

# Identificación de Oportunidades de Manufactura Avanzada en el sector Minero de partes, piezas, sistemas y dispositivos.

Programa Estratégico de Manufactura Avanzada (Industria 4.0)

Patrocinado por:





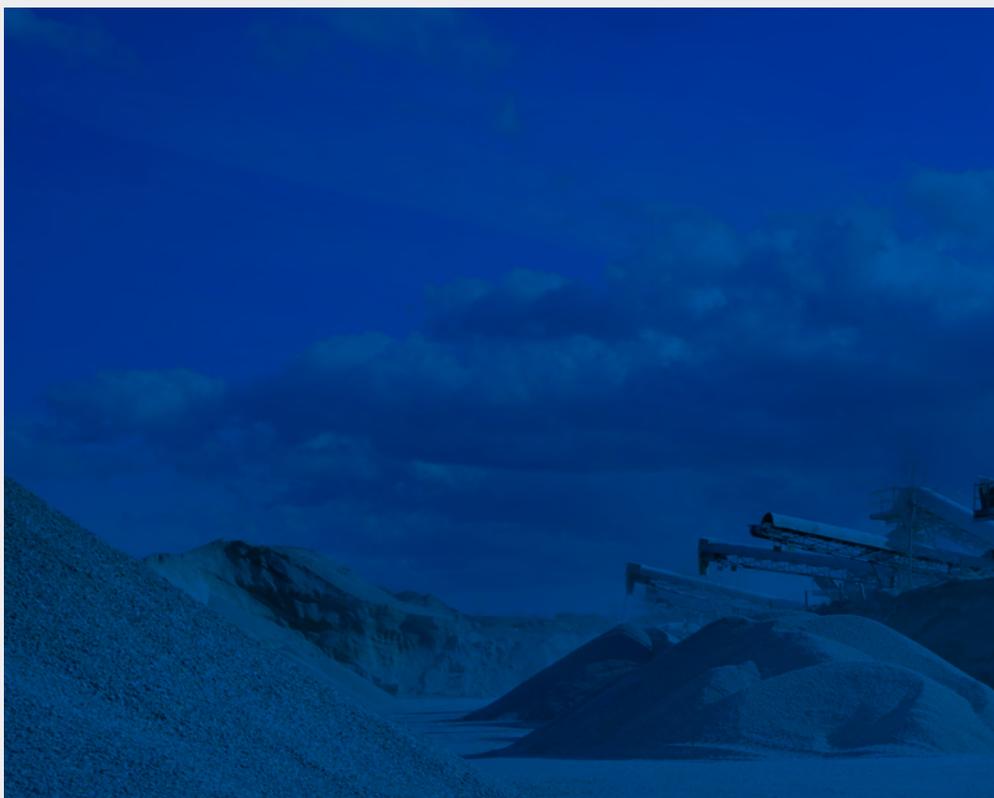
Santiago de Chile

Fecha de elaboración: 2018

Fecha de liberación para difusión: Septiembre 2019

# CONTENIDO

<b>Palabras del Director del Comité de Transformación Digital y del Gerente del Programa Estratégico de Manufactura Avanzada</b> .....	<b>4</b>
<b>Objetivos del proyecto</b> .....	<b>5</b>
Objetivo general .....	6
Alcance del proyecto .....	7
Metodología .....	11
<b>Caracterización de la oportunidad de mercado para soluciones con tecnologías de manufactura avanzada</b> .....	<b>21</b>
Introducción .....	22
Modelo conceptual para dimensionamiento de las oportunidades .....	24
<b>Caracterización de la oportunidad de mercado para soluciones con tecnologías de manufactura avanzada</b> .....	<b>25</b>
Caracterización de los proveedores de minería .....	26
Dimensionamiento de la oportunidad .....	31
Dimensionamiento de los mercados primarios .....	36
Identificación de las brechas y barreras .....	39
Resumen de la caracterización de la oportunidad de mercado para soluciones con tecnologías de manufactura avanzada .....	40
<b>Caracterización de la capacidad tractora de la manufactura avanzada en la industria minera</b> .....	<b>41</b>
Estimación de la capacidad tractora de la manufactura avanzada en la industria minera local .....	43
Contexto de la transformación digital en la manufactura avanzada de la industria minera y de metales a nivel mundial .....	44
Impacto de la transformación digital en la manufactura avanzada de la industria minera y de metales a nivel mundial .....	45
Impacto de la transformación digital en la manufactura avanzada de la industria minera y de metales a nivel local .....	50
Encadenamiento productivo en la industria minera mediante manufactura avanzada .....	52
Encadenamiento productivo hacia atrás en la industria minera mediante manufactura avanzada .....	53
Encadenamiento productivo hacia adelante en la industria minera mediante manufactura avanzada .....	56
Resumen de la caracterización de la capacidad tractora de la manufactura avanzada en la industria minera .....	59



<b>Identificación de estándares y/o certificaciones</b> .....	<b>61</b>
Manuales e instructivos .....	64
Identificación de estándares y/o certificaciones .....	65
Manufactura avanzada y la oportunidad basada en las necesidades de certificación, normalización y estándares.....	69
Certificaciones para la manufactura 4.0, intech, ciberseguridad y los próximos desafíos.....	80
<b>Caracterización de la oferta actual de proveedores de manufactura avanzada</b> .....	<b>83</b>
Identificación de propuestas de los proveedores vía manufactura avanzada .....	84
Identificación de propuestas de proveedores Internacionales .....	86
Identificación de propuestas de proveedores Nacionales .....	91
Análisis cuantitativo de las propuestas identificadas .....	100
Caracterización de la oferta de manufactura avanzada .....	102
Caracterización de la propuesta de valor y su evolución .....	104
Propuestas para acelerar la captura de las oportunidades .....	112
<b>Conclusiones del informe</b> .....	<b>120</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>126</b>
<b>Anexo 1. Bibliografía utilizada en la elaboración del estudio</b> .....	<b>130</b>
<b>Anexo 2. Definiciones</b> .....	<b>132</b>





## Palabras del Director del Comité de Transformación Digital y del Gerente del Programa Estratégico de Manufactura Avanzada

La industria minera de nuestro país es una de las principales impulsoras de la economía nacional. Somos uno de los mayores productores de cobre en el mundo, gracias a la riqueza de nuestros recursos y a nuestras ventajas competitivas; sin embargo, hay grandes desafíos por delante en materia de productividad y competitividad y, si bien nuestra industria minera ha sabido afrontarlos con éxito en el pasado, reconocemos la importancia de poner a disposición de las organizaciones antecedentes que promuevan la captura de oportunidades que le generen valor.

Desde el Comité de Transformación Digital de CORFO hemos querido hacer nuestra contribución, a partir de la identificación de oportunidades, específicamente en el ámbito de la manufactura avanzada en el sector de la minería de partes, piezas, sistemas y dispositivos, entendiendo la relevancia que tiene el desarrollo de los proveedores de esta importante industria, sobre la base del mayor aprovechamiento del potencial ofrecido por la llamada cuarta revolución industrial y las tecnologías disruptivas que la caracterizan. Esperamos que este estudio sea un aporte en esta línea.

**Juan Francisco García Mac-Vivar**  
*Director Ejecutivo Comité Transformación Digital*  
*Comité de Transformación Digital de CORFO*

El objetivo de este documento es presentar una profundización de las oportunidades existentes hoy en día de la manufactura avanzada en la industria minera, en específico en partes, piezas, sistemas y dispositivos.

En el documento se detalla una descripción de las oportunidades identificadas, las cuales se desarrollaron con base en un trabajo de campo y de gabinete del equipo experto de IDC. En él, se encuentra identificada la cadena de valor de la minería, adaptada para el caso particular de este estudio, y las tecnologías de la Industria 4.0 que abren mayores oportunidades para el desarrollo de soluciones de manufactura avanzada como necesidades de la industria minera y como soluciones a desarrollar por los proveedores de esta industria.

Finalmente, el estudio entrega algunas líneas de acción para acelerar la captura de estas oportunidades por la industria de proveedores de la industria minera.

**Marcelo Soto**  
*Gerente Programa Estratégico Manufactura Avanzada Industria 4.0*

CAPÍTULO I

# Objetivos del proyecto

1

# Objetivos del Proyecto

## Objetivo General

- Identificar oportunidades de Manufactura Avanzada para aumentar la productividad de la minería y que representen significativo valor escalable en los mercados internacionales, enfocadas en partes, piezas, equipos, sistemas y dispositivos, junto con conocer la oportunidad de mercado existente en la industria minera (cualitativa y cuantitativa) nacional e internacional.
- Considerando en ambos casos la demanda explícita como aquella que pueda estar latente y la futura, estándares y/o certificaciones involucrados, sus brechas tecnológicas, sus barreras e identificación de las propuestas de valor para la industria minera y ventajas competitivas que se pueden generar con base en Manufactura Avanzada.

## Objetivos Específicos

- Identificar las oportunidades de desarrollo de soluciones que son resueltas con tecnologías de manufacturas avanzadas en minería, implicando productos/servicios, volúmenes de negocios, modelos de negocios y otros, para aumentar significativamente la productividad (o seguridad) en la minería.
- Identificar y caracterizar las tecnologías y modelos de negocios que hacen factibles que esos equipos, sistemas, aumenten la productividad en las empresas mineras, en relación con otras manufacturas existentes.
- Dimensionar la oportunidad de mercado existente en la industria minera nacional e internacional (cualitativa y cuantitativamente) identificando la cadena de valor y sus oportunidades específicas.
- Identificar los estándares y/o certificaciones a cumplir por los proveedores para llevar a cabo las acciones necesarias para participar de dichas oportunidades, demostrar y asegurar resultados de productividad en las empresas mineras y lograr ventajas competitivas frente a otros productos y empresas corrientes.
- Identificar las brechas tecnológicas, de capital humano, modelos de negocios, capacidad de inversión de los proveedores para atender las oportunidades existentes nacionales e internacionales en el ámbito de partes, piezas, sistemas y dispositivos.
- Identificar las brechas para la internacionalización de las oportunidades encontradas.
- Identificar y caracterizar las propuestas de valor existentes, un análisis de ellas y los nuevos tipos de propuestas que son convenientes para la industria minera por parte de los proveedores mineros de partes, piezas, sistemas y dispositivos.
- Identificar ventajas competitivas que se pueden generar con el aumento de la productividad, reducción de costos, automatización de procesos, eficiencia energética, mayor confiabilidad y disponibilidad, aumento mantenibilidad y otros con base en Manufactura Avanzada considerando tecnologías y modelos de negocios.
- Realizar una lista de propuestas de acciones para acelerar la industria de partes, piezas, dispositivos, equipos y sistemas basada en Manufactura Avanzada para la minería.
- Dimensionar cómo generar y capturar valor para Chile a través de Manufactura Avanzada en partes, piezas, dispositivos, equipos y sistemas para la minería.

## Alcance del Proyecto

Los productos entregables se presentan a continuación con base en los objetivos específicos señalados anteriormente:

### 1) Identificar, caracterizar y dimensionar la oportunidad de mercado para soluciones con tecnologías de Manufactura Avanzada existente en la industria minera (cualitativa y cuantitativa) nacional e internacional

- Identificar en qué áreas de la cadena del valor de la minería (Exploración, Desarrollo minero, Extracción, Transporte, Chancado, Molienda, etc.) existen oportunidades reales de desarrollar soluciones tecnológicas con manufacturas avanzadas para los proveedores de minería e incluyendo un análisis crítico respecto a las oportunidades identificadas en el PE Minería.

Nota: Para el Análisis crítico, IDC se ha basado en la opinión de las empresas/instituciones entrevistadas.

- Indicar para cada oportunidad el área donde aplicará de acuerdo con la cadena de valor, descripción general de la solución, aporte al aumento de la productividad y tecnologías de MA involucradas.

Nota: Para el análisis, IDC se ha basado en la opinión de las empresas/instituciones entrevistadas como también, sobre su disponibilidad de información.

- Caracterizar la oportunidad de negocios en minería de partes, piezas, sistemas y dispositivos, y el dimensionamiento de su tracción para Manufactura Avanzada.

Nota: Para el análisis, IDC se ha basado en la opinión de las empresas/instituciones entrevistadas como también, sobre su disponibilidad de información.

- Para las siguientes tecnologías de MA se considera lo siguiente:
  - **Big Data:** La oportunidad identificada debe incluir análisis descriptivo de datos, interpretación o análisis predictivo realizado por máquinas.
  - **Robots Autónomos:** Indicar cuando la oportunidad solo implica el reemplazo de tareas repetitivas realizadas por personas y cuando involucra más tareas como análisis de datos, toma de decisiones, interpretación, inteligencia artificial u otro.
  - **Sensores Inteligentes:** Para diferenciar de soluciones con sensores convencionales, las soluciones inteligentes tienen que incluir la combinación de un sensor (o varios) más un microprocesador con lo cual podrá desarrollar funciones de procesamiento de señal y comunicación.
  - **IoT:** Representa soluciones donde la comunicación entre máquinas (M2M) es una realidad y operan de una manera interconectada e inteligente, recibiendo ordenes en tiempo real e interactuando con base en éstas.
  - **Manufactura Aditiva:** Soluciones mediante el proceso de agregar o unir materiales, usualmente capa por capa para crear objetos a partir de modelos de computo CAD 3D. Algunos sinónimos son impresión 3D, fabricación aditiva, procesos aditivos, manufactura por capas o layers o fabricación de forma libre. Uso en aplicaciones para creación de prototipos rápidos usando diseño y modelado, para fabricación directa de partes, revisión de ajustes de formas en ensambles y verificación de prototipos funcionales.

- **Realidad Aumentada:** Soluciones de 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.
- **Otras tecnologías pertinentes:** de aplicabilidad en la industria minera y de acuerdo con las oportunidades identificadas.

## 2) Cuantificar la oportunidad de negocios para manufacturas avanzadas en la cadena del valor de la industria minera

- Identificar los actores, sus características, su tipificación de tecnologías en uso, etc. que representan a la industria a ser traccionada para cada componente de la cadena de valor.
- Identificar las brechas tecnológicas, de capital humano, de modelos de negocios, de capacidad de inversión de los proveedores para atender las oportunidades de Manufacturas Avanzadas identificadas en la cadena del valor de la industria minera.

Nota: Para el análisis, IDC se ha basado en la opinión de las empresas/instituciones entrevistadas.

- Identificar brechas existentes para la internacionalización de los proveedores de partes y piezas vía soluciones basadas en Manufacturas Avanzadas identificadas.

Nota: Para el análisis, IDC se ha basado en la opinión de las empresas/instituciones entrevistadas.

## 3) Caracterizar la capacidad tractora de la industria minera en Manufactura Avanzada, datos actuales versus históricos, en dinero y porcentaje de volúmenes de negocios totales

- Considerar para este análisis, que la incorporación de tecnologías de MA genera un impacto en los proveedores contribuyendo a la generación de empleo, inversión en I+D, valor añadido y demanda de recursos y servicios.

Nota: Para el análisis, IDC se ha basado en la opinión de las empresas/instituciones entrevistadas así como también de fuentes secundarias.

## 4) Estándares y/o certificaciones a cumplir por los proveedores para comercialización nacional e internacional de soluciones basadas en Manufactura Avanzada

- Identificar cuáles son los estándares de fabricación exigidos por las Empresas Mineras para incorporar soluciones a sus procesos basados en soluciones de Manufacturas Avanzadas. Dentro de estándares considerar: calidad, seguridad, procedimientos y reglamentaciones aplicables.
- Identificar cuáles son las certificaciones exigidas por las Empresas Mineras para incorporar soluciones a sus procesos basados en soluciones de Manufacturas Avanzadas. Considerar certificaciones en: materiales, trazabilidad, competencias de personas, y normas nacionales o internacionales. Identificar metodologías, procedimientos o prácticas que permitan demostrar y asegurar resultados de productividad en las empresas mineras y lograr ventajas competitivas frente a otros productos y empresas corrientes.

Nota: Para el análisis, IDC se ha basado en la opinión de las empresas/instituciones entrevistadas así como también de fuentes secundarias.

## 5) Propuestas de valor para la industria minera por parte de los proveedores mineros de partes, piezas, sistemas y dispositivos vía Manufactura Avanzada en la industria minera

- Propuesta, identificación y posicionamiento competitivo de actores nacionales.
- Propuesta, identificación y posicionamiento competitivo de actores internacionales.
- Identificación y caracterización de las propuestas de valor existentes, un análisis de ellas y los nuevos tipos de propuestas que son convenientes para la industria minera por parte de los proveedores mineros de partes, piezas, sistemas y dispositivos.
- Identificación de propuestas competitivas que se puedan generar con el aumento de la productividad, reducción de costos, automatización de procesos, eficiencia energética, mayor confiabilidad y disponibilidad, aumento mantenibilidad y otros con base en MA considerando tecnologías y modelos de negocios.
- Dimensionar, identificar y proponer, cómo generar y capturar valor para Chile a través de MA en partes, piezas, dispositivos, equipos y sistemas para la minería.

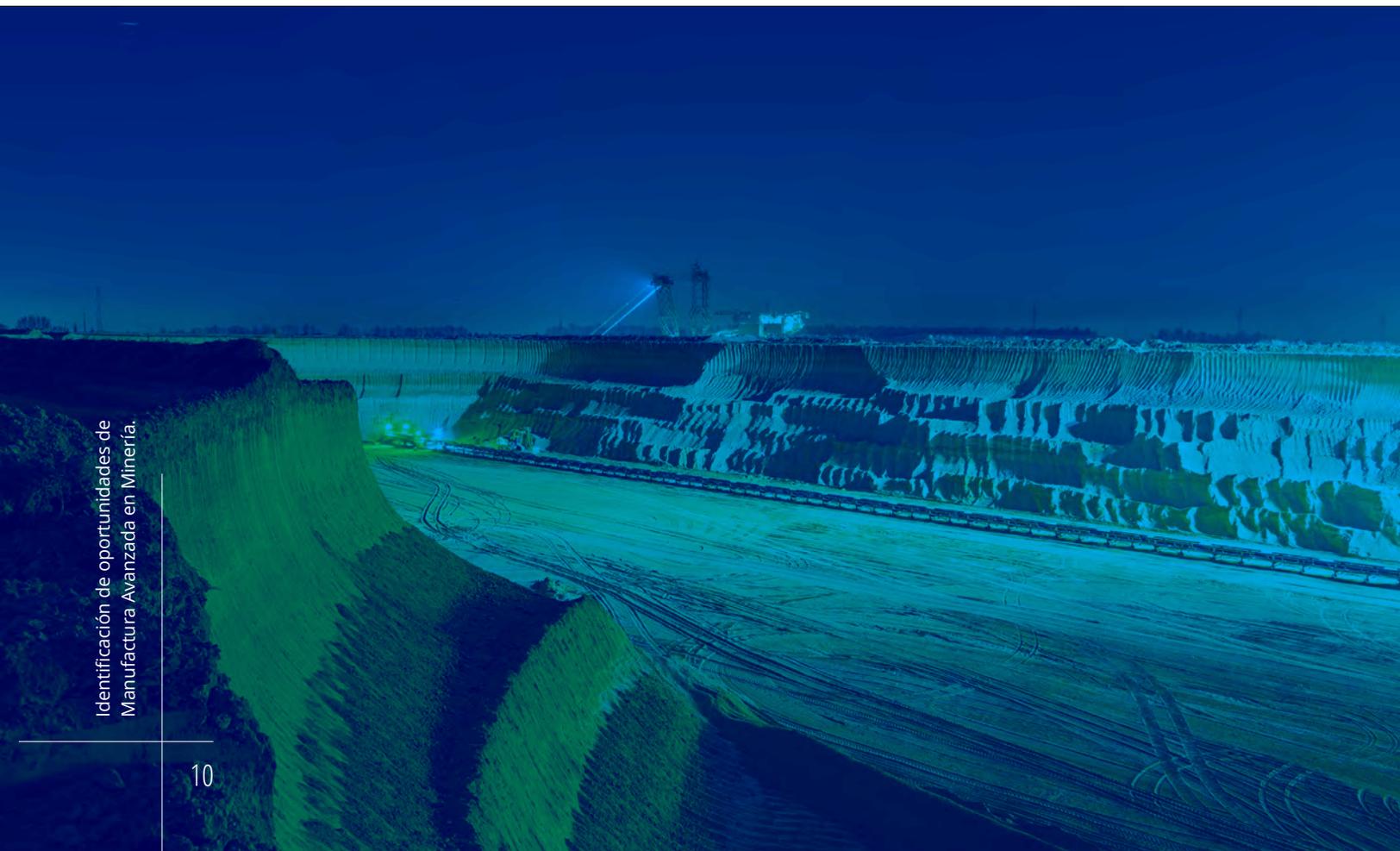
Nota: Para el análisis, IDC se ha basado en la opinión de las empresas/instituciones entrevistadas así como también de fuentes secundarias.

## 6) Propuestas para acelerar la captura de las oportunidades por parte de los proveedores mineros

- Identificar acciones recomendadas para acelerar la captura de las oportunidades por parte de los proveedores mineros a través de la incorporación de la MA sus productos/servicio basados en partes, piezas, sistemas, equipos y dispositivos.
- Se han considerado metodologías para oportunidades que aumenten la productividad, competitividad y eficiencia de la industria minera.
- Identificar brechas o barreras administrativas, de gestión, económicas, costos, capital humano, tecnológicas, infraestructura, otros para acelerar la captura de oportunidades.

### Aspectos considerados para el análisis:

- Comprensión del entorno, realidad y ecosistema en el cual se desenvuelven las Empresas manufactureras proveedoras de empresas mineras.
- Conocimiento de siguientes tecnologías bajo el concepto de Industry 4.0: Big Data, Robots Autónomos, Simulación, Integración horizontal y vertical de sistemas, Internet de las Cosas, Ciberseguridad, Servicios de nube, Manufactura Aditiva, Realidad Aumentada, Sensores Inteligentes, Nanomateriales, entre otros. Y su aplicabilidad en las industrias manufactureras. Esto considera tanto la manufactura discreta como la manufactura continua.
- Conocimiento del mercado nacional y nivel tecnológico de industrias manufactureras proveedoras de partes, piezas, sistemas y dispositivos para la minería.
- Conocimientos de los mercados mineros de destino para la internacionalización de empresas.
- Se han considerado las consultorías del programa PEMA junto con el PER Cluster Minero.
- PE MA se considera un sólo ámbito como foco: la manufactura de equipos, dispositivos, servicios y sistemas que son demandados en los sectores minería, energía, alimentos, construcción, además de salud y defensa. El proyecto se ha enfocado al sector minero. En específico, el proyecto está orientado hacia la industria de partes, piezas, dispositivos, equipos y sistemas basada en Manufactura Avanzada para la minería.
- Industria de partes, piezas, dispositivos y sistemas con foco en la minería.



## Metodología

IDC desarrolla directamente este objetivo utilizando una metodología de investigación con fuentes primarias y secundarias. Esta metodología, implica las siguientes fases:

Figura 1.



**Fase I:** Preparación del Trabajo

**Fase II:** Recopilación de Antecedentes existentes

**Fase III:** Construcción de Antecedentes

**Fase IV:** Entrevistas 1:1 con empresas usuarias para prospección de soluciones de MA

**Fase V:** Análisis

**Fase VI:** Conclusiones y Recomendaciones



Fase I:  
Preparación del Trabajo

### A. Reunión de Kick-Off

El proyecto inició con una reunión de partida o Kick-Off en la cual participaron los miembros clave del equipo del proyecto por parte de CODESSER, Corfo e IDC para compartir sus perspectivas del trabajo a realizar. Los objetivos de esta reunión fueron:

- Revisar el alcance final del proyecto.
- Detallar la metodología a implementar.
- Establecer los contenidos de los índices finales de los entregables.
- Establecer el cronograma detallado del proyecto.

### B. Revisión de los ámbitos de desarrollo y sus perspectivas

Se generó un marco de referencia de los aspectos a indagar para el estudio en relación con el ecosistema que se desarrolla alrededor de la Industria de MA. Para ello, se realizó una reunión de trabajo inicial con el equipo de Corfo para estructurar el contenido a desarrollar para caracterizar el contexto mundial y nacional.

También, ha incluido la recopilación de las opiniones sobre principales instituciones como referencia y empresas usuarias. Más una lista de proveedores a consultar.

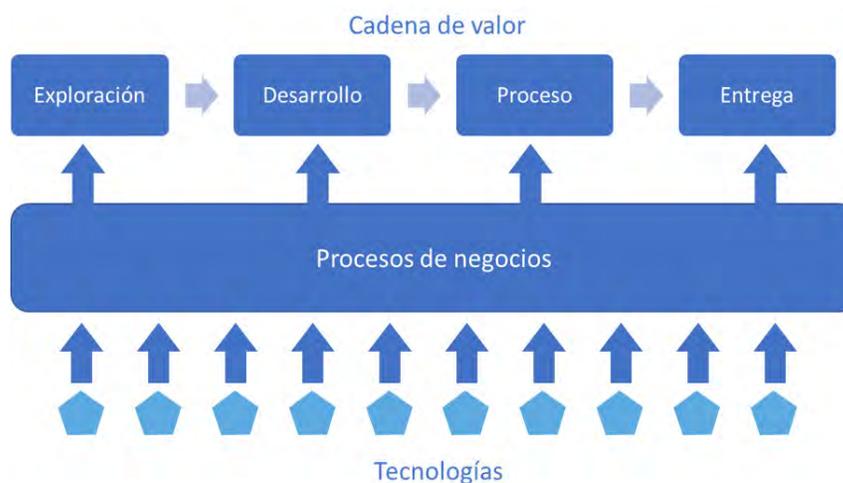
En términos generales, el marco de referencia constó de tres niveles. Un primer nivel fue un descriptivo de la cadena de valor de la industria. En segundo lugar, se estableció un descriptivo de los procesos inteligentes de negocio o, en otras palabras, de los modelos de negocio de manufactura avanzada (industry 4.0) en minería inteligente. El tercer nivel describió las tecnologías que conforman los niveles superiores.

Las tecnologías son elementos que habilitan la construcción de los modelos de negocio que hacen a los procesos 'procesos inteligentes'. Un proceso inteligente es aquel que utiliza información recopilada automáticamente, la analiza mediante herramientas analíticas, y la convierte en insight para tomar decisiones de manera automática o semi-automática, permitiendo que el proceso se auto-regule y mejore con el tiempo (entre más información, más asertividad en las decisiones).

La colección de procesos inteligentes se esquematiza a través de toda la cadena de valor de la industria minera.

IDC planteó un modelo conceptual y se revisó con CORFO acercándolo al lenguaje de la industria en Chile. Esto sirvió de base para definir hipótesis de mercado que fueron validadas mediante el proceso de investigación primaria con la industria.

Figura 2.



## Fase II: Recopilación de los antecedentes existentes

### C. Información disponible en CODESSER y Corfo

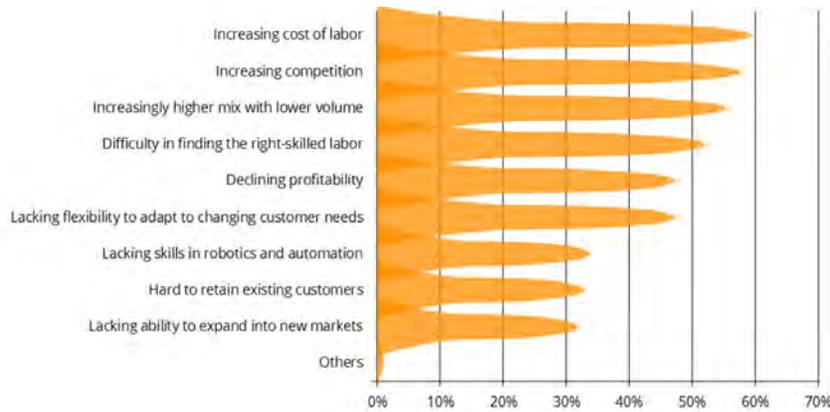
CODESSER y Corfo

IDC consideró la información que CODESSER y Corfo puso a disposición sobre su experiencia y recursos tales como su opinión sobre las perspectivas de desarrollo, su pronóstico de la futura demanda de forma preliminar y las consultorías que estuvo gestando.

IDC cuenta con un análisis mundial segmentado por región y con foco en algunos países como Estados Unidos, China, Brasil, México, entre otros, de los proveedores de soluciones de manufactura avanzada y manufactura 4.0, además de una base de datos amplia de entrevistas con usuarios finales que compran este tipo de tecnología en el sector de manufactura. IDC usó todos los estudios disponibles de competencia en el mercado de IT/OT para la industria de manufactura para determinar, identificar, caracterizar y dimensionar la oportunidad de mercado para soluciones con tecnologías de Manufactura Avanzada e impacto en la industria minera (cualitativa y cuantitativa) en Chile y a nivel internacional. Se complementó con un análisis del portafolio de soluciones de los principales proveedores de la industria minera.

Así mismo se incluyó el análisis de las necesidades de negocio y adopción de empresas que usan este tipo de soluciones de MA, tal como se ve en la siguiente figura.

Figura 3: Necesidades de Negocio para Adoptar Soluciones de Manufactura Avanzada



Fuente: Worldwide Robotics and Manufacturing Survey, IDC, May 2017

Así mismo, IDC ha realizado un análisis de las oportunidades de mercado de la industria minera sobre las soluciones de MA usando como referencia su Worldwide Manufacturing IT Spending Guide 2017, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1: Oportunidad de Mercado de Soluciones de MA en la Industria Minera

Worldwide Public Cloud Services Revenue (\$M, USD)							
Industry	Macro Region	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Discrete Manufacturing	APJ	\$ 1,300	\$ 1,709	\$ 2,174	\$ 2,709	\$ 3,340	\$ 4,138
	Americas	\$ 8,134	\$ 10,014	\$ 12,041	\$ 14,412	\$ 17,089	\$ 20,106
	EMEA	\$ 2,875	\$ 3,725	\$ 4,692	\$ 5,690	\$ 6,814	\$ 8,106
Process Manufacturing	APJ	\$ 838	\$ 1,093	\$ 1,397	\$ 1,750	\$ 2,170	\$ 2,707
	Americas	\$ 5,157	\$ 6,276	\$ 7,526	\$ 8,936	\$ 10,534	\$ 12,386
	EMEA	\$ 1,924	\$ 2,494	\$ 3,108	\$ 3,794	\$ 4,574	\$ 5,463
<b>Grand Total</b>		<b>\$ 20,228</b>	<b>\$ 25,310</b>	<b>\$ 30,938</b>	<b>\$ 37,291</b>	<b>\$ 44,522</b>	<b>\$ 52,906</b>
<i>Includes SaaS, PaaS and IaaS</i>							
<i>Source: Worldwide Semiannual Public Cloud Services Spending Guide, 2016H2</i>							
Worldwide Big Data and Analytics Revenue (\$M, USD)							
Industry	Macro Region	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Discrete Manufacturing	APJ	\$ 2,112	\$ 2,353	\$ 2,636	\$ 2,975	\$ 3,398	\$ 3,917
	Americas	\$ 8,870	\$ 9,886	\$ 11,072	\$ 12,439	\$ 13,952	\$ 15,682
	EMEA	\$ 3,747	\$ 4,124	\$ 4,505	\$ 4,876	\$ 5,363	\$ 5,848
Process Manufacturing	APJ	\$ 1,260	\$ 1,402	\$ 1,571	\$ 1,769	\$ 2,028	\$ 2,332
	Americas	\$ 6,329	\$ 7,111	\$ 7,991	\$ 9,007	\$ 10,129	\$ 11,393
	EMEA	\$ 3,250	\$ 3,581	\$ 3,920	\$ 4,236	\$ 4,671	\$ 5,098
<b>Grand Total</b>		<b>\$ 25,568</b>	<b>\$ 28,457</b>	<b>\$ 31,695</b>	<b>\$ 35,302</b>	<b>\$ 39,542</b>	<b>\$ 44,271</b>
<i>Includes Hardware, Software and Services</i>							
<i>Source: Worldwide Semiannual Big Data and Analytics Spending Guide, 2016H2</i>							
Worldwide Mobility Spending (\$M, USD)							
Industry	Macro Region	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Discrete Manufacturing	APJ	\$ 9,243	\$ 9,820	\$ 10,221	\$ 10,812	\$ 11,172	\$ 11,574
	Americas	\$ 16,117	\$ 17,558	\$ 19,110	\$ 20,180	\$ 21,641	\$ 23,216
	EMEA	\$ 11,868	\$ 12,574	\$ 13,066	\$ 13,653	\$ 14,310	\$ 14,860
Process Manufacturing	APJ	\$ 2,912	\$ 3,143	\$ 3,324	\$ 3,557	\$ 3,717	\$ 3,909
	Americas	\$ 10,414	\$ 11,322	\$ 12,268	\$ 12,931	\$ 13,743	\$ 14,646
	EMEA	\$ 10,454	\$ 11,120	\$ 11,635	\$ 12,179	\$ 12,818	\$ 13,353
<b>Grand Total</b>		<b>\$ 61,009</b>	<b>\$ 65,536</b>	<b>\$ 69,623</b>	<b>\$ 73,313</b>	<b>\$ 77,401</b>	<b>\$ 81,558</b>

Fuente: Worldwide Manufacturing IT Spending Guide 2017, IDC, May 2017

IDC cuenta con un claro entendimiento de la industria minera, no sólo por la investigación desarrollada a nivel global, sino porque en el año de 2016, IDC Chile desarrolló el primer estudio de evaluación del nivel de madurez de la interoperabilidad IT/OT en el sector minero en Chile, siendo un proyecto exitoso, mismo que fue usado como referencia para el desarrollo de este proyecto en particular, como se ve en la siguiente figura, se muestra los elementos del modelo de interoperabilidad minera entregado a CORFO en 2017.

**Figura 4. Modelo de interoperabilidad para la industria minera en Chile**



Fuente: IDC, 2017, Modelo de interoperabilidad para la industria minera en Chile

#### D. Información disponible en IDC

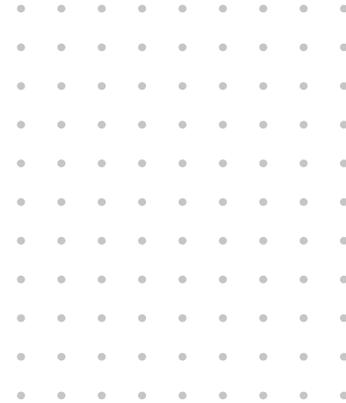
La información extraída de estos estudios corresponde tanto a información cuantitativa como cualitativa, proporcionando tecnologías utilizadas en manufactura avanzada y minería, casos de uso, definiciones, tendencias e información cuantitativa que permitió alimentar el modelo generado por IDC. A continuación, se listan los estudios utilizados por IDC:

- IDC FutureScape: Worldwide Manufacturing 2018
- Worldwide Manufacturing IT Spending Guide
- IDC Modelo de Interoperabilidad para la Industria Minera en Chile, agosto de 2017
- IDC IoT Spending Guide, 2017
- IDC Business Strategy: IT/OT Convergence in the Worldwide Mining Industry, Emilie Ditton
- IDC Innovation and Technology Strategy within the South African Mining Sector, Emilie Ditton
- IDC Perspective, Mining Industry Transformation
- IDC FutureScape: Worldwide Mining 2017 Predictions
- IDC Modelo de Interoperabilidad para la Industria Minera en Chile, agosto de 2017
- Trackers® semestrales de software de aplicaciones, herramienta: Estudios que describe el gasto total en software en los mercados mencionados en los países de América Latina y el Mundo
- Trackers® semestrales de software CAD: Estudios que describe el gasto total en software en el mercado mencionado en los países de América Latina y el Mundo
- Trackers® trimestrales de dispositivos móviles: Estudios que describe el gasto total en hardware en los

mercados mencionados en los países de América Latina y el Mundo

- Trackers® trimestrales de Hardware Empresarial que describe el gasto total en los países de América Latina y el Mundo
- Trackers® semestrales de Servicios profesionales de TI que describe el gasto total en los países de América Latina y el Mundo
- Trackers® semestrales de telecomunicaciones que describe el gasto total en los países de América Latina y el Mundo
- Spending guides por los aceleradores de la innovación, 2017
- IDC Vertical and Company Size Spending Guide, 2017
- IDC MarketScape: Worldwide Artificial Intelligence in Enterprise Marketing Clouds 2017 Vendor Assessment. Este estudio de IDC proporciona una evaluación de la inteligencia artificial (AI) y el aprendizaje automático (ML) en las plataformas de nube de marketing empresarial y evalúa los criterios clave que deben considerar los compradores.
- Robotics in European Manufacturing: A Country Analysis. Esta presentación de IDC ofrece una visión general del estado en que se encuentra la implementación de la robótica en la fabricación europea, tanto a nivel de país como a través de las cuatro cadenas de valor (orientado a la ingeniería, orientado a la tecnología, orientado a los activos y orientado a la marca). Los hallazgos provienen de la última Encuesta mundial de robótica de IDC (2017), que se centra en la muestra de Europa occidental y representa 125 respuestas de tres países clave de adopción: Alemania, Francia e Italia.
- IDC's Worldwide Semiannual Robotics and Drones Spending Guide Taxonomy, 1H17. Este estudio de IDC proporciona una descripción detallada de la metodología y la taxonomía de la Guía de gastos de robótica y Drones a nivel mundial de IDC.
- Worldwide Internet of Things Professional Services Forecast, 2017–2021. Este estudio de IDC examina el mercado de servicios profesionales de Internet de las cosas (IoT).
- IDC PeerScape: Practices for Deploying Service Robotics in Logistics. IDC PeerScape explora cuatro prácticas clave que las organizaciones deberían considerar al prepararse para implementar robots en sus procesos logísticos, especialmente si están mirando robots por primera vez.

Nota: IDC utilizó estos estudios como complemento al trabajo de investigación necesario en este proyecto. Los estudios individuales no fueron parte de los entregables del presente proyecto, sino que fueron un insumo para el mismo.



### III Fase III: Construcción de Antecedentes

#### E. Lista de las instituciones que fueron consultadas

Documentación de un marco de referencia para poder determinar el mapa de organizaciones tanto a nivel nacional como internacional que fueron consultadas.

Se creó un universo que englobó a las principales instituciones, proveedores, fabricantes.

Y, por otra parte, se determinaron algunas empresas de la minería a consultar.

Las actividades realizadas fueron las siguientes: recopilación de información pública disponible, realización de reuniones con entidades para determinar el Universo de las principales organizaciones, considerando también las mencionadas en la Fase I.

El resultado final fue una lista de organizaciones que fueron el marco de referencia para la presente investigación. A continuación, se listan algunas de las empresas que consideraron. El listado completo que se ha generado en la primera y segunda fase del proyecto incluye a más de 100 empresas.

Tabla 2A.

