicos de radiografía.
- Realizar ensayos mecánicos de ultrasonido.
- Realizar ensayos mecánicos de vibraciones.
- Realizar ensayos mecánicos eléctricos armónicos.
- Realizar soldadura al arco (convencional), mig, tig.

Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Coordinar actividades de ensayos NDT.
- Coordinar actividades de mantenimiento.
- Coordinar y supervisar actividades de vulcanización/ cambios de correas transportadoras.
- Diagnosticar y reemplazar bombas de desplazamiento positivo.
- Realizar ensayos mecánicos de dureza.

Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

- Mantener elementos de desgaste.
- Operar puente grúa (Mtto. mecánico).
- Realizar vulcanización de correas.

Operadas/Pensamiento Analítico (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Apoyar la instalación y desinstalar correas transportadoras.
- Apoyar la vulcanización de correas.
- Diagnosticar y reemplazar bombas de desplazamiento positivo (especialista).
- Instalar y desinstalar correas transportadoras.
- Mantener bombas centrífugas.
- Mantener correas transportadoras y alimentadores.
- Mantener en forma básica correas transportadoras y alimentadores.
- Mantener frenos mecánicos.
- Mantener frenos mecánicos (especialista).
- Mantener motores diésel.
- Mantener motores diesel (especialista).
- Mantener sistemas de lubricación.
- Mantener sistemas de piping de acero.
- Mantener sistemas de piping de polímeros.
- Mantener sistemas de regulación de temperatura.
- Mantener sistemas de transmisión.
- Mantener sistemas de transmisión (especialista).

- Mantener sistemas hidráulicos.
- Mantener sistemas hidráulicos (especialista).
- Mantener sistemas neumáticos.
- Mantener sistemas neumáticos (especialista).
- Mantener válvulas.
- Mantener válvulas (especialista).
- Mantener ventiladores.
- Realizar cambio de parámetros de motores de equipos mina con herramientas electrónicas.
- Realizar ensayos mecánicos de espesor y control dimensional.
- Realizar mantenimiento mecánico básico de equipos fijos.
- Realizar mantenimiento mecánico básico de equipos móviles.
- Realizar soldadura con arco (convencional).

Subproceso de Mantenimiento Instrumentista

Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Diagnosticar sistemas de control neumático.

Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Mantener dispositivos de instrumentación de campo.
- Mantener equipos ionizantes.
- Mantener sistemas de instrumentación análogo y digital.
- Mantener sistemas de redes de transmisión de datos.
- Mantener controladores de procesos.
- Mantener sistemas de control.
- Mantener variadores de frecuencia.

Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

No se asignaron competencias a este cuadrante.

Operadas/Pensamiento Analítico (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

No se asignaron competencias a este cuadrante.

Subproceso de Mantenimiento Eléctrico

Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Monitorear funcionamiento de equipos mina con herramientas electrónicas.
- Realizar cambio de parámetros de motores de equipos mina con herramientas electrónicas.

Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Mantener interruptores y desconectores.
- Mantener interruptores y desconectores (especialista).
- Mantener líneas de distribución eléctrica (especialista).
- Mantener medidores de energía (especialista).
- Mantener motores y generadores eléctricos
- Mantener motores y generadores eléctricos (especialista).
- Mantener motores y generadores eléctricos de equipos mina.
- Mantener motores y generadores eléctricos de equipos mina (especialista).
- Mantener protecciones en sistemas eléctricos de potencia (especialista).
- Mantener sistemas celdas de baja, media y alta tensión.
- Mantener sistemas celdas de baja, media y alta tensión (especialista).
- Mantener sistemas de arranque de equipos mina.
- Mantener tableros de distribución, fuerza y control.
- Mantener tableros de distribución, fuerza y control (especialista).
- Mantener transformadores de media tensión.
- Mantener transformadores de media tensión (especialista).
- Mantener unidades de rectificadores de media tensión (especialista).

Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

- Mantener líneas de distribución eléctrica.

Operadas/Pensamiento Analítico (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Canalizar y cablear líneas de media tensión.
- Canalizar y cablear líneas de media tensión (especialista).
- Realizar mantenimiento eléctrico - instrumentista básico general.

Competencias proceso de procesamiento: Subproceso de Concentrado

Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Controla proceso de espesamiento de concentrados (cobre y molibdeno).
- Controlar proceso de flotación de molibdeno.
- Controlar proceso de flotación en celdas.
- Controlar proceso de flotación en columnas.
- Operar (en terreno) proceso de envasado, carguío y despacho de concentrado de molibdeno.
- Operar (en terreno) proceso de filtrado molibdeno.
- Operar (en terreno) proceso de flotación molibdeno.
- Operar celdas de flotación.
- Operar columnas de flotación.
- Operar equipos de conducción de relaves, depositar y recuperar agua.
- Operar espesadores.
- Operar unidades de filtrado a presión.
- Operar y controlar proceso de filtrado de humedad.
- Supervisar el procesamiento de concentrado.

Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Controlar proceso de conducción de relaves y recuperación de H₂O.
- Controlar proceso de envasado, carguío y despacho de concentrado de molibdeno.

Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

- Agregar cuerpo moedor.
- Controlar planta de chancado desde sala de control.
- Controlar proceso de filtrado de concentrado molibdeno.
- Controlar proceso de molienda convencional.
- Controlar proceso de molienda SAG.
- Operar en terreno proceso de espesamiento de concentrados (cobre y molibdeno).
- Operar equipos de remolienda y clasificación.
- Operar equipos de transporte de pulpas a largas distancias.
- Operar equipos planta de chancado.
- Operar equipos planta molienda convencional.
- Operar equipos planta molienda SAG.

Operadas/Pensamiento Analítico (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Recepcionar y manipular reactivos.

Subproceso de Hidrometalurgia

Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Controlar despacho de cátodos.
- Controlar planta de aglomeración de mineral.
- Controlar planta de chancado (óxido) desde sala de control.
- Controlar planta de SX desde sala de control.
- Controlar proceso de lixiviación.
- Controlar procesos de EX desde sala de control.
- Coordinar renovación de electrodos.
- Despegar cátodos.
- Monitorear condiciones del electrolito.
- Operar celdas de electroobtención.
- Operar en terreno proceso de lixiviación.
- Operar equipos planta de aglomeración.
- Operar equipos planta de chancado.
- Operar equipos planta extracción por solventes.

Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

- Operar puente grúa (EW).
- Operar rotopala.

Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

- Apilar material para lixiviación.
- Inspeccionar celdas de electroobtención.
- Instalar sistema de irrigación de pilas.
- Operar esparcidor.
- Realizar cambio de ánodos y cátodos.

Operadas/Pensamiento Analítico (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Supervisar el proceso área seca hidrometalurgia.
- Supervisar el proceso de electroobtención.
- Supervisar el proceso de lixiviación y extracción por solventes.

Subproceso de Fundición/Refinería

Automatización (Cuadrante Rutinario/Manual)

- Operar planta oxígeno.
- Controlar producción de oxígeno-nitrógeno.
- Controlar producción de aire comprimido.
- Supervisar producción de oxígeno.

- Supervisar producción de aire comprimido.
- Despegar cátodos.

Digitalización (Cuadrante Rutinario/Cognitivo)

No se asignaron competencias a este cuadrante.

Teleoperación (Cuadrante No Rutinario/Manual)

- Ejecutar sangrado de líquidos fundidos horno flash.
- Operar mini cargador.
- Operar martillo rompedor móvil.
- Operar grúa horquilla.
- Calentar hornos.
- Abastecer carga a fundición.
- Controlar secado de concentrado de cobre.
- Operar despacho de ánodos.
- Operar sistema de refrigeración horno flash.
- Operar hornos basculantes de fusión-conversión.
- Operar hornos basculantes de refinación.
- Operar horno flash.
- Operar despacho de ácido por vía terrestre (en terreno).
- Operar planta de ácido.
- Operar planta de tratamiento de ácidos débiles.
- Operar planta de manejo de gases.
- Operar suministro de combustibles.
- Operar suministros de agua.
- Operar planta de aire.
- Transportar materiales fundidos y pesados en puente grúa.
- Controlar fusión conversión en hornos.
- Controlar producción de cobre anódico.
- Controlar moldeo de barras de ánodo.
- Controlar manejo de gases.
- Controlar tratamiento de ácidos débiles.
- Controlar producción de ácido sulfúrico.
- Supervisar hornos fusión conversión.
- Supervisar producción de cobre anódico.
- Supervisar moldeo de ánodo.
- Supervisar tratamiento de ácidos débiles.
- Supervisar producción de ácido sulfúrico.
- Supervisar operación manejo de gases.
- Controlar despacho de cátodos.
- Controlar planta de tratamiento de barro anódico desde sala de control de acuerdo a normativa legal vigente.
- Controlar proceso de refinación desde sala de control de acuerdo a normativa legal vigente.
- Inspeccionar celdas de electroobtención.
- Monitorear condiciones del electrolito.

- Operar celdas de electroobtención.
- Operar espesadores.
- Operar máquina cortadora de asas de acuerdo a normativa legal vigente.
- Operar máquina lavadora de cátodos de acuerdo a normativa legal vigente.
- Operar máquina lavadora de scrap de acuerdo a normativa legal vigente.
- Operar máquina preparadora de ánodos de acuerdo a normativa legal vigente.
- Operar máquina preparadora de cátodos iniciales de acuerdo a normativa legal vigente.
- Operar proceso de lixiviación de barro anódico de acuerdo a normativa legal vigente.
- Operar puente grúa (EW).
- Operar secado, disgregado y despacho de barro anódico de acuerdo a normativa legal vigente.
- Operar unidades de filtrado a presión.
- Realizar cambio de ánodos y cátodos.
- Supervisar proceso de refinación electrolítica de acuerdo a normativa legal vigente.

Operadas/Pensamiento Analítico (Cuadrante No Rutinario/Cognitivo)

- Operar equipo de moldeo.
- Preparar cuchara de moldeo.
- Mantener refractarios horno fundición.
- Fabricar moldes y piezas de cobre.
- Controlar conversión de metal blanco a cobre blister en hornos cps.
- Controlar limpieza escorias horno basculante.
- Manejar horno basculante fundición.
- Coordinar servicios de fusión-conversión.

Empresas participantes del CCM