Nombre	Breve descripción	Tipo de Empresa	Rubro	Presencia Nacional/ Internacional	Presencia Regional
ABB	Solución de digitalización y automatización, integración de datos y optimización en tiempo real de los procesos de minería	Proveedoras /servicios	Manufactura	Internacional/ Global	RM y VIII Región
AGUNSA	Operador logístico integral de empresas mineras, Operación in-house de bodegas al interior de faenas mineras y Distribución y transporte de cargas desde y hacia la faena entre otros	Proveedoras /servicios	Servicios	Internacional	Nacional
AMECO	Proveedor internacional de servicio completo de vehículos, equipos de construcción, herramientas, servicios de soporte y soluciones de gestión de bienes	Proveedoras /servicios	Servicios	Internacional/ Global	RM; II y III Región
Atlas Copco	Ofrece productos y servicios que incluyen compresores, soluciones de vacío y sistemas de tratamiento del aire, equipos de construcción y minería, herramientas industriales y sistemas de montaje	Proveedoras /servicios	Servicios	Internacional/ Global	RM; I, II, III y VIII Región
AVA Montajes	Orientada a satisfacer las necesidades de ingeniería, montaje y construcción	Proveedoras /servicios	Construcción	Nacional	VII, II y V Región
REXROTH	Aplicaciones de maquinaria e ingeniería	Proveedoras /servicios	Manufactura	Internacional/ Global	RM
ASMIN	Realizan pruebas de laboratorio para plantas concentradoras, pruebas para lixiviación, geo metalúrgica de sulfuro, entre otras	Proveedoras /servicios	Servicios	Nacional	RM
COASIN	Servicios y soluciones tecnológicas innovadoras que ayudan a optimizar el uso de recursos y activos	Proveedoras /servicios	Servicios	Nacional	RM
ME Elecmetal	Proveedor de soluciones integrales de desgaste para la minería	Proveedoras /servicios	Manufactura	Internacional/ Global	RM; I, II, III y VI Región
DISAL	Tratamiento de aguas, Gestión integrada de manejo de residuos	Proveedoras /servicios	Servicios	Internacional/ LA	RM
Power Train Technologies	Especialistas en Overhaul de componentes mayores en Latino América, tienen un centro de I+D registrado ente CORFO	Proveedoras /servicios	Manufactura	Internacional/ Regional LA	RM y II Región

Tabla 2B.

Nombre	Breve descripción	Tipo de Empresa	Rubro	Presencia Nacional / Internacional	Presencia Regional
Mining Tag	Proveen sistemas de hardware y software para la minería están relacionado con la productividad y seguridad de las personas	Tecnológicas	Automatización	Nacional	RM
PSI Net	Monitoreo de estabilidad y comportamiento de ambiental de tranque de relave	Tecnológicas	TI	Nacional	RM
MIRC	Desarrollo e implementación de sistemas robóticos para la minería	Tecnológicas	Automatización	Internacional / Regional LA	RM
Metso	Sistema de cámaras para la optimización para celdas de flotación	Proveedoras /servicios	Manufactura	Internacional/ Global	RM; V; II Región
Cognitiva	Desarrollo de soluciones de Inteligencia Artificial	Tecnológicas	TI	Internacional/ Regional LA	
TiMining	Desarrollo de sistemas de realidad virtual/aumentada	Tecnológicas	TI	Internacional	RM
3M	Fabrica productos de seguridad, abrasivos, químicos y materiales avanzados entre otros	Proveedoras /servicios	Manufactura	Internacional / Global	RM

## F. Selección de las principales instituciones consultadas

IDC realizó una selección de las organizaciones clasificando por grupo:

- Grupo de Instituciones: Organismos del sector público, academia, entre otras
- Grupo de Fabricantes/Proveedores (Hardware, Software y Servicios)
- Grupo de empresas usuarias: Empresas Mineras

Esta clasificación sirvió de guía para conocer los diferentes puntos de vistas, opiniones.



## G. Desarrollo del Cuestionarios y Guías de Entrevista

Esta actividad tuvo el objetivo de asegurar el desarrollo del contenido a indagar.

Se estructuró la forma para conocer las necesidades de cada grupo, con el fin de alcanzar los objetivos planteados en el proyecto y dependiendo del tipo de organización a entrevistar.

Para asegurar una alta calidad de las respuestas, el número de preguntas finales se calculó de manera tal que la entrevista no excediera los 20-30 minutos. Es importante mencionar, que las entrevistas implicaron en la mayoría de los casos más de una hora.

Corfo aprobó las versiones finales de los documentos para continuar con la siguiente actividad.

A su vez, en cuanto al desarrollo de los métodos de recolección de datos cuantitativos y cualitativos (entrevistas), IDC incluyó la realización de las siguientes actividades:

- Diseño de los cuestionarios para cada grupo, así como la definición de preguntas “abiertas” y “cerradas” para realizar futuros análisis de resultados.
- IDC hizo un pre-test y aplicó las correcciones con base en los resultados del pre-test, siempre y cuando la situación lo hubiera requerido.
- Indicar los horarios para generar la llamada según los objetivos del proyecto, considerando eventuales ajustes según la disponibilidad declarada de los entrevistados.
- Generar un adecuado proceso de control de calidad (verificación y control del levantamiento de las entrevistas).
- Informar oportunamente sobre los contactos que no pudieron ser contactados, de manera que puedan actualizar sus datos y proceder nuevamente a llamarlos.
- Generar análisis de casos logrados, no logrados y no contactados en términos de frecuencia, reporte de intentos y razón de no logro/ no contacto.
- Mantener supervisión y reporte del avance del proceso con profesional representante de Corfo.
- Elaborar las bases de datos.

IDC realizó una prueba piloto, por cada Grupo. También, hizo uso de su experiencia para validar que las nuevas guías de entrevistas mantuvieran las metas cuantitativas y cualitativas siguientes:

- Claridad de las preguntas para los entrevistados durante el trabajo de campo.
- Factibilidad real de obtención de los datos requeridos según la disponibilidad de los entrevistados para responder a cada pregunta.
- Tiempo de la entrevista dentro de los 20-30 minutos esperados.
- Utilidad de la Guía para la interacción del entrevistador con el entrevistado.

## H. Trabajo de Campo – Investigación Secundaria

IDC realizó una investigación secundaria de diversas fuentes terciarias, tales como:

- Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry, World economic forum 2017
- Casos de innovación de proveedores de minería, Fundación Chile 2016
- Productividad en la gran minería del cobre, Comisión nacional de productividad 2017
- Casos de innovación en la industria minera, Minnovex A.G 2017
- Encadenamientos productivos desde la minería de Chile, Cepal 2016
- Innovación en grandes empresas proveedoras de la minería, Cochilco & APRIMIN 2017

Se buscó la información pública disponible en los sitios de Web de los grupos definidos en la sección F así como también de clientes como referencia.

## I. Trabajo de Campo – Entrevistas

IDC realizó 36 entrevistas en total, vía telefónica y en persona, con los responsables de las organizaciones seleccionadas con el objetivo de recopilar la información indicada en el alcance del presente proyecto. Las entrevistas en persona se llevaron a cabo en la región Metropolitana de Santiago de Chile.

Los datos fueron sometidos al proceso de Aseguramiento de Calidad con dos grandes grupos de actividades:

- Revisión interna de la consistencia de los datos registrados en las respuestas.
- Elección al azar de una muestra que abarcó de 2-4% de las empresas entrevistadas para chequear con el entrevistado la existencia de las entrevistas y revisar los datos clave recopilados.

A continuación, se muestra la cantidad de entrevistas realizadas:

Tabla 3.

Tipo de Grupo	Cantidad de entrevistas
Grupo de Instituciones	6
Grupo de Fabricantes/Proveedores (Hardware, Software y Servicios)	22
Grupo de empresas usuarias	8



**IV** Fase IV: Entrevistas de grupo de empresas usuarias para prospección de soluciones de MA

**J. Realización de entrevistas a empresas usuarias para discusión de nuevas soluciones**

El objetivo fue conocer sus puntos de vistas de soluciones, búsqueda de proveedores, en una reunión de más de una hora, con una participación de 6 empresas usuarias. Se entrevistaron a diferentes perfiles al interior de las compañías.

**V** Fase V:  
Análisis

**K. Análisis**

IDC analizó toda la información recolectada durante las fases anteriores con el objetivo de desarrollar los objetivos del presente proyecto e incorporar la visión de CODESSER y Corfo.

**VI** Fase VI:  
Conclusiones y Recomendaciones

**L. A partir de los análisis realizados IDC ha entregado una lista de recomendaciones.**

IDC, considerando los potenciales resultados en productividad/ventaja competitiva de cerrar esta brecha entre oferta y demanda, realizó las recomendaciones para cerrar estos gaps, entre otros aspectos.

## CAPÍTULO II

# Caracterización de la oportunidad de mercado para soluciones con tecnologías de manufactura avanzada

# 2

# Introducción



**El presente Capítulo tiene como objetivo Identificar, caracterizar y dimensionar la oportunidad de mercado para soluciones con tecnologías de manufactura avanzada que tengan un impacto en la industria minera, así como cuantificar la oportunidad de negocios para empresas que hagan manufactura avanzada en la cadena de valor de la industria minera.**

Entendiendo la identificación y caracterización de las oportunidades de mercado para las soluciones de equipamiento utilizado en la minería, el presente análisis se ha centrado en la minería del cobre ya que está representa el 90,2% de la producción minera del país (fuente: Banco Central de Chile, año 2017), por lo que se ha utilizado la cadena de valor de la minería del cobre para establecer los mercados a ser dimensionados.

Dado lo anterior se definieron 9 mercados primarios correspondientes a 7 procesos críticos en la cadena de valor de la minería de cobre y dos mercados transversales a todos los procesos. Por lo tanto, la caracterización de la oportunidad estará dada por una parte de acuerdo con el mercado primario y por otra con el impacto que tenga este en la productividad de la producción de cobre.

Respecto al dimensionamiento de los mercados, se ha utilizado un modelo de aproximación basado en la participación del gasto en servicios de mantención de los costos de producción, el costo de producción que se ha utilizado fue el C1<sup>1</sup>.

Para los objetivos expuestos anteriormente, se utilizaron como insumos los estudios fuentes proporcionados por Codesser y Corfo, específicamente los estudios “Compras bienes y servicios de la Industria Minera de la Región de Antofagasta”, “Identificación de Suministros Estratégicos de las Grandes Empresas Mineras, para Orientar la Promoción y Atracción de Inversiones”, “Identificación de Oportunidades de Negocios en el Mercado de Insumos Críticos y Servicios Especializados de la Industria Minera de la Región de Antofagasta”, Programa Regional CLÚSTER MINERO de Antofagasta – Hoja de Ruta 2015, así como estudios del Ministerio de Minería (Caracterización de los costos de la gran minería del cobre) y de SONAMI (Fundamentos y desafíos para el desarrollo minero).

<sup>1</sup> Ver anexo 2, donde se detalla los costos utilizados en minería

## Revisión de Literatura y estudios fuentes

Respecto al programa estratégico de Manufactura Avanzada (PEMA), una de las principales conclusiones es que la hoja de ruta del PEMA hace hincapié en los ejes estratégicos de capital humano, tecnología, modelos de negocios y renovación, escalamiento e internacionalización de empresas. Pero también identifica las principales barreras para incorporar MA:

- Alto costo de inversión
- Escasez de personal capacitado para operar y mantener los equipos y software
- Bajo retorno sobre inversión o largo payback
- Dificultad de acceso a financiamiento apropiado
- Desconocimiento de las últimas tecnologías aplicadas a la industria
- Desconocimiento última tecnología a procesos/infraestructura existente

De los estudios consultados, "Identificación de Suministros Estratégicos de las Grandes Empresas Mineras, para Orientar la Promoción y Atracción de Inversiones"<sup>2</sup> se desprende que los insumos críticos para la industria minera pueden dividirse en tres grandes áreas: Energía y combustible (25%), Bienes e Insumos (33%) y Servicios (42%). El área de Bienes e Insumos se divide en 4 categorías: insumos, equipos mineros, equipos de apoyo y reactivos químicos.

De acuerdo con el enfoque del presente estudio, se consideran los insumos utilizados por la industria minera relacionados al equipamiento, maquinaria, partes y piezas utilizados en los procesos de la cadena de valor de la industria. Por lo tanto, los insumos como productos químicos, reactivos, combustible o energía no han sido considerados. Del mismo modo los gastos en servicios (como servicios de transporte, servicios de ingeniería, alimentación, etc.) no son considerados para la caracterización de la oportunidad para la MA, por lo que se desprende que los insumos críticos a analizar están directamente relacionados con las tres primeras categorías anteriores más un ítem perteneciente al área de servicios que es mantención y repuestos.

Del estudio "Compras bienes y servicios de la Industria Minera de la Región de Antofagasta"<sup>3</sup> se obtuvo una relación entre los gastos en servicios de mantención y reparación respecto a los costos de producción. Esta relación está en línea con los costos obtenidos a partir de los análisis a la fecha y su utilización se detalla en el capítulo 2, sección dimensionamiento de los mercados primarios.

Si bien el programa regional del Cluster Minero, en su hoja de ruta pone foco en potenciar proveedores de servicios especializados en el proceso de extracción y procesamiento (lo que hace relación con los objetivos del programa de MA), el modelo conceptual que realizamos se expande a toda la cadena de valor de la industria minera.



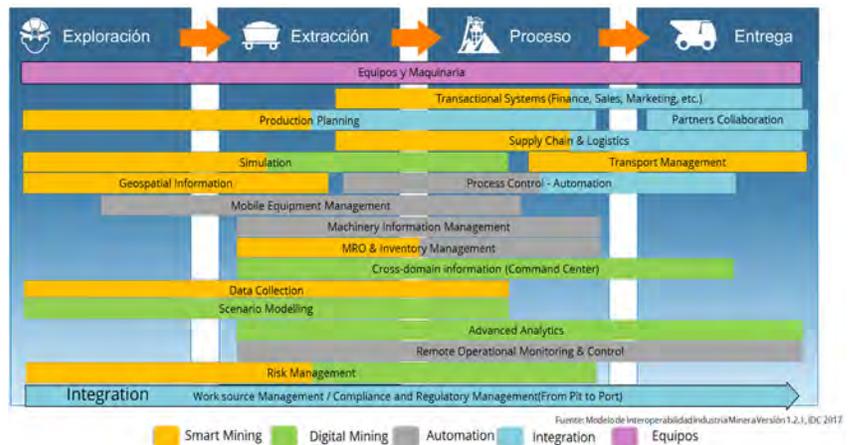
<sup>2</sup> Universidad Santa María Empresas S.A., septiembre 2009

<sup>3</sup> Cochilco, Cluster Minero Antofagasta

## Modelo conceptual para dimensionamiento de las oportunidades

Si bien el modelo tradicional de minería inteligente de utilizado por IDC contempla los procesos y el uso de tecnología asociada a cada proceso dentro de la cadena de valor, para los objetivos de este estudio, se realizó un modelo basado en la capa de equipamiento, maquinaria y partes y piezas, con un enfoque en la productividad que puede proveer un equipo producido bajo el esquema de Manufactura Avanzada. A continuación, se muestra la representación del modelo de minería inteligente para el presente informe.

**Figura 5. Representación del modelo de minería inteligente (4.0) con la capa de equipos y maquinarias**



Fuente: IDC Modelo de interoperabilidad minera, 2017

De esta forma IDC definió nueve mercados primarios dentro de la cadena de valor, donde cada mercado primario corresponde a una categoría que agrupa diferentes equipamientos del proceso dentro de la cadena de valor de la industria minera. En la figura 6 se pueden apreciar los mercados primarios que van a ser dimensionados en el presente informe.

**Figura 6. Mercados de Manufactura Avanzada relacionados con la Minería: Mercados Primarios**



Fuente: IDC Modelo de mercado de manufactura avanzada para la minería, 2018

## CAPÍTULO II

# Caracterización de la oportunidad de mercado para soluciones con tecnologías de manufactura avanzada

# 2

# Caracterización de la oportunidad de mercado para soluciones con tecnologías de manufactura avanzada

En este apartado se realiza el dimensionamiento de mercado de manufactura avanzada para la industria minera, para ello se aplica el modelo de mercados primarios definidos por IDC y validado por Corfo. Se caracteriza también a los principales proveedores de la industria, detectando a los actores más importantes que fueron entrevistados y se levantó información relevante para el dimensionamiento de la oportunidad y la identificación de brechas y barreras.

## Caracterización de los proveedores de minería

Chile posee un gran potencial para desarrollar y potenciar su industria minera mediante el desarrollo de sus proveedores y su capacidad de involucrarse en soluciones tecnológicas y productivas de la minería. Para esto es necesario que el ecosistema de la minería en Chile genere sinergias importantes con la finalidad de lograr desarrollos que permitan avanzar hacia productos y servicios con alto valor agregado en cuanto a conocimientos y con la posibilidad de avanzar en la incorporación de proveedores de clase mundial.



Figura 7. Ecosistema de la Minería en Chile

Empresas Mineras	Proveedores (servicios, equipos y tecnologías)	Entidades e Instituciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Anglo American</li> <li>•BHP Billiton</li> <li>•Barrick</li> <li>•Kinkross</li> <li>•Codelco</li> <li>•Enami</li> <li>•Antofagasta Minerals</li> <li>•Sqm</li> <li>•Rio Tinto</li> <li>•Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi</li> <li>•Minera Escondida</li> <li>•Otras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Epiroc (Atlas Copco)</li> <li>•Metso</li> <li>•Sandvik</li> <li>•FLSmidth</li> <li>•ABB</li> <li>•Honeywell</li> <li>•ITT</li> <li>•Mirs</li> <li>•Rockwell Automation</li> <li>•Siemens</li> <li>•Asmin</li> <li>•Boart Longyear</li> <li>•Denver</li> <li>•Endress-Hausen</li> <li>•Enaex</li> <li>•Esmax</li> <li>•Komatsu</li> <li>•Otros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Consejo Minero</li> <li>•Sonami</li> <li>•Aprimin</li> <li>•Asociación de Industriales de Antofagasta</li> <li>•Asociación de Industriales de Iquique</li> <li>•Sernageomin</li> <li>•Cochilco</li> <li>•Otras</li> </ul>

Fuente: Elaboración por IDC con información de la industria minera y de manufactura, 2018

Respecto a las empresas de manufactura que atienden al sector minero, las empresas que se muestra en la figura 7, son un ejemplo de las compañías más representativas del sector industrial, sin embargo el sector industrial en Chile está formado en su mayoría por microempresas (88% según cifras del Servicio de Impuestos Internos 2014 y Nueva Encuesta Nacional de Empleo 2014) lo cual limita que más empresas industriales se puedan sumar al ecosistema de proveedores de la industria minera debido a una falta de especialidad, capital de trabajo y escala necesaria.

Adicionalmente, el personal calificado en promedio del sector industrial en Chile, incluyendo las empresas que atienden al sector minero tiene un promedio de escolaridad de 11.5 años (Reporte Laboral Sectorial: Industria Manufacturera), lo cual es un gran reto para la adopción de nuevas técnicas de manufactura o incorporación de nuevas competencias en las empresas como manufactura avanzada.



Cabe destacar que el ecosistema presentado en la figura anterior es una mirada general al ecosistema de la minería en Chile y sirve como información referencial para tener una primera aproximación a la caracterización del mercado de proveedores y plantear el dimensionamiento que se desarrolla en los siguientes apartados.

Los proveedores de la minería, a su vez, se pueden segmentar en tres grupos principales, el primero conformado por los proveedores de servicios de minería como servicios de mantenimiento, arriendo de equipos especializados, ingeniería, análisis químico, control de flotas, entre otros. El segundo está conformado por los proveedores de equipos de procesamiento de mineral como perforadoras, martillos, mixers, chancadores, camiones, palas y equipos de apoyo como bombas, equipos eléctricos, entre otros. El tercer grupo está conformado por los proveedores de tecnología a la minería como tecnologías de robotización, automatización, modelamiento, entre otras. Cabe destacar que este último grupo es el que actualmente se encuentra más cercano a los procesos de innovación en materias de manufactura avanzada.

En función de la información numérica disponible actualmente, se agrupan los principales proveedores en términos de maquinaria y equipos detectados por componentes principales en los mercados primarios. Por ejemplo, para el mercado de exploración se consideraron perforadoras de sondaje, instrumentos de precisión y vehículos de apoyo o para el mercado de fundición se consideraron hornos de fusión, hornos convertidores, secadores, ruedas de moldeo y equipo de apoyo.

Figura 8. Proveedores, ejemplificación de agrupación general por tipo de proveedor

Proveedores de Servicios de Minería	Proveedores de Equipos de Procesamiento de Mineral	Proveedores de Tecnologías
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ach</li> <li>• Ameco</li> <li>• Asmin</li> <li>• Boart Longyear</li> <li>• Bechtel</li> <li>• Denver</li> <li>• Endress-Hausen</li> <li>• Enaex</li> <li>• Esmax</li> <li>• Fluitek</li> <li>• Foraco</li> <li>• Grupo Arrigoni</li> <li>• Grupo Emin</li> <li>• Hertz</li> <li>• Ineco</li> <li>• Lanzco</li> <li>• Sika</li> <li>• Parker</li> <li>• Elecmetal</li> <li>• Soltex</li> <li>• Zamine</li> <li>• Zublin</li> <li>• Otros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epiroc (Atlas Copco)</li> <li>• Metso</li> <li>• Sandvik</li> <li>• FLSmidth</li> <li>• Universal Drill Rigs</li> <li>• Boart Longyear</li> <li>• Weir</li> <li>• Komatsu</li> <li>• Caterpillar</li> <li>• ITT Goulds Pumps</li> <li>• KSB GIW</li> <li>• Vogt</li> <li>• Schwamm</li> <li>• Exploration Drill Master</li> <li>• Liebherr</li> <li>• Dux</li> <li>• Otros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ABB</li> <li>• High Service Corp</li> <li>• Emerson</li> <li>• Honeywell</li> <li>• ITT</li> <li>• Magotteaux</li> <li>• Mining Tag</li> <li>• Modular Mining</li> <li>• Jigsaw Technologies</li> <li>• Mirs</li> <li>• Outotec</li> <li>• Power Train Technologies</li> <li>• Rockwell Automation</li> <li>• Siemens</li> <li>• Zurich</li> <li>• Psinet</li> <li>• Schneider</li> <li>• Tesra</li> <li>• Timining</li> <li>• Wencomine</li> <li>• Coasin</li> <li>• IBM</li> <li>• Sonda</li> <li>• Otros</li> </ul>

Fuente: Elaboración por IDC con información de la industria minera y de manufactura, 2018

A continuación, se presenta el detalle de maquinaria y equipos considerados para cada mercado:

- **Exploración**

Se consideraron: perforadoras de sondaje y exploración, instrumentos de medición, camiones livianos, camiones utilitarios y equipos de exploración indirecta.

- **Extracción Subterránea**

Se consideraron: cargadores LHD, jumbos de preparación y desarrollo, martillos picadores, camiones livianos, camiones de bajo perfil, jumbos de producción, ventiladores, camiones utilitarios, manipuladores telescópicos, camiones de explosivos, equipos de apoyo, mixers de bajo perfil, cargadores frontales, bomba de hormigón y shotcrete, robots de proyección de shotcrete, acuñadores.

- **Extracción Rajo Abierto**

Se consideraron: camiones de extracción de alto tonelaje, palas bucyrus, equipos de apoyo, camiones utilitarios, camiones livianos, cargadores frontales, perforadoras de superficie.

- **Molienda y Flotación de Sulfuros**

Se consideraron: alimentadores vibratorios, molinos, harneros, hidrociclones, celdas de flotación, prensa de rodillos, espesadores, hornos de secado, ventiladores, bombas.

- **Fundición**

Se consideraron: hornos de fusión, hornos convertidores, secadores, ruedas de moldeo, puentes grúa, bombas, ventiladores, equipo de apoyo.

- **Lixiviación y Electro-obtención**

Se consideraron: agitadores, tambores magnéticos, apiladores, chancadores secundarios y terciarios, filtros, vibradores, roto palas, celdas electrolíticas, bombas, ventiladores.

Tabla 4. Principales proveedores de equipamiento para procesos en la cadena de valor

# Posición	Exploración	Extracción Subterránea	Extracción Rajo Abierto	Molienda y Flotación Sulfuros	Fundición	Lixiviación y Electro Obtención
#1	Atlas Copco	Sandvik	Caterpillar	FLSmidth	Weir	Weir
#2	Universal Drill Rigs	Atlas Copco	Komatsu	Metso	ITT-Goulds Pumps	Metso
#3	Boart Longyear	Caterpillar	Randon	Outotec	KSB GIW	Delkor
#4	Exploración Drill Master	Marcas Propias	Volvo	Weir	Flowserve	ITT-Goulds Pumps
#5	Ford	Normet	Mack	Minimet	Metso	KSB GIW
#6	Schwamm	Manitou	Atlas Copco	FLSmidth	FLSmidth	FLSmidth
#7	Sandvik	BTI-Teledyne	Mack	Hewitt Robins	Ensival-Moret	Lightnin
#8	Soilmec	Volvo	Liebherr	Delkor	Ingersoll Rand	Flowserve
#9	Boyles Bross	Dux	Mercedes Benz	Wedag	Versamatic	Sandvik
#10	Drilltech	JCB	Freightliner	Denver	Vogt	Ensival-Moret

Fuente: Elaborado por IDC con información de la base de datos del catastro de equipamiento minera, 2018





Sobre la tabla anterior, se debe mencionar que la posición de los proveedores se determina mediante las unidades de equipamiento de la marca utilizadas por empresas mineras. De este modo la primera posición indica que más empresas mineras poseen equipamiento de su marca.

Además, se debe indicar que las posiciones sirvieron de referencia para priorizar los proveedores a entrevistar.

## Desarrollo de propiedad Intelectual

Las inversiones en investigación y desarrollo son limitadas en la mayoría de las empresas entrevistadas, en promedio menos del 2% de sus ventas son destinadas a investigación y desarrollo por los siguientes factores:

- En su opinión, las empresas mineras no ven mucho valor en el desarrollo de tecnología por parte de sus proveedores de maquinaria, tecnología y repuestos debido a que no están dispuestas a participar en proceso de investigación y desarrollo porque implica que tendría que hacer paros técnicos, destinar recursos humanos y en algunos casos aportar recursos financieros. En opinión de los entrevistados el sector minero en Chile es muy conservador.
- La mayor parte de los recursos de investigación y desarrollo de las empresas con capital extranjero se realizan en la casa matriz, esto limita la participación en las decisiones sobre los nuevos desarrollos. Para las empresas locales, el aportar parte de sus ingresos a investigación y desarrollo financieramente no es viable por no contar con el capital de trabajo y recursos financieros adicionales para financiar esta investigación.
- Las empresas ven en los recursos humanos otra limitante para la investigación y desarrollo. Actualmente el promedio de escolaridad en todo el sector de manufactura en Chile es de 11.5 años en promedio. Establecer un proceso sistemático de investigación y desarrollo sin los recursos humanos calificados es un riesgo que no quieren correr.
- Las empresas ven un círculo vicioso entre la academia, los incentivos gubernamentales, las empresas mineras y los proveedores de manufactura ya que no hay un objetivo común para poder establecer una comunicación genuina de colaboración y lograr acuerdos que beneficien a la industria en su conjunto.
- Faltan incentivos gubernamentales que vayan en la dirección de fomentar la investigación y desarrollo en la industria de manufactura, tales como reducir impuestos y protección de la innovación a través de leyes de propiedad intelectual, entre otros incentivos.

## Inversión en Soluciones de Manufactura Avanzada

Las empresas entrevistadas confirman que tienen iniciativas de manufactura avanzada, pero en la mayoría de los casos son proyectos aislados, no son parte de un programa o proyecto de modernización de su operación de manufactura, en algunos casos la razón es que son empresas internacionales que no tienen poder de decisión en este tipo de proyectos. Otra razón es que el retorno de inversión no se justifica por el tamaño de mercado en Chile, cuando se necesitan productos de alta tecnología, es más barato traerlos de fuera de Chile que fabricarlos localmente.

Sin embargo, las iniciativas de manufactura avanzada que se han implementado en las empresas entrevistadas tienen un enfoque a las soluciones de nuevas tecnologías digitales, a continuación, se listan las principales tecnologías implementadas:

- Soluciones para usar fabricación aditiva o manufactura aditiva, que es básicamente el uso de tecnología CAD en forma conjunta con la impresión en 3D.
- Actualización a los estándares y procesos de BIM y MOP en los procesos de fabricación.
- Mejora del proceso de Lean Manufacturing que en muchas ocasiones no se tiene el proceso completo o no se siguen las mejores prácticas.
- Automatización de maquinaria con la implementación de software de diseño avanzado, soluciones de control numérico y una plataforma de análisis avanzado de información.
- Implementación de sensores y proyectos de IoT principalmente en una plataforma de robots industriales.
- Soluciones de inteligencia de negocio (analíticos), minería de datos y proyectos de Big Data.
- Proyectos relacionados con nuevos materiales y el impacto en los procesos de fabricación.

Las oportunidades de manufactura avanzada en el sector industrial en Chile son amplias en lo que corresponde a la adopción de la tecnología; sin embargo basado en entrevistas que se realizaron con empresas del sector, estas indican que solo será posible su implementación si el plan de negocio tiene sentido tanto en lo local como en lo internacional. Por ejemplo si en Chile es muy costoso fabricar algún equipo o pieza, y la mejor opción desde el punto de vista de negocio es importarlos de otro lugar del mundo. La decisión va a estar basada en las ventajas comparativas y competitivas de las empresas en Chile.

## Dimensionamiento de la Oportunidad

En primer lugar, se debe indicar que la oportunidad de mercado surge como una respuesta natural a una demanda insatisfecha o incompleta por parte de la industria minera local. Actualmente esta demanda se asocia principalmente a un desafío transversal a la industria, el cual consiste en hacer frente a la pérdida de competitividad regional y mundial que ha experimentado la industria minera nacional en los últimos años.



A continuación, se indican los principales factores que han incidido en la pérdida de competitividad de la industria minera o bien las problemáticas actuales a las que se enfrenta la industria.

### 1. Costos de producción

- Alza de costos energéticos
- Alza de costos laborales
- Alza de costos de insumos mineros

### 2. Factores geológicos

- Menor ley del mineral
- Mayor profundidad del mineral
- Menor tasa de recuperación
- Riesgos geo-mecánicos en minas subterráneas

### 3. Productividad

- Reducción de material extraído por trabajador
- Reducción de cobre producido por trabajador
- Gestión sub óptima del mantenimiento

### 4. Desafíos ambientales

- Nuevas normativas ambientales para procesos de fundición y para relaves
- Gestión de las comunidades involucradas

### 5. Exigencias laborales

- Exigencias cada vez más estrictas en cuanto a seguridad laboral

Este hecho queda reflejado en el estudio Encuesta de Innovación en Empresas Proveedoras de la Gran Minería, en el cual los drivers (inductores) para la innovación más mencionados fueron: “Mejoras operativas internas para aumentar la productividad y reducir los costos” y “Nuestros clientes solicitan resolver sus problemas y desafíos”. Así mismo, el estudio mencionado anteriormente indica que los drivers menos mencionados por las empresas proveedoras fueron “Los lineamientos impuestos desde el exterior” y “Supervivencia”.

Ante este escenario, el desarrollo, la implementación y la utilización de manufactura avanzada tanto por parte de proveedores como de productores representa un recurso importante para hacer frente a la pérdida de competitividad.

Entonces, la oportunidad de mercado reside en el amplio potencial que tienen tanto proveedores como empresas mineras de implementar las tecnologías de manufactura avanzada para la creación y captura de valor en los procesos de la industria, abordando las problemáticas y desafíos actuales de productividad. A continuación, se realiza un listado de las tecnologías específicas que tienen un potencial impacto en la productividad minera y luego se contextualizaran dentro de los mercados primarios definidos.

- **Robótica y operaciones autónomas**

Agrega valor mediante el incremento de outputs, ya se puede operar 24 horas al día y los 365 días del año con una productividad alta, constante y de calidad. Reduce también costos de personal, especialmente para compañías que tienen operaciones en locaciones

remotas. Incrementa la seguridad laboral, reduciendo la exposición al riesgo del personal en áreas donde se pueden producir incidentes. Los procesos automatizados reducen también el consumo de combustibles comparado con las máquinas manuales. Se espera que tenga un mayor impacto en fases de extracción; sin embargo, pueden desempeñarse también en fases de exploración como el caso de drones de exploración.

- **Sensores Inteligentes**

Agrega valor mediante la obtención de información en tiempo real sobre el rendimiento de la infraestructura, datos sobre la condición física de equipamiento y rendimientos operativos de las máquinas. Su implementación permite recopilar información operativa en tiempo real que facilita una mejor toma de decisiones y aumenta la eficiencia. De este modo juegan un papel importante en el mantenimiento predictivo y la administración de activos, lo que puede reducir significativamente los costos al mejorar el uso del equipo y reducir el tiempo de inactividad o fallas en los equipos, reduciendo también la frecuencia de incidentes de seguridad. Los sensores inteligentes tienen aplicaciones potenciales en casi toda la cadena de valor, por lo que el impacto del uso de sensores es más bien transversal a los mercados definidos.

- **Análítica Avanzada y Modelos de Simulación**

Agrega valor mediante una mejor comprensión de los drivers clave, los cuerpos de mineral u operaciones de la planta, y por lo tanto ayuda a las empresas a diseñar, planificar, decidir y coordinar de manera más efectiva. En combinación con imágenes satelitales 3D y grandes conjuntos de datos, los modelos pueden optimizar el diseño sin necesidad de perforar, lo que reduce la inversión, los residuos y la huella física de la operación. La analítica avanzada puede agregar valor a las operaciones de planta y mantenimiento mediante la identificación reactiva de cuellos de botella operacionales o patrones de residuos, o bien predecir dónde es probable que surjan estos problemas. Para la minería, la analítica avanzada también promete identificar los patrones geológicos durante la exploración, lo que ayuda a identificar de manera más rápida y efectiva el valor del mineral. Por otra parte, los modelos de simulación utilizan escenarios hipotéticos en tiempo real para identificar la mejor forma de ejecutar la extracción, el procesamiento, la producción y la distribución, en función de las condiciones situacionales o ambientales. El impacto del uso de analítica avanzada y modelos de simulación es más bien transversal a los mercados definidos.

- **Inteligencia Artificial**

Agrega valor mediante la toma de decisiones más informadas, optimizando los rendimientos y aprovechando al máximo los beneficios de la robótica mediante la gestión y la mejora continua de sus rendimientos. La capacidad de cómputo puede superar la capacidad de procesamiento humana y ejecutar completamente una operación optimizada de manera completamente independiente, teniendo también la capacidad de aprender y mejorar con el tiempo. Tiene la capacidad de crear una visión holística de operaciones históricas, en tiempo real y proyectadas, y controlar una vasta red de sensores interconectados y robótica dentro de una mina o planta. La Inteligencia Artificial debería aumentar la eficiencia a través de un mejor rendimiento operativo, disminuyendo tanto los residuos en los procesos de producción, como materiales de entrada y niveles de stock por unidad de producción. El impacto del uso de inteligencia artificial es más bien transversal a los mercados definidos.

- **Centro de Operaciones Remotas**

Agrega valor mediante el control en tiempo real sobre las operaciones en ubicaciones remotas. Al proporcionar información de video y otras herramientas digitales, les permiten a los empleados monitorear y controlar múltiples aspectos de las operaciones simultáneamente. Los centros de operaciones remotas también integran diversas fuentes de datos para respaldar la toma de decisiones basadas en condiciones de tratamiento de minas o metales en tiempo real, lo que permite la supervisión y coordinación de múltiples servicios. Además, evitan la necesidad de que haya especialistas altamente calificados en las minas, al tiempo que se garantiza la disponibilidad de expertos técnicos cuando sea necesario. Tener personas altamente calificadas en el sitio representa un costo significativo para las empresas, que los centros de operaciones remotas pueden minimizar mediante ahorros netos en vivienda, suministros y transporte. Los centros de operaciones remotas permitirían también reducir la huella de tierra de los sitios mineros y reducir la cantidad de personas requeridas en el sitio, contribuyendo a reducir las emisiones y los residuos que se generarían. El impacto de la implementación de centros de operaciones remotas es más bien transversal a los mercados definidos.

- **Trabajador Conectado (Realidad Virtual/Realidad Aumentada)**

Agrega valor desde diversos ámbitos, ya que las tecnologías de trabajador conectado como la realidad virtual y la realidad aumentada tienen numerosas aplicaciones. Por ejemplo, equipar a los trabajadores con dispositivos inteligentes conectados les permite interactuar con sensores, robots y otros sistemas a su alrededor y posibilita a la administración de la mina y la planta capturar información crítica en tiempo real. También permite una comunicación fluida, asistencia de expertos inmediata y remota, diagnóstico y guía en tiempo real o acceso a instrucciones para reparar equipos defectuosos in situ. El impacto se genera a través de mejoras en la productividad de la fuerza de trabajo, reduciendo los costos de exploración y extracción, ya que estas actividades se pueden realizar de una manera más específica y eficiente con base en datos en tiempo real. Los costos de mantenimiento se pueden minimizar al reducir la duración de las actividades de mantenimiento, por ejemplo, mediante el suministro de instrucciones just-in-time. Por otra parte, el uso de estos dispositivos inteligentes conectados aumenta la seguridad de los trabajadores en entornos peligrosos mediante el monitoreo y la comunicación de condiciones ambientales como el calor y el gas, activando alarmas si se detecta un peligro, como la presencia de gases tóxicos. En caso de una emergencia, los dispositivos pueden proporcionar información sobre la ubicación del trabajador, ayudando a las operaciones de rescate. El impacto del uso de las tecnologías de trabajador conectado es más bien transversal a los mercados definidos.

- **Impresión 3D**

Agrega valor mediante la rápida accesibilidad a una amplia gama de piezas de repuesto y maquinaria en ubicaciones remotas y hostiles. Si bien el uso de impresión 3D puede significar una pérdida de valor debido a la reducción de la demanda impulsada por la sustitución de productos metálicos por sustitutos no metálicos, se espera que tendrá un impacto positivo para el uso de componentes impresos en 3D en los sectores de la automoción, el transporte y la maquinaria, creando valor para el sector mediante un mantenimiento reducido y disminuyendo los costos de inventario de piezas de repuesto. La impresión 3D conducirá a también a una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que crea mucho menos material de desecho por unidad producida que otras técnicas de fabricación. Se espera que tenga un mayor impacto en el mercado de repuestos, partes y piezas.

- **Convergencia IT/OT**

Las tecnologías de la información (IT) y las tecnologías operativas (OT) se unen a través de Internet of Things (IoT), que conecta objetos a la infraestructura de Internet a través de dispositivos informáticos integrados, como chips y sensores. La convergencia IT/OT y el uso de Internet of Things son consideradas como habilitadores de las tecnologías mencionadas anteriormente por lo que el impacto de su implementación es más bien transversal a los mercados definidos.

Tabla 5. Principales tecnologías de manufactura avanzada por mercado primario

Exploración	Extracción Subterránea	Extracción Rajo Abierto	Molienda y Flotación Sulfuros	Fundición	Lixiviación y Electro Obtención	Repuestos
Realidad virtual para Planificación Minera	Analítica de estructura geomecánica	Analítica para optimización de flota	Analítica de recuperación de agua en espesadores	Analítica para procesos de pirometalurgia	Sistemas de control avanzado	Impresión 3D de repuestos
Drones para exploración	Brazos robóticos para descolgadura de rocas	Brazos robóticos para faenas de elementos pesados	Analítica de comportamiento de molinos/celdas de flotación/espesadores	Robots para muestreo de mineral en camiones	Robótica para manejo de cátodos/ánodos	Modelos de simulación para diseño optimizado
Analítica de patrones geológicos para valorización de mineral	Sistemas de control de flotas	Camiones autónomos	Sistemas de control avanzado	Sistemas de control avanzado	Analítica predictiva para mantenimiento y problemas de operación	
Modelos de simulación para diseño optimizado	Analítica predictiva para mantenimiento y problemas de operación	Sistemas robóticos para cambio de neumáticos	Sistemas de control distribuido	Analítica predictiva para mantenimiento y problemas de operación	Simulación de escenarios en tiempo real	
Monitoreo remoto de operaciones	Simulación de escenarios en tiempo real	Sistemas de control de flotas	Analítica preventiva/predictiva de cuello de botella	Simulación de escenarios en tiempo real	Monitoreo remoto de operaciones	
Realidad virtual para instrucciones in situ	Monitoreo remoto de operaciones	Analítica predictiva para mantenimiento y problemas de operación	Analítica predictiva para mantenimiento y problemas de operación	Monitoreo remoto de operaciones	Realidad virtual para instrucciones in situ	
	Realidad virtual para instrucciones in situ	Simulación de escenarios en tiempo real	Simulación de escenarios en tiempo real	Realidad virtual para instrucciones in situ		
		Monitoreo remoto de operaciones	Monitoreo remoto de operaciones			
		Realidad virtual para instrucciones in situ	Realidad virtual para instrucciones in situ			

Fuente: IDC 2018

Adicionalmente a las anteriores, se consideran como tecnologías transversales a los mercados las siguientes: realidad virtual/aumentada para diseño de procesos, integración tecnológica en la cadena productiva, seguimiento gerencial de procesos en tiempo real y realidad virtual para capacitación de operadores.

Como se puede apreciar, existen tecnologías transversales donde la industria minera y las empresa de manufactura pueden interactuar y establecer un centro de desarrollo e investigación, por ejemplo, con soluciones de realidad aumentada y realidad virtual; así como también tecnologías de software de diseño, simulación y análisis de grandes volúmenes de información. Esto no será posible si no se logra una genuina integración de los sectores académico, empresarial y el sector público, además de establecer un programa de incentivos por parte de CORFO de largo plazo que no solo sea económico, sino que piense en un desarrollo del talento que se necesita para mantener estas iniciativas de manufactura avanzada para la industria minera.

## Dimensionamiento de los mercados primarios

Una primera aproximación al dimensionamiento de la oportunidad es conocer el gasto que realizan las empresas mineras en equipamiento, maquinaria, y partes y piezas. Esta información permite corroborar el dimensionamiento de la oportunidad real de mercado en manufactura avanzada para este sector.

Una vez determinadas las principales maquinarias y equipos por mercados primarios, se procedió a valorizar dicho equipamiento utilizando múltiples fuentes. De esta forma, se determinó un valor de mercado para cada uno de los siete mercados primarios. Sin embargo, para los mercados transversales se utilizó una metodología distinta.

Para el caso del mercado de automatización, se calculó utilizando información disponible de IDC respecto de los distintos componentes de este mercado, principalmente sensores, plataformas de software, conectividad y procesamiento.

El mercado de repuestos, partes y piezas se estimó con base en los costos de explotación, específicamente el costo C1. Tomando como base lo investigado, se estimó que el 30% del costo C1 se destina a gastos de mantención y repuestos. De acuerdo con lo indicado en entrevistas, se estimó que un 10% de este costo correspondía solo a repuestos, partes y piezas. La tabla 6 muestra los números considerados para el periodo 2006 a 2017.

**Tabla 6. Estimaciones del gasto en repuestos, partes y piezas desde 2006 a 2017**

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Costo C1 (US\$/Lb)	0,74	0,93	1,31	1,18	1,30	1,57	1,67	1,70	1,62	1,41	1,37	1,33
Producción de cobre (KTon)	5.361,0	5.557,0	5.328,0	5.394,0	5.419,0	5.263,0	5.434,0	5.776,0	5.761,1	5.772,1	5.552,6	5.503,5
Producción de cobre equivalente (Klb)	11.818.968	12.251.073	11.746.215	11.891.720	11.946.836	11.602.915	11.979.905	12.733.885	12.701.036	12.725.287	12.241.373	12.133.126
Costo de producción C1 (US\$MM)	8.746	11.393	15.388	14.032	15.531	18.217	20.006	21.648	20.576	17.994	16.771	16.105
Costo de partes y piezas, 25% de C1 (US\$MM)	2.187	2.848	3.847	3.508	3.883	4.554	5.002	5.412	5.144	4.498	4.193	4.026

Fuente. Elaborado por IDC con datos de Cochilco, 2018

Nota de la tabla 6:

Costo C1 (US\$/Lb): Costo de producción de cada libra de cobre, en dólares por libra producida.

Producción de cobre (KTon): Producción anual equivalente de cobre en miles de toneladas (incluye el concentrado)

Producción de cobre equivalente (Klb): Producción de cobre en miles de libras.

Costo de producción C1 (US\$MM): costo de producción total

Costo de partes y piezas, 25% de C1 (US\$MM): costo del servicio de mantenimiento, partes y piezas en millones de dólares

Una vez calculado el gasto en repuestos, partes y piezas, se utilizó la información disponible en el documento: Identificación de Suministros Estratégicos de las Grandes Empresas Mineras para Orientar la Promoción y Atracción de Inversiones de la Universidad Técnica Federico Santa María para el año 2009 junto con la estimación hecha por IDC para el año 2016 con la finalidad de calcular la inversión en equipamiento como un porcentaje de la inversión materializada desde 2007 a 2017 (Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1997-2016, Cochilco). De esta forma, se extrapola la proporción entre 2009-2016 y se supuso un comportamiento similar entre 2006-2009. La siguiente tabla muestra la inversión en minería y la estimación de la inversión en equipo desde 2006 a 2017.

Tabla 7. Relación entre inversión total minera e inversión en maquinaria y equipamiento

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Inversión en minería (US\$MM)</b>	3.047	3.386	5.166	5.049	7.444	8.783	13.130	15.027	12.387	10.202	6.882	7.431
<b>Gasto en equipamiento excluyendo partes y piezas (US\$MM)</b>	469	521	790	774	1.137	1.365	2.073	2.414	2.035	1.717	1.198	1.319

Fuente. Elaborado por IDC con datos de Cochilco y Universidad Técnica Federico Santa María, 2018

Finalmente, para el dimensionamiento de los mercados primarios, se utilizó la proporción calculada por IDC para el año 2016 y se supuso una distribución similar para los años 2006 a 2017. De esta forma la tabla 9 muestra la inversión por mercado excluyendo repuestos, partes y piezas.

A continuación, se estima la inversión realizada para cada mercado desde el año 2006 hasta el año 2017 mediante la aplicación de las distribuciones anteriormente obtenidas a la información de la segunda fila mostrada en la tabla 8 (Inversión en minería). Luego, a esta cifra se le suma el mercado de repuestos, partes y piezas llegando a los valores mostrados en la tabla 9.

Tabla 8. Inversión en maquinaria, equipos y sistemas de apoyo para 2016

Mercado Primario	Tamaño mercado (US\$)	% total mercado
Exploración	11.388.683	1,0%
Extracción Subterránea	87.780.365	7,3%
Extracción Rajo Abierto	501.015.966	41,8%
Molienda y flotación	465.141.667	38,8%
Fundición y refinería	13.416.667	1,1%
Lixiviación	49.749.583	4,2%
Automatización (transversal)	49.595.948	4,1%
Entrega	20.347.277	1,7%
<b>Total</b>	<b>1.198.436.155</b>	<b>100,0%</b>

Tabla 9. Inversión minera por mercados primarios (en US\$MM)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Exploración</b>	5	5	8	8	11	13	20	24	20	17	11	12
<b>Extracción Subterránea</b>	35	39	59	58	86	103	157	182	153	128	88	96
<b>Extracción Rajo Abierto</b>	200	222	339	332	489	587	894	1.040	872	731	501	550
<b>Molienda y flotación</b>	186	206	315	308	454	545	830	966	810	678	465	510
<b>Fundición</b>	5	6	9	9	13	16	24	28	23	20	13	15
<b>Lixiviación</b>	20	22	34	33	49	58	89	103	87	73	50	55
<b>Automatización</b>	10	11	13	14	16	19	25	29	36	42	50	59
<b>Entrega</b>	8	9	14	13	20	23	36	42	35	29	20	22
<b>Servicio Mantenimiento, Repuestos, partes y piezas</b>	2.187	2.848	3.847	3.508	3.883	4.554	5.002	5.412	5.144	4.498	4.193	4.026
<b>Total inversión maquinaria, equipamiento, partes y piezas</b>	<b>2.655</b>	<b>3.369</b>	<b>4.637</b>	<b>4.282</b>	<b>5.020</b>	<b>5.919</b>	<b>7.074</b>	<b>7.826</b>	<b>7.179</b>	<b>6.215</b>	<b>5.391</b>	<b>5.345</b>
<b>Crecimiento</b>		<b>26,9%</b>	<b>37,6%</b>	<b>-7,6%</b>	<b>17,2%</b>	<b>17,9%</b>	<b>19,5%</b>	<b>10,6%</b>	<b>-8,3%</b>	<b>-13,4%</b>	<b>-13,3%</b>	<b>-0,8%</b>

Fuente. Elaborado por IDC

El mercado de manufactura para la industria minera tiene un tamaño nada menor en comparación con otros subsegmentos de la industria de manufactura. Si bien el desempeño de la industria de manufactura está íntimamente ligado a las fluctuaciones de los precios internacionales del cobre, no deja de ser un mercado atractivo que puede ser un generador de crecimiento al sector industrial.

Al cierre del 2017, el tamaño de mercado alcanzó unos 5.345 millones de dólares con un crecimiento de -0,8%, siendo la industria de repuestos, partes y piezas la más grande. En términos de valor de mercado pueden resultar atractivos ciertos mercados; sin embargo, las oportunidades de la industria de manufactura que ofrece el sector minero vendrán del análisis de los siguientes factores:

- Dependiente del tipo de capital de las empresas de manufactura, si éste es extranjero o local, los recursos para la implementación de procesos de manufactura avanzada para competir de mejor forma en el sector de minería estarán ligados a un minucioso caso de negocio que cumpla ciertos criterios de retorno a la inversión como la escala del negocio, si se cuentan con los recursos humanos capacitados para el desarrollo de estas iniciativas y quizá, lo más importante, si las empresas mineras en Chile y otras regiones del mundo, están dispuestas a consumir las tecnologías desarrolladas por el sector industrial de Chile.
- Que las diferentes instancias del gobierno ligadas a la industria minera y sus proveedores establezcan incentivos de largo plazo para la implementación de modelos de manufactura avanzada, tal como lo han hecho en otros países de América Latina en los siguientes sectores: aeroespacial, dispositivos médicos, automotriz, producción de moldes y maquinaria, entre otros.
- Hacer un análisis de las ventajas comparativas y competitivas de la industria de manufactura para establecer las opciones de inversión del sector, no es el objetivo de este estudio hacer este análisis, sin embargo, hay variables como costo salarial, recursos humanos calificados, posición geográfica, incentivos gubernamentales, entre otros.

Basado en los anteriores puntos, en el análisis de las diferentes fuentes de información y en un avance de las entrevistas con empresas de manufactura que atienden al sector de minería, IDC propone los siguientes mercados primarios en los cuales la industria de manufactura en Chile tendría oportunidad de competir como proveedor de estos mercados:

- Debido a que el sector de minería tiene una posición conservadora en lo que respecta a la innovación y adopción de nuevas tecnologías, el mercado de repuestos, partes y piezas es un mercado atractivo para mejorar la productividad de las empresas de manufactura que participan en este mercado a través de soluciones de manufactura avanzada.
- La automatización, con plataformas de software, realidad aumentada y virtual y manufactura aditiva (impresión en 3D) con un enfoque en mejorar la productividad de las empresas mineras, es otra oportunidad que el sector de manufactura puede atender en el corto y mediano plazo ya que con el conocimiento y experiencia de Chile en minería y los incentivos correctos se pueden establecer centros de investigación que apoyen a las empresas de manufactura a desarrollar este tipo de tecnología para consumo local o internacional. Un ejemplo de la eficiencia logrado con esto es que a través de modelos de simulación y 3D, se podrían producir a través de manufactura aditiva los repuestos y partes que se necesiten en tiempo real, aun en localidades remotas.
- Existe otra oportunidad para las empresas de manufactura en el área de la automatización, que es en las soluciones de IoT, sensores, controladores y PLCs de nueva generación que ayudan a la automatización de maquinaria, hornos, sistemas de molienda, entre otros equipos de la operación minera, ya que no se tendría que invertir en nuevas máquinas si no que se automatizarían las actualmente instaladas, reduciendo la inversión de capital.
- Robótica para la minería es otra área de alto crecimiento que IDC recomienda para que las empresas de manufactura puedan participar invirtiendo en el desarrollo de este tipo de productos de manufactura. Con el conocimiento que Chile tiene en minería, el desarrollo avanzado de la robótica en algunas universidades y un sector industrial sólido, la oportunidad es factible de conseguir.

## Identificación de las Brechas y Barreras

A la fecha existen algunos estudios a nivel nacional en los que se han identificado las brechas existentes para lograr un mayor desarrollo de la manufactura avanzada en la industria minera nacional. Entre estos se pueden destacar los esfuerzos realizados por Corfo en el documento Programa Estratégico Industrias Inteligentes donde se identifican las brechas de usos de tecnologías avanzadas en diversas industrias y los esfuerzos realizados en conjunto con la Universidad Adolfo Ibáñez en el informe Desarrollo de un Marco de Trabajo y Buenas Prácticas para Incentivar la Innovación Colaborativa en la Industria Minera Nacional en el que se identifican las barreras específicas para la industria minera.

En el presente informe se intenta dar continuidad a los estudios anteriormente realizados, buscando corroborar o bien rectificar los resultados obtenidos en estos mismos. De este modo, se incluyeron parámetros similares para el desarrollo de las entrevistas realizadas a las empresas pertenecientes al ecosistema minero nacional.

A continuación, se resumen las brechas y barreras identificadas por los estudios anteriormente mencionados y las entrevistas realizadas por IDC.

Figura 9. Principales brechas identificadas

### Brecha #1: Baja utilización de tecnologías digitales para la productividad industrial

- Desincronización entre la demanda y la oferta de servicios y productos tecnológicos.

### Brecha #2: Baja especialización en innovación TIC

- Bajo nivel de investigación y desarrollo en la industria tecnológica nacional (bajo el promedio OCDE).

### Brecha #3: Escasez de volumen y especialización de capital humano tecnológico

- Escaso Capital Humano con conocimientos tecnológicos (déficit de profesionales en TIC).

### Brecha #4: Bajo nivel de interoperabilidad en soluciones TIC para la industria

- Bajos niveles de estandarización en interoperabilidad entre soluciones inteligentes.

### Brecha #5: Insuficiente capacidad de la infraestructura digital para la industria

- Limitada cobertura y calidad de servicio en las soluciones de conectividad.

### Brecha #6: Baja inversión en investigación y desarrollo

- Las inversiones en investigación y desarrollo son limitadas en la mayoría de las empresas entrevistadas, en promedio menos del 2% de sus ventas son destinadas a investigación y desarrollo.

### Brecha #7: Empresas mineras son conservadoras para la adopción de nuevas tecnologías

- Las empresas mineras no ven mucho valor en el desarrollo de tecnología por parte de sus proveedores de maquinaria, tecnología y repuestos debido a que no están dispuestas a participar en proceso de investigación y desarrollo por que eso implica que tendría que hacer paros técnicos, destinar recursos humanos y en algunos casos aportar recursos financieros.

### Brecha #8: Recursos humano poco calificados

- Los recursos humanos son otra limitante, actualmente el promedio de escolaridad en todo el sector de manufactura en Chile es de 11,5, establecer un proceso sistemático de manufactura avanzada sin los recursos humanos calificados es un riesgo que no quieren correr las empresas.

### Brecha #9: Relacion con los actores clave del ecosistema

- Las empresas ven un círculo vicioso entre la academia, los incentivos gubernamentales, las empresas mineras y los proveedores de manufactura ya que no hay un objetivo común para poder establecer una comunicación genuina de colaboración.

Fuente: Elaborado por IDC e información del Programa Estratégico Industrias inteligentes

Tabla 10. Principales barreras a la innovación

Ecosistema minero	Estrategia de innovación	Gestión de innovación	Cultura de innovación
Cambios constantes de estrategia corporativa	Personal con poca experiencia en innovación	Aplicabilidad de Transferencia tecnológica	Centros I+D no enfocados en la comercialización
Falta de colaboración entre compañías mineras	Altos costos de escalamiento	Dificultad para identificar necesidades	Resistencia al cambio
Asimetrías entre empresas nacionales e internacionales	Baja transferencia de conocimiento	Modelos sin evaluación de impacto económico	Centralización en líder o champion
Desconocimiento de la tecnología del proveedor	-	-	Baja tolerancia al fracaso
Visión de resultados en corto plazo	-	-	-

Fuente. Desarrollo de un marco de trabajo y buenas prácticas para incentivar la innovación colaborativa en la industria minera nacional

## Resumen de la Caracterización de la oportunidad de mercado para soluciones con tecnologías de manufactura avanzada

Con base en el dimensionamiento de la oportunidad, se obtiene que el mercado de manufactura para la industria minera tiene un tamaño considerable, alcanzando los 5.345 millones de dólares al año 2017 con un crecimiento de -0,8%.

Para que la oportunidad de desarrollo de este mercado se transforme en una realidad, se debe analizar ciertos factores como: generación de criterios de retorno de inversión, disposición al consumo de tecnologías desarrolladas localmente, incentivos a largo plazo de implementaciones de manufactura avanzada y análisis de ventajas comparativas y competitivas de la manufactura avanzada.

Sin embargo, desde la perspectiva de las empresas mineras no basta solo con que las soluciones de MA posean ventajas competitivas y sean cuantificables en cuanto al retorno de la inversión, si no que este tipo de soluciones deben también estar enfocadas en la mejora de la productividad de las empresas mineras. Bajo este enfoque existiría una oportunidad en Chile para el desarrollo de soluciones de manufactura avanzada basadas en la automatización de plataformas de software, realidad aumentada/virtual y manufactura aditiva (impresión 3D), soluciones de IoT, sensores y controladores la automatización de maquinaria y equipos.

Por otra parte, cabe destacar que la generación de mayores sinergias para la colaboración (entre la academia, los incentivos gubernamentales, las empresas mineras y los proveedores de manufactura), es considerada como un habilitador importante que permitiría facilitar el proceso de generación y adopción de manufactura avanzada en el ecosistema minero.

Dados los resultados obtenidos de las entrevistas realizadas, se corroboran las principales brechas identificadas por estudios anteriormente realizados y a éstas se les suma la identificación de tres brechas adicionales: la actitud conservadora de las empresas mineras en cuanto a la adopción de nuevas tecnologías debido a la incertidumbre de los retornos, la baja calificación de los recursos humanos y las competencias necesarias para enfrentar un proceso de cambio de paradigmas tecnológicos asociados a la manufactura avanzada y la carencia de un objetivo común entre los diversos actores del ecosistema minero para establecer un ambiente colaborativo enfocado en la implementación de estas nuevas soluciones de manufactura.

Con base en las oportunidades identificadas, se consideró realizar un análisis de casos de uso para empresas similares a nivel mundial y contrastarlo con las entrevistas a empresas de minería. Esto hizo posible identificar cuáles son los factores que haría falta cambiar para que estas soluciones se implementen.

Un ejemplo de esto es la utilización de manufactura aditiva para repuestos en tiempo real. También, para determinar el potencial de uso por parte de la minería y si esta industria evalúa actualmente el costo beneficio que la impresión de repuestos, partes y piezas puede tener (considerando costos de volumen, costos de maquinaria u operaciones detenida entre otros) o bien, existe una percepción general (positiva o negativa) respecto a la implementación de estas tecnologías.

CAPÍTULO IV

Caracterización  
de la capacidad  
tractora de la  
manufactura  
avanzada en la  
industria minera

4

# Caracterización de la capacidad tractora de la manufactura avanzada en la industria minera

**El presente Capítulo tiene como principal objetivo identificar, caracterizar y dimensionar la capacidad tractora de la manufactura avanzada en la industria minera, incluyendo datos actuales e históricos y midiendo los volúmenes de negocios totales.**

Dado lo anterior se definieron los siguientes tópicos a considerar. El primero es el contexto de la transformación digital en la manufactura avanzada de la industria minera y de metales a nivel mundial, donde se definen las tecnologías que impactarán directamente en la manufactura avanzada de la industria.

El segundo tópico es el impacto de la transformación digital en la manufactura avanzada de la industria minera y de metales a nivel mundial, donde se estima el valor agregado de las iniciativas de transformación digital en el ecosistema conformado por la industria, los clientes, la sociedad y el medioambiente. Este apartado sirve como referencia para estimar económicamente la capacidad tractora hacia adelante (industria de manufactura básica de metales) mediante la adopción de manufactura avanzada en cifras acumuladas al año 2025.

El tercer tópico incluye información relevante sobre la capacidad tractora o encadenamientos productivos de la minería, tanto hacia adelante como hacia atrás, indicando el potencial aun sin explotar de desarrollo de encadenamientos e incluyendo un análisis sobre el estado actual de los actores relevantes (proveedores de tecnología, proveedores de manufactura e industria manufacturera básica de metales).

Además, en esta última sección se incluye una estimación del impacto de la transformación digital en la manufactura avanzada de la industria minera y de metales a nivel local, donde se estima la capacidad tractora de las iniciativas de transformación digital en Chile. Estos resultados son obtenidos mediante la desagregación del impacto global de las tecnologías, corroborando su validez mediante la comparación con las cifras actuales de la minería en Chile.

## Estimación de la capacidad tractora de la manufactura avanzada en la industria minera local

Para calcular el impacto de la transformación digital en la manufactura avanzada de minería e industria de metales a nivel local, se estimó la participación de la industria minera local en la producción mundial, para luego desagregar el impacto global de las tecnologías y alcanzar una valoración local.

Esta estimación se realiza bajo los supuestos de que el valor agregado de la manufactura avanzada a nivel mundial se distribuye de forma equivalente entre los distintos tipos de minería y que gran parte de este valor agregado pertenece a los principales productos de la minería a nivel global (Cobre, Oro, Plata, Molibdeno, Litio y Hierro).

### Realización de entrevistas

La realización de entrevistas con empresas proveedoras de la minería permitieron obtener las principales tendencias y expectativas identificadas por estos actores relevantes del ecosistema en cuanto a manufactura avanzada. Las empresas proveedoras entrevistadas fueron en total dieciocho, entre las cuales se encuentran empresas que indican que distribuyen o representan a otras que manufacturan equipos, dispositivos o productos de alta tecnología para minería, distribuyen o representan a empresas que manufacturan equipos, dispositivos o productos para minería (de mediana o baja, de alta, y mediana o baja tecnología); que producen productos o servicios no de manufactura pero ligados a la minería; que proveen servicios de ingeniería, consultoría y otros para minería; que proveen sistemas, software y tecnología para minería; que prestan servicios de diseño (de productos, servicios y procesos), de estandarización o certificación de calidad, mantenimiento (preventivo, predictivo, etc.) y de logística.



## Contexto de la Transformación Digital en la Manufactura Avanzada de la Industria Minera y de Metales a nivel mundial

El año 2015 fue lanzado el proyecto The Digital Transformation Initiative por el World Economic Forum cuyo objetivo fue a analizar el impacto de la transformación digital en diversas industrias, incluyendo la minera y de metales. De acuerdo con lo planteado por el proyecto anteriormente descrito, existen cuatro temas que se espera sean los pilares para la digitalización de la industria minera y la industria de metales para la próxima década. A continuación, se detalla cada uno de estos pilares y se explica brevemente cómo lograrán impactar en la industria.

- **Automatización, robótica y hardware operacional.**
  - Mediante la implementación de herramientas de hardware habilitadas digitalmente para realizar o mejorar actividades que tradicionalmente se han llevado a cabo manualmente o con maquinaria controlada por humanos.
- **Personal habilitado digitalmente.**
  - Mediante la utilización de la movilidad conectada y la realidad virtual y aumentada para empoderar a los trabajadores de campo, remotos y centralizados en tiempo real.
- **Integración de empresa con plataformas y ecosistemas.**
  - Mediante el enlace de operaciones, capas de TI y dispositivos o sistemas que están actualmente separados.
- **Analítica de próxima generación y soporte a decisiones.**
  - Mediante el aprovechamiento de algoritmos e inteligencia artificial para procesar datos de fuentes dentro y fuera de la cadena de valor tradicional, a fin de proporcionar soporte para decisiones en tiempo real y proyecciones futuras.

Por otra parte, cada uno de estos pilares para la manufactura avanzada en la industria minera se conforma de iniciativas o tecnologías particulares, de las cuales se espera que tengan un impacto significativo en la cadena de valor de la industria, su fuerza de trabajo, las industrias adyacentes, el medio ambiente y la sociedad en general. A continuación, se muestra las iniciativas para cada pilar.

Figura 10. Pilares digitales e Iniciativas para la industria de minería y metales



Fuente: World Economic Forum, Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry

Una vez establecidos estos pilares digitales e iniciativas se proceden a evaluar los impactos de estas iniciativas en la industria, los clientes, la sociedad y el medioambiente. Esto se realiza mediante estimaciones de la contribución que puede generar la transformación digital en este ecosistema. Los impactos y estimaciones mencionados anteriormente se presentan en el siguiente inciso.

## Impacto de la Transformación Digital en la Manufactura Avanzada de la Industria Minera y de Metales a nivel mundial

Como se mencionó anteriormente World Economic Forum evalúa también el impacto de las iniciativas de transformación digital en el ecosistema conformado por la industria, los clientes, la sociedad y el medioambiente. El valor agregado a la industria por la manufactura avanzada con base en la transformación digital comprende dos elementos: el impacto potencial en las ganancias operativas de la industria que serán generados directamente por las iniciativas y las ganancias operativas que migrarán entre diferentes actores de la industria. Por otra parte, el valor agregado a la sociedad comprende el impacto de la transformación digital en los clientes, la sociedad y el medioambiente. A continuación, se desarrolla brevemente el impacto o valor agregado que genera cada una de las iniciativas, exceptuando Convergencia IT/OT, Trabajador Conectado e Inteligencia Artificial.

Se estima que un mayor uso de las máquinas autónomas pueda generar un total de 56 mil millones de dólares adicionales para la industria, debido principalmente a la reducción de costos de personal, la mayor eficiencia de las máquinas por sobre las labores humanas y al incremento de horas operativas a un constante y alto nivel de producción. Por otra parte, se estima que la adopción de operaciones autónomas incremente la seguridad laboral, reduciendo el número de lesiones y muertes asociadas a incidentes. Además, se considera que se desplazarán alrededor de 60.00 puestos de trabajo debido a la reducción de la necesidad de supervisión de operaciones.

Figura 11. Impacto potencial de Operaciones Autónomas y Robótica, Cifras Acumuladas 2016 - 2025



Fuente: World Economic Forum, Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry

Otro punto de vista más general sobre la producción minera automatizada es el que realiza la multinacional de automatización industrial ABB que en el documento Integrated Mine Operations plantea el siguiente pronóstico de productividad minera con base en el avance tecnológico, principalmente sobre el actual proceso de incorporación de tele-operación y automatización, el cual se proyecta para alcanzar un alto nivel de optimización de la producción.

Figura 12. Impacto de los avances tecnológicos en la producción minera



Fuente: ABB, Integrated Mine Operations

A continuación, se caracterizan los periodos de producción de acuerdo con su nivel de tecnologización.



### 1. Mecanización

Estandarización de procesos, cambios relevantes en capacidades productivas. La operación de equipos requiere de la participación de las personas.



### 2. Telecomando/Automatización

Modelamiento y planificación integradas para una mayor calidad, toma de decisiones basada en datos integrados de los procesos productivos (visibilidad), información detallada proveniente de los equipos y planta habilitadora de minería telecomandada.



### 3. Optimización

Mayor nivel de Automatización y minería telecomandada, limitación de cuellos de botella por la adopción de un proceso más continuo, altos niveles de visibilidad a lo largo de la cadena de valor y entre operaciones y la operación de procesos integrados (interoperabilidad).

Por otra parte, el desarrollo de la impresión 3D tiene aplicaciones potenciales para la producción interna de piezas y la impresión directa del consumidor; sin embargo, la impresión con materiales no metálicos puede incentivar una sustitución de materiales, teniendo un impacto negativo en la industria minera. De este modo, se estima que una adopción más amplia de este tipo de impresión significará una pérdida de aproximadamente 195 millones de dólares para la industria de minería y metales. Además, se espera que beneficie a los clientes con cerca de 1.3 mil millones de dólares en total, como resultado de la sustitución de materiales.



Figura 13. Impacto potencial de Impresión 3D, Cifras Acumuladas 2016 - 2025



Fuente: World Economic Forum, Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry

En cuanto al desarrollo de sensores inteligentes, se espera que esta tecnología tenga el potencial de crear un valor aproximado de 24 mil millones de dólares para la industria de minería y metales mediante su utilización en mantenimiento predictivo y administración de activos, reduciendo costos, aumentando la disponibilidad de maquinarias y disminuyendo fallas e incidentes laborales. Asimismo, se espera que signifique una reducción de aproximadamente 160 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> debido principalmente al menor consumo de energía y al reducir la generación de residuos.

Figura 14. Impacto potencial de Sensores Inteligentes, Cifras Acumuladas 2016 - 2025



Fuente: World Economic Forum, Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry

Por otro lado, la implementación de centros de operaciones remotas permite evitar la necesidad de contar con especialistas altamente calificados in situ en las operaciones, lo que actualmente representa costos significativos para las empresas. Por otra parte, el menor requerimiento de especialistas en terreno implica una reducción en las emisiones y residuos generados por la operación. De este modo se estima que el valor agregado potencial para la industria sea de 77 mil millones de dólares y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> sea de 16 millones de toneladas.

Figura 15. Impacto potencial de Centro de Operaciones Remotas, Cifras Acumuladas 2016 - 2025



Fuente: World Economic Forum, Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry

El abastecimiento integrado, intercambio de datos y comercio se centran en aprovechar la tecnología para intercambiar o integrar datos e impulsar la colaboración a través de múltiples países en la cadena de valor. De esta forma, la integración de comercios B2B permitiría a las empresas evitar intermediarios y aumentar los márgenes. Por ello se estima que el valor agregado potencial para la industria sea de aproximadamente 37 mil millones de dólares.

**Figura 16. Impacto potencial de Abastecimiento Integrado, Intercambio de Datos, Comercio, Cifras Acumuladas 2016 - 2025**



Fuente: World Economic Forum, Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry

Las compañías mineras y metalúrgicas pueden sufrir pérdidas financieras si se roba el dinero, se roba información o se cierran las operaciones como resultado de un ciberataque. Entonces se estima que para 2025 el desarrollo de la ciberseguridad en activos permitirá a la industria minera ahorrar alrededor de 5 mil millones de dólares al evitar costos asociados a ciberataques.

**Figura 17. Impacto potencial de Ciberseguridad de Activos, Cifras Acumuladas 2016 - 2025**



Fuente: World Economic Forum, Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry

En cuanto a la analítica avanzada y modelos de simulación, se espera que tenga un valor agregado a la industria de aproximadamente 11 mil millones de dólares. Esto debido principalmente a que debería aumentar la eficiencia a través de un mejor rendimiento operativo, ya que la solución a cuellos de botella se realiza de forma inteligente y continua. Además, debería disminuir el desperdicio en los procesos de producción, como materiales de entrada y niveles de existencias por unidad de caída de producción.

**Figura 18. Impacto potencial de Analítica Avanzada y Modelos de Simulación, Cifras Acumuladas 2016 - 2025**



Fuente: World Economic Forum, Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry

Finalmente, World Economic Forum, formula la siguiente tabla recopilatoria (figura 19), en la cual se indica el valor agregado acumulado mundial (desde 2016 a 2025) segmentado por agente impactado (industria minera, industria de metales, clientes, sociedad y medioambiente) y con base en una tasa de adopción estimada de las tecnologías. Luego, formula también un análisis de sensibilidad (figura 20) basada en dichas tasas de adopción, estableciendo una adopción de tecnologías de manufactura avanzada menor a lo esperado y otra tasa mayor a lo esperado.

Figura 19. Valor agregado acumulado de la manufactura avanzada en la industria minera y de metales (2016-2025)

	Tasa de adopción industria minera (%)	Tasa de adopción industria metales (%)	Beneficios económicos					Beneficios no económicos			
			Valor agregado para la industria (mil millones \$USD)	Valor agregado para ind. minera (mil millones \$USD)	Valor agregado para ind. metales (mil millones \$USD)	Cambio de valor clientes (mil millones \$USD)	Cambio de valor soc./med. (mil millones \$USD)	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> (millones de ton.)	Vidas salvadas (número)	Lesiones reducidas (número)	Trabajos creados (número)
Sensores Inteligentes	20%	22%	\$34	\$9	\$25	\$0	\$8	161	-	-	-39.826
Operaciones Autónomas	25%	15%	\$56	\$47	\$8	\$0	\$19	396	257	10.076	-59.663
Impresión 3D	25%	25%	\$0	\$0	\$0	\$1	\$2	35	-	-	-
Trabajador Conectado	50%	25%	\$85	\$59	\$26	\$0	\$0	-	471	21.789	-200.541
Centro de Operaciones Remotas	30%	30%	\$77	\$65	\$12	\$6	\$1	16	248	12.452	-11.910
Ciberseguridad de Activos	75%	75%	\$21	\$5	\$16	\$0	\$0	-	-	-	-
Plataformas Integradas	15%	15%	\$37	\$2	\$35	\$69	\$0	-	-	-	-5.110
Analítica Avanzada	25%	25%	\$11	\$2	\$8	\$0	\$0	-	-	-	-13.094
<b>Total Acumulado 2016-2025</b>	-	-	<b>\$321</b>	<b>\$189</b>	<b>\$130</b>	<b>\$76</b>	<b>\$30</b>	<b>608</b>	<b>976</b>	<b>44.317</b>	<b>-330.144</b>

Fuente: World Economic Forum, Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry

Figura 20. Análisis de sensibilidad de valor agregado acumulado de la manufactura avanzada en la industria minera y de metales (2016-2025)

	Tasa de adopción industria minera (%)	Tasa de adopción industria metales (%)	Beneficios económicos					Beneficios no económicos			
			Valor agregado para la industria (mil millones \$USD)	Valor agregado para ind. minera (mil millones \$USD)	Valor agregado para ind. metales (mil millones \$USD)	Cambio de valor clientes (mil millones \$USD)	Cambio de valor soc./med. (mil millones \$USD)	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> (millones de ton.)	Vidas salvadas (número)	Lesiones reducidas (número)	Trabajos creados (número)
<b>Sensores Inteligentes</b>	12%-50%	10%-45%	\$3-\$13	\$1-\$4	\$2-\$9	\$0-\$0	\$1-\$3	11-51	11-0	0-0	-1.758 -8.118
<b>Operaciones Autónomas</b>	10%-40%	5%-30%	\$5-\$27	\$5-\$23	\$0-\$4	\$0-\$0	\$2-\$9	40-169	40-91	901-3.974	-7.189 -28.758
<b>Impresión 3D</b>	2%-40%	2%-40%	\$0-\$0	\$0-\$0	\$0-\$0	\$0-\$1	\$0-\$1	4-13	0-0	0-0	0 0
<b>Trabajador Conectado</b>	30%-65%	15%-40%	\$12-\$23	\$6-\$14	\$3-\$9	\$0-\$0	\$0-\$0	0-0	0-144	2.751-5.484	-22.894 -39.902
<b>Centro de Operaciones Remotas</b>	20%-60%	20%-60%	\$10-\$30	\$9-\$27	\$1-\$4	\$1-\$2	\$0-\$0	1-4	1-70	1.256-3.768	-1.122 -3.366
<b>Ciberseguridad de Activos</b>	30%-80%	30%-80%	\$2-\$5	\$0-\$1	\$1-\$4	\$0-\$0	\$0-\$0	0-0	0-0	0-0	0 0
<b>Plataformas Integradas</b>	10%-25%	15%-35%	\$3-\$15	\$0-\$1	\$3-\$14	\$0-\$17	\$0-\$0	0-0	0-0	0-0	-384 -820
<b>Análítica Avanzada</b>	10%-50%	10%-50%	\$0-\$6	\$0-\$1	\$2-\$4	\$0-\$0	\$0-\$0	0-0	0-0	0-0	-1.579 -7.895
<b>Total Acumulado 2016-2025</b>	-	-	\$35-\$119	\$21-\$71	\$12-\$48	\$1-\$20	\$3-\$13	56-237	52-275	4.908-13.226	-34.890 -88.859

Fuente: World Economic Forum, Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry

## Impacto de la Transformación Digital en la Manufactura Avanzada de la Industria Minera y de Metales a nivel local

Para calcular el impacto de la transformación digital en la manufactura avanzada de minería e industria de metales a nivel local, se debe en primer lugar estimar la participación de la industria minera local en la producción mundial, para luego desagregar el impacto global de las tecnologías y alcanzar una valoración local.

Esta estimación se realiza bajo los supuestos de que el valor agregado de la manufactura avanzada a nivel mundial en la industria se distribuye de forma equivalente entre los distintos tipos de minería y que gran parte de este valor agregado pertenece a los principales productos de la minería a nivel global (Cobre, Oro, Plata, Molibdeno, Litio y Hierro).

A continuación, se muestran los datos con los cuales se realizó la estimación de la participación de la industria minera local en la producción global.

Tabla 10. Participación de Chile en la producción minera mundial

Producto	Producción Chile 2017	Porcentaje de Producción Mundial
Cobre	5,50 MTM	27%
Oro	35,83 TM	1%
Plata	1.260 TM	5%
Molibdeno	62.750 TM	20%
Litio	77.280 TM	38%
Hierro	16,10 MTM	<1%

Fuente: Consejo Minero, Minería en Cifras 2017

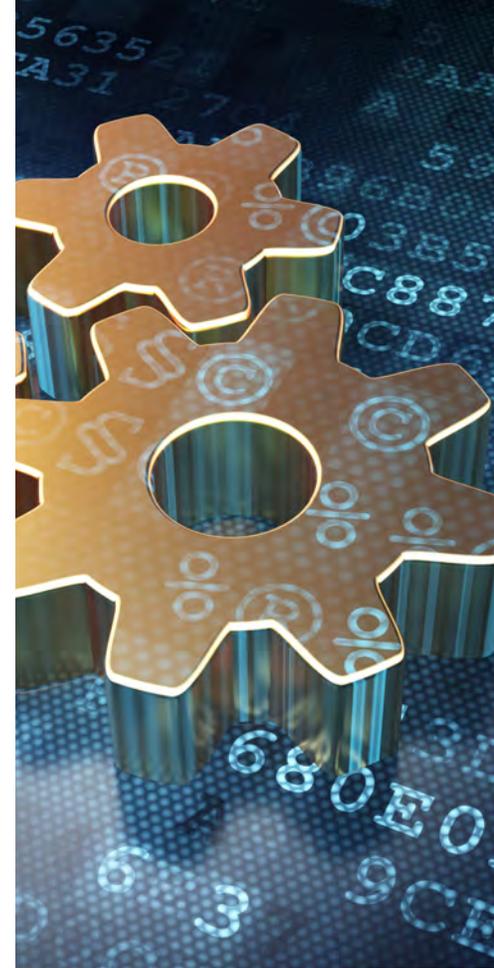
Por lo tanto, se obtiene que la participación en de la industria minera local en la producción global es de aproximadamente un 17.4%. De este modo el potencial impacto de la manufactura avanzada en Chile es de un valor agregado para la industria de 56 mil millones de dólares. Además, se estima que la incorporación de manufactura avanzada en la industria implicará el desplazamiento de alrededor de 58.000 trabajos y una reducción de 106 millones de toneladas de emisiones de CO<sup>2</sup>. Cabe mencionar que los valores mencionados anteriormente corresponden a cifras pronosticadas acumuladas entre 2016 y 2025.

Figura 21. Impacto potencial de la Manufactura avanzada con base en la transformación digital en Chile, Cifras Acumuladas 2016 - 2025



Fuente: Elaborado por IDC con base en estudios de World Economic Forum y Consejo Minero

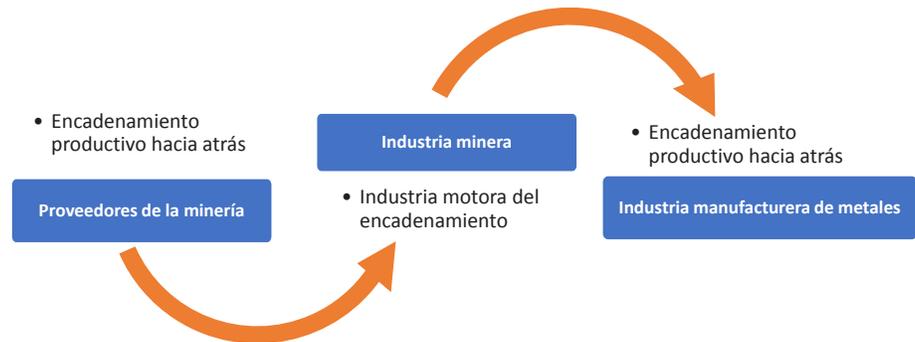
No obstante, se debe mencionar que esta estimación se realiza bajo los supuestos de que la adopción local de manufactura avanzada se alinee a los pronósticos establecidos por World Economic Forum y que el valor agregado de la manufactura avanzada a nivel mundial en la industria se distribuye de forma equivalente entre los distintos tipos de minería y que gran parte de este valor agregado pertenece a los principales productos de la minería a nivel global (Cobre, Oro, Plata, Molibdeno, Litio y Hierro).



## Encadenamiento productivo en la industria minera mediante manufactura avanzada

Para fines del presente estudio se considera la capacidad tractora o encadenamiento productivo tanto hacia adelante (industria manufacturera de metales) como hacia atrás (proveedores de la minería).

Figura 22. Encadenamiento productivo básico de la industria minera



Fuente: Elaborado por IDC

Para el caso del encadenamiento productivo hacia atrás se considerará a las principales industrias proveedoras de la minería del cobre, ya que esta minería es la más representativa en términos de tamaños de producción e ingresos a nivel nacional. Por otra parte, para el encadenamiento hacia adelante se considerará la industria manufacturera de metales, la cual es la principal industria que utiliza productos de la minería como insumo productivo. De acuerdo con el estudio realizado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, titulado Encadenamientos productivos desde la minería de Chile, actualmente en Chile existe un amplio potencial de encadenamientos productivos de la minería, considerando que en el presente se encuentra por detrás de países con similares capacidades como Australia y Canadá, principalmente en cuanto a los encadenamientos productivos hacia atrás. Sin embargo, cabe destacar que Australia realizó esfuerzos similares a los realizados actualmente en Chile durante los años 80's y 90's.

En el documento mencionado anteriormente, se indica que el hecho de que las industrias consideradas (proveedores de la minería, industria minera e industria de metales) permanezcan como industrias independientes determina las siguientes situaciones:

- i) que la industria minera tenga bajos encadenamientos hacia adelante, debido a que los productos no sirven de insumos para otras áreas de la producción.
- ii) que la manufactura básica de metales posea bajos encadenamientos hacia atrás por utilizar relativamente pocos insumos nacionales.
- iii) que al mismo tiempo la minería presente bajos encadenamientos hacia atrás, por el hecho de que uno de sus principales insumos (industria de metales básicos) no están disponibles en la producción nacional, debiendo ser éstos productos importados.

De esta manera una problemática actual del encadenamiento productivo nacional se puede simplificar mediante la siguiente figura, en la cual se plantea que la falta de desarrollo de encadenamientos se refleja en un círculo vicioso entre los actores del ecosistema minero.

Figura 23. Reflejo de una problemática actual de la capacidad tractora de la minería



Fuente: Elaborado por IDC en base estudio Encadenamientos productivos desde la minería de Chile

La situación reflejada en la figura anterior solo considera la falta de desarrollo de encadenamientos productivos hacia atrás con la industria manufacturera de metales básicos, sin considerar los encadenamientos productivos con la industria de proveedores de tecnologías de información y tecnologías para la minería, un sector clave para el crecimiento de la manufactura avanzada en la minería. No obstante, estos últimos proveedores (de tecnologías de información y tecnologías para la minería) son considerados más adelante en los análisis del presente informe.

## Encadenamiento productivo hacia atrás en la industria minera mediante manufactura avanzada

De acuerdo con datos del Banco Central de Chile, los principales proveedores de la industria minera del cobre son los pertenecientes a las industrias de electricidad, gas y agua, manufactura, intermediación financiera y servicios empresariales. Además, respecto de la industria manufacturera, si bien en la minería nacional del cobre predomina la utilización de insumos nacionales, utiliza menos insumos nacionales que el promedio de la economía.

Figura 24. Participación de insumos nacionales e importados en insumos totales en sectores de la minería



Fuente: Encadenamientos productivos desde la minería en Chile.

Sin embargo, la utilización de insumos nacionales podría ser aún mayor tomando en cuenta el potenciamiento de las manufacturas básicas de metales (encadenamiento productivo hacia adelante). Aquello puede tener efectos retroactivos, en el sentido de que sería posible proveer de insumos a la minería con productos derivados de ella. Esto tiene efectos positivos para el desarrollo de mayores encadenamientos productivos, especialmente si se prevé un escenario internacional de reducción en el precio del cobre.

Actualmente, productos manufacturados básicos que no requieren demasiada elaboración, como repuestos, partes y piezas, representan alrededor de un 7.0% de los insumos importados de la minería. Si bien su producción en Chile se realiza, se considera que aun es de menor escala, por lo que el potencial de desarrollo de este tipo de productos es amplio. No obstante, para un mayor desarrollo, tanto de la industria de proveedores de partes y piezas como de la industria básica de metales, es necesario tomar acciones en cuanto a nueva capacidad instalada en fundiciones y refinерías, ya que actualmente la producción de cobre refinado bordea tan solo un 48% de la producción total de cobre.

Si bien actualmente la utilización nacional de cobre en la industria manufacturera nacional se concentra en fabricación y comercialización de conductores eléctricos, cañerías y fungicidas, el cobre y sus aleaciones poseen excelentes propiedades para ser utilizados en diversas fabricaciones, así queda manifestado en el documento Tendencias de usos y demanda de productos de cobre de COCHILCO.

**Tabla 11. Usos del cobre y sus aleaciones con potencial de encadenamientos productivos**

Área	Aplicación
Construcción de edificios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alambres y cables para el cableado eléctrico</li> <li>Plomería, calefacción, gas y tubería de riego contra incendios</li> <li>Aire acondicionado y refrigeración</li> <li>Arquitectura (ej. Techos de cobre, canaletas, recubrimientos de muros, perfiles, etc.)</li> </ul>
Productos eléctricos y electrónicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Distribución eléctrica (alta y baja tensión)</li> <li>Telecomunicaciones</li> <li>Dispositivos eléctricos</li> <li>Cableado para iluminación</li> </ul>
Maquinaria industrial y equipos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Válvulas industriales y fitting</li> <li>Intercambiadores de calor</li> </ul>
Aplicaciones marinas y acuicultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Componentes de sistemas expuestos al agua de mar</li> <li>Mallas de aleación de cobre</li> </ul>
Energías renovables	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calefacción solar</li> <li>Energía eólica (estator y rotor del generador, cableado, bobinas y puesta a tierra)</li> <li>Energía solar (células solares fotovoltaicas, cableado, puesta a tierra, inversor y transformadores)</li> </ul>
Cuidado de la salud	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cobre antimicrobiano (ej. implementos clínicos)</li> </ul>
Otros	<ul style="list-style-type: none"> <li>Piezas y partes para automóviles, equipos de transporte, electrodomésticos, electrónica de consumo, entre otros</li> </ul>

Fuente: Tendencias de usos y demanda de productos de cobre

Aunque localmente han existido limitaciones para el crecimiento y desarrollo de las industrias manufactureras del cobre, como las tasas arancelarias o los costos de energía, transporte o especialización, el despliegue de manufactura avanzada en los procesos de producción llega para establecer un nuevo paradigma disruptivo en este tipo de industrias, permitiendo reducir costos y aumentar los valores agregados de las empresas productoras.

Además, la industria manufacturera presenta cifras que podrían ser auspiciosas respecto del desarrollo de manufactura avanzada, siendo la quinta industria nacional que más realiza investigación y desarrollo (I+D) y la séptima industria nacional que más lo realiza contando con instalaciones y personal certificado. En cuanto a las tendencias de Transformación Digital, de acuerdo con los datos obtenidos por IDC en el documento Investment Trends 2017, un 57,9% de la industria manufacturera considera comenzar una transformación digital en los próximos 1 a 3 años.

No obstante, en este mismo documento, la industria indica aun no considerar tecnologías como robótica, realidad virtual o aumentada, inteligencia artificial, impresión 3D o internet of things, por lo que aún se percibe cautela por parte de la industria para el desarrollo de manufactura avanzada.

Por otra parte, los proveedores de tecnologías de información y tecnologías para la minería presentan un mayor desarrollo de investigación y desarrollo, siendo la industria nacional (información y comunicaciones) la que más realiza esta actividad, habiendo un porcentaje importante de empresas que hace I+D con instalaciones y personal certificado; mientras que de acuerdo con los datos de IDC Investment Trends 2017, un 46,6% de la industria de servicios (que incluye proveedores de tecnologías de información y tecnologías para la minería) se encuentra actualmente en procesos de transformación digital. Por lo tanto, existe un alto potencial de desarrollo de proveedores de tecnologías para la manufactura avanzada en la minería.

Además, en las entrevistas realizadas, las empresas proveedoras de tecnologías indican que las principales medidas para incrementar sus ventas a la minería pasan por el aumento de la inversión en I+D y el aumento de las alianzas estratégicas con empresas/centros de investigación, considerando también importantes oportunidades en el desarrollo de manufactura avanzada para la minería, permitiendo la reducción de costos y la mejora de la seguridad en las operaciones.

Ejemplo de ello son los resultados obtenidos en 2013 del Programa Proveedores de Clase Mundial, impulsado por BHP Billiton y Codelco. Dicho programa buscó impulsar el fortalecimiento de la industria de tecnologías y servicios mineros intensivos en conocimiento para Chile y el mundo, siendo la principal meta desarrollar, al año 2020, 250 proveedores capaces de operar con estándares de excelencia internacional.

No obstante, el programa no obtuvo los resultados esperados y fue reemplazado por el programa Plataformas de Innovación Abierta lanzado en 2017. A continuación, se realiza un listado de los principales resultados del programa inicial a fines del año 2013. Esta información se puede encontrar en el documento de Cochilco, Minería en Chile: Impacto en regiones y desafíos para su desarrollo.

- En BHP Billiton, se estaban desarrollando soluciones en 43 desafíos a cargo de 38 proveedores, los que tenían ventas combinadas de US\$ 400 millones.
- En el caso de Codelco, se estaban desarrollando 25 desafíos a cargo de 24 proveedoras con ventas combinadas de US\$ 120 millones y más de 2.000 trabajadores.
- Empresas como Mining Systems, Prodinsa, Aplik, Tesra, Biohydro y Polymeros lograron ventas combinadas de alrededor de US\$ 10 millones.



## Encadenamiento productivo hacia adelante en la industria minera mediante manufactura avanzada

El estudio Encadenamientos productivos desde la minería en Chile destaca que todas las actividades que hacen uso de productos mineros corresponden a sectores de la industria manufacturera; de esta manera, los encadenamientos hacia adelante están dados principalmente por la vinculación con los sectores de la industria manufacturera. Sin embargo, la utilización de productos mineros en territorio nacional aun es baja, ya que gran parte de la producción de la minería se destina a exportación.

Tabla 12. Utilización de la producción nacional de cobre en porcentajes de precios básicos

	2008	2009	2010	2011	2012
Exportaciones	86.8	87.9	88.1	90.1	90.0
Consumo Intermedio (Manufactura)	13.7	11.9	10.7	9.3	8.9
Auto insumo	11.5	10.8	9.6	8.1	7.5
Insumo en otras actividades	2.2	1.1	1.2	1.3	1.4

Fuente: Encadenamientos productivos desde la minería en Chile

El estudio indica también que no basta con que los productos de la minería no sean exportados y se utilicen para el mercado local. Lo que en realidad importa para el aprovechamiento de encadenamientos productivos hacia adelante, es la forma en que los productos de la minería se orientan a sectores que generen verdaderos encadenamientos con el resto de la economía.

Entonces, se debe indicar que las estimaciones realizadas anteriormente sobre el impacto potencial de la manufactura avanzada en la industria minera y de metales pueden variar de acuerdo con el desarrollo de encadenamientos productivos hacia adelante, pudiendo aumentar o disminuir el valor agregado para la industria de metales, estimada 23 mil millones de \$USD (Cifras acumuladas 2016 - 2025).

Tabla 13. Impacto potencial de la Manufactura Avanzada por industria, Cifras Acumuladas 2016 - 2025

	Valor agregado para industria (mil millones \$USD)	Valor agregado para industria minera (mil millones \$USD)	Valor agregado para industria de metales (mil millones \$USD)
Mundial	\$321	\$189	\$130
Chile	\$56	\$33	\$23

Fuente: Elaborado por IDC con base en estudios de World Economic Forum y Consejo Minero

Respecto del desarrollo de encadenamientos productivos hacia adelante por parte de la minería y mediante manufactura avanzada, se debe indicar que las expectativas aún son poco auspiciosas. De acuerdo con los datos obtenidos por IDC en el documento Investment Trends 2017, parte importante de la industria de recursos (industria donde se encuentra la minería) indica aun no considerar el despliegue de tecnologías como robótica, inteligencia artificial, impresión 3D, realidad virtual o aumentada, las cuales son consideradas como facilitadoras de encadenamientos productivos tanto hacia adelante como hacia atrás. De hecho, de las entrevistas realizadas a proveedores se obtiene que una de las principales brechas identificadas en la industria minera para atender las oportunidades basadas en manufactura avanzada es la asociada a temas culturales o de confianza. Esto nos indica que la industria minera aun es considerada una industria muy conservadora en cuanto a la adopción de nuevas tecnologías.

Finalmente, cabe destacar el potencial que posee Chile para mejorar o aumentar esta última estimación con base en el desarrollo de encadenamientos productivos. De acuerdo con cifras de World Economic Forum, Chile se encontraría en la frontera de ser un país con alto potencial para enfrentar la naturaleza cambiante de las matrices productivas en el futuro. En este escenario Chile tendría la capacidad de capitalizar oportunidades de producción futuras, mitigar riesgos y desafíos, ser flexible y ágil para responder ante escenarios desfavorables .

La organización internacional plantea esto a través de un modelo de evaluación para países en el cual considera las componentes: estructura de producción, o línea base de producción actual de un país, y los drivers de producción, o habilitadores claves que posicionan a un país para capitalizar la transformación de sistemas de producción en la cuarta revolución industrial (Figura 25).

Figura 25. Modelo de evaluación para países



Fuente: Readiness for the Future of Production Report 2018

Bajo este modelo de evaluación se considera que Chile posee una estructura de producción simple o pequeña, mientras que se encuentra en una posición intermedia entre los drivers de producción favorables y los desfavorables. Actualmente, Chile se encuentra en esta posición intermedia precisamente debido a la baja puntuación obtenida en Tecnología e Innovación, aspecto que de acuerdo con World Economic Forum indica qué tan avanzada, segura y conectada es la infraestructura TI de un país para adoptar tecnologías de producción, considerando también la capacidad de fomentar y comercializar innovaciones que tengan una aplicación potencial en la producción.



Figura 26. Posicionamiento de Chile en Modelo de evaluación para países



Fuente: Elaborado por IDC con base en estudios de World Economic Forum y Consejo Minero

Una vez más, cabe destacar que un factor importante para alcanzar un mejor posicionamiento y ubicarse plenamente dentro del cuadrante de países con alto potencial, es el desarrollo de las capacidades tractoras de la industria minera, tanto hacia atrás mediante la interacción con proveedores de tecnologías o proveedores de manufactura, como hacia adelante con la industria básica de metales. Además, para el desarrollo de esta última industria es primordial aumentar la capacidad instalada de fundiciones y refineras, lo que es considerado como un habilitador para el crecimiento de la industria básica de metales (capacidad tractora hacia adelante) .

No obstante, de acuerdo con cifras de COCHILCO, publicadas en el documento Inversión en la minería chilena – Cartera de proyectos 2017-2026, tan solo un 3% de las inversiones en la minería entre 2017 y 2026 estarán destinadas a la producción de cátodos de cobre. Esto corresponde a un total \$ 1.638 millones de USD distribuidos entre cuatro proyectos . De hecho, un 73% de los proyectos catastrados buscan una producción de cobre en concentrados, lo que aumentaría sustancialmente la producción de concentrados en el país, en desmedro de la producción de cátodos SxEw .

## Resumen de la caracterización de la capacidad tractora de la manufactura avanzada en la industria minera

Uno de los principales resultados obtenidos es que el potencial impacto de la manufactura avanzada en Chile es de un valor agregado para la industria minera y de metales de 56 mil millones de dólares. Además, se estima que significará el desplazo de alrededor de 58.000 trabajos, una reducción de 105 millones de toneladas de emisiones de CO<sup>2</sup>, la evasión de 7.700 lesiones y evitará un total de 170 muertes en las operaciones (cifras acumuladas entre 2016 y 2025). Además, se estimó que la participación de la industria minera local en la producción global es de aproximadamente un 17.4%, por lo que el valor agregado que la manufactura avanzada puede otorgar a la industria minera local se estimó en 33 mil millones de \$USD, mientras que el valor que puede otorgar a la industria de metales es de \$23 mil millones de \$USD (cifras acumuladas entre 2016 y 2025).

**Tabla 14. Impacto potencial de la Manufactura avanzada por industria, Cifras Acumuladas 2016 – 2025**

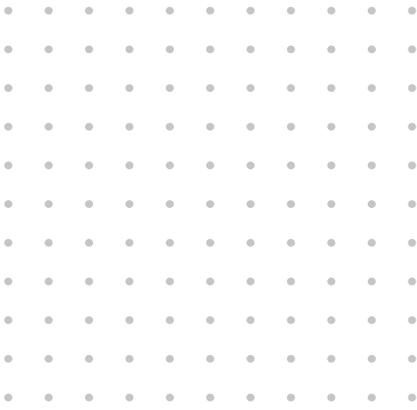
	Valor agregado para industria (mil millones \$USD)	Valor agregado para industria minera (mil millones \$USD)	Valor agregado para industria de metales (mil millones \$USD)
Mundial	\$321	\$189	\$130
Chile	\$56	\$33	\$23

Fuente: Elaborado por IDC con base en estudios de World Economic Forum y Consejo Minero

Adicionalmente, se debe indicar que las estimaciones realizadas sobre el impacto potencial de la manufactura avanzada en la industria de metales pueden variar de acuerdo con el desarrollo de encadenamientos productivos hacia adelante, pudiendo aumentar o disminuir el valor agregado para la industria esta industria.

Por otra parte, se corrobora el potencial de la industria minera para generar encadenamientos productivos (capacidad tractora) tanto hacia adelante como hacia atrás, considerando las apreciaciones de organismos internacionales como World Economic Forum y CEPAL. En este punto se realiza el cruce de información con las oportunidades y brechas identificadas por los proveedores, corroborando que una de ellas es la asociada a temas culturales o de confianza, lo que indica que la industria minera aun es considerada una industria muy conservadora en cuanto a la adopción de nuevas tecnologías, actuando como un inhibidor importante a la hora de generar posibles encadenamientos productivos.

Finalmente, se destaca la necesidad de aumentar la capacidad instalada de fundiciones y refinerías, lo que es considerado como un habilitador para el crecimiento de la industria básica de metales (capacidad tractora hacia adelante).



IDC propone las siguientes acciones concretas para lograr el fomento de las capacidades de exportación de los proveedores de la industria minera:

- Incentivar el consumo local de partes, maquinaria y tecnología en el proceso de minera estableciendo una regulación que determine un porcentaje local del consumo de tecnología y maquinaria por parte de las empresas mineras en Chile.
- Promover incentivos fiscales para que las empresas mineras habiliten espacios de experimentación y pruebas de la tecnología desarrollado por sus proveedores a fin de generar una plataforma de innovación en ambientes reales que consoliden a la industria de manufactura en Chile.
- Otorgar incentivos fiscales a las empresas de manufacturan que incrementen su gasto en investigación y desarrollo y que formen parte del programa de innovación de la industria minera que podría ser creado por los ministerios de Economía y Hacienda.
- Entregar incentivos laborales a las empresas de manufactura que colaboren con las universidades en la formación y contratación de profesionales orientados a la manufactura avanzada con aplicación en la industria minera.
- En la industria minera, tanto para empresas como para proveedores, se sugiere seguir el modelo de la manufactura automotriz que impulsó México con la creación de una plataforma de colaboración entre proveedores y fabricantes, así como una integración vertical con los sindicatos, las universidades, los gobiernos estatales y federales, además de incentivos fiscales y laborales. Esto ha resultado en la creación de Clúster de alto impacto tanto local como global para los proveedores del sector automotriz.

CAPÍTULO V

Identificación de  
Estándares y/o  
Certificaciones

5



## El presente Capítulo contiene los hallazgos encontrados con base en el proceso de trabajo de campo de la investigación, considerando fuentes primarias y secundarias.

Desde la concepción de la valorización de intangibles, los aspectos normativos, estandarizados y certificados han cobrado alta relevancia prácticamente en todos los procesos productivos que se realizan a lo largo del globo. Es entonces, en este contexto, que se desarrolla en el presente capítulo, donde se identifica la realidad de la industria minera chilena respecto de las certificaciones, estándares y normativas que actualmente son requisito para la implementación de soluciones que generen mejoras al proceso productivo mediante soluciones de Manufactura Avanzada (MA).

Al igual que para el desarrollo de los capítulos anteriores, los antecedentes y resultados del presente capítulo son circunscritos específicamente a la minería del cobre, ya que esta representa el 90.2% de la producción minera del país. De esta manera, se evaluará la cadena de valor de este proceso desde el punto de vista de los propósitos particulares de certificación y estandarización para la comercialización de soluciones mediante manufactura avanzada.

Para lograr la correcta concepción se ha circunscrito a los conceptos de estándares de fabricación y sus específicos de calidad, seguridad, reglamentación, eléctricos y otros. Y a su vez en el concepto de certificaciones asociadas a materiales, trazabilidad, competencia en personas, certificaciones nacionales o internacionales, entre otras. Ambos conceptos no han sido restringidos a una lista ya establecida de Estándares y Certificaciones, porque el objetivo es identificar la presencia de éstos en un entorno de innovación al implementarse en soluciones basadas en Manufactura Avanzada.

Con el fin de lograr los objetivos expuestos anteriormente para este informe, se utilizaron como insumos: la investigación de campo de IDC y la información secundaria obtenida de este proceso de campo, como manuales, guías, reglamentos e instructivos de procedimientos de compañías mineras (que han sido compartidos en la confidencialidad de la presente investigación), potenciales para implementar soluciones de Manufactura Avanzada. También se consideraron los estudios fuentes proporcionados por Codesser y Corfo, y estudios que IDC ha realizado en temas de Manufactura 4.0.

Los ejes centrales del Programa Estratégico de Manufactura Avanzada (PEMA), hacen hincapié en el capital humano, tecnología, modelos de negocios y renovación, escalamiento e internacionalización de empresas. También, identifica las principales barreras para incorporar MA:

- Alto costo de inversión.
- Escasez de personal capacitado para operar y mantener los equipos y software.
- Bajo retorno sobre inversión o largo payback.
- Dificultad de acceso a financiamiento apropiado.
- Desconocimiento de las últimas tecnologías aplicadas en la industria.
- Desconocimiento de la última tecnología en procesos/infraestructura existente.

Lo anterior es motivación para analizar las necesidades actuales de certificación, estandarización y manuales de operación que la industria minera demanda, con el correspondiente contraste entre proveedor y solicitante. En consiguiente se ha generado un análisis mediante los conceptos de certificación, estandarización y manual de proceso. Para esto, se ha incluido en el trabajo de campo las siguientes tablas que permiten clasificar y comprender la necesidad particular de los proveedores de MA.

### **¿Cuáles son los estándares de fabricación exigidos por las empresas mineras en Chile para incorporar soluciones a sus procesos basados en MA?**

**Estándares de calidad**  
**Estándares de seguridad**  
**Estándares de reglamentaciones**  
**Estándares eléctricos**  
**Otro**

Fuente: IDC, Herramienta de medición

### **¿Cuáles son las certificaciones exigidas por las empresas mineras en Chile para incorporar soluciones a sus procesos basados en MA?**

**Certificaciones en materiales**  
**Certificaciones en trazabilidad**  
**Certificaciones en competencia de personas**  
**Certificaciones nacionales**  
**Certificaciones internacionales**

Fuente: IDC, Herramienta de medición

### **Pensando en la exportación de sus productos y servicios a mercados mineros internacionales, ¿cuáles son los estándares y certificaciones con los cuales debe cumplir su empresa?**

**Estándares internacionales**  
**Certificaciones internacionales**

Fuente: IDC, Herramienta de medición

Con la finalidad de abordar el foco del presente capítulo se consideraron las certificaciones, estándares y normativas que son tanto particulares como transversales a las diversas actividades de las etapas de la cadena de valor, señaladas por las empresas que participaron en el trabajo de campo (entrevistas a empresas del ecosistema minero).

La literatura adicional revisada consistió en: bases de licitación, manuales de operación, reglamentos operacionales, instructivos de manipulación, tablas de sanciones, reglamentos especiales, guías de implementación, estándares de estaciones de trabajo, entre otros. Todas las informaciones recibidas fueron de índole confidencial de las empresas entrevistadas para este fin.

#### **Adicional a estos antecedentes confidenciales se ha consultado la documentación de IDC:**

- The State of Digital Transformation (DX) in European Manufacturing, Octubre 2017
- Robotics in European Manufacturing, Enero 2018
- InTECH: Next-Generation Automation and Collaboration in Manufacturing Business Ecosystems, Marzo 2018
- Business Strategy: IT/OT Convergence in the Worldwide Mining Industry, Diciembre 2016
- IDC FutureScape: Worldwide Mining 2017 Predictions, Enero 2017
- Mining Industry Transformation, Febrero 2017
- Systems Integration Services for Robotics in Manufacturing, Febrero 2018

#### **Y los estudios externos:**

- Casos de innovación de proveedores de minería, Fundación Chile 2016
- Productividad en la gran minería del cobre, Comisión nacional de productividad 2017
- Minería en Chile principales desafíos y oportunidades, Consejo minero 2015
- Informe de productividad en la minería, COCHILCO 2014
- Casos de innovación en la industria minera, Minnovex A.G 2017.

## **Manuales e instructivos**

Si bien los manuales e instructivos de intervención en faena no son parte de la Manufactura Avanzada como tal definida con base en una incorporación de competencia tecnológica, sí lo es la aplicación de sistemas interoperados e interconectados que permita la optimización de procesos en que actúen proveedores externos a las instalaciones de la o las compañías explotadoras del mineral. Es decir la gestión inteligente de los manuales e instructivos de operación entre faenas, incluso de una misma compañía, tiene el potencial de convertirse en una solución de manufactura avanzada porque implicaría la implementación de sistemas interoperados por las mineras donde sea posible administrar en forma eficiente los requisitos y normativas que cada faena demanda, para realizar una optimización importante en las capas de servicios que los proveedores están realizando actualmente.

## Realización de entrevistas

Del total de 22 empresas entrevistadas, se incluyeron en el análisis a las siguientes:

- Arrigoni, fabricante de infraestructuras de acero
- Maestranza Diesel, fabricante de piezas y partes para plantas
- Minerex, grupo de empresas ligadas a la etapa de exploración y perforación
- MIRS, empresa ligada a la producción de robots para aplicación en minería
- EDM Exploración Drill Masters, empresa dedicada a la instrumentación de exploración
- Endress+Hauser, empresa de instrumentación y medición de caudales y automatización de procesos
- SKC, empresa dedicada a la comercialización de maquinaria
- WLS Drilling Product, empresa de producción de cabezas de perforación
- Liebherr Chile, empresa de comercialización de maquinaria para minería
- Adexus, empresa de servicios y sistemas de tecnologías de la información y comunicaciones
- Talleres Lucas, empresa que desarrolla soluciones oleohidráulicas.



Solo 11 organizaciones quisieron mantenerse en confidencia y no revelar sus nombres.

## Identificación de Estándares y/o Certificaciones

La identificación de estándares y/o certificaciones se realizó en el marco del trabajo de campo considerando el modelo de mercados primarios definidos y validados por Corfo.

Se analizó también el factor de operación e intervención en clientes (empresas mineras), dado que uno de los hallazgos que se ha encontrado es la necesidad de generar instructivos que permitan la interoperación entre clientes no solo desde la adopción de MA sino desde la capacidad de hacer más eficiente la operación actual.

Dado lo anterior hacemos referencia a los estándares y certificaciones considerando dos enfoques: uno que implica la adopción de Manufactura Avanzada considerando el proceso actual de la cadena de valor. El segundo implica la adopción-implementación que conlleva un rol transformacional de la cadena de valor.

Hasta lo que se ha indagado, se tiene que las principales adopciones que han tenido éxito en la implementación de alguna solución de Manufactura Avanzada se han realizado con tecnologías en partes del proceso optimizadas. Sin embargo, se ha mantenido el proceso como tal interviniendo solo en algún tipo de componente. Se tiene foco principalmente en generar impacto en la productividad considerando los factores productivos de la minería.

Para ejemplificar este efecto, se cita la función del tipo Cobb Douglas para describir el proceso productivo, cuya ecuación describe los factores donde una variación puede generar impactos positivos en términos de productividad, y de esta forma acelerar el proceso de adopción hacia una tecnología de Manufactura Avanzada.



### Ecuación de productividad de factores para la minería

$$Y_{i,t} = A_{i,t}(K_{i,t})^\alpha(H_{i,t})^\beta(L_{i,t})^\gamma(M_{i,t})^\delta(R_{i,t})^\eta \exp(\xi_{i,t})$$

Fuente: Estudio productividad en la gran minería del cobre 2017, comisión nacional de productividad

i) capital ( $K_{i,t}$ ), ii) empleo ( $H_{i,t}$ ), iii) ley del mineral ( $L_{i,t}$ ), iv) material mineral ( $M_{i,t}$ ), y v) la razón estéril y mineral ( $R_{i,t}$ ).  $A_{i,t}$  captura el nivel de productividad de la faena  $i$  en el periodo  $t$ , mientras que los parámetros  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \eta$  resumen las elasticidades insumo-producto asociadas al capital físico, la mano de obra, la ley del mineral, la cantidad disponible de recurso mineral y la razón estéril mineral, respectivamente. El término  $\varepsilon$  (un residuo) captura el resto de los posibles efectos capaces de influenciar la producción, para cada faena  $i$  en el periodo  $t$  (como shocks productivos, de precios, ineficiencias, errores de medición, etc.).

Considerando que las tecnologías habilitadoras de Manufactura Avanzada pueden generar una modificación de los factores indicados anteriormente, es relevante destacar que el paso inicial para acelerar la implementación de MA consiste en la demostración o cuantificación de tal variación en los factores, antes de lograr algún nivel de estandarización o certificación. Uno de los hallazgos del trabajo de campo fue precisamente que los criterios de implementación o cambio tecnológico en las empresas están altamente influenciados por los factores productivos. Por lo que en primera instancia, una solución de MA debiese demostrar beneficios productivos para que de esta forma la solución aumente sus probabilidades de desarrollo e implementación por sobre la manufactura tradicional.

Dicho lo anterior, los resultados de este informe estarán basados en el primer concepto en el cual la adopción de Manufactura Avanzada está orientada a respetar la estructura de la cadena de valor de la minería.

Figura 27. Representación del ecosistema de normativas



Fuente: IDC, elaboración propia

## ESTÁNDAR

A partir de los antecedentes obtenidos de la investigación, las implementaciones han cumplido un enfoque de optimización que por lo general no está “estandarizado como tal”, lo que no implica que hayan tenido exención de circunscribirse a los estándares hoy exigidos. Los resultados apuntan a que los estándares del proceso y de la cadena de valor deben ser cumplidos; sin embargo, las implementaciones de pequeñas mejoras tecnológicas pierden la visibilidad de requerir un estándar específico por el hecho de ser una solución disruptiva o estar basada en tecnologías de Manufactura Avanzada.

Los resultados de las entrevistas han arrojado que existen estándares exigidos en términos de calidad ISO 9000 aplicado a las normativas de uso y a los procesos.

En cuanto a seguridad se ha encontrado una alta valoración a las normativas de operación de cada faena que ya están establecidas, incluso se ha detectado una sobre-regulación en las normativas para las capas de servicios de menor criticidad. Esto genera una ineficiencia por las diferentes normativas de acceso a cada faena.

Adicionalmente a esto, se ha encontrado que el estándar OHSAS 18000 es ampliamente demandado en las faenas y mineras. Algunas organizaciones mencionaron normativas “Safety integrity level” (SIL) para seguridad de procesos y personas estableciendo ciertos niveles de prioridad.

Referente a la norma eléctrica, lo más nombrado hasta la fecha es la norma de Conformidad Europea (CE) para maquinarias, estándares del Institute of electrical and electronic engineers (IEEE) y el estándar de la “international electrotechnical commission”, IEC.

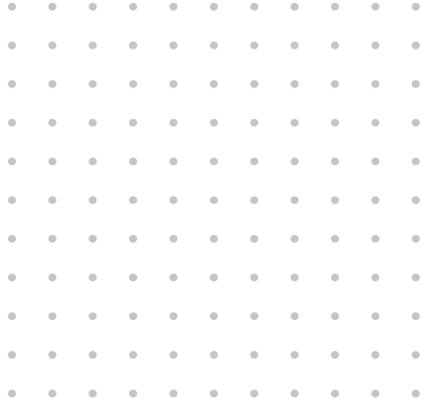
Un cambio que podría afectar, según lo observado, se refiere al modelo de negocio de la relación cliente-proveedor, porque se ha observado que en las soluciones de MA implementadas ahora se tiene arraigado el concepto “as a service” desde su concepción, a diferencia del modelo clásico transaccional. En primera instancia, estas soluciones se han implementado en el marco tradicional de normativa de calidad, seguridad, proceso y electricidad; pero a medida que este modelo de negocio se incrementa, la valoración de la normativa será complementada con la del “Service Level Agreement” (SLA), que a su vez debe cumplir con los estándares existentes, adicionando las condiciones de servicio sobre las que operará.

## Certificación

En cuanto a la necesidad de certificación, el análisis de las entrevistas arrojó resultados similares a lo indicado anteriormente para los estándares. Es decir, la implementación de pequeñas mejoras tecnológicas pierde la visibilidad de requerir certificaciones específicas. No obstante, para el caso de las certificaciones, quedó de manifiesto que éstas son deseables en algunos casos e indispensables en otros.

Además, se reconoce que la importancia de la certificación en el ecosistema minero radica en el mejoramiento de la evaluación de las ofertas técnicas en procesos de licitación, particularmente para proyectos de gran tamaño, ya que, para inversiones de mayor dimensión, se vuelve más importante la necesidad de contar con certificaciones que avalen el cumplimiento de requisitos, necesidades y expectativas.





También se ha dado el caso de las certificaciones específicas asociadas a materiales (principalmente al acero utilizado en infraestructuras) para la habilitación de exportación de proyectos y para el chequeo y validación de proveedores extranjeros con ofertas monetarias muy por debajo del promedio de las licitaciones.

El requisito de certificación más encontrado tiene relación con los establecidos por el Instituto Nacional de Normalización (INN) sobre materiales y trazabilidad; ISO 9001, para calidad; ISO 14001 para medioambiente; y OHSAS 8000 para normas de seguridad de personas.

Complementario a esto, se ha mencionado en más de una oportunidad el concepto positivo de “minería chilena” como certificado ligado a experiencia, seguridad, calidad frente a procesos que han implicado la exportación de soluciones. Contrariamente para el mercado interno, se ha encontrado su antítesis de “calidad chilena” asociado a bajos niveles de calidad, de confianza y malos tiempos de respuesta entre otras menciones.

Casos indispensables de certificación: Se ha identificado que en los proyectos de infraestructura y aquéllos que implican un contrato de servicio, la certificación es indispensable, considerando ISO 9001:14001 y OHSAS 18001 como las bases de certificaciones. Se detectó de igual forma que fabricantes de acero utilizan la norma AISC (American Institute of Steel Construction) cuyo uso es amplio sobre todo en la participación de proyectos internacionales.

Casos deseables: Parte de la manufactura tradicional es llevada a cabo considerando principalmente solo las certificaciones de materiales y trazabilidad. Para este perfil de empresas en los que su core está basado en la capacidad de customización de productos, las certificaciones parecen un complemento más que una necesidad imperante.

### **Normativas**

Para el caso de normativas, uno de los hallazgos de la investigación consiste en la problemática común de la operación en procesos de faena que radica específicamente en la complejidad de realizar procesos de mantenimiento, servicios e intervenciones. Este ítem fue expuesto por la totalidad de las organizaciones entrevistadas, tanto por proveedores como empresas mineras e instituciones y queda de manifiesto al encontrar variaciones de precio de hasta un 100% para el mismo servicio entre distintas faenas por un mismo proveedor. Por ende, se identifica que la actual normativa de operación es una oportunidad de mejora exponencial en el ecosistema minero del país. Al encontrarse la operación de cada faena en silos, la operación de los proveedores se convierte en estructuras costosas debido a la necesidad de adecuación para cada operación. Para ejemplificar lo anteriormente descrito se anexa en el presente informe la descripción de una operación minera que se identificó durante el proceso consultivo.

Otro hallazgo importante respecto de las normativas, ha sido la creciente exigencia en cuanto a la tasa de accidentabilidad que generan las mutualidades como requisito para la mayoría de las intervenciones dentro de las faenas.



## Manufactura Avanzada y la oportunidad basada en las necesidades de certificación, normalización y estándares

Como se ha mencionado anteriormente, se identificaron 3 dimensiones en los que la Manufactura Avanzada tendría implicancias e involucramiento respecto de las normativas, estándares y certificaciones

La primera tiene relación con la capacidad de mejora productiva en el proceso actual de la cadena de valor de la industria minera. Para este caso, el desafío de la Manufactura Avanzada está en la rápida adopción-asimilación del cumplimiento de normas, certificaciones y estándares que ya son demandados en la actualidad. Las soluciones de Manufactura Avanzada deben ser desarrolladas y estar inmersas en el ecosistema de las normas ISO y de OHSAS, considerando las certificaciones de materiales y trazabilidad. De esta forma se establecen las barreras de adopción y el riesgo que implica.

La segunda hace referencia a la capacidad transformacional del proceso actual en la cadena de valor. Las soluciones de Manufactura Avanzada tienen el potencial de generar un cambio en la estructura de la cadena de valor, sin embargo es probable que nuevos procesos y requisitos de certificación surjan, por ejemplo certificaciones de plataformas de información y de plataformas de gestión. Las necesidades de certificación estarán dadas a su vez por los modelos de negocio sobre los cuales exista implementación de Manufactura Avanzada; si la tendencia del "as a service" continua al alza, las necesidades de certificación podrían incluir hasta un índice SLA (service level agreement) certificado por algún instituto externo.

La tercera es la capacidad de normalización y estandarización de operaciones mineras para ser una solución de Manufactura Avanzada en sí misma. Para esto se indicarán ejemplos citados de algunos entrevistados que poseen clientes de industrias similares y algunos con la implementación del Building Information Management, BIM por sus siglas en inglés.

El efecto renovador que ha tenido el requisito de poseer BIM para las licitaciones que el MOP está desarrollando, ha empujado a la industria de la construcción a adoptar este estándar con mejoras notables en la gestión de proyectos e interconexión de proveedores por citar dos ejemplos.

El escenario complejo de operación minera hace que un sistema de interacción basado en la administración e intervención de procesos sea un punto que puede generar una solución de Manufactura Avanzada basada en tecnologías de software analítico y de big data. Pero es la "falta" de estandarización en la operación minera el principal desafío a atender. Aquí la oportunidad no está en generar apoyos para buscar certificaciones o estándares, si no en crearlos con el fin de que la industria los valide y la operación se vea altamente beneficiada por la implementación de software de Manufactura Avanzada.





### Etapa de Exploración:

Seis empresas manifestaron participar en esta etapa de la cadena de valor. Se distribuyeron las siguientes necesidades de Certificación.

**Tabla 15. Certificaciones mencionadas etapa de exploración**

Ítem consultado	Número de menciones
Certificaciones en competencia de personas	2
Certificaciones en materiales	3
Certificaciones en trazabilidad	4

Fuente: IDC, elaboración propia

Con respecto a las competencias de personas, se referenciaron las necesidades de certificación en Ciberseguridad y competencias de integración de tecnologías de la información principalmente.

Sobre de las necesidades de certificación en materiales, se nombró a la certificación de origen y de fabricación.

De las certificaciones de trazabilidad, se asoció mayormente a realizar los informes de trazabilidad de productos y un proveedor mencionó normas ISO 9001 como certificación para esta etapa de la cadena.

Se mencionaron las ISO 9001, OCHA 1800 e ISO 14000 como certificaciones generales. Anexo a esto, se mencionaron certificaciones documentales, de procesos, medio ambientales y de persona. Pero ninguna en forma específica.

Respecto a los estándares para empresas que participan en esta etapa, identifican los siguientes estándares necesarios:

**Tabla 16. Estándares mencionados en la exploración**

Ítem consultado	Número de menciones
Estándares de calidad	3
Estándares de reglamentaciones	1
Estándares de seguridad	3

Fuente: IDC, elaboración propia

Sobre la calidad, se menciona ISO 9000 y algunos test de calidad específicos para piezas de exploración.

En lo que refiere a las reglamentaciones, hay una mención que evalúa caso por caso dependiendo del cliente.

Sobre los estándares de seguridad, se identificaron aquéllos para la seguridad de las personas y para eso se hace mención de las certificaciones de accidentes entregadas por las mutualidades y las reglamentaciones ISO medioambientales. Adicionalmente, las empresas nativas en TI han hecho mención sobre la ciberseguridad y la seguridad en soluciones IoT.

## Etapa de Extracción Rajo Abierto:

Para la etapa de extracción de rajo abierto, 13 empresas indicaron participar de este proceso. Los resultados de las necesidades de certificación que han manifestado son los siguientes

Tabla 17. Certificaciones mencionadas en etapa de extracción de rajo abierto

Ítem consultado	Número de menciones
Certificaciones en competencia de personas	4
Certificaciones en materiales	9
Certificaciones en trazabilidad	6
Certificaciones internacionales	5
Certificaciones nacionales	2

Fuente: IDC, elaboración propia

### Respecto a las competencias de personas:

Se mencionan competencias para los implementadores de tecnologías y para trabajar con materiales específicos, como por ejemplo soldadores certificados para ciertos tipos de aceros o metales nuevos. De la misma forma las personas que van a trabajar a zonas complejas requieren de certificaciones de salud como exámenes de altura o condiciones adversas. En algunos casos se han nombrado requisitos de organigramas y grados académicos para la adjudicación de ciertos servicios.

Respecto a las certificaciones en materiales, se habla del origen de éstos en el caso de manufactura. Se mencionan certificaciones específicas en el ámbito de TI de STM, AWS, SAE y, en algunos casos de motorización, se mencionan normas de emisiones Euro 3 o Euro 4.

Respecto a los estándares para empresas que participan en esta etapa, se identifican las siguientes necesidades de estándares:

Tabla 18. Estándares mencionados en etapa de extracción de rajo abierto

Ítem consultado	Número de menciones
Estándares de calidad	12
Estándares de reglamentaciones	4
Estándares de seguridad	9
Estándares eléctricos	7

Fuente: IDC, elaboración propia

Respecto a los estándares de calidad, se mencionó ISO 9000 como el principal estándar de calidad. Sin embargo, se adicionó el mensaje de normas de fabricación que construyen el estándar, y norma de uso y aplicación a los procesos productivos.





Sobre las reglamentaciones, se identificaron horas de uso de maquinaria, reglamentaciones medioambientales 14001, y reglas en la fabricación del componente donde se haya utilizado normas ISO.

En términos de seguridad física de las personas, se exigen matrices de riesgo por procesos y las tasas de accidente vuelven a aparecer mediante el estándar OHSAS. Se hizo mención a la importancia que se le da a esta etapa de estandarización por sobre las otras y adicionalmente se habla de seguridad para ciertas capas de servicios, puesto que en algunos procedimientos las normas de seguridad pueden ser excesivas. En algunas organizaciones se mencionó la normativa Safety Integrity Level (SIL) para establecer niveles de integridad y seguridad de personas y procesos.

Para estándares eléctricos se nombran en particular a IEC y IEEE. También se menciona el país de origen más que la faena de destino.

### **Etapas de extracción subterránea:**

Ocho empresas manifestaron participar en la etapa de extracción subterránea y sus demandas de certificación fueron identificadas de la siguiente forma:

**Tabla 19. Certificaciones mencionadas en la etapa de extracción subterránea**

Ítem consultado	Número de menciones
<b>Certificaciones en competencia de personas</b>	2
<b>Certificaciones en materiales</b>	5
<b>Certificaciones en trazabilidad</b>	4
<b>Certificaciones internacionales</b>	2
<b>Certificaciones nacionales</b>	1

*Fuente: IDC, elaboración propia*

En cuanto a las competencias de personas, nuevamente se establecen requerimientos para técnicos de implementación en soluciones TI.

Para materiales se habla de los certificados de origen y esta vez se establece la necesidad de velar por la trazabilidad de los materiales con el fin de mantener ciertas normas de seguridad medioambiental en regla, sobre todo por la utilización de metales que fueron producidos en zonas de alta radiación.

Sobre las certificaciones de trazabilidad, se nombra la exigencia en algunos casos particulares y la trazabilidad de procesos.

Con respecto a las certificaciones internacionales, se nombran ISO 9000, 14001 y OHSAS 18000.

Sobre las certificaciones nacionales, se especificaron componentes “roughed” es decir preparados para trabajo en zonas complejas y radio frecuencias para la salud humana.

Sobre los estándares para empresas que participan en esta etapa, se identifican las siguientes necesidades de estándares:

**Tabla 20. Estándares mencionados en etapa de extracción subterránea**

Ítem consultado	Número de menciones
Estándares de calidad	7
Estándares de reglamentaciones	4
Estándares de seguridad	6
Estándares eléctricos	3

Fuente: IDC, elaboración propia

Bajo estándares de calidad, se identificaron los conceptos ISO y normas de uso y calidad en los procesos de producción. Se mencionó la necesidad de normar en especial la fabricación de componentes y a su vez se comparó la realidad de la exigencia nacional en estándares contra la exigencia de otras geografías que en algunos casos fue menor.

En cuanto a estándares en reglamentaciones, se menciona la exigencia de Chile por sobre la extranjera y la presencia de normas ISO en la fabricación de componentes utilizados en la extracción subterránea.

En estándares de seguridad se han mencionado las matrices de riesgo asociadas a procesos específicos y las tasas de accidentes proporcionadas por las mutualidades y nuevamente se hace mención a regular la seguridad por capas de servicios porque en algunas hay exceso de normativa y en otras no hay profundidad suficiente.

De los estándares eléctricos en esta etapa, solo se mencionaron que en maquinarias eléctricas se ha utilizado ISO para su fabricación.

### Etapa de fundición

En la etapa de fundición, siete empresas manifestaron participar. Los resultados de las necesidades de certificación que indicaron fueron los siguientes:

**Tabla 21. Estándares mencionados en etapa de extracción subterránea**

Ítem consultado	Número de menciones
Certificaciones en competencia de personas	2
Certificaciones en materiales	5
Certificaciones en trazabilidad	4
Certificaciones internacionales	3
Certificaciones nacionales	2

Fuente: IDC, elaboración propia

De las certificaciones de competencias en personas, se menciona la necesidad de certificación en implementación TI como mayor desafío.



Para la certificación de materiales, se menciona el origen de materiales, de fabricación y se menciona ATEX que dependerá de la zona geográfica de operación. En cuanto a la fabricación nacional de componentes a utilizar en la etapa de fundición, se nombra el Instituto Nacional de Normalización (INN) como agente de referencia tanto para materiales como para trazabilidad

Para normas internacionales se reconoce SIL.

En términos generales, se mencionaron en esta etapa las normas ISO 9000, OHSAS 18000 y también las necesidades de certificación propia de cada faena para acceder a ellas.

Se mencionó un modelo de evaluación de procesos de la organización llamado Capability Maturity Model (CMM) como requisito de algunas implementaciones de TIC.

Respecto a los estándares para empresas que participan en esta etapa, se identifican las siguientes necesidades de estándares:

**Tabla 22. Estándares mencionados en etapa de fundición**

Ítem consultado	Número de menciones
Estándares de calidad	4
Estándares de reglamentaciones	3
Estándares de seguridad	3
Estándares eléctricos	2

Fuente: IDC, elaboración propia

### Etapa de lixiviación

Diez empresas de las entrevistadas identificaron participar en la etapa de Lixiviación y han manifestado estas necesidades de certificación:

**Tabla 23. Certificaciones mencionadas en etapa de lixiviación**

Ítem consultado	Número de menciones
Certificaciones en competencia de personas	4
Certificaciones en materiales	7
Certificaciones en trazabilidad	4
Certificaciones internacionales	5
Certificaciones nacionales	3

Fuente: IDC, elaboración propia

Sobre las certificaciones de competencias de personas, las observaciones fueron basadas en las condiciones físicas de trabajo en condiciones adversas y las certificaciones específicas de soldadores para operar ciertos materiales.

Con respecto a las certificaciones de materiales, se identifican los de origen de materiales, los que solicita el INN para la fabricación local y algunos certificados de resistencia cuando se implementa algún repuesto para usar en esta etapa. Se hace mención de certificación ATEX para algunas zonas y de STM, AWS y SAE desde una perspectiva de tecnologías de la información.

Para certificaciones de trazabilidad, se mencionan las asociadas al requisito del INN y a la trazabilidad de los procesos. Respecto a las certificaciones internacionales, se menciona ISO 9000, 14000 y OHSAS 18000 y SIL.

En cuanto a certificaciones nacionales, se habla de las propias de cada faena para poder operar en ella y se hace mención nuevamente del modelo CMM de la etapa de extracción.

Sobre los estándares para empresas que participan en esta etapa, se identifican las siguientes necesidades de estándares:

**Tabla 24. Estándares mencionados en etapa de lixiviación**

Ítem consultado	Número de menciones
Estándares de calidad	6
Estándares de reglamentaciones	4
Estándares de seguridad	6
Estándares eléctricos	3

Fuente: IDC, elaboración propia

Sobre de los estándares de calidad, los mencionados son ISO 9000 y se repite la exigencia local versus otros mercados extranjeros.

En lo que se refiere a los estándares de reglamentaciones, figuraron en esta etapa los medioambientales 14001 y nuevamente el concepto de rigurosidad local versus la extranjera.

Para estándares de seguridad, aparece de manifiesto la seguridad de las personas con norma OHSAS 18000, las matrices de riesgo asociadas a procesos, las tasas de accidentabilidad, la certificación de las mutualidades y la Ciberseguridad para OT.

Con respecto a los estándares eléctricos, se menciona el IEC.

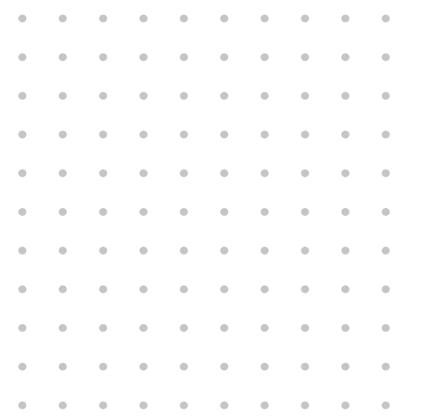
### Etapa de molienda y flotación

Trece organizaciones manifestaron estar presentes en esta etapa de la cadena de valor de la minería. El cuadro presenta la identificación de certificación requerida que manifiesta cada una de ellas.

**Tabla 25. Certificaciones mencionadas en etapa de molienda y flotación**

Ítem consultado	Número de menciones
Certificaciones en competencia de personas	5
Certificaciones en materiales	10
Certificaciones en trazabilidad	7
Certificaciones internacionales	6
Certificaciones nacionales	3

Fuente: IDC, elaboración propia





En cuanto a las certificaciones en competencia de personas, sus comentarios fueron asociados a las condiciones físicas de los implementadores y de las personas que deben operar en condiciones adversas. También se hizo manifiesta la necesidad de contar con organigramas de las empresas destacando grados académicos de los equipos de personas y las especificaciones técnicas para trabajar con algunos materiales.

Sobre las certificaciones de materiales, hay consenso en trabajar con aquéllos con certificados de origen y en algunos casos de fabricación. Hay algunos casos específicos sobre la resistencia cuando son materiales de desgaste.

En cuanto a la trazabilidad de materiales, se busca cumplir con la normativa del INN. También, es reconocida la necesidad de contar con la trazabilidad del material y, en algunos casos, del proceso.

En cuanto a las certificaciones internacionales, se mencionó ISO 9000, 14000, OHSAS 18000 y SIL.

Con respecto a las nacionales, solo se menciona la necesidad de operar en un entorno multi-estándar, por las diferentes normas de operación de las faenas.

Sobre los estándares para empresas que participan en esta etapa, se identifican las siguientes necesidades de estándares:

**Tabla 26. Estándares mencionados en etapa de molienda y flotación**

Ítem consultado	Número de menciones
Estándares de calidad	10
Estándares de reglamentaciones	5
Estándares de seguridad	9
Estándares eléctricos	6

*Fuente: IDC, elaboración propia*

Hay consenso sobre la necesidad de estándares de calidad basados en ISO 9001. Existen algunas aplicaciones específicas del proceso que manifestaron estándares de pruebas, informes de tasas de falla y disponibilidad local de repuestos con foco en continuidad operacional.

Sobre las reglamentaciones, se mencionan las ambientales 14001 y la alta exigencia de éstas versus países extranjeros.

Con respecto a los estándares de seguridad, se hizo mención a la componente seguridad de las personas y los requisitos de certificación basados en los informes otorgados por las mutualidades, las normas OHSAS 18000 y matrices de riesgo asociadas a procesos. Nuevamente se hace mención de la sobrerregulación en capas de servicios exteriores a la faena. Y vuelve a ser mencionada la Ciberseguridad para OT desde los proveedores de tecnologías de la información.

En el caso de estándares eléctricos, se hace mención a IEC e IEEE.

## Repuestos partes y piezas

Trece empresas han manifestado atender el mercado de repuestos, partes y piezas. Y las necesidades de certificación requeridas que han manifestado son las siguientes:

Tabla 27. Estándares mencionados en etapa de molienda y flotación

Ítem consultado	Número de menciones
Certificaciones en competencia de personas	4
Certificaciones en materiales	8
Certificaciones en trazabilidad	6
Certificaciones internacionales	5
Certificaciones nacionales	3

Fuente: IDC, elaboración propia

En las competencias de personas se hacen relevantes los grados de certificación que tengan los implementadores de soluciones, sobre todo las ligadas a tecnologías de la información, y se mencionan las certificaciones de salud para trabajo en zonas adversas y certificaciones para trabajo con ciertos tipos de materiales.

Sobre las certificaciones de materiales, se mencionaron factores como país de origen de las materias primas y piezas, también se mencionaron certificados de resistencia para elementos de desgaste y certificaciones Tier 3, Tier 4, Euro 3 y Euro 4 en algunas maquinarias de motorización.

Con respecto a las certificaciones de trazabilidad, se mencionaron algunos casos donde éstas son necesarias y otros casos donde no son un requisito. Esto se debe principalmente a que este tipo de certificaciones se evalúan caso por caso dependiendo del tamaño del proyecto, siendo mas relevantes en proyectos de mayor dimensión. Además, se reconoció que contar con certificaciones de este tipo mejora la evaluación de las propuestas en procesos de licitaciones de gran envergadura.

En las certificaciones internacionales se mencionó ISO 9000- 14000 y OHSAS 18000, en conjunto con SIL.

De certificaciones nacionales, se hizo mención en equipamiento “roughed” y que cumpla con la normativa de radiofrecuencias para la salud.

Con respecto a los estándares para empresas que participan en esta etapa, se identifican las siguientes necesidades de estándares:

Tabla 28. Estándares mencionados en repuestos, partes y piezas

Ítem consultado	Número de menciones
Estándares de calidad	11
Estándares de reglamentaciones	6
Estándares de seguridad	9
Estándares eléctricos	5

Fuente: IDC, elaboración propia



En cuanto a estándares de calidad, se nombra ISO en varias oportunidades, particularizando elementos como horas de uso de maquinarias, materiales probados, tasas de fallas pasadas, disponibilidad local de repuestos, procesos de validación de calidad mediante ultrasonido y normas de uso y aplicación en procesos de producción.

Sobre los estándares de reglamentaciones, se menciona 14001 y, en algunos casos, procesos de certificación de ISO en la fabricación de partes y piezas. En este apartado se mencionó la certificación de estructuras y sismos y en forma adicional estándar internacional para grúas de tolerancia de carga 3:1, diseñadas para soportar tres veces lo que cargarán.

En lo que refiere a la seguridad, aparecen las necesidades de certificación OHSAS 1800, seguridad hacia las personas y luego matrices de riesgo asociadas a procesos indicando tasas de accidentes.

Para los estándares eléctricos, se menciona IEC y las necesidades variables dependiendo del país de implementación de las soluciones.

## Automatización

Seis empresas mencionaron tener soluciones para esta etapa, sus requisitos de certificación son los siguientes:

**Tabla 29. Certificaciones mencionadas en automatización**

Ítem consultado	Número de menciones
Certificaciones en competencia de personas	2
Certificaciones en materiales	3
Certificaciones en trazabilidad	3
Certificaciones internacionales	2
Certificaciones nacionales	3

Fuente: IDC, elaboración propia

Para esta etapa, las necesidades de certificación se identificaron en el dominio de conocimientos técnicos del tipo STM, AWS, SAE, y luego en certificaciones que incorporen grados de protección al equipamiento como Roughed y radio frecuencias para no alterar la salud de las personas. Sin embargo, se mencionaron las mismas certificaciones de las otras etapas de la cadena de valor para poder ser adoptadas por las faenas.

Con respecto a los estándares para empresas que participan en esta etapa, se identifican las siguientes necesidades de estándares:

**Tabla 30. Estándares mencionados en etapa de automatización**

Ítem consultado	Número de menciones
Estándares de calidad	4
Estándares de reglamentaciones	4
Estándares de seguridad	4
Estándares eléctricos	1

Fuente: IDC, elaboración propia

Para estándares de calidad, se indican STM, AWS y SAE. Para estándares de reglamentaciones se menciona la evaluación caso por caso reconociendo la exigencia por encima de otros mercados.

Específicamente, para estándares de calidad se indicaron los estándares STM, AWS y SAE. Por otra parte, para estándares de reglamentaciones se indica que la evaluación de éstos se realiza caso a caso, señalando también que la exigencia en la industria minera por este tipo de estándares tiende a ser mayor que la requerida en otras industrias. En cuanto a los estándares de seguridad, los principales reconocidos son los enfocados en la ciberseguridad para OT. Finalmente, no se identificaron estándares eléctricos de forma específica. Los estándares de seguridad reconocidos están enfocados en la ciberseguridad para OT.

**Entrega**

Cinco organizaciones manifestaron atender este proceso, y las necesidades de certificación mencionadas por ellos son:

**Tabla 31. Certificaciones mencionadas en etapa de entrega**

Ítem consultado	Número de menciones
Certificaciones en competencia de personas	3
Certificaciones en materiales	4
Certificaciones en trazabilidad	3
Certificaciones internacionales	3
Certificaciones nacionales	3

*Fuente: IDC, elaboración propia*

Las certificaciones de competencias fueron asociadas a las capacidades físicas para trabajo en zonas adversas.

La certificación de materiales se basó en la capacidad de certificar la calidad y resistencia de ellos sobre todo en piezas de desgaste.

Para trazabilidad no se identificó para algún ítem en particular, tampoco internacional o nacional.

Finalmente se hace mención de las necesidades de certificación para operar en cada faena dados los requisitos particulares de cada una.

Con respecto a los estándares para empresas que participan en esta etapa, se identifican las siguientes necesidades de estándares:

**Tabla 32. Estándares mencionados en etapa de entrega**

Ítem consultado	Número de menciones
Estándares de calidad	3
Estándares de reglamentaciones	2
Estándares de seguridad	4
Estándares eléctricos	2

*Fuente: IDC, elaboración propia*

En los estándares de calidad, se mencionó ISO 9001 y la capacidad de probar equipamiento indicando tasas de falla y disponibilidad de repuestos.

Sobre los estándares de reglamentaciones, se mencionó la evaluación caso por caso dependiendo de las soluciones a implementar.

En estándares de seguridad se hicieron presentes las normas ISO, OHSAS 18000 y ciberseguridad para OT.

En estándares eléctricos se identificó en este proceso solo la normativa IEEE.



## Certificaciones para la manufactura 4.0, InTECH, ciberseguridad y los próximos desafíos

Durante el proceso de investigación desarrollado para el presente estudio se ha identificado una concordancia sobre la adopción de tecnologías de MA, indicando que el principal foco de su incorporación está relacionado con los conceptos de “automatización y robotización”. Aquello queda manifiesto en la siguiente lista de resultados sobre las incorporaciones de MA por parte de los proveedores de la minería.

¿Qué tipo de tecnologías de MA incorporó en sus procesos?

- Realidad aumentada para soporte en terreno
- Agregador de polución. Reutilización de la pintura en el proceso de pintado de equipos
- Automatización en máquinas para trabajos en terreno con software de diseño avanzada (CNC: Control numérico por computadora)
- Automatización para producción en serie
- BIM modelling
- Ciberseguridad
- Conexiones WLAN
- Software de primera generación (AutoCAD y SolidWorks)
- Perforadora y manipulador de barra diamantina 100% libre de operación humana
- IoT
- Lean Manufacturing
- Logística centralizada para las empresas del holding
- Manufactura avanzada
- Mejoras de materias primas
- Nuevos materiales
- Digitalización
- SAP y SPIGA adosado como gestor del flujo del taller mecánico
- Sensores
- Sensores (cámaras)
- Sensores en la máquina para monitoreo de fuerza, torque, profundidad, etc.
- Sensores para el monitoreo de condiciones en los procesos y lectores para todo tipo de parámetros como temperatura, presión entre otros
- Sistemas de Data Logger (que traen de Francia)
- Softwares avanzados para IoT
- Sensorización, hay un circuito de análisis, hay algunas capas de softwares con proveedores locales.
- Video (analítica de video)

Como se puede apreciar, la mayoría de las soluciones de MA mencionadas como ya implementadas por los proveedores poseen componentes de tecnologías de la información en su totalidad o en algún componente de la solución. Sin embargo, sólo los proveedores de servicios TIC están conscientes de los grados de certificación necesarios para asegurar las soluciones de MA. Por lo anterior, que se ha decidido incluir el siguiente apartado basado en estudios de IDC sobre los desafíos de la ciberseguridad en MA.

Hoy los conceptos de automatización y robotización son abordados por IDC bajo el alero de las “In-Tech” abreviación del inglés “Industrial-Technologies”, las que según el estudio realizado por Maggie Slowik, son las bases para la próxima generación de automatización y colaboración en los ecosistemas de manufactura.

Se comprende la definición de InTECH como:

La base tecnológica para la automatización de próxima generación y la colaboración de procesos en ecosistemas empresariales.

Esta automatización y colaboración de última generación en ecosistemas se basa en la noción de nuevos arquetipos de automatización, donde todo tipo de activos inteligentes conectados y productos (componentes inteligentes también conectados) se vincularán a los ecosistemas empresariales a través de una red poco acoplada y una plataforma parcialmente autoorganizada.

IDC ve InTECH como la plataforma que permite las operaciones entre esos activos conectados y objetos físicos en ecosistemas que aprovechan tecnologías como la nube, IoT, cognitiva y robótica.

Y adicionalmente InTECH, como plataforma, permite a los fabricantes abordar varios aspectos de la habilitación de procesos flexibles, escalables, automatizados e inteligentes en los ecosistemas empresariales:

- InTECH admite procesos inteligentes mediante la aplicación de la inteligencia adecuada para ellos, incluidos el conocimiento de la situación y la inteligencia contextual.
- InTECH admite flexibilidad y escalabilidad al proporcionar transparencia a nivel micro y macro. Esto permite la capacidad de planificar tanto a nivel línea como de planta, y admite la colaboración en ecosistemas al proporcionar la base tecnológica para ampliar la automatización de los procesos B2B en todas las organizaciones.

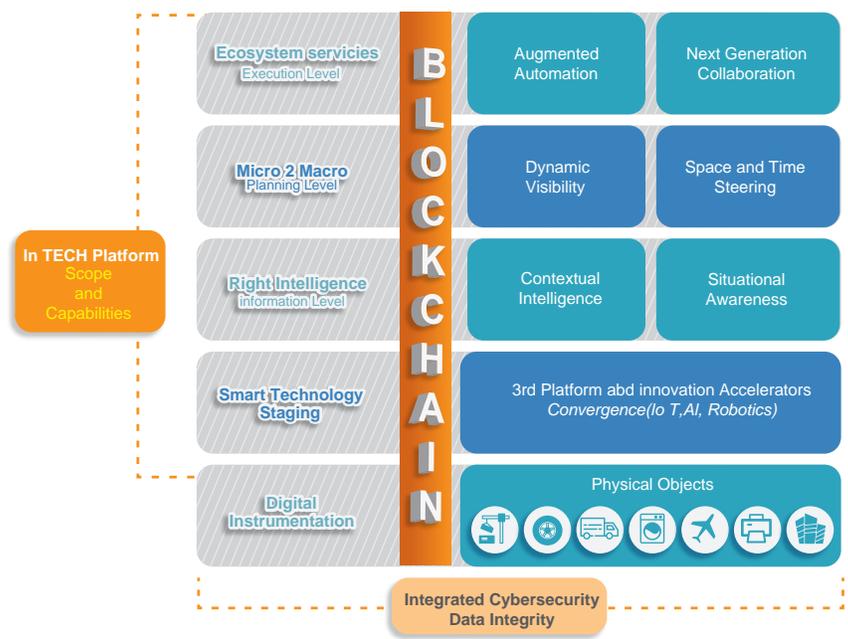
Dada la relevancia demostrada en el eje horizontal del diagrama, donde queda manifiesta la necesidad de integración de la ciberseguridad y la integridad de la información es que profundizaremos en este tópico como una necesidad de certificación adicional a lo que la industria está reconociendo hoy en día. Para esto vamos a abordar las necesidades de certificación de seguridad de tecnologías de la información.

El Dr. Mike Chapple, Adjunct Research Advisor en el estudio de IDC "Security Certifications: seven things CIOs need to know" detalla en profundidad cuáles son las habilidades requeridas y las necesidades de certificación personales en el manejo de ciberseguridad. Estos antecedentes serán expuestos a continuación:

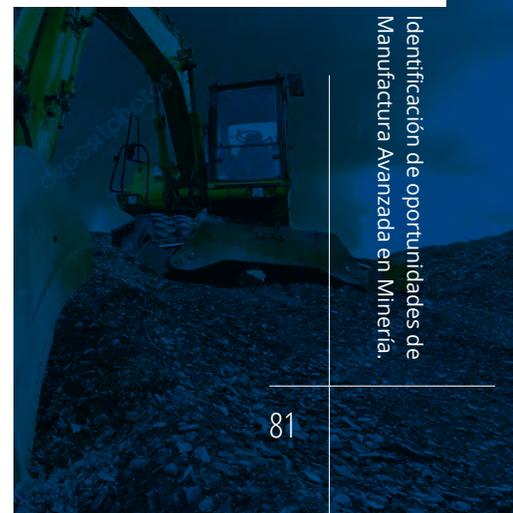
Los profesionales de la tecnología de la información llevan mucho tiempo enamorados de los programas de certificación profesional.

Podría decirse que el campo de la tecnología de la información (TI) tiene el mayor conjunto de certificaciones disponibles entre los dominios profesionales, y los profesionales de TI a menudo acumulan un mayor número de certificaciones que sus contrapartes en muchos otros campos. Atribuimos esto a varios factores:

Figura 28. Plataforma InTECH para manufactura 4.0



Fuente IDC, 2018



- La rápida evolución de la tecnología crea la necesidad de que los profesionales de TI actualicen constantemente sus habilidades existentes y, por lo general, se reinventan por completo al menos una vez durante su carrera.
- Los programas educativos tradicionales que otorgan títulos tienden a centrarse en aspectos más teóricos de la informática y, a menudo, no proporcionan la experiencia práctica necesaria para trabajar con la tecnología actual.
- Las certificaciones ofrecen una forma bastante económica de aprender nuevas tecnologías de forma estructurada y demostrar el conocimiento del contenido básico a través de un examen estandarizado.
- La naturaleza fragmentada del campo de TI hace que no sea práctico contar con un solo programa de certificación de TI amplio, como la certificación de Contador Público Certificado que se utiliza dentro de la profesión contable. Dicha certificación sería, por necesidad, de un alcance tan amplio que le sería difícil o imposible tener suficiente profundidad para ser significativa.

La seguridad cibernética es uno de los subdominios de más rápido crecimiento dentro de la tecnología de la información y requiere que sus profesionales dominen una amplia gama de conocimientos. Por esta razón, los profesionales de seguridad cibernética a menudo llegan al campo con experiencia en la materia existente en uno o más dominios tecnológicos y luego aplican esa experiencia en su trabajo de ciberseguridad. Por ejemplo, una organización puede emplear a todos los siguientes individuos:

- Un especialista en seguridad de redes con amplia experiencia en los productos de enrutamiento, conmutación y firewall de un solo proveedor.
- Un experto en seguridad de aplicaciones con experiencia en desarrollo de software y capacitación especializada para asegurar aplicaciones personalizadas.
- Un técnico de penetración experto en identificar vulnerabilidades y explotarlas para obtener acceso a redes.
- Un consultor de seguridad con experiencia en análisis de negocios que puede ayudar a los equipos de proyecto en la identificación e implementación de los requisitos de seguridad.

Claramente, cada uno de esos conjuntos de habilidades requiere una base de conocimiento muy diferente. Por ejemplo, es poco probable que la organización pueda razonablemente pedirle al consultor de seguridad que realice una prueba de penetración o al especialista en seguridad de aplicaciones para configurar una nueva VLAN sin proporcionarles capacitación adicional. Sin embargo, todas estas personas pueden tener el mismo título universitario en ciencias de la computación o un campo relacionado.

Aquí es donde entran en juego los programas de certificación de seguridad. La industria ofrece una amplia variedad de certificaciones, apropiadas para cada uno de estos conjuntos de habilidades. El especialista en seguridad de red podría buscar credenciales de seguridad de red ofrecidas por el proveedor de redes de la organización, como la credencial de seguridad Cisco Certified Network Professional (CCNP). El probador de penetración puede seguir la certificación de Ethical Hacker (CEH) o CompTIA PenTest +. Cada una de estas credenciales evalúa diferentes cuerpos de conocimiento y permite a los empleadores llegar a conclusiones diferentes sobre el conocimiento básico de un empleado o candidato a un puesto de trabajo.

A medida que las organizaciones emprenden iniciativas de transformación digital, las preocupaciones sobre ciberseguridad aumentan su significancia. Los esfuerzos de transformación digital a menudo conducen a la selección e implementación de nuevas soluciones tecnológicas, lo que aumenta la complejidad del entorno informático y, por lo tanto, aumenta la superficie de ataque de la organización. Los profesionales de ciberseguridad deben permanecer en la cima de sus campos, manteniéndose al tanto de las tecnologías cambiantes. Los programas de certificación brindan a los líderes de TI un criterio objetivo para evaluar las habilidades existentes de sus equipos e identificar posibles brechas de habilidades que requieren corrección.

**CAPÍTULO VI**

Caracterización  
de la oferta actual  
de proveedores  
de manufactura  
avanzada

6



El presente capítulo tiene como principal objetivo identificar y caracterizar las propuestas de valor para la industria minera por parte de los proveedores vía manufactura avanzada y establecer sugerencias para acelerar la captura de oportunidades por parte de los proveedores mineros.

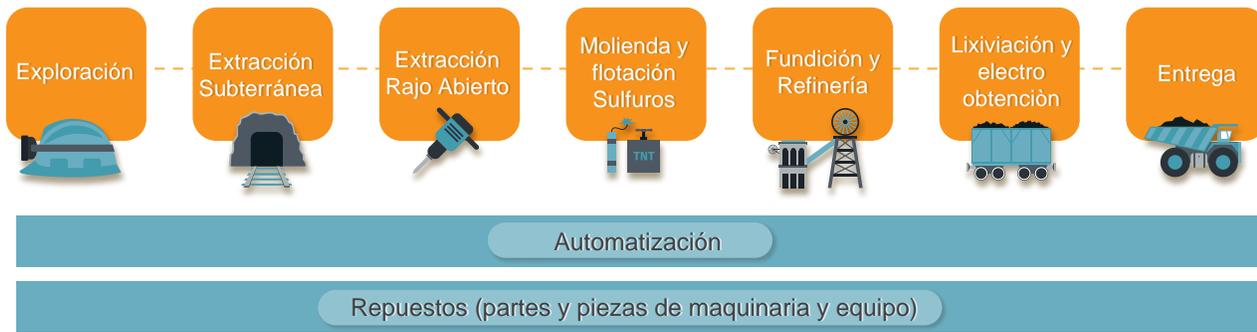
Para cumplir los objetivos del presente capítulo se definieron tres tópicos a considerar. El primero es la identificación de propuestas actuales de los proveedores vía manufactura avanzada, donde se recopila la información de oferta de productos y servicios mineros mediante investigación de campo y escritorio. El segundo tópico es la caracterización de la oferta de manufactura avanzada, donde se analiza la propuesta de valor, la estrategia competitiva y los cambios en el modelo de negocios vía manufactura avanzada. El tercer tópico está conformado por las propuestas para acelerar la captura de oportunidades por parte de los proveedores, donde se entregan recomendaciones para hacer frente a las brechas actuales que inhiben el desarrollo de manufactura avanzada en Chile.

Cabe mencionar que para realizar el análisis de cambio en los modelos de negocio mediante el uso de tecnologías, se utilizó como referencia el modelo de negocios Lean Canvas propuesto por Alexander Osterwalder en el documento Generación de modelos de negocio, mientras que para el análisis de estrategia competitiva de proveedores vía manufactura avanzada se utilizó como referencia las estrategias competitivas propuestas por Michael Porter en el documento Técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia.

## Identificación de propuestas de los proveedores vía manufactura avanzada

Para lograr identificar la oferta actual de proveedores de manufactura avanzada se debió realizar, en primer lugar, un análisis de los principales proveedores tanto nacionales como internacionales de la minería en Chile, con la finalidad de priorizar los más importantes. Una vez definidos los principales proveedores se procedió a realizar un análisis de sus productos o servicios para lograr diferenciar los que corresponden a productos o servicios vía manufactura avanzada y determinar el mercado primario en el cual participan.

Figura 29. Plataforma InTECH para manufactura 4.0



Fuente IDC, 2018

Los principales proveedores internacionales fueron identificados a partir del documento Catastro de Equipamiento Minero 2013-2014, en el cual se consideran todos los equipos registrados en el país para compañías mineras. De este modo los principales proveedores internacionales, de acuerdo a unidades de equipamiento registradas fueron Caterpillar, EDM Exploration Drill Masters, Komatsu, Metso, Normet, Outotec, Sandvik, Soilmec y Atlas Copco o recientemente Epiroc.

Por otra parte, para la identificación de propuestas de proveedores nacionales se recurrió tanto a fuentes primarias de información como a fuentes secundarias. Como fuente primaria se realizaron entrevistas a diversos proveedores de la minería local. Cabe mencionar que la información recogida en estas entrevistas se utilizó también para realizar un análisis sobre la generación de las propuestas para acelerar la captura de las oportunidades, con base en la percepción actual de las brechas por parte de los actores del ecosistema.

Con la finalidad de complementar y fortalecer el análisis de propuestas de los proveedores nacionales, se consideraron como fuente secundaria algunos estudios realizados previamente sobre casos de innovación de proveedores en la minería chilena. Con respecto a los estudios utilizados, se recurrió principalmente al documento Casos de Innovación de Proveedores en la Minería Chilena elaborado por Fundación Chile, al documento Casos de Innovación en la Industria Minera preparado por Minnovex y al informe Desarrollo de un Marco de Trabajo y Buenas Prácticas para Incentivar la Innovación Colaborativa en la Industria Minera Nacional preparado por iUAI Mining Center.

Mediante la utilización de fuentes primarias y secundarias se pudo recopilar información de proveedores nacionales como Aplik, Axys, Bailac, Geoblast, Gesecology Group, HighService Technology, Indimin, Innovaxion, JRI Ingeniería, ME Elecmetal, Mining Systems, Mining Tag, MIRS, Netos, SK Godelius, Tecnoexplora, Tesra, TIMining y Vizutire.

De este modo, se procedió a investigar la oferta actual de la totalidad de estos proveedores en materia de manufactura avanzada, para luego identificar el o los mercados en el cual participan sus propuestas de manufactura avanzada del proveedor y finalmente poder caracterizar su propuesta de valor y estrategia competitiva.

# Identificación de propuestas de proveedores Internacionales

## Exploración

### 1. EDM Exploration Drill Masters

La empresa se encuentra desarrollando una máquina perforadora y manipuladora de barra para perforación diamantina completamente automática y de operación remota, mediante la utilización de sensores en la máquina para monitoreo de fuerza, torque, profundidad, entre otras variables. EDM Exploration Drill Masters tiene como foco la mejora en la seguridad y la productividad en los procesos de perforación, por lo que identificó que una oportunidad importante de mejora se encontraba en la disminución de la manipulación manual de la tubería de perforación diamantina. Es por lo que el equipo desarrollado hará uso de Data Loggers que permiten determinar los puntos críticos del proceso para identificar oportunidades de mejoras en la productividad. EDM Exploration Drill Master prevé que el desarrollo a cabalidad de esta tecnología podría implicar aumentos de la productividad de hasta 50% en este proceso específico de la exploración minera.

## Extracción Subterránea

### 1. Komatsu

Komatsu ha desarrollado un sistema inteligente y conectado para frentes largos que incluye complejas redes que están vinculadas a giroscopios altamente sensibles y miles de sensores que monitorean constantemente el desempeño y el estado del sistema. Durante la operación, a medida que avanza el sistema de extracción de frentes largos, el techo colapsa detrás de él. Los sensores ubicados en los soportes del techo transmiten información hacia la superficie. Algoritmos complejos traducen los puntos de información en datos visuales que permite predecir cambios significativos en las condiciones operativas de la mina. Mediante la utilización de cómputos avanzados, los algoritmos permiten detectar la formación de cavidades en el techo, pudiendo predecir problemas en la estabilidad del techo y definir el origen de estos cambios (algo imposible de determinar a simple vista). Esto facilita la toma de medidas inmediatas que afectan la productividad general de la mina.

### 2. Normet

Normet diseñó un programa de formación para el proceso de lanzado de concreto, mediante un simulador para evaluar el rendimiento de los operadores y para desarrollar más sus habilidades. El simulador permite al operario ganar práctica en equipos de lanzado de concreto y acuñado, sistemas de control y medición, planificación de procesos de equipos de lanzado de concreto y acuñado, métodos de trabajo, resolución de problemas. El programa fue diseñado para educar a los supervisores y operadores, incluyendo la planta de dosificación, camiones hormigonera y operadores de concreto lanzado, así como el personal de control de calidad interno. Los servicios de simulación han proporcionado, en promedio, una mejora del 23 % en la eficiencia operativa.

### 3. Sandvik

Sandvik ha desarrollado también un sistema de automatización altamente avanzado para flotas de cargadoras y camiones subterráneos que comparten la misma área de producción automatizada. El sistema proporciona control y gestión automática del tráfico para la flota de equipos, mientras que los operadores del sistema supervisan el proceso de forma remota. Estas aplicaciones incluyen, por ejemplo, entornos de bloqueo de cuevas, arrastre en rampa y niveles de transferencia. La solución ofrece interfaces para sistemas de minería externos para diversos fines, como la planificación de la mina para un control de extracción preciso. La solución permite mejorar el rendimiento de la flota en grandes áreas de producción compartidas por varios equipos, logrando beneficios sobresalientes de mayor productividad, seguridad y rentabilidad en las operaciones mineras.

## Extracción de Rajo Abierto

### 1. Epiroc

Epiroc cuenta actualmente con soluciones de automatización de equipos de perforación a distintos niveles, incluyendo automatización de tareas con un operador en el equipo de perforación, automatización mediante control remoto con el operador lejos del equipo y funcionamiento totalmente autónomo con una interacción mínima del operador. Entre las distintas soluciones facilitan funciones como la perforación automática que reconoce la broca y ajusta el rendimiento de perforación a las condiciones de la roca en tiempo real, la medición durante la perforación para recopilar datos sobre la dureza de la roca, la nivelación automática para nivelar de forma segura y eficiente el equipo de acuerdo con sus especificaciones, observar de forma remota las condiciones de trabajo. El conjunto de soluciones para automatización de equipos de perforación permite los operarios mejorar la seguridad, la productividad y los costes operativos de los equipos de perforación, posibilitando incluso controlar remotamente no solo uno, sino hasta tres equipos de perforación en paralelo.

### 2. Komatsu

La empresa desarrolló un programa de entrenamiento y monitoreo para reducir los daños provocados por el operador a su flota de palas eléctricas de cable. Los operadores de las palas no estaban al tanto del efecto dañino que estaban provocando los impactos de giro en las máquinas.

Las colisiones entre el balde y el banco durante el giro acumulaban daños en la estructura de los brazos y terminaban por fracturarlos, lo que generaba tiempos de inactividad y costos de reparación significativos. Mediante la integración de sistemas inteligentes conectados y el análisis avanzado de datos por parte de los expertos, se pudo determinar cómo se combinaban las conductas operacionales establecidas y las condiciones ambientales en la probabilidad de impactos al girar. Los datos analíticos obtenidos permitieron ofrecer orientación y optimizar la productividad de las máquinas para generar resultados y mejorar el rendimiento minero. La solución desarrollada permite lograr una reducción anual de hasta 40% en los impactos de giro, y así reducir el desgaste de las máquinas y aumentar su disponibilidad.

### 3. Komatsu

Komatsu cuenta también con soluciones específicas para palas eléctricas de cables. Una de ellas es un sistema avanzado de visión, que mediante cámaras ubicadas alrededor de la pala ofrece una vista de 360° que permite al operador ver el entorno y lo que ocurre alrededor de la máquina. El sistema proporciona vistas de diferentes cámaras que pueden seleccionarse con botones ubicados en el monitor, permitiendo mejorar la seguridad al proporcionar al operador percepción visual de la situación. Otra solución es el sistema de carga útil, el cual proporciona mediciones precisas y confiables de la carga útil que, junto con una calibración simple, permiten a los operadores optimizar los procesos de carga. Este sistema proporciona al operador información en tiempo real sobre la carga útil del balde, ayuda a evitar el costoso derrame de material debido a sobrecargas, reduce el daño estructural a la pala y los camiones de acarreo y facilita los procedimientos rápidos y simples de calibración a largo plazo.

### 4. Sandvik

Sandvik ofrece una solución para la automatización de la perforación de superficies, que permite mejorar la productividad de perforación y la utilización del equipo desde la seguridad de un centro de operación remoto. Mediante el uso de las tecnologías desarrolladas por la empresa, un operador puede controlar una flota de equipos de perforación, permitiendo a los trabajadores perforar más agujeros en menos tiempo, al tiempo que aumenta significativamente la seguridad y el rendimiento de perforación. Además, la solución incluye navegación de perforación 3D para maximizar la precisión de la voladura y la eficiencia de la mina.



## Molienda y Flotación de Sulfuros

### 1. Metso

La empresa cuenta con una avanzada solución de seguimiento mineral mediante una combinación de hardware y software especializado. En cuanto al hardware, el sistema está equipado con una cámara IP infrarroja con sensores de alto rendimiento y luces estroboscópicas LED infrarrojas. La cámara y la iluminación se integran dentro de una carcasa metálica sellada que se monta fácilmente sobre la correa transportadora. El software del sistema es capaz de analizar las múltiples imágenes capturadas por la cámara y entregar en forma continua la distribución granulométrica completa, además de los porcentajes pasantes y acumulados para cada clase de tamaño, además de otras importantes mediciones. Gracias a la rapidez de las mediciones y la comunicación de datos, la solución se puede utilizar, por ejemplo, para implementar control automático del ajuste del gap de un chancador, o para modificar automáticamente la velocidad de feeders o correas transportadoras en circuitos de molienda, dependiendo de la distribución granulométrica del mineral.

### 2. Metso

La empresa cuenta con una avanzada solución de seguimiento mineral mediante una combinación de hardware y software especializado. En cuanto al hardware, el sistema está equipado con una cámara IP infrarroja con sensores de alto rendimiento y luces estroboscópicas LED infrarrojas. La cámara y la iluminación se integran dentro de una carcasa metálica sellada que se monta fácilmente sobre la correa transportadora. El software del sistema es capaz de analizar las múltiples imágenes capturadas por la cámara y entregar en forma continua la distribución granulométrica completa, además de los porcentajes pasantes y acumulados para cada clase de tamaño, además de otras importantes mediciones. Gracias a la rapidez de las mediciones y la comunicación de datos, la solución se puede utilizar, por ejemplo, para implementar control automático del ajuste del gap de un chancador, o para modificar automáticamente la velocidad de feeders o correas transportadoras en circuitos de molienda, dependiendo de la distribución granulométrica del mineral.

### 3. Metso

Metso también ofrece pruebas de trituración, molienda y flotación con equipos de laboratorio y escala piloto de última tecnología. Los resultados pueden suministrarse directamente a los clientes o, como alternativa, ser interpretados y utilizados por ingenieros de Metso como parte del diseño, las expansiones o los proyectos de optimización. A través de programas de investigación de desarrollo interno o bien colaborativos, la empresa desarrolla continuamente soluciones más eficientes y sostenibles para sus clientes.

### 4. Outotec

La empresa ha desarrollado un sistema analizador de partículas en línea que utiliza una tecnología de imágenes láser 3D para medir los tamaños de partículas de los minerales que se mueven a lo largo de la cinta transportadora. Esta medición permite controlar y optimizar tanto el circuito de molienda como los procesos anteriores. Una distribución adecuada del tamaño de la alimentación de mineral es crítica para lograr una alta eficiencia de molienda y rendimiento, especialmente en los circuitos de molienda de los molinos AG o SAG. El sistema analiza las partículas de roca durante el movimiento normal de la banda, sin afectar la capacidad de la cinta transportadora. El escáner láser 3D de alta resolución proporciona una entrada valiosa y continua para optimizar el control y el rendimiento del circuito de molienda. En líneas generales, la solución permite; estabilizar molinos AG y SAG con mediciones de alimentación de mineral en línea consistentes, maximizar el rendimiento y la eficiencia del proceso, mejorar la analítica del circuito de molienda con la estimación del flujo volumétrico acumulativo.

## 5. Outotec

Outotec ha desarrollado un sistema de sensor de carga de molino que proporciona un análisis en línea de la carga del molino, permitiendo optimizar el rendimiento y disminuir las perturbaciones en el molino. El volumen de carga del molino tiene un gran impacto en la eficiencia de molienda. Para una molienda eficiente, los molinos AG y SAG deben operarse con la carga correcta para maximizar su rendimiento y evitar la sobrecarga. El sistema de sensor desarrollado por Outotec proporciona una indicación precisa del volumen de carga del molino, permitiendo aumentar la disponibilidad del molino mientras disminuye las paradas inesperadas. El sistema mide el ángulo de la punta del molino con un sensor inalámbrico conectado al perno del revestimiento. Junto con controles de procesos avanzados, el sistema de sensores ayuda a estabilizar y optimizar los procesos de molienda para asegurar un correcto funcionamiento y un mayor rendimiento.

### Fundición y Refinería

#### 1. Outotec

La empresa ha desarrollado una solución inteligente para monitorear revestimientos refractarios de hornos para reducir paradas no planificadas, mejorar la planificación de mantenimiento y extender la vida útil del revestimiento. La solución comprende termopares instalados a diferentes profundidades en la pared del horno para permitir un monitoreo cercano de las ubicaciones que son propensas al desgaste. Los datos recopilados se utilizan para proporcionar visualizaciones fáciles de usar de la temperatura, el estado del revestimiento y las curvas isotérmicas para operadores y personal de ingeniería.

Al reducir el riesgo de paradas no planificadas, la solución también aumenta la seguridad en el sitio, ya que reduce la necesidad de que el personal ingrese al entorno del horno para realizar trabajos de reparación. Desde una perspectiva de sostenibilidad, menos paradas significan que la disponibilidad del horno y la eficiencia energética general se maximizan.

### Repuestos (partes y piezas de maquinaria y equipo)

#### 1. Metso

Metso se encuentra desarrollando soluciones, mediante el uso de la impresión 3D, que permiten desarrollar y fabricar componentes complejos y de vanguardia más rápido, con mayor confiabilidad, seguridad y disponibilidad de componentes. La creación rápida de prototipos es esencial en el desarrollo de productos y generalmente requiere muchas pruebas e iteraciones. Aquí es donde entra la impresión 3D como una herramienta poderosa y disruptiva, la solución que desarrolla la empresa permite la impresión de prototipos rápidamente e incluso, el rendimiento de los componentes impresos en 3D supera los fabricados por los métodos de fabricación tradicionales otorgando una mayor confiabilidad, una vida útil más larga y características mejoradas de seguridad de componentes.

### Extracción de Rajo Abierto, Extracción Subterránea

#### 1. Caterpillar

Caterpillar ha desarrollado un sólido sistema de vehículos autónomos para la industria minera, el cual en los últimos años ha transportado más de 600 millones de toneladas de mineral en todo el mundo. Los camiones autónomos responden a las llamadas de la pala, se mueven a su posición, arrastran material a los puntos necesarios e incluso informan para el mantenimiento, todo ello sin un operador a bordo. De acuerdo con John Deselem, gerente de tecnología de Caterpillar, clientes han reportado aumentos del 20% en la productividad general y reducciones de hasta un 20% en los costos mediante la implementación de esta solución. Por otra parte, los camiones autónomos pueden interactuar



de forma segura con otros vehículos tripulados de forma que mantienen velocidades operativas óptimas y distancias de seguimiento seguras en todo momento, por lo que existen beneficios en temas de seguridad, ya que hay menos personas expuestas a peligros.

## 2. Komatsu

Komatsu cuenta con programas de mantenimiento predictiva que ayudan a evaluar la condición de equipos para anticipar cuándo debe efectuarse la mantención. Los programas de mantención predictiva se basan en el monitoreo del estado del equipo mediante distintos métodos como el monitoreo continuo en línea, en el cual los sistemas de los equipos brindan al personal de mantención los datos que necesitan sobre la condición de la máquina de manera eficiente y oportuna, o bien mediante tecnologías de prueba no destructivas: se utiliza una amplia variedad de métodos de prueba no destructivos, como inspecciones visuales, inspecciones del sistema eléctrico, análisis de vibraciones, ultrasonido, análisis de aceite, termografías y otras técnicas para identificar posibles inconvenientes antes de que se conviertan en un problema. Este servicio permite el ahorro tiempo y dinero, en comparación con los programas de mantención basados en plazos, ya que la mantención se realiza únicamente cuando es necesaria pero antes de que ocurra una interrupción no planificada. Las ventajas incluyen: menos tiempo de inactividad para mantención, menos interrupciones de producción para mantención, menor costo de repuestos y suministros.

## 3. Komatsu

La empresa ha desarrollado un sistema de gestión de condiciones a distancia que proporciona a los equipos de operaciones datos de rendimiento y estado de la máquina de manera eficiente y oportuna. Con esta información, los equipos de operaciones pueden concentrarse en optimizar la producción y en aplicar estrategias de mantención enfocadas en la confiabilidad. La solución aprovecha las capacidades de comunicación, comando y control del sistema de control eléctrico del equipo, transformando los datos que produce en información más refinada, incluidos tableros de indicadores clave de rendimiento (KPI), herramientas gráficas de análisis, modelos predictivos y herramientas de elaboración de informes. La información sobre productividad y confiabilidad incluye productividad de la flota, patrones de desvíos, análisis de utilización, distribución de la carga, rendimiento de los tiempos de ciclo, entre otros, los que en su conjunto permiten un esfuerzo focalizado en mayores niveles de confiabilidad, productividad y rentabilidad.

## 4. Komatsu

Komatsu actualmente ofrece soluciones de navegación autónoma para el desplazamiento y transporte de cargas mediante un sistema informático y satelital que se adapta a camiones mineros de Komatsu que utiliza señales GPS, junto a otras señales de apoyo en tierra, como sistemas de posicionamiento y navegación. Estos camiones autónomos presentan una serie de ventajas sobre los camiones tradicionales, permitiendo mejoras en seguridad, continuidad y costos mediante la operación continua, navegación por rutas definidas a velocidades predeterminadas y reportes de estados de ubicación. Por otra parte, el sistema de monitoreo satelital para equipos Komatsu de alto tonelaje, permite acceder de manera remota a la información de la operación de los equipos y conocer la condición de los componentes mayores. Komatsu además indica que está diseñado para contribuir a la reducción en el costo de mantenimiento y mantener una disponibilidad y confiabilidad óptima.

## 5. Soilmec

Ha desarrollado una completa gama de equipamiento que permiten realizar cualquier tipo de cimientos en el campo de pilotes, paredes de diafragma, micropilotes y consolidaciones de suelo y túneles. Además, la empresa cuenta con más de cincuenta estaciones de trabajo disponibles, equipadas con el software para cálculos estructurales y cinemáticos avanzados. La información sobre cómo se comportan las máquinas en el sitio, analizadas y luego archivadas por herramientas computarizadas de monitoreo y verificación de última generación, permite a ingenieros

de Soilmec estudiar cómo reaccionan las máquinas cuando se enfrentan a problemas en situaciones reales y de esta forma prever los desafíos antes de que surjan y proveer soluciones técnicas de ingeniería a los clientes.

## **Extracción de Rajo Abierto, Extracción Subterránea, Molienda y Flotación de Sulfuros, Fundición y Refinería, Lixiviación y Electroobtención, Entrega**

### **1. Metso**

Metso ha desarrollado un complejo sistema para rastrear el mineral desde la mina hasta la planta e incluso en procesos posteriores. El sistema utiliza etiquetas, detectores y software personalizados de identificación por radiofrecuencia (RFID) para rastrear el mineral a través del proceso de minería, permitiendo correlacionar las características del mineral con parámetros operativos importantes en la mina y en la planta de procesamiento, como la dilución del mineral, las pérdidas de mineral, la fragmentación, el rendimiento y el consumo de energía. Los parámetros operativos y las estrategias de control en la mina y en la planta de procesamiento se pueden ajustar y optimizar para diferentes tipos de mineral, lo que reduce los costos y aumenta la rentabilidad. El sistema también se puede utilizar para rastrear productos desde la mina a través de toda la cadena de transporte (carretera, ferrocarril y puerto) hasta el cliente final. Todas las propiedades se pueden etiquetar y rastrear para facilitar la optimización de la operación de la planta, la clasificación, la mezcla y la homogeneización para maximizar el valor del producto final.

## **Identificación de propuestas de proveedores Nacionales**

### **Exploración**

#### **1. Tecnoexploras**

La herramienta desarrollada por TecnoExplora denominada Tomografía Sísmica Pasiva de Largo Alcance, es una herramienta que permite el delineamiento geométrico del cuerpo mineralizado a través de sismómetros en superficie. Uno de los problemas actuales de la minería se encuentra asociado al proceso de exploración, particularmente a su baja eficiencia y alto costo, que ha generado un nivel inadecuado del conocimiento del potencial de los depósitos en explotación y falta de evidencias de nuevos recursos de interés económico. Esta herramienta soluciona estas problemáticas al permitir identificar un yacimiento metálico, utilizando solamente la micro sismicidad natural de la tierra. Las ventajas de esta técnica son variadas: permite la exploración de grandes áreas, por sobre los 100 km<sup>2</sup> a bajo costo, entregando resultados que pueden hacer más eficientes las campañas de sondajes, posee una capacidad de penetración de incluso decenas de kilómetros, sus resultados no se ven afectados por el tipo o volumen de la cobertura, no genera impacto ambiental y es aplicable en cualquier país del mundo con gran minería, pues estos cuentan con la micro sismicidad necesaria. Actualmente esta técnica ha sido utilizada con éxito en las faenas mineras chilenas de Los Bronces de Anglo American y Spence de BHP, y para exploración greenfield por Antofagasta Minerals.

### **Extracción Subterránea**

#### **1. Tesra**

La evaluación visual al interior de tuberías es la principal herramienta para identificar anomalías, tales como: cortes en el revestimiento interno, englobamientos, termofusiones defectuosas, deformaciones, pérdidas de material, corrosión, entre otros tipos de fallas y prevenir así roturas que traen consigo grandes pérdidas por daños al medio ambiente, materiales y a las personas. Tesra ha desarrollado un sistema robótico de video inspección de ductos con un alcance de 500 metros. Los robots están equipados con cámaras zoom 40X, rotación en 360° en horizontal y 270° giro vertical, que permite visualizar en detalle y grabar en medios digitales la inspección. Además, cuenta con herramientas laser para cuantificar las dimensiones del daño interno en las tuberías. Finalmente, el sistema mantiene registro de todos los videos, hallazgos y eventos con acceso en línea para una mejor gestión del mantenimiento de la tubería.



## Extracción Rajo Abierto

### 1. Geoblast

La empresa también ha desarrollado un software que compara y consolida los datos geotécnicos y de tronadura en tiempo real, comparando la geometría planificada con el resultado real de los bancos. Aquello permite reducir significativamente la probabilidad de error, ya que la conciliación geotécnica manual para el diseño y construcción de taludes es un proceso demorado cuyo resultado tiende a ser inexacto. Desde el punto de vista del impacto económico, permite mantener la sustentabilidad de la operación minera a rajo abierto - operación donde el diseño de taludes es crítico para cumplir con las metas de seguridad y de costos de explotación - alargando la vida útil de las explotaciones y retardando la transición hacia una minería subterránea. De acuerdo con datos disponibles de Codelco, un 1% más de ángulo de talud en la zona Oeste de una mina como División Chuquicamata significaría la menor extracción de unos 300 millones de toneladas de lastre, lo que puede reducir el costo mina en unos US\$ 450 millones.

### 2. Geoblast

Geoblast ha desarrollado un servicio de monitoreo geotécnico remoto que tiene por finalidad entregar información en tiempo real de las condiciones geotécnicas que se puedan suscitar dentro de un rajo abierto, considerando condiciones actuales y posibles inestabilidades futuras, proporcionando así, confiabilidad para la continuidad operacional y la capacidad para tomar decisiones oportunas en términos de planificación. Para obtener la información indicada las operaciones mineras cuentan con radares de control, los cuales están estratégicamente ubicados y entregan información en tiempo real de los distintos desplazamientos que se presentan en los rajos o tajos abiertos. Estos se complementan con casetas de monitoreo topográfico automatizadas que entregan información de desplazamiento de los prismas que están instalados en cada uno de los bancos desarrollados, contribuyendo así a la seguridad y continuidad operacional.

### 3. Gesecology Group

Esta empresa desarrolló un sistema de gestión de vigilancia, análisis y alarma que permite integrar y procesar la información de múltiples sensores instalados en terreno en un único sistema informático, generando además una serie de indicadores y alarmas, para apoyar la toma de decisiones en las distintas áreas que lo requieran, en particular frente al problema de inestabilidad geotécnica de taludes o infraestructuras mineras. Los deslizamientos y caídas de macizos rocosos en las faenas mineras arriesgan la seguridad de los trabajadores y la paralización total de una mina, sin embargo, esta plataforma es capaz de advertir la ocurrencia de inestabilidades o colapsos, varios meses antes de su acontecimiento, permitiendo tomar decisiones ante eventuales inestabilidades geotécnicas con una antelación importante, de modo que el principal beneficio consiste en disponer información de manera eficiente, para poder tomar decisiones de manera oportuna, evitando la detención de faenas, las cuales significan una pérdida importante de dinero.

### 4. TIMining

TIMining ha desarrollado una plataforma digital que permite al área de geotecnia de una operación minera contar con información periódica, en línea, automatizada e integrada de todo lo que ocurre en la faena desde el punto de vista del comportamiento físico y mecánico de su infraestructura, incluidos los taludes. De este modo, contribuye con una mejor gestión del riesgo y, por lo tanto, a la continuidad operacional de un sitio minero. A través de la integración de un conjunto de fuentes de información y datos, permite a sus usuarios monitorear y comprender con mayor exactitud la situación geomecánica, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones de extracción y producción de manera más precisa e informada. Además, la plataforma tiene la capacidad de incorporar la información de ubicación de explotación de equipos móviles, como palas perforadoras, lo que permite determinar si hay una condición de riesgo

donde se opera y así evitar accidentes. Una de las ventajas del sistema consiste en ser totalmente independiente de los proveedores de instrumentos y sensores. A través del diseño de una interfaz resuelve los problemas de compatibilidad entre distintos sistemas, manteniendo un nivel de independencia de los proveedores de instrumentación. Esto les permite ofrecer una solución compatible e interoperable con las principales empresas de información geotécnica.

## Molienda y Flotación de Sulfuros

### 1. HighService Technology

HighService Technology ha diseñado y desarrollado diferentes tipos de sensores capaces de medir, con precisión decimal, variables como altura de fluidos (pulpa y espuma), detección de niveles de concentrado, sistema de medición para elementos de desgaste, medición de impactos en molinos (SAG y otros), apertura de compuertas y detección de puntos críticos mediante temperatura y detección de turbiedad. Esta tecnología es aplicable a molinos, válvulas, revestimientos, reactores, espesadores, celdas y columnas de flotación. Ejemplo de esta tecnología es el sistema de sensores de desgaste para revestimientos de molinos y placas (SSD) que permite conocer en línea y predecir con un elevado grado de precisión el deterioro de las piezas, planificar las mantenciones preventivas y cambiar los revestimientos gastados en su punto óptimo maximizando la producción, todo ello sin tener que detener los equipos. La solución permite aumentar la disponibilidad del molino, minimizando las detenciones lo cual resulta costoso para la operación. Dependiendo del tamaño del molino, tenerlo una hora sin funcionar cuesta entre US\$200 mil y US\$250 mil de producción.

### 2. JRI Ingeniería

JRI Ingeniería desarrolló un reómetro multicapilar en línea, el que consiste en un equipo que mide dos parámetros reológicos importantes: viscosidad y tensión de fluencia; y logra la disponibilidad de la información al operador de manera más rápida que enviar una muestra a laboratorio. El sistema permite que el operador tome mejores decisiones a la hora de espesar y despachar pulpa por los sistemas de transporte. El equipo mide, recopila y procesa datos brutos para así estimar los parámetros reológicos del fluido en cuestión, llegando a bajar los tiempos de obtención de dichos parámetros de seis horas a 20 minutos, facilitando el control de manera efectiva de un fluido con reología compleja, el cual bajo cambios mínimos en los niveles de agua podría frenar por completo la operación de una planta.

### 3. Netos

JRI Ingeniería desarrolló un reómetro multicapilar en línea, el que consiste en un equipo que mide dos parámetros reológicos importantes: viscosidad y tensión de fluencia; y logra la disponibilidad de la información al operador de manera más rápida que enviar una muestra a laboratorio. El sistema permite que el operador tome mejores decisiones a la hora de espesar y despachar pulpa por los sistemas de transporte. El equipo mide, recopila y procesa datos brutos para así estimar los parámetros reológicos del fluido en cuestión, llegando a bajar los tiempos de obtención de dichos parámetros de 6 horas a 20 minutos, facilitando el control de manera efectiva de un fluido con reología compleja, el cual bajo cambios mínimos en los niveles de agua podría frenar por completo la operación de una planta.



## Lixiviación y Electroobtención

### 1. Innovaxion

Esta empresa ha diseñado y desarrollado un sistema inteligente de calidad catódica para la continuidad operacional de las máquinas despegadoras de cátodos, basado en sensores e inteligencia artificial, lo que permite ofrecer una solución integral de hardware y software aportando directamente a la línea de productividad de este proceso. La solución es instalable en los equipos de la planta, teniendo la capacidad de realizar análisis instantáneo del cátodo y obteniendo en el proceso tasas de error inferiores al 0,2%. La solución ya probada industrialmente, identifica correctamente los criterios de falla con base en los parámetros específicos indicados por el área de refinería, los cuales son utilizados para entrenar algoritmos de machine learning.

### 2. Mining Systems

La empresa ha desarrollado un sistema de monitoreo y control de riego de pilas de lixiviación, proceso en el cual existían falencias algunas falencias como un escaso manejo en la gestión y disponibilidad de información a nivel de unidad de riego (módulo, bloque, franja, parcela, etc.) o la alta dependencia humana del proceso, entendiéndose que las áreas de trabajo son de gran extensión, que en muchos casos excede la escala humana. El principal problema era que los operadores y metalurgistas no disponían de información en tiempo real para poder actuar sobre el proceso de riego de forma oportuna, por lo que el desarrollo de esta solución permite automatizar el proceso y llevar un mejor control sobre el riego, de modo que facilita la cuantificación y permite saber con certeza cómo se riega la pila y de qué forma.

### 3. SK Godelius

La empresa ofrece un sistema de tele operación de roto pala en la planta de tratamiento de minerales en pilas de Chuquicamata. La solución permite que los operadores controlen estos grandes equipos desde de una sala de control, de esta forma se evita llevar a las personas a una zona potencialmente peligrosa (por tratarse de un proceso de lixiviado con ácido sulfúrico) y de difícil acceso, donde se encuentran estos equipos. El beneficio que trae esta solución consiste principalmente en el incremento de la productividad, ya que, pues el cambio de turno de operario se efectúa casi de forma inmediata, aumentando el tiempo de funcionamiento de la roto pala. Por otra parte, en temas de seguridad se cambia a los operarios de roto pala, desde una zona potencialmente peligrosa y de difícil acceso, hacia una cabina de comandos.

### 4. SK Godelius

SK Godelius se encuentra desarrollando un sistema de tele comando de apilador para implementar en la zona de las pilas dinámicas de la división Radomiro Tomic. Actualmente la máquina es controlada por un operador en terreno, el cual está expuesto a un alto riesgo de salud por la exposición al polvo, ácido y vibraciones, entre otros. La solución integra sistemas de comunicación, automatización y control, sumado a un sistema de cámaras de video de alta densidad, trasladando al operador a un centro de comando, permitiendo mejorar la calidad de vida de este mediante el alejamiento del riesgo al que ha estado expuesto por años. Además, es un cambio que aporta de manera sustancial a la productividad de la mina, ya que el trabajador estará mayor tiempo operando la máquina, ahorrando tiempo en los desplazamientos.

### 5. Tesra

La empresa Tesra desarrolló un sistema automático de monitoreo térmico en las naves de electrowinning (EW) que identifica y elimina cortocircuitos y fugas de energía en fases tempranas en las celdas y permite conocer el estado de situación general de la nave. Este tipo de anomalías son habituales en las naves EW en faenas de cobre y su

monitoreo suele ser manual, costoso y lento. El desarrollo de este sistema permitió a la minera usuaria aumentar en aproximadamente un 9.0% la eficiencia de corriente en la nave de EW. Además, se optimizó el proceso de monitoreo, dado que ya no son necesarias inspecciones en terreno lo que, no sólo tiene beneficios en productividad, sino que también en eliminar exposición de operadores a neblina ácida.

## **Extracción Rajo Abierto, Extracción Subterránea**

### **1. ME Elecmetal**

ME Elecmetal ha desarrollado soluciones de sensorización para plantas de producción. Su principal solución consiste en el análisis sintomático y predictivo de equipos rotatorios y sistemas de transmisión (motores, reductores, poleas, piñones, ejes, ventiladores, bombas, etcétera) a través de métodos como vibro análisis, termografía, ultrasonido aéreo, balanceo dinámico y alineamiento láser. Además, sus soluciones incluyen el análisis estructural y metrología de componentes mecánicos para la detección de fallas, defectos estructurales, monitoreo y caracterización de grietas; certificación de soldadura, desgastes y corrosión, entre otras fallas, a través de métodos como ultrasonido estructural, imagen ultrasónica, técnicas superficiales, entre otros.

### **2. Mining Tag**

Mining Tag ha desarrollado una gama de productos de sensorización con base en la tecnología RFID. Entre las soluciones diseñadas por la empresa, destacan las siguientes; sistemas de alerta de proximidad con otros equipos, personas o vehículos, visualizadas a través de pantallas a bordo en los equipos, logrando minimizar el riesgo de colisión y atropello de una manera efectiva. Operación inteligente de semáforos y señalización que permite priorizar el traslado de equipos críticos y mejorar los tiempos de desplazamiento. Localización en tiempo real múltiples personas, equipos y activos que, permite una gestión óptima ante emergencias y mayor control tanto para las salidas y entradas como la ubicación en tiempo real de equipos, vehículos y personas al interior del sector subterráneo.

### **3. SK Godelius**

SK Godelius realiza la dirección del proyecto de tele operación y robótica aplicada a la tronadura para Enaex. La solución permitirá ir trasladando operadores hacia centros de operaciones ubicados fuera de la faena, que hoy se desempeñan en un ambiente de condiciones hostiles e inseguras. Con esto, el proyecto permitirá viabilizar partes del yacimiento que actualmente no pueden ser explotados debido a condiciones de seguridad asociadas a inestabilidades del terreno, desprendimiento de rocas, cercanía a los taludes, entre otros.

### **4. Bailac**

Esta empresa desarrolló un sistema de monitoreo de presión y temperatura para neumáticos mineros por medio de sensores. La solución permite evitar la explosión inesperada de neumáticos, además de alargar su vida útil. Actualmente han incluido a este sistema tecnología de autorefrigeración interna para aumentar el desempeño en condiciones extremas, además de redes incluir redes inalámbricas propias para la conexión con distintos dispositivos, permitiendo su actualización y la solución de fallas remotas. Su principal impacto consiste en la disminución de costos de la empresa productiva al requerir menos unidades de neumáticos anuales, reduciendo las pérdidas tempranas de neumáticos. Además, la solución permite incrementar la seguridad en las operaciones debido a la reducción de las explosiones repentinas de neumáticos.



## 5. HighService Technology

La empresa también ha desarrollado una línea de productos basados en la detección de proximidad mediante tecnología de alta precisión, enfocada en personas, equipamiento móvil-fijo, y restricción de zonas, que estén expuestos a potenciales colisiones y/o atropellos. Estos productos permiten tener un completo control en tiempo real de operarios, equipos móviles y estacionarios, entregando diferentes indicadores de operación. Esta tecnología es aplicable a grúas y operarios, camiones y vehículos menores, racks y estanterías, equipos en mantención y maquinaria de producción, lo que permite generar alertas de accesos no autorizados a zonas de riesgo, alertas de potenciales colisiones, información de circulación de equipos móviles en zonas no permitidas y supervisión remota de personal.

## 6. Vizutire

La tecnología Vizutire consiste en ingresar ondas ultrasónicas perfectamente acondicionadas a la pared del neumático. A través del rebote de estas ondas se puede determinar y evaluar los daños con el 99% de exactitud. Específicamente, el ultrasonido permite detectar el tamaño y ubicación de los distintos tipos de daño en los neumáticos como desgarros de material, separaciones entre elementos estructurales del neumático, degradación de compuestos del caucho vulcanizado, rotura de cuerdas o mallas de acero estructurales. La solución desarrollada por la empresa permite, la detección temprana y precisa de daños internos del neumático antes de declararlo como inutilizable, la evaluación de manera rápida y en terreno, la viabilidad y conveniencia de una reparación, evitando costos adicionales de traslado de unidades y el análisis y certificación de calidad de la adherencia del caucho en reparaciones y recauchajes. La comercialización y operación de Vizutire se sustenta bajo dos modelos: licenciamiento y servicio directo. El modelo de licenciamiento permite a los reparadores y recauchadores certificar la calidad de las reparaciones, evaluar la dimensión y cantidad de reparaciones por neumático. Por su parte, a los fabricantes les permite contar con asistencia técnica y evaluaciones de nuevos productos.

## 7. Indimin

La empresa diseñó y construyó un entrenador personal digital pensado para orientar y mejorar el manejo de los equipos móviles mineros de manera de contribuir al aumento productivo en las operaciones. La solución permite disminuir los problemas de productividad asociados al comportamiento operacional de los trabajadores de equipos de carga y transporte, mediante tecnologías digitales que capturan, analizan y entregan información relevante a los trabajadores y sus jefes de turno. Lo anterior consiste en entregar herramientas digitales a las personas para que puedan entender sus brechas productivas, visualizar su desempeño de manera permanente e identificar aspectos a mejorar. El sistema desarrollado por INDIMIN toma información desde sensores de equipos, softwares de gestión de la producción, condiciones del sitio, perfil de recursos humanos, entre otros, y los combina con motores de inteligencia artificial y analítica avanzada. A partir de modelos matemáticos, se recoge el conocimiento experto de las mejores prácticas de la operación en la mina. La solución se compone de distintos módulos que se pueden adquirir bajo la modalidad de software como servicio (SaaS) y se basa en el número de trabajadores que se quiera analizar.

## 8. Axys

AXYS desarrolló un Sistema Integrado de Monitoreo y Control de Palas y Frente de Carguío, el cual se basa en observar, recolectar y procesar en tiempo real, mediante sensores, lo que hace la pala y los esfuerzos que ésta realiza durante la operación. A través de la aplicación de modelos matemáticos y reglas en tiempo real, determina y valida, en cada punto de operación los consumos de energía y esfuerzos de la máquina, así como las desviaciones de buenas prácticas operacionales. La plataforma fue diseñada para que cada pala incorpore un computador que se encargue de capturar y analizar su operación y situaciones anómalas, lo que permite no depender de un sistema central para su correcta operación, no obstante, la información generada se puede centralizar para entregar más antecedentes



del tipo y características de las operaciones realizadas, así como del estado de los componentes de la pala y dar apoyo al mantenimiento de ellas. Esta solución consiste en una plataforma de hardware y otra de software. La primera está compuesta por concentradores de datos, sensores, un computador a bordo de la pala, una pantalla en la cabina del operador y cámaras. La segunda, en tanto, captura, procesa, analiza y modela el movimiento y esfuerzos de la pala para evaluar en tiempo real las acciones y tipos de maniobras que realiza el operador, teniendo la capacidad de entregar información directa y comprensiva al operador para ayudarlo a mejorar el uso de la pala, reducir fallas y extender su disponibilidad.

**Lixiviación y Electroobtención, Extracción Rajo Abierto, Extracción Subterránea**

**1. Aplik (Lixiviación y Electro obtención, Extracción Rajo Abierto & Extracción Subterránea)**

Aplik ha desarrollado tecnología de Visión Artificial, que consiste en el diseño de sistemas de visión por medio de cámaras electrónicas, con procesamiento y análisis de imágenes. Las imágenes son generadas a partir de luz visible, infrarrojo (termografía infrarroja), ultrasonido, rayos X o resonancia nuclear magnética. El análisis de imágenes en varios casos busca emular la capacidad interpretativa del ser humano, pero con mayor velocidad y repetibilidad. Esta tecnología ha permitido el diseño de diversas soluciones para la minería, como el sistema de visión de cátodos que inspecciona cátodos de cobre a altas velocidades, evaluando características físicas que determinan su grado de calidad. Otras soluciones innovadoras diseñadas por la empresa consisten en sistemas de visión para revisar el estado de los bordes de los cátodos permanentes de acero inoxidable en las plantas de electroobtención de cobre y sistemas de monitoreo que buscan predecir anticipadamente el corte de correas. Aplik también presenta un nuevo instrumento para el control de pilas de lixiviación de cobre que detecta fallas operacionales en el sistema de riego, específicamente para la detección de apozamientos y zonas sin regar. Al mismo tiempo, el sistema también permite detectar filtraciones, roturas de tuberías, aspersores caídos o fallas en el sistema de goteros. En solo 12 minutos, el sistema puede escanear y evaluar automáticamente una pila de 600m x 400m. El sistema entrega un mapa que indica la distribución del regado. Este mapa permite a los operadores tomar acciones correctivas en forma oportuna.

**Lixiviación y Electroobtención, Molienda y Flotación de Sulfuros, Fundición y Refinería, Entrega**

**1. MIRS**

MIRS es la empresa líder en soluciones robóticas para la minería y la industria pesada, con aplicaciones robóticas que abarcan diversos procesos de la industria y permiten aumentar la eficiencia y disminuir los costos operacionales. Entre sus principales soluciones robóticas destacan; despegadora robótica de láminas iniciales, despegadora robótica de cátodos, tomador robótico de muestras de concentrado en camiones, tomador robótico de muestras en maxi sacos, robot para apertura y cierre de pasajes en hornos de fusión, pulidor robótico de placas base, robot para retiro y torqueo de tuercas en molinos SAG, manipulador robótico de palmetas de trómel. Todas estas soluciones se orientan principalmente a los siguientes factores que impulsan la productividad; reducción del costo operacional, aumento de la confiabilidad de los procesos, aumento de la calidad del producto final y mejora de la seguridad y salud ocupacional.

**Resumen cualitativo de las propuestas identificadas**

Con la finalidad de facilitar el análisis cuantitativo de las propuestas identificadas y el posterior análisis de las propuestas de valor, estrategias competitivas y cambios en los modelos de negocios por parte de los proveedores vía manufactura avanzada, se recopiló en una tabla resumen la información encontrada, mediante fuentes primarias o fuentes secundarias, sobre la oferta actual por parte de los proveedores. El resultado se muestra a continuación.

Tabla 33.A  
Principales  
propuestas  
identificadas:

Fuente: Elaborado  
por IDC

Proceso	Empresa	Solución	Grupo Solución	Impacto
Exploración	EDM Exploration Drill Masters	Máquina automática y de operación remota para perforación diamantina	Operación remota y automatización de equipos	Mejora en la seguridad y la productividad en los procesos de perforación
	Tecnoexplora	Delineamiento geométrico del cuerpo mineralizado a través de sismómetros en superficie	Delineamiento exploratorio	Exploración de grandes áreas a bajo costo
Extracción Rajo Abierto/Extracción Subterránea	Caterpillar	Sistema de vehículos autónomos	Navegación autónoma	Aumentos del 20% en la productividad general y reducciones de hasta un 20% en los costos
	Komatsu	Navegación autónoma para el desplazamiento y transporte de cargas	Navegación autónoma	Mejoras en seguridad, continuidad y costos mediante la operación continua
		Programas de mantenimiento predictiva	Mantenimiento predictiva	Ahorro tiempo y dinero; menos tiempo de inactividad para mantenimiento, menos interrupciones de producción para mantenimiento, menor costo de repuestos y suministros
		Sistema de gestión de condiciones a distancia	Mantenimiento predictiva	Permite un esfuerzo focalizado en mayores niveles de confiabilidad, productividad y rentabilidad
	Soilmec	Estaciones de trabajo para proveer soluciones de ingeniería	Servicios especializados	Estudiar cómo reaccionan las máquinas cuando se enfrentan a problemas en situaciones reales y de esta forma prever los desafíos antes de que surjan y proveer soluciones a los clientes
	ME Elecmetal	Soluciones de sensorización para plantas de producción	Mantenimiento predictiva	Detección de fallas, defectos estructurales y caracterización de grietas, desgastes y corrosión, entre otras fallas
	Mining Tag	Productos de sensorización RFID	Navegación autónoma	Minimizar el riesgo de colisión y atropello, priorizar el traslado de equipos críticos y mejorar los tiempos de desplazamiento
	SK Godelius	Teleoperación y robótica aplicada a la tronadura	Operación remota y automatización de equipos	Viablez partes del yacimiento que actualmente no pueden ser explotados debido a condiciones de seguridad
	Bailac	Sistema de monitoreo de presión y temperatura para neumáticos	Mantenimiento predictiva	Reducir las pérdidas tempranas de neumáticos e incrementar la seguridad en las operaciones
	HighService Technology	Productos de detección de proximidad	Navegación autónoma	Generar alertas de accesos no autorizados, de potenciales colisiones, información de circulación y supervisión remota de personal
	Vizutire	Testeo de neumáticos mediante ultrasonido	Mantenimiento predictiva	Detección temprana y precisa de daños internos del neumático
	INDIMIN	Entrenador personal digital	Asistencia al operador	Disminuir los problemas de productividad asociados al comportamiento operacional de los trabajadores de equipos de carga y transporte
	AXYS	Sistema Integrado de Monitoreo y Control de Palas y Frente de Carguío	Asistencia al operador	Entregar información directa y comprensiva al operador para ayudarlo a mejorar el uso de la pala, reducir fallas y extender su disponibilidad
Extracción Subterránea	Komatsu	Sistema inteligente y conectado para frentes largos	Monitoreo de condiciones de infraestructura	Facilita la toma de medidas inmediatas que afectan la productividad general de la mina
	Sandvik	Automatización avanzada para flotas de cargadoras y camiones subterráneos	Navegación autónoma	Mayor productividad, seguridad y rentabilidad en las operaciones mineras
	Normet	Programa de formación para el proceso de lanzamiento de concreto mediante simulador	Programas de simulación	Mejora del 23 % en la eficiencia operativa
	Tesra	Sistema robótico de video inspección de ductos	Monitoreo de condiciones de infraestructura	Mejor gestión del mantenimiento de la tubería y prevenir roturas
Extracción Rajo Abierto	Komatsu	Programa de entrenamiento y monitoreo	Asistencia al operador	Reducción anual de hasta 40% en los impactos de giro, reducción del desgaste de las máquinas y aumento de su disponibilidad
		Sistema avanzado de visión para palas eléctricas de cables	Asistencia al operador	Evitar el costoso derrame de material debido a sobrecargas, reduce el daño estructural a la pala y los camiones de acarreo y facilita los procedimientos rápidos y simples de calibración a largo plazo
	Epiroc	Soluciones de automatización de equipos de perforación	Operación remota y automatización de equipos	Mejorar la seguridad, la productividad y los costos operativos de los equipos de perforación
	Sandvik	Automatización de la perforación de superficies	Operación remota y automatización de equipos	Perforar más agujeros en menos tiempo, al tiempo que aumenta significativamente la seguridad y el rendimiento de perforación
	Gesecology Group	Sistema de gestión de vigilancia, análisis y alarma para inestabilidad geotécnica de taludes o infraestructuras mineras	Monitoreo de condiciones de infraestructura	Apoyar la toma de decisiones frente al problema de inestabilidad geotécnica de taludes o infraestructuras mineras
	TIMINING	Plataforma digital para la gestión de infraestructura de faenas	Monitoreo de condiciones de infraestructura	Contribuir a una mejor gestión del riesgo y continuidad operacional de un sitio minero
	Geoblast	Servicio de monitoreo geotécnico remoto	Monitoreo de condiciones de infraestructura	Confiabilidad para la continuidad operacional y la capacidad para tomar decisiones oportunas en términos de planificación
Monitoreo en tiempo real para datos geotécnicos y de tronadura		Monitoreo de condiciones de infraestructura	Mantener la sustentabilidad de la operación minera	

Tabla 33.B  
Principales  
propuestas  
identificadas:

Proceso	Empresa	Solución	Grupo Solución	Impacto
Molienda y Flotación de Sulfuros	Metso	Seguimiento mineral en correas transportadoras	Seguimiento mineral	Facilitar la toma de decisiones dependientes de la distribución granulométrica del mineral
		Pruebas de trituración, molienda y flotación con equipos de laboratorio y escala piloto	Servicios especializados	Desarrollar continuamente soluciones más eficientes y sostenibles para sus clientes
		Monitoreo acústico de molinos	Monitoreo de maquinaria o procesos	Molido y utilización de energía más eficientes
	Outotec	Sistema analizador de partículas a lo largo de cinta transportadora	Seguimiento mineral	Estabilizar molinos AG y SAG, maximizar el rendimiento y la eficiencia del proceso, mejorar la analítica del circuito de molienda
		Sistema de sensor de carga de molino	Monitoreo de maquinaria o procesos	Estabilizar y optimizar los procesos de molienda para asegurar un correcto funcionamiento y un mayor rendimiento
	HighService Technology	Sistema de sensores de desgaste para revestimientos de molinos y placas	Mantenimiento predictiva	Aumentar la disponibilidad del molino, minimizando las detenciones
	JRI Ingeniería	Reómetro multicapilar en línea	Monitoreo de maquinaria o procesos	Facilitar la toma de decisiones a la hora de espesar y despachar pulpa por los sistemas de transporte
Netos	Medición en tiempo real del nivel de llenado molino SAG	Monitoreo de maquinaria o procesos	Facilitar la toma de decisiones tácticas y estratégicas a los ingenieros a cargo del molino SAG	
Fundición y Refinería	Outotec	Monitoreo inteligente de revestimientos refractarios de horno	Mantenimiento predictiva	Reducir paradas no planificadas, aumentar la seguridad en el sitio, mejorar la planificación de mantenimiento y extender la vida útil del revestimiento
Lixiviación y Electroobtención	SK Godelius	Sistema de teleoperación de rotopala	Operación remota y automatización de equipos	Incremento de la productividad y aumento de la seguridad de los operarios
		Sistema de telecomando de apilador	Operación remota y automatización de equipos	Incremento de la productividad y aumento de la seguridad de los operarios
	Tesra	Sistema automático de monitoreo térmico en las naves de electrowinning (EW)	Monitoreo de maquinaria o procesos	Aumentar en aproximadamente un 9.0% la eficiencia de corriente en la nave de EW, optimizar el proceso de monitoreo y mejorar la seguridad
	INNOVAXION	Sistema inteligente de calidad catódica	Monitoreo de maquinaria o procesos	Identifica correctamente los criterios de falla con base en los parámetros específicos indicados por el área de refinería
	Mining Systems	Sistema de monitoreo y control de riego de pilas de lixiviación	Monitoreo de maquinaria o procesos	Automatizar el proceso y llevar un mejor control sobre el riego
Repuestos, Partes y Piezas	Metso	Soluciones mediante el uso de la impresión 3D	Impresión 3D de componentes	Fabricar componentes complejos y de vanguardia más rápido, con mayor confiabilidad, seguridad y disponibilidad de componentes.
Lixiviación y Electroobtención/Extracción Rajo Abierto/Extracción Subterránea	Aplik	Visión Artificial	Monitoreo de maquinaria o procesos	Inspeccionar calidad o detectar fallas para permitir a los operadores tomar acciones correctivas en forma oportuna
Lixiviación y Electroobtención/Molienda y Flotación/Fundición y Refinería/Entrega	MIRS	Aplicaciones robóticas	Aplicaciones Robóticas	Reducción del costo operacional, aumento de la confiabilidad de los procesos, aumento de la calidad del producto final y mejora de la seguridad y salud ocupacional
Extracción Rajo Abierto/Extracción Subterránea/Molienda y Flotación de Sulfuros/Fundición y Refinería/Lixiviación y Electroobtención/Entrega	Metso	Sistema de rastreo de mineral	Seguimiento mineral	Ajustar y optimizar parámetros operativos y estrategias de control, lo que reduce los costos y aumenta la rentabilidad

Fuente: Elaborado por IDC



## Análisis cuantitativo de las propuestas identificadas

Entre las entrevistas realizadas a proveedores y la utilización de fuentes secundarias se logró recoger información de un total de 42 empresas proveedoras, las cuales representan un 0,9% del total de proveedores de la minería en Chile, ya que, de acuerdo con las cifras del estudio Productividad en la Gran Minería del Cobre realizado por la Comisión Nacional de Productividad el país cuenta con un total de 4.500 proveedores para la minería. Cabe mencionar que, si bien la muestra de empresas es pequeña respecto del universo considerado, esto se debe principalmente a que el presente estudio es de carácter exploratorio, por lo que los resultados son más bien descriptivos o cualitativos y no de carácter estadístico o cuantitativo.

Entre las dieciocho entrevistas realizadas a proveedores se identificó un total de doce empresas que efectivamente poseen soluciones para la minería vía manufactura avanzada, mientras que la totalidad de las empresas identificadas mediante fuentes secundarias cuentan efectivamente con propuestas de manufactura avanzada, ya que el objetivo fue precisamente identificar compañías que contarán con casos de éxito en la implementación de manufactura avanzada.

De las 42 empresas proveedoras se logró identificar un total de cuarenta y cinco propuestas vía manufactura avanzada, siendo veintiuna de ellas de proveedores internacionales y veinticuatro de proveedores nacionales. El número de propuestas identificadas indica que algunos proveedores de la muestra poseen una o más propuestas vía manufactura avanzada, conformando un portafolio de este tipo de soluciones. Por otra parte, las propuestas identificadas en la muestra de proveedores se pudieron agrupar de acuerdo al mercado primario en el cual participan, permitiendo analizar cuáles son los mercados que presentan mayor cantidad de soluciones vía manufactura avanzada actualmente.

**Tabla 34. Distribución de las propuestas identificadas por mercado primario de la solución**

Mercado Primario	Nacional	Internacional
Exploración	1	1
Extracción Rajo Abierto	4	4
Extracción Subterránea	1	3
Extracción Rajo Abierto/Extracción Subterránea	8	5
Molienda y Flotación de Sulfuros	3	5
Fundición y Refinería		1
Lixiviación y Electroobtención	5	
Repuestos, Partes y Piezas		1
Lixiviación y Electroobtención/Extracción Rajo Abierto/Extracción Subterránea	1	
Lixiviación y Electroobtención/Molienda y Flotación/Fundición y Refinería/Entrega	1	
Extracción Rajo Abierto/Extracción Subterránea/Molienda y Flotación de Sulfuros/Fundición y Refinería/Lixiviación y Electroobtención/Entrega		1
<b>Grand Total</b>	<b>24</b>	<b>21</b>

Fuente: Elaborado por IDC

Como se puede observar en la tabla anterior, la muestra de proveedores nacionales se inclina por soluciones para los mercados de extracción (útiles tanto a rajo abierto como subterránea), lixiviación y electro obtención o molienda y flotación de sulfuros. Se puede apreciar también que los proveedores nacionales de la muestra poseen pocas o nulas soluciones de manufactura avanzada para los mercados de exploración, fundición y refinería, entrega y repuestos partes y piezas.

Por otra parte, se puede apreciar que la muestra de proveedores internacionales también se orienta a soluciones útiles para los mercados de extracción y molienda y flotación de sulfuros. No obstante, a diferencia de la muestra de proveedores nacionales, se puede observar que la muestra de proveedores internacionales posee soluciones vía manufactura avanzada para todos los mercados considerados en el presente estudio.

Figura 30. Distribución de las propuestas nacionales e internacionales por mercado de la solución.



Fuente: Elaborado por IDC

Si bien algunos de los proveedores de la muestra indican que el impacto de sus soluciones es tangible monetariamente o bien porcentualmente en reducciones de costos, aumentos de productividad o incrementos en las condiciones de seguridad, estos proveedores son tan sólo unos pocos, predominando los proveedores que indican que sus propuestas poseen potenciales beneficios, pero sin ser directamente cuantificables o tangibles para las empresas mineras.

Entonces, se identifica el problema tanto para proveedores nacionales como internacionales de establecer el impacto real, de manera tangible, para sus soluciones vía manufactura avanzada. Dar visibilidad de los beneficios que trae la implementación de manufactura avanzada, en términos monetarios, es particularmente importante en una industria conservadora como lo es la industria minera en Chile. Esta industria posee características singulares que hacen de la innovación un proceso particularmente desafiante.

- Base de recursos finitos subyacente a cada inversión.
- Alta intensidad de capital incluso de los proyectos más pequeños.
- Ciclos muy largos de capital frente a ciclos de negocio comparativamente cortos.
- Altos costos fijos e ingresos altamente sensibles a los movimientos en los precios del metal.

La combinación de estos factores hace de la industria minera, una industria que tiene un costo de fallas extremadamente alto. Una de las consecuencias de aquello es que los enfoques convencionales para el desarrollo de nuevas soluciones resultan a menudo en la no implementación de la solución principalmente por ser tecnologías no probadas, prefiriendo entonces soluciones más convencionales.

Por otra parte, al momento de preguntar a los proveedores que porcentaje de sus ingresos estará destinando a invertir para el desarrollo de propuestas de manufactura avanzada durante los próximos cinco años, se pudo identificar que un grupo mayoritario indicó que esta inversión sería de entre un 10% y un 15% de los ingresos durante los próximos años, lo que es particularmente llamativo dado que actualmente este mismo grupo indica no destinar más de un 2% en el mismo ítem.

Además, gran parte de ellos indican que la incorporación de manufactura avanzada durante los próximos años les permitirá aumentar sus ingresos, reducir sus costos o aumentar sus eficiencias, no obstante, indican también que uno de los principales inhibidores de la implementación efectiva de manufactura avanzada son las brechas culturales o de confianza.

Por lo que se identifica un segundo problema que consiste en la existencia de proveedores que conocen los potenciales beneficios que podría traer la incorporación de manufactura avanzada en sus procesos, sin embargo, aquello no se traduce efectivamente en sus inversiones para el desarrollo de estas soluciones. Esta postura de los proveedores se puede asociar también a la actitud conservadora de las empresas mineras indicada anteriormente, ya que los proveedores conocen de antemano el actuar de sus principales clientes. Entonces la preferencia de las empresas mineras por soluciones convencionales, por sobre tecnologías no probadas, actuaría como un inhibidor de la adopción de manufactura avanzada por parte de los proveedores.

## Caracterización de la oferta de manufactura avanzada

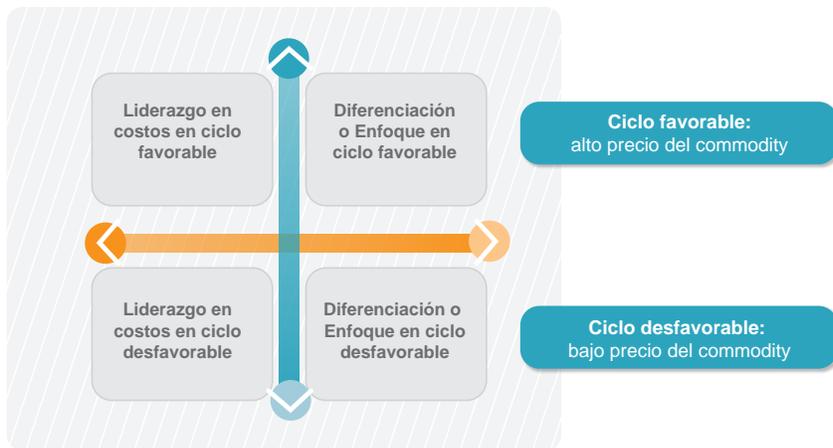
Para realizar un análisis de las estrategias competitivas de los proveedores mostrados anteriormente se utilizará una adaptación a la minería de las estrategias competitivas planteadas por Michael Porter, para ello se recurre a las definiciones de diferenciación, liderazgo en costos y enfoque. La primera apunta a diferenciarse por medio de la calidad de los productos y cobrar un precio mayor por estos. La segunda apunta a ofrecer un producto estandarizado, pero a un costo menor que la competencia, por tanto la ganancia está en la producción. La tercera estrategia apunta a enfocarse a un grupo reducido de clientes, enfocándose en sus necesidades específicas .

- Estrategia de diferenciación: centrada en un producto diferenciado, busca ser percibido como único en el mercado con alta diferenciación horizontal. Se apunta a un grupo más reducido de clientes, los cuales están dispuestos a pagar más por el producto o servicio.
- Liderazgo en costos: se fundamenta en mantener costos bajos para ofrecer un producto de tipo estandarizado con escasa diferenciación horizontal. De esta forma, el margen de ganancia se obtiene por medio de costos bajos y precio promedio.
- Estrategia de enfoque: se centra en las necesidades de un segmento del mercado y en un segmento de la línea del producto, bajo el supuesto que se puede ser más eficaz que atendiendo al mercado general. Con esta estrategia se buscan diversas ventajas relativas a costos en el segmento, alta participación en el mismo y rendimientos mayores al promedio.

Como se puede apreciar en las tablas 33.A y 33.B. los proveedores que están ofreciendo actualmente productos o servicios vía manufactura avanzada para la minería se enfocan principalmente en estrategias competitivas de diferenciación o enfoque, mediante un producto diferenciado o mediante la atención a una necesidad. Sin embargo, no es correcto indicar que la estrategia de liderazgo de costos queda de lado para este tipo de

proveedores, ya que también deben apelar a la reducción de costos para la minería, fundamentalmente cuando existe un ciclo en el cual el precio del cobre es bajo. De esta forma las estrategias competitivas de los proveedores de manufactura avanzada para la minería quedan definidas de la siguiente manera:

**Figura 31. Estrategias competitivas de los proveedores de manufactura avanzada para la minería**



Fuente: Elaborado por IDC, adaptación de estrategias de Porter a la industria minera local.

Entonces, cabe destacar que, si bien los proveedores de manufactura avanzada tienden enfocarse naturalmente en una estrategia de diferenciación o enfoque, deben tener presente la flexibilización del modelo de negocio bajo el cual ofrecer el valor agregado del producto o servicio a la minería.

De este modo, son recomendables las estrategias de diferenciación o enfoque en ciclos favorables, ya que en estos periodos las empresas mineras tienen una mayor disposición a invertir en tecnologías, innovación y desarrollo; las propuestas de los proveedores son analizadas no solo en la línea base, sino también en la propuesta de valor que pueda tener por sobre la competencia. En otras palabras, en los ciclos favorables del precio del cobre las compañías mineras están dispuestas a adjudicar a un proveedor más caro si la propuesta tiene un adicional que genera valor al proceso para el cual se está licitando el equipamiento. Mientras que en ciclos desfavorables son recomendables las estrategias de liderazgo en costos, ya que en estos periodos las empresas mineras tienden a optimizar la rentabilidad de las operaciones considerando solo el requerimiento de la línea base de sus licitaciones, en otras palabras, a partir de lo observado, las compañías mineras no toman en cuenta el valor extra que puede aportar una solución (y por consiguiente es más cara), y se centra en el cumplimiento de la línea base al proveedor de menor costo.

Por otra parte, estrategias de liderazgo en costos en ciclos favorables podrían ser recomendadas en casos de que las empresas mineras expandan las líneas base de licitación, considerando beneficios a largo plazo, mientras que estrategias de diferenciación o enfoque en ciclos desfavorables no son recomendadas principalmente debido a la actitud conservadora de las empresas mineras en cuanto a la adopción de nuevas tecnologías.

Si bien podría pensarse que con un precio bajo del cobre, la empresa minera debería adoptar las tecnologías más eficientes o las soluciones que le permitan reducir costos, en la práctica esta situación no ocurre, las compañías mineras son reacias a compartir el riesgo con los proveedores y fabricantes para desarrollar e implementar soluciones que no están probadas, eso hace que se centren en la operación tradicional privilegiando al proveedor con menor costo, por consiguiente no valoran el valor agregado que puede proporcionarles una determinada solución. Esta situación se observa en todos los mercados primarios.

## Caracterización de la propuesta de valor y su evolución

En cuanto a las propuestas de valor que han generado los proveedores a través de la oferta vía manufactura avanzada para la minería se utilizará como referencia el modelo de negocios Lean Canvas, propuesto por Alexander Osterwalder, el cual considera nueve módulos, los cuales son descritos brevemente a continuación.

### 1. Segmentos de mercado

Define los diferentes grupos de personas o entidades a los que se dirige una empresa.

### 2. Propuestas de valor

Describe el conjunto de productos y servicios que crean valor para un segmento de mercado específico.

### 3. Canales

Explica el modo en que una empresa se comunica con los diferentes segmentos de mercado para llegar a ellos y proporcionarles una propuesta de valor.

### 4. Relaciones con clientes

Describe los diferentes tipos de relaciones que establece una empresa con determinados segmentos de mercado.

### 5. Fuentes de ingresos

Se refiere al flujo de caja que genera una empresa en los diferentes segmentos de mercado.

### 6. Recursos clave

Describe los activos más importantes para que un modelo de negocio funcione.

### 7. Actividades clave

Describe las acciones más importantes que debe emprender una empresa para que su modelo de negocio funcione.

### 8. Asociaciones clave

Describe la red de proveedores y socios que contribuyen al funcionamiento de un modelo de negocio.

### 9. Estructura de costos

Describe todos los costos que implica la puesta en marcha de un modelo de negocio.

Teniendo como base los módulos del modelo Lean Canvas, se pudo establecer que el mercado de proveedores actualmente se encuentra evolucionando en su propuesta de valor gracias a las propuestas de manufactura avanzada, cambiando principalmente en sus propuestas de recursos clave, actividades clave, asociaciones clave y fuentes de ingreso.

A continuación, se presentan tres ejemplos de ello, uno para proveedores de maquinaria de producción, otro para proveedores de instrumentos y finalmente uno para proveedores de software de modelamiento geotécnico. Cabe destacar que actualmente el mercado se encuentra en la segunda etapa del modelo y se espera que el mercado migre a la tercera etapa dentro de los próximos años mediante un desarrollo aún más fuerte de la manufactura avanzada.

## Proveedores de maquinaria de producción

Figura 32. Evolución de propuesta de valor para proveedores de maquinaria de producción mediante MA.



Fuente: Elaborado por IDC

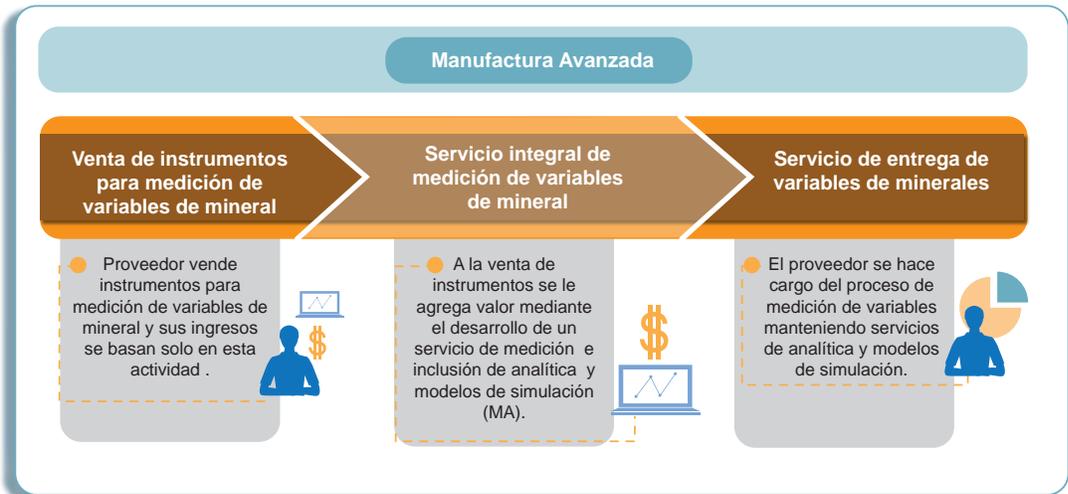
Como se puede apreciar en la figura 32, el proveedor transforma su propuesta de valor tradicional, agregando nuevos recursos clave como sistemas de sensorización para realizar mantenimiento preventiva o bien sistemas para la operación de maquinaria por el propio proveedor. Esto último transforma también las actividades clave del proveedor, el cual mejora su servicio tradicional mediante la inclusión de un servicio de alto valor como la gestión de las máquinas de la operación.

Además, el proveedor se transforma en un partner clave del negocio minero, cambiando su relacionamiento desde uno netamente transaccional hacia otro de socio clave. A su vez las asociaciones clave del proveedor se pueden ver ampliados mediante alianzas con empresas del área de sensorización, conectividad o software, por ejemplo.

El transformarse en un proveedor que se encarga de la operación completa de la maquinaria, involucra un cambio radical en las fuentes de ingresos, ya que pasa de ser un proveedor de maquinaria (en el que los ingresos dependen principalmente de ello) a ser un proveedor que ofrece un servicio de mayor valor agregado como la operación integral de las máquinas.

## Proveedores de instrumentos

Figura 33. Evolución de propuesta de valor para proveedores de instrumentos mediante MA.



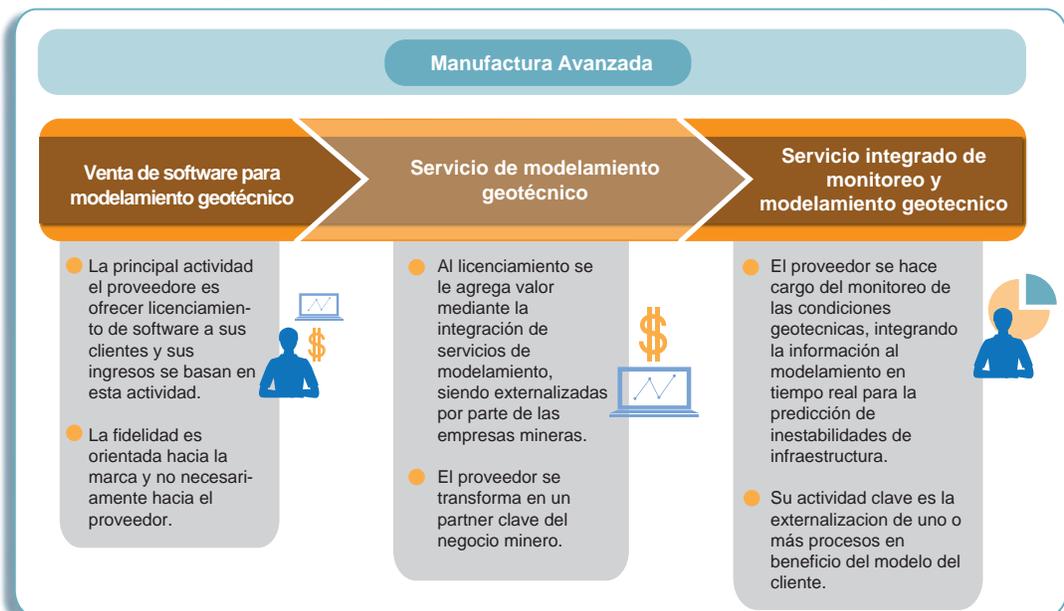
Fuente: Elaborado por IDC

Como se puede apreciar en la figura 6, el proveedor transforma su propuesta de valor tradicional, agregando nuevos recursos clave como modelos de simulación o bien sistemas propios la externalización para el servicio de análisis mineral. Esto último transforma también las actividades clave del proveedor, el cual mejora su servicio tradicional mediante la inclusión de un servicio de alto valor como el servicio de entrega de variables minerales.

El transformarse en un proveedor que se encarga de la operación completa de la medición y análisis de variables minerales, involucra también un cambio radical en las fuentes de ingresos, ya que pasa de ser un proveedor de instrumentos para la minería, en el que los ingresos dependen principalmente de ello, a ser un proveedor que ofrece un servicio de mayor valor agregado como la externalización de la interpretación de variables minerales.

## Proveedores de software de modelamiento

Figura 34. Evolución de propuesta de valor para proveedores de software de modelamiento geotécnico mediante MA.



Fuente: Elaborado por IDC

Como se puede apreciar en la figura 34, el proveedor transforma su propuesta de valor tradicional, agregando nuevos recursos clave como sistemas de sensorización para realizar el monitoreo de las condiciones geotécnicas. Aquello transforma también las actividades clave del proveedor, el cual mejora su servicio tradicional mediante la inclusión de un servicio de alto valor como el modelamiento con base en datos en tiempo real.

Además, el proveedor se transforma en un socio clave del negocio minero, cambiando su relacionamiento desde un relacionamiento netamente transaccional hacia un relacionamiento de socio clave. A su vez, las asociaciones clave del proveedor se pueden ver ampliados mediante alianzas con empresas del área de sensorización, conectividad o software, por ejemplo.

El transformarse en un proveedor que se encarga de la operación completa del control de inestabilidades geotécnicas involucra un cambio radical en las fuentes de ingresos, ya que pasa de ser un proveedor de software, en el que los ingresos dependen principalmente de ello, a ser un proveedor que ofrece un servicio de mayor valor agregado como el monitoreo y modelamiento en tiempo real para la predicción de inestabilidades de infraestructura.

Los modelos planteados anteriormente sirven como ejemplo y su abstracción o generalización puede ser aplicada a diversos tipos de proveedores de acuerdo con su oferta de valor. De este modo, se pueden agrupar las propuestas de valor de los proveedores bajo un mismo modelo general, el cual ejemplifica cómo ha evolucionado el modelo de negocio de los proveedores con base en tecnologías de manufactura avanzada y sirve como base para establecer modelos específicos para proveedores de productos o servicios específicos.

Figura 35. Modelo general de evolución de propuesta de valor para proveedores mediante MA.



Fuente: Elaborado por IDC

No obstante, se vuelve necesario indicar si las empresas mineras estarían interesadas actualmente en el estado de mayor valor agregado, en donde un tercero se encarga de una parte de la operación o bien de la operación completa utilizando tecnologías de manufactura avanzada.

Para validar este supuesto, se consultó la muestra de cuatro empresas mineras de qué manera actúan los líderes del negocio con respecto a las iniciativas de modernización del proceso minero. Ante ello, las compañías mineras indicaron que los líderes no están dispuestos a realizar grandes cambios en modernizaciones del proceso minero y que actualmente los esfuerzos se concentran en proyectos aislados de la operación principal. Indicaron también que en el mejor de los casos los esfuerzos se enfocan en establecer proyectos de colaboración con los proveedores para renovar las tecnologías utilizadas actualmente.

No obstante, el estudio ¿Por qué subcontratan las empresas mineras en Chile?, realizado por Cochilco, concluye que en la medida que mayor sea el precio del cobre, las compañías tienden a intensificar la subcontratación, explicándose principalmente por el hecho de que cuando los precios están altos, las faenas desean aprovechar los beneficios derivados de ello, y como el factor variable en el corto plazo es el trabajo, tienden a intensificar el uso de la mano de obra, en particular flexible.

Asimismo, se indica que el tamaño de las faenas es importante. Es decir; a mayor tamaño, mayor el número de subcontratados en términos relativos sobre el número de trabajadores propios. Esto podría deberse a que en la medida que una firma crece se forman relaciones más complejas lo que aumenta el costo de monitoreo. Una forma de enfrentar este mayor costo es aumentando el nivel de subcontratación, pues se endosa la responsabilidad de monitoreo a una firma externa. De esta forma, la empresa principal tiene la posibilidad de concentrarse en aquellas actividades más ligadas al giro propio de la faena minera, más estratégicas y que tienden a aumentar más directamente el valor de la compañía.

Finalmente, la evolución de las propuestas de valor de los proveedores genera un impacto directo en los procesos de las compañías mineras, viéndose estos optimizados por la oferta de manufactura avanzada para los diversos procesos de producción. Respecto de lo anteriormente mencionado, IDC plantea el modelo de optimización de procesos para la minería, el cual considera cuatro segmentos primarios que corresponden los pilares de la optimización, los cuales a su vez se desagregan en segmentos secundarios y tecnologías o soluciones específicas. En la figura 36 se puede apreciar el modelo planteado por IDC, del cual se puede encontrar más información en el documento IDC Worldwide Digital Transformation Use Case Taxonomy Mining, anexo al presente informe en idioma inglés.

Cabe mencionar que el modelo de optimización de procesos para la minería se encuentra inmerso dentro de la misión digital de esta industria, la cual IDC define como Minería Ágil. La misión digital dentro de la minería es crear operaciones mineras ágiles, esto significa que la exploración, la extracción, el procesamiento y el transporte de productos minerales convergen en un entorno que interconectado que puede responder dinámicamente a factores externos cambiantes, en particular inestabilidades en los precios, permitiendo un mejor control y visibilidad de todo el ecosistema.

Figura 36. Modelo de Minería Ágil.



Fuente: Elaborado por IDC

Además, es importante destacar que IDC define a nivel mundial una base tecnológica para la automatización y la colaboración de procesos en los ecosistemas empresariales, la cual es denominada InTECH.

IDC ve a InTECH como la plataforma que permite operaciones entre objetos conectados y objetos físicos en ecosistemas que aprovechan tecnologías como Cloud, IoT, Inteligencia Artificial, Robótica, entre otras.

Esta plataforma aumentará la automatización de los procesos B2B en los ecosistemas, posiblemente confiando en Blockchain y Contratos Inteligentes. La utilización de Blockchain garantizará la autenticación y la validación de las transacciones en los ecosistemas empresariales, mientras que los Contratos Inteligentes definirán las reglas en torno a los acuerdos y ejecutarán automáticamente las obligaciones contractuales relacionadas.

A continuación, se proporciona una descripción detallada de los componentes de InTECH y cómo las tecnologías asociadas a esta plataforma permitirán la automatización y la colaboración de próxima generación en los ecosistemas empresariales.

Internet de las Cosas (IoT) ayuda a detectar dónde están los productos, componentes o activos, para comportarse o actuar en el taller, en la cadena de suministro, en el almacén o en el canal. Por otra parte, las soluciones de Analytics ayudan a comprender qué se necesita en el mercado, qué proveedores deben entregar ciertos productos o servicios.

Tecnologías como Soluciones Cognitivas o Inteligencia Artificial (IA), ayudarán a dar recomendaciones sobre las mejores acciones a tomar. Por ejemplo, acciones como campañas de marketing dirigidas basadas en información en tiempo real del ecosistema ayudarán a aumentar las ventas a través de una variedad de canales.

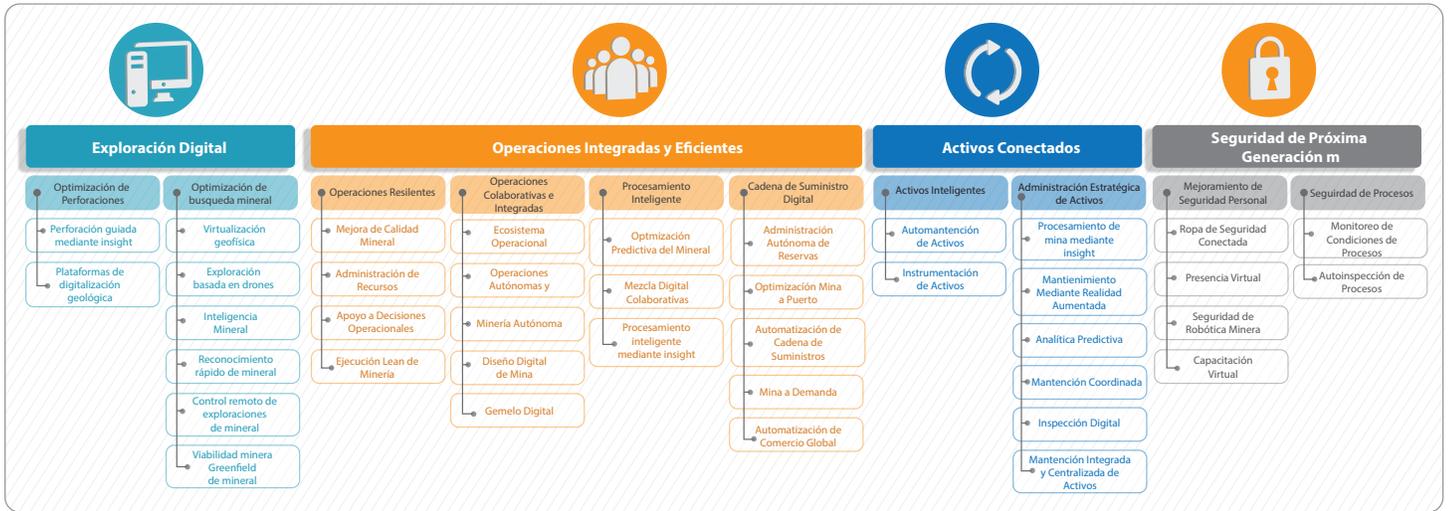
La aplicación de Automatización y Robótica a los procesos B2B y B2B2C en los ecosistemas de negocios será importante, ya que permite la adaptabilidad a las necesidades cambiantes del mercado, en términos de establecer nuevos productos con nuevos colaboradores y a través de nuevos canales.

La Colaboración acelerada por herramientas en la nube y los lugares de trabajo del futuro, incluidos el intercambio de archivos, las redes sociales empresariales y las plataformas cruzadas (API), contribuirá a establecer un objetivo común para mejorar las perspectivas o capacidades de la empresa.

Como se mencionó anteriormente, Blockchain asegurará la autenticación y validación de transacciones en ecosistemas, mientras que los contratos inteligentes definirán las reglas sobre los acuerdos y ejecutarán automáticamente las obligaciones relacionadas del contrato. IDC plantea que Blockchain permitirá la automatización de transacciones B2B, como los procesos de reposición automática, en un ecosistema que requiere algún tipo de autenticación y validación de transacciones. Junto a la utilización de contratos inteligentes permitirá ejecutar transacciones sin la intervención humana, posibilitando por ejemplo que máquinas de producción ordenen materias primas de forma directa a los proveedores.



Figura 37. Modelo de optimización de procesos para la minería.

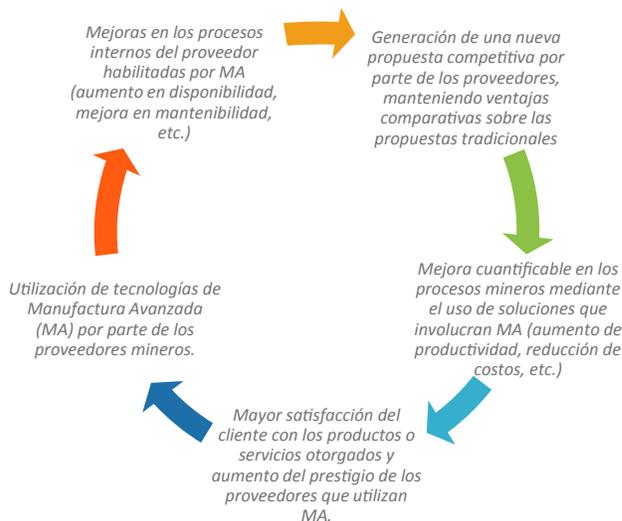


Fuente. IDC Worldwide Digital Transformation Use Case Taxonomy Mining

Para concluir esta sección IDC plantea que la utilización de manufactura avanzada por parte de los proveedores permite, en la mayoría de los casos, generar una mayor agilidad y flexibilidad en los servicios otorgados al cliente. La mejora en los procesos internos del proveedor impulsa a su vez una propuesta competitiva con ventajas comparativas sobre propuestas tradicionales permitiendo a los proveedores otorgar mejores productos o servicios a sus clientes y satisfacer de mejor manera las necesidades tecnológicas y operacionales de las organizaciones mineras.

Por otra parte, la mejora cuantificable de los procesos mineros mediante la utilización de soluciones que involucran el uso de manufactura avanzada impulsa a las empresas mineras a tener una mayor satisfacción con este tipo de proveedores, aumentando la confiabilidad en estos e incentivando una mayor utilización de manufactura avanzada, ya sea por parte de nuevos proveedores o bien de los ya establecidos para generar nuevas soluciones aplicables al proceso productivo minero.

Figura 38. Círculo virtuoso del uso de Manufactura Avanzada por proveedor-cliente



Fuente. Elaborado por IDC

Un caso que ejemplifica de mejor manera el modelo de círculo virtuoso anteriormente descrito es el de la utilización de impresión 3D por parte de los proveedores de repuestos, partes y piezas para maquinaria minera.

La utilización de tecnología de manufactura aditiva permite a los proveedores aumentar la disponibilidad de repuestos, partes y piezas mediante la producción Just in Time de los productos solicitados por la empresa minera, permitiendo también reducir costos de inventario en la empresa proveedora.

Para este caso particular, la nueva propuesta de valor generada por el proveedor se basa en la prontitud de respuesta, es decir, la rápida entrega de partes y piezas, aumentando la productividad en las empresas mineras debido a la reducción de tiempos de inactividad, en comparación con propuestas tradicionales de re-manufactura o importación de partes y piezas, casos en los cuales los tiempos de respuesta son ampliamente superiores a la solución otorgada mediante manufactura avanzada.

Tal como sucede con el ejemplo planteado anteriormente, existen otros ejemplos que permiten identificar y visualizar la generación de propuestas competitivas que los proveedores pueden evaluar mediante el aumento de productividad, reducción de costos, automatización de procesos, eficiencia energética, mayor confiabilidad, aumento de disponibilidad, mejora de mantenibilidad, entre otros beneficios habilitados gracias a la utilización de manufactura avanzada.

**Tabla 35.A. Propuestas competitivas con base en la utilización de MA por parte del proveedor.**

Utilización de MA del proveedor	Impacto en el proveedor	Propuesta competitiva
Utilización de Impresión 3D por parte de los proveedores para la manufactura de repuestos, partes y piezas para la maquinaria de la empresa minera.	Reducción en los costos de inventario y aumento en la disponibilidad de repuestos, partes y piezas mediante la producción Just in Time para satisfacer las necesidades de las empresas mineras.	La propuesta de valor se basa en la rapidez de la entrega de partes y piezas, aumentando la productividad en las empresas mineras debido a la reducción de tiempos de inactividad, en comparación con propuestas tradicionales de re-manufactura.
Robotización aplicada tanto en procesos internos del proveedor como en procesos internos de las compañías mineras.	Reducción en los costos de mano de obra y aumento en la productividad de los procesos mediante la disminución de los tiempos de realización de actividades repetitivas.	La propuesta de valor se enfoca en la mayor eficiencia en términos de capacidades y minimización de los errores. Los reprocesos o retrabajos debido a errores de tipo humano incrementan los costos y dificultan el camino hacia la calidad y la productividad. Errores en la captura de información o en la toma inadecuada de datos es una práctica que resulta muy costosa para las empresas mineras.

Fuente. Elaborado por IDC



Tabla 35.B. Propuestas competitivas con base en utilización de MA por parte del proveedor.

Utilización de MA del proveedor	Impacto en el proveedor	Propuesta competitiva
Recolección y disponibilidad de datos operacionales a través de sensores en productos ofrecidos por el proveedor para la generación de datos relevantes para los procesos mineros.	Aumento del volumen de data disponible sobre el cliente, incrementando el entendimiento de las problemáticas tanto explícitas como implícitas de las compañías mineras, mediante el uso de sistemas de análisis o monitoreo de las condiciones de la operación.	La propuesta de valor consiste en el monitoreo y soporte continuo. Los proveedores pueden proporcionar soporte oportuno de mantenimiento durante todo el día mediante circuitos de monitoreo para evitar posibles problemas en la operación. El soporte proactivo garantiza una sólida relación con el cliente, el proveedor y el personal, junto con una mayor seguridad y eficiencia de todas las aplicaciones y sistemas de misión crítica. El tiempo de inactividad se minimiza y la productividad se maximiza.
Integración de los sistemas de información del proveedor con los sistemas operativos de la empresa minera.	Disponibilidad inmediata de los requisitos del cliente minero, incrementando la agilidad del proveedor para responder a las necesidades productivas del cliente.	La propuesta se enfoca en la anticipación a los volúmenes de pedidos. Es indispensable aumentar la productividad y la capacidad de respuesta mediante una colaboración basada en el intercambio de información entre empresas de una manera automatizada. reducir su reposición y sus costes logísticos con el fin de mantener los márgenes y, por lo tanto, la satisfacción del cliente final.

Fuente. Elaborado por IDC

Como se puede apreciar en la tabla, la utilización de tecnologías de manufactura avanzada por parte de los proveedores, en muchos casos, permitirá responder de manera ágil a las necesidades de productos o servicios de una empresa minera o bien generar otros beneficios internos que permitan gestar una nueva propuesta competitiva, la que a su vez pueda crear mejoras cuantificables en los procesos mineros.

De esta forma, la relación entre el proveedor y el cliente conforma una asociación clave en la que el equipo del proveedor funge como una extensión del equipo interno de la empresa minera, viéndose beneficiada la compañía minera mediante el uso de las capacidades tecnológicas y operativas del proveedor para administrar procesos específicos. Por otra parte, el manejo de proveedores con alta capacidad tecnológica-operativa permitiría a las empresas mineras enfocarse en el core del negocio, disponibilizando de mejor forma los recursos internos para ello.

## Propuestas para acelerar la captura de las oportunidades

Uno de los mayores impactos de la manufactura avanzada es la eficiencia y la automatización de los diferentes procesos a través de nuevas tecnologías que incorporan desde nuevos materiales hasta sofisticados programas de software, redes de comunicación y sistemas electrónicos avanzados como sensores y PLCs (Programmable Logic Controller).

Esta mejora continua en la eficiencia del proceso que la manufactura avanzada puede generar en la industria minera se convierte quizás en la mayor oportunidad para los diferentes proveedores de estas soluciones, debido principalmente a un aumento sostenido en los costos de extracción de los minerales. Cifras al 2017 indican que los costos de extracción de cobre en Chile fueron 12% más altos que en el resto del mundo . Además, el crecimiento compuesto anualizado de los costos de extracción de cobre en Chile es de 15,7% en los últimos 10 años. Esto se debe principalmente a un aumento en la dureza de la roca y a una transformación de rajo abierto a explotación subterránea donde un buen ejemplo es el proyecto de CODELCO división Chuquicamata.

Al revisar los proyectos de inversión más relevantes de las empresas mineras, como se puede apreciar en la tabla 36, se observa que en su mayoría se relacionan con la transformación y eficiencia del proceso productivo minero.

Tabla 36. Proyectos de Inversión de empresas mineras socias del Consejo Minero, 2018

Puesta en marcha	Proyecto	Operador	Propietarios principales y su participación	Tipo de Proyecto	Descripción	Región	Etapas	Inversión estimada (MMUS\$)
2018	Planta de Molibdeno	Minera Centinela	Antofagasta Minerals S.A. (70%) Marubeni Corporation (30%)	Cobre	Construcción de planta de Molibdeno en Minera Centinela	Antofagasta	Ejecución	125
2018	Candelaria 2030	CC Minera Candelaria	Lundin 80%, Sumitomo 20%	Cobre	Extensión de la vida útil de la operación actual de CC Minera Candelaria, al menos hasta el año 2030, mediante la explotación de aproximadamente 200 millones de toneladas adicionales de mineral	Atacama	Ejecución	400
2018	Reducción de emisiones Planta Limpieza de Gases Fundición	Codelco Div. El Teniente	100% Estatal	Cumplimiento o DS 28	Proyecto para la reducción de emisiones en el contexto del cumplimiento del Decreto Supremo 28	O'Higgins	Ejecución	172
2018	Mejoramiento Integral, Captación y Procesamiento de Gases Potrerillos	Codelco Div. Salvador	100% Estatal	Cumplimiento o DS 28	Proyecto para la reducción de emisiones en el contexto del cumplimiento del Decreto Supremo 28	Atacama	Ejecución	362
2018	Construcción Planta de Tratamiento de Escoria	Codelco Div. El Teniente	100% Estatal	Cumplimiento o DS 28	Proyecto para la reducción de emisiones en el contexto del cumplimiento del Decreto Supremo 28	O'Higgins	Ejecución	283
2018	Transformación Plantas de Acido 3 y 4	Codelco Div. Chuquibambilla	100% Estatal	Cumplimiento o DS 28	Proyecto para la reducción de emisiones en el contexto del cumplimiento del Decreto Supremo 28	Antofagasta	Ejecución	486
2018	Mejoramiento Fundición Horno Flash Potenciado	Codelco Div. Chuquibambilla	100% Estatal	Cumplimiento o DS 28	Proyecto para la reducción de emisiones en el contexto del cumplimiento del Decreto Supremo 28	Antofagasta	Ejecución	115
2018	Reactivación Proyecto 24 Celdas	Collahuasi	Anglo American plc(44%), Glencore (44%) y Mitsubishi Corp (12%)	Cobre	Este Proyecto considera la incorporación de 24 celdas de flotación de 300 m <sup>3</sup> c/u, aumentando la capacidad de flotación de la Planta Concentradora de Collahuasi.	Tarapacá	Ejecución	152
2019	Repotenciamiento de Molinos de Bola Línea 3	Collahuasi	Anglo American plc(44%), Glencore (44%) y Mitsubishi Corp (12%)	Cobre	El proyecto tiene por objetivo el repotenciamiento de los Molinos de Bolas de la Línea #3 de la Planta Concentradora de Collahuasi.	Tarapacá	Ejecución	178
2019	Chuquibambilla subterránea	Codelco Div. Chuquibambilla	100% Estatal	Cobre	Proyecto de transformación de rajo abierto a explotación subterránea, a un nivel de producción de 140.000 Tonelada de mineral por día, con una vida útil aproximada de 45 años.	Antofagasta	Ejecución	5.557
2020	Traspaso mina-planta	Codelco Div. Andina	100% Estatal	Cobre	El proyecto permite mantener en el largo plazo la capacidad actual de tratamiento de la planta concentradora	Valparaíso	Ejecución	1.325
2021	SGO Spence Growth Option	Minera Spence	BHP	Cobre	Nueva planta concentradora de 95.000 tpd incrementará la producción de cobre en concentrado en aproximadamente 185.000 toneladas anuales durante los primeros diez años de operación y extenderá la vida de la mina en más de 50 años.	Antofagasta	Ejecución	2.460
2023	Andes Norte - Nuevo Nivel Mina	Codelco Div. El Teniente	100% Estatal	Cobre	El proyecto mantiene la continuidad operacional de la División El Teniente a un nivel de producción de 137.000 toneladas de mineral por día, mediante la explotación de un nuevo nivel en la cota 1.880 msnm. Se incorpora un nuevo plan de desarrollo, iniciando la explotación en el sector Andes Norte, y se acompaña con dos nuevos proyectos, Andesita y Diamante.	O'Higgins	Ejecución	3.942
<b>Total</b>								15.557

Fuente. Elaborado por IDC



Para acelerar la captura de las oportunidades que se muestran en la tabla anterior, IDC propone una serie de recomendaciones, las cuales están relacionadas principalmente con las brechas identificadas en las entrevistas, cuyo análisis fue desarrollado en el segundo informe y también con otros análisis complementarios desarrollados en informes previos. Es por ello que gran parte de estas recomendaciones se encuentran directamente en la sección de recomendaciones.

Por otra parte, IDC plantea que el desarrollo de metodologías ágiles por parte de los proveedores mineros es una alternativa viable para remediar la problemática asociada al alto costo de falla (mencionado en el presente informe), facilitando la innovación en la industria gracias a la entrega de productos o servicios con una mayor calidad, menores costos y tiempos de entrega.

Las metodologías ágiles son procedimientos que permiten transformar el modo de trabajo a las condiciones específicas de un proyecto, consiguiendo una mayor flexibilidad y rapidez en la respuesta para guiar el proyecto y su desarrollo. Entre sus principales ventajas destacan la mejora en la satisfacción del cliente, el ahorro de tiempo y costos, la mayor velocidad y eficiencia en el desarrollo, la mejora en la calidad del producto o servicio, la generación temprana de alertas sobre errores o problemas y finalmente la mejor rentabilización de las inversiones.

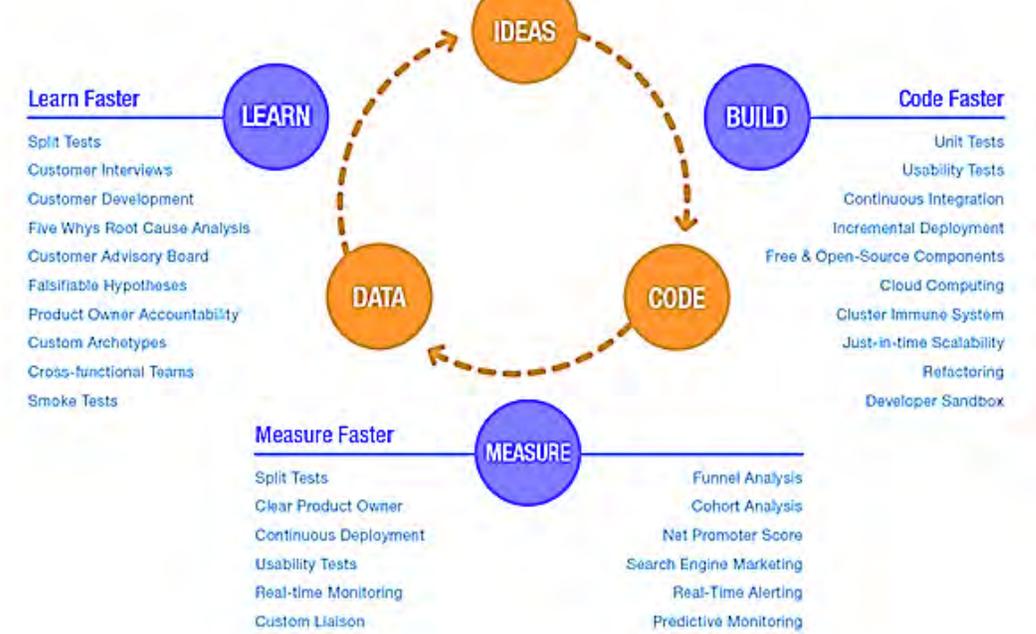
A continuación, se plantearán brevemente dos metodologías ágiles y sus principales componentes para acelerar la innovación en la industria, indicando las problemáticas específicas que solucionan e incluyendo algunos casos de éxito en la minería.

Lean Startup proporciona un enfoque científico para entregar un producto o servicio deseado en las manos de un cliente de la manera más rápida posible. La utilización de esta metodología en las compañías permite proporcionar herramientas para probar continuamente las suposiciones del producto o servicio, promoviendo prácticas de reducción de costos mediante el fallo rápido y el fallo menos costoso.

Un componente central de la metodología Lean Startup es el ciclo de retroalimentación de construir, medir y aprender. El primer paso es descubrir el problema que debe resolverse y luego desarrollar un Producto Mínimo Viable (MVP, por sus siglas en inglés) para comenzar el proceso de aprendizaje lo más rápido posible. Una vez que se establece el MVP, se inicia un proceso de medición y de aprendizaje que debe incluir métricas que puedan establecer relaciones de causa y efecto.

En esta metodología, el progreso es medido por el aprendizaje generado, estableciendo un método riguroso para demostrar el aprendizaje en proyectos que involucran altos niveles de incertidumbre. Una vez que se valida el aprendizaje, el proceso de desarrollo puede reducirse sustancialmente al enfocarse en determinar el producto o servicio correcto a desarrollar por el cual los clientes pagarán, evitando la espera de meses para el lanzamiento de un producto beta.

Figura 39. Metodología Lean Startup



Fuente: [Theleanstartup.com](http://Theleanstartup.com)

Por otro lado, la metodología Agile nació como un modelo cíclico de mejora continua basado en un conjunto de principios o mejores prácticas de desarrollo para optimizar los tiempos de entrega en proyectos de creación de software. No obstante, Agile es aplicable actualmente a cualquier proceso de desarrollo que involucre planificación, creación y comprobación de resultados y mejoras.

Los principales fundamentos de la metodología son: la satisfacción del cliente mediante la entrega temprana y continua, el aprovechamiento del cambio para proporcionar ventaja competitiva al cliente, entregas frecuentes de funcionalidades, los responsables del negocio y los desarrolladores trabajan juntos de forma cotidiana durante todo el proyecto, la funcionalidad de los avances es la medida principal de progreso, los mejores requisitos y diseños emergen de equipos auto-organizados. A intervalos regulares, el equipo reflexiona sobre cómo ser más efectivo para luego ir ajustando y perfeccionando el producto o servicio.

De este modo, las principales ventajas de la metodología Agile son:

- Mejora de la calidad de los productos y servicios: minimiza los errores en los entregables, mejora la experiencia y las funcionalidades para el cliente.
- Mayor compromiso: mejora la satisfacción de los desarrolladores y de los responsables del negocio, generando mayor conciencia en los equipos de trabajo.
- Rapidez en las entregas: acorta los ciclos de producción, minimiza los tiempos de reacción y toma de decisiones sin perder foco en la calidad de las entregas.
- Aumento de la productividad: al asignar mejor los recursos, y de forma más dinámica, mejorando la producción según las prioridades que tenga la empresa.

Como se indicó en la sección de Identificación de Brechas y Barreras, dos de las principales brechas para la adopción de manufactura avanzada son: el comportamiento conservador de las empresas mineras en cuanto a la adopción de nuevas tecnologías (debido principalmente a que esto involucra en la mayoría de los casos realizar paros técnicos, destinar recursos humanos y en algunos casos aportar recursos financieros) y la baja inversión en investigación y desarrollo (dado principalmente por el alto costo de falla de la industria debido a las particularidades antes mencionadas).

La metodología Lean Startup permite mitigar estas brechas, ya que, mediante el desarrollo de un producto mínimo viable, la medición de métricas de causa-efecto y la validación del aprendizaje se puede alcanzar una mayor velocidad y eficiencia en el desarrollo (evitando así las pérdidas de tiempo asociadas a paros técnicos) y la reducción de costos mediante el fallo rápido y barato (evitando la pérdida de recursos por parte de las empresas).

Un caso de éxito de la aplicación de la metodología Lean Startup en la minería es el de la empresa chilena Minespector Robotics. Durante 2015 la empresa estaba por desarrollar una solución llave en mano para una empresa minera. El problema de la compañía minera era el peligro al que se enfrentaban algunos de sus trabajadores al entrar en algunos túneles o ductos para realizar la inspección visual y evaluar la situación estructural in situ.

La startup contaba con un gran conocimiento en robótica y automatización, por lo que originalmente habían pensado en la creación de un robot autónomo que entraría en el túnel, recopilaría los datos y regresaría a una base de operaciones. No obstante, Minespector Robotics decidió seguir un enfoque de Producto Mínimo Viable, en el cual el objetivo era validar si los mineros utilizarían un dispositivo remoto para ayudarlos a visualizar los túneles.

El Producto Mínimo Viable era un simple auto con control remoto con una cámara conectada, el túnel sería grabado en video para luego ser visto por los mineros en una computadora. El principal aprendizaje fue que los mineros efectivamente usarían un vehículo a control remoto para realizar inspecciones visuales, sin embargo, estos deseaban controlar el vehículo y poder visualizar el túnel en tiempo real, por lo que finalmente la empresa desarrolló un producto que pudiera entregar video e información en tiempo real a través dispositivos móviles.

Figura 40. Metodología Agile



Fuente. Theleanstatup.com

En la sección de Identificación de Brechas y Barreras se ha indicado que dos de los principales desafíos para la adopción de manufactura avanzada son: la baja calificación de los recursos humanos (establecer un proceso sistemático de manufactura avanzada sin los recursos humanos calificados es un riesgo que no quieren correr las empresas) y la poca relación entre los actores clave del ecosistema (carencia de un objetivo común entre la academia y los incentivos gubernamentales, las empresas mineras y los proveedores de manufactura para poder establecer una comunicación genuina de colaboración). La metodología Agile permite mitigar estas brechas, ya que mediante el trabajo colaborativo y cotidiano, entre los desarrolladores y las partes involucradas de las empresas mineras, se potencia el capital humano de ambas partes comprometidas en los proyectos de innovación. Por otra parte, este trabajo en conjunto de las partes involucradas promueve la colaboración genuina de al menos dos partes del ecosistema, teniendo como foco la implementación efectiva, por parte de los proveedores, de soluciones de manufactura avanzada en los procesos de las empresas mineras.

Un caso de éxito de la aplicación de la metodología Agile en la minería es el de la empresa australiana Micromine. Entre sus principales soluciones para la minería, la empresa es usuaria de Geobank, una solución de software escalable que ofrece capacidades de gestión de datos geológicos, que van desde la exploración geológica hasta la estimación de recursos, el diseño de minas en 3D, la planificación y el control de producción.

Micromine ha implementado el uso de la metodología Agile en sus recientes desarrollos de Geobank y su uso por parte de la empresa ha permitido realizar algunos aumentos en la productividad de la solución, gracias a mejoras significativas del software, favorecidas por la retroalimentación generada con los clientes.

Por otra parte, una mejor administración del desarrollo ha permitido al equipo priorizar continuamente las tareas y centrarse primero en las características importantes de la solución, involucrando también a los especialistas de control de calidad del cliente. Esto ha significado la disminución de los tiempos de respuesta en las pruebas y la corrección de errores.

Además, la mejora continua del producto con base en breves procesos de desarrollo y revisión ha logrado que el equipo de Geobank sea más reactivo a las necesidades del cliente, aumentando la satisfacción por parte de las empresas mineras.

Si bien en esta sección se han planteado dos metodologías ágiles para la innovación minera, existe un listado mucho más amplio de este tipo de metodologías, destacando entre ellas Open Innovation, Design Thinking y Co-creation por su amplia adopción dentro de las organizaciones, de acuerdo al estudio Reinventing Innovation: Five findings to guide strategy through execution.

Una vez planteadas las metodologías ágiles y su impacto en la mitigación de las brechas y barreras a la innovación identificadas, IDC plantea que las principales oportunidades de innovación para la eficiencia del sector por parte de los proveedores de manufactura avanzada se concentrarán en las siguientes soluciones:



Tabla 37. Oportunidades de innovación por parte de los proveedores de manufactura avanzada

Oportunidad 1	Plataforma de sensores electrónicos digitales para mejora de manera importante de los procesos de mantenimiento en plantas recolectoras de minerales.
Oportunidad 2	Sistemas de seguridad a través de tecnología digital y modelos matemáticos para reducir los accidentes de trabajo en las faenas a través de la generación de alarmas anticipadamente al desprendimiento de rocas o partes del talud.
Oportunidad 3	Sistemas de automatización de maquinaria y/o creación de nuevas máquinas que permitan una mejor exploración y extracción de minerales basado en soluciones de MA.
Oportunidad 4	Plataforma de mantenimiento preventivo a través de modelos predictivos y componentes de IoT en el proceso de extracción.
Oportunidad 5	Desarrollo de Software para los procesos geotécnicos.

Fuente: Elaborado por IDC

Las oportunidades antes mencionadas en opinión de IDC determinarán el futuro de todo el Clúster de la industria minera, incluyendo tanto empresas productoras como proveedores. Lo que necesitan los proveedores para capturar estas oportunidades es un conocimiento profundo de alta ingeniería (por ejemplo, en diseño de equipamiento), recursos humanos y financieros. Para ello se requiere del apoyo gubernamental a fin de evitar que Chile sea solo un importador de tecnología.

CAPÍTULO VII

# Conclusiones del informe



# Conclusiones del informe

## **Mercados Foco para la Industria de Manufactura.**

Los fabricantes que proveen equipamiento, dispositivos, partes y piezas para la minería están incorporando herramientas de MA a sus procesos, permitiéndoles entregar productos mejores y un servicio adicional a sus clientes. Sin embargo, esto está siendo liderado por las grandes compañías internacionales. Si bien las empresas mineras (clientes de los proveedores) no necesariamente valoran estos servicios adicionales que los fabricantes pueden incorporar, se observa un cambio en los modelos de negocio que las compañías mineras están adoptando en diferente medida de acuerdo a las necesidades puntuales de cada operación.

Las oportunidades para cada mercado primario dependen de distintos factores. La inversión de las empresas de manufactura debe considerar algunos ejemplos de variables como costo salarial, recursos humanos calificados, posición geográfica, incentivos gubernamentales, así como también lo siguiente:

- Hay elementos que influyen y que corresponden a la dinámica de cada mercado. Por ejemplo, el componente de correas transportadoras, polines y rodillos que participa en más de un mercado primario y además tiene características de medición diferentes (metros de correa instalada, etc.). Ejemplificando lo anterior hemos encontrado que, para el mercado de fundición, la aproximación de los equipos es por proyectos. Si bien se puede tener un estimado del valor de un horno de fusión, la empresa minera no comprará un horno de fusión, sino que optará por un proyecto que incluye la ingeniería, la infraestructura, instalaciones de apoyo, energía, ventilación, obras de arte, el horno de fusión, que además se complementa con uno o dos hornos convertidores, entre otros.
- Otro aspecto a considerar son los ciclos de renovación de equipo. IDC encontró que los ciclos de renovación son muy distintos dependiendo del tipo de maquinaria o equipamiento; por ejemplo, para los camiones de extracción (caex), existen camiones en operación con tecnología del año 1988, 1996... hasta 2012. El caso contrario es el de las correas de transporte, las cuales tienen ciclos de renovación en su mayoría anuales.
- El valor de mercado de maquinaria, equipamiento, partes y piezas alcanzó un valor de 5.345 millones de dólares con un crecimiento de -0,8% con respecto al año 2016, siendo el mercado primario de servicio de mantenimiento, partes y piezas el más importante en cuanto a tamaño se refiere con un valor de 4.026 millones de dólares.
- Este mercado de servicios de mantenimiento, partes y piezas es en principio el más relevante para las empresas de manufactura en Chile no sólo por su valor de mercado sino porque las empresas mineras, a partir de la investigación desarrollada, muestran un comportamiento conservador en lo financiero y en lo operacional sobre la adopción de nuevas tecnologías para el mejoramiento de sus procesos. Por tal razón las empresas mineras se inclinan por comprar partes y repuestos para arreglar la maquinaria en lugar de adoptar equipamiento no probado (aunque pueda generar ventajas sobre lo existente).

Por otra parte, la oportunidad para la fabricación local (indistinto del origen del capital de la empresa) está sujeta a la fabricación de forma competitiva. En este ámbito se vuelve

interesante para los proveedores evaluar la opción de especializarse en nichos de mercado donde podrían ser competitivos mediante la utilización de manufactura avanzada. Un ejemplo de esto está dado por la independencia que pueden tener los sistemas dentro del equipo completo, por ejemplo, una pala de carguío está compuesta por tres grandes sistemas: el sistema de transporte (la oruga y el chasis), el motor, y los sistemas de carga (el balde). Si bien puede ser poco competitivo fabricar una pala de carguío, un proveedor puede fabricar solo el sistema de transporte.

Complementariamente, el desarrollo de metodologías ágiles, así como la integración de sus sistemas de información tanto hacia adelante como hacia atrás, permite al proveedor minero ofrecer mayor agilidad y productividad en la entrega de productos y servicios, haciendo más interesante la propuesta de valor para la compañía minera.

### **Nuevos Modelos de negocio en la Industria de Manufactura**

Actualmente se observa una adopción del modelo de negocios basados en la adquisición de servicio integral de mantenimiento asociado a la maquinaria para la compra y mantenimiento de equipos, así como una tendencia a adoptar la operación remota de los procesos. En este estado, es de gran importancia para el proveedor hacer tangible su propuesta de valor en términos monetarios para la empresa minera, ya sea evidenciando reducciones de costos, incrementos de productividad, aumentos de seguridad, disminución de tiempos, entre otros. También, se debe considerar lo siguiente:

- El próximo cambio en el modelo de negocio debiese estar en la externalización de un proceso, actualmente esto se ha producido en el proceso de medición de granulometría de material transportado, en donde el proveedor le entrega solo el valor de la o las variables que la minera necesita para tomar acciones correctivas en el proceso de transporte. Un ejemplo en esta línea sería el que la empresa minera contrate a un proveedor para el proceso de transporte, donde el proveedor es el dueño del camión y es quien lo opera (combustible, mantenimiento, etc.) y la empresa minera paga por tonelada transportada.
- Este cambio estará sujeto al precio del mineral y al tamaño de la compañía minera. En la medida que mayor sea el precio del cobre, las compañías tienden a intensificar la subcontratación. Esto se explica principalmente por el hecho de que cuando los precios están altos, las faenas desean aprovechar los beneficios derivados de ello, y como el factor variable en el corto plazo es el trabajo, tienden a intensificar el uso de la mano de obra externa. Asimismo, el tamaño de las faenas es importante; es decir, a mayor tamaño de faena, mayor es el número de subcontratados en términos relativos sobre el número de trabajadores propios.

### **Capacidad Tractora Una nueva Perspectiva**

Se concluye y corrobora que el desarrollo de la capacidad tractora o capacidad de generar encadenamientos productivos de la industria minera local tiene un amplio potencial; sin embargo, en estos temas se encuentra por detrás de países referentes como Australia. No obstante, Australia realizó esfuerzos similares a los realizados actualmente en Chile durante los años 80's y 90's.

El potencial de encadenamientos hacia adelante se ve reflejado directamente en el valor agregado potencial de la manufactura avanzada para la industria de metales. No obstante,





este valor podría ser mayor, ya que actualmente la producción de cobre refinado bordea tan solo un 48% de la producción total de cobre y esta sub-industria es considerada como un habilitador para el crecimiento de la industria básica de metales (capacidad tractora hacia adelante). También, hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- En cuanto a nueva capacidad instalada en fundiciones y refinerías, cabe destacar la conclusión realizada por el informe de CEPAL, Encadenamientos productivos desde la minería de Chile, que indica cómo diversos estudios han demostrado la viabilidad económica de la construcción de nuevas fundiciones y refinerías bajo las siguientes variables: la utilización de tecnología de última generación —procedente eventualmente de China o Finlandia— y un alto volumen de procesamiento del mineral que permite aprovechar las economías de escala.
- Por otra parte, el potencial de encadenamientos productivos o capacidad tractora hacia atrás queda caracterizada por el potencial de las industrias manufactureras proveedoras de la minería y las industrias proveedoras de tecnologías de la información o tecnologías para la minería. Para el caso de las industrias manufactureras proveedoras de la minería se concluye que aún no se encuentran bien posicionadas sobre el desarrollo de áreas de I+D y la adopción de tecnologías como robótica, inteligencia artificial, impresión 3D, entre otras, dificultando la generación de encadenamientos productivos (los proveedores entrevistados destinaban menos del 2% de sus ingresos de venta al I+D). Mientras que para las industrias proveedoras de tecnologías de la información o tecnologías para la minería, el panorama es más auspicioso ya que tienen un mayor desarrollo en áreas de I+D y ya se encuentran en procesos de transformación digital. No obstante, ambas destacan que una de las principales brechas para la generación de encadenamientos es la actitud conservadora de la industria minera en cuanto a la adopción de nuevas tecnologías, como se indicó en la situación de compra de equipamiento.

### Certificaciones en Manufactura Avanzada

Con respecto a las certificaciones, estándares y normativas, se identificó que son un flanco de mejora al proceso actual, porque si bien ya existe una cultura de certificación ampliamente fundamentada en normas ISO 9.000, 14.000 y OHSAS 18.000, hay una disimilitud importante en los grados de certificación de los proveedores y en las normativas de procesos internos de la mina, lo que resta competitividad a la industria.

Los alcances de certificación y estandarización que serán necesarios a medida que la Manufactura Avanzada vaya avanzando en adopción, ya que ésta ha comenzado su camino comprendiendo la cadena de valor sin modificarla, por lo que las soluciones han debido ajustarse a la certificación y estandarización existente en el statu quo con procesos de manufactura tradicional. Sin embargo, el cambio en estos factores levantará otras necesidades de certificación aún desconocidas que la industria prevé, pero no logra identificar en un 100%.

Es relevante identificar las necesidades de certificaciones considerando la cadena de valor, puesto que hay sectores donde algunos casos específicos son necesarios para la operación comercial, como el caso de la certificación del acero y la certificación Lean Manufacturing, entre otras.



Las soluciones de MA se construirán sobre otros modelos de negocio, el más recurrente es el de “pago por uso”, pues de este modelo dependerá como se complementan las certificaciones y estándares con los niveles de servicio. También se ha dejado manifiesto que se podría generar una certificación de los niveles de servicio para potenciar estos modelos de negocio. Por ejemplo: en el modelo de pago por uso, se incorpora la evaluación de los Service Level Agreement (SLA) del proveedor a diferencia de la relación transaccional en la que solo se exigen estándares y certificaciones.

Con respecto a la normativa de operación, se ha identificado la dificultad manifiesta de los proveedores, la carencia de un estándar que genera ineficiencia y encarecimientos operativos. Una normativa mancomunada e interoperada generaría primero una oportunidad de desarrollar una solución de MA principalmente de software, basado en analítica y big data. En segundo lugar, crearía una mejora en los procesos de la cadena de valor como el impacto que el sistema Build Information Management (BIM) ha tenido en la industria de la construcción.

Es fundamental que la interacción cliente-proveedor genere oportunidades de conocimiento del estado del arte y de desarrollo de las nuevas soluciones que se han implementado, así como comprender que necesidades de certificación y estándares que podrían tener estas nuevas tecnologías.

Un factor específico tiene que ver con la forma de abordar el statu quo de los estándares, certificaciones y normativas, sobre aquellas soluciones de MA que se están desarrollando con miras a generar una implementación en la la cadena de valor actual.

Dado los antecedentes observados en los conceptos de InTECH y el ecosistema de nuevas tecnologías de MA ampliamente basadas en componentes de tecnologías de la información, consideramos necesario incluir las certificaciones de seguridad de TI como parte del desarrollo de las nuevas soluciones que la MA pueda desarrollar, y al menos conocer y considerar las distintas aristas de ciberseguridad que ya se han identificado anteriormente. Consideramos que en la actualidad, tanto proveedores como el ecosistema, no están considerando las implicancias de ciberseguridad que las nuevas soluciones de MA van a demandar. Inicialmente, la inquietud puede ser proteger la información de las operaciones, pero a medida que la automatización y robotización avancen se hará crítico contar con entornos operativos altamente asegurados. Hoy esta falta de reconocimiento a la ciberseguridad habla de la visión de seguridad en ambientes propietarios desarrollados por la automatización de tecnologías de la operación. Sin embargo, es clave comprender los conceptos modernos de ciberseguridad por los riesgos que pueden implicar para la operación y la cadena de valor.

Las necesidades de certificación y estandarización de las soluciones de MA que sean incorporadas en la cadena de valor definida deberán cumplir con el requisito ya exigido para ese proceso. En el caso de calidad deberán contar con ISO 9000 en el proceso de elaboración, sobre todo en las primeras dos dimensiones de certificación descritas, pues necesita asegurar calidad cuando transforme un proceso, así como cuando lo optimice. En el caso de las certificaciones medioambientales, la certificación exigida por ISO 14000 cobra vital relevancia dado el foco de minería sustentable que la industria busca comunicar. Y, con respecto a la seguridad OHSAS 18000, figura como el estándar exigido para toda implementación e intervención en faena. Cualquier implementación de soluciones de MA para la minería debe considerar que los aspectos de calidad, medioambiente y seguridad de personas son altamente valorados por las compañías mineras.



## Tecnología

Las oportunidades en Manufactura Avanzada para conformar un grupo de empresas con capacidades de exportación requieren una alta especialización no solo en conocimiento y competencias necesarias para desarrollar la tecnología, sino también de un apoyo claro y genuino de las diferentes instancias del gobierno, así como el de las empresas mineras que puedan establecer métodos de colaboración para el desarrollo de tecnología junto a los diferentes proveedores.

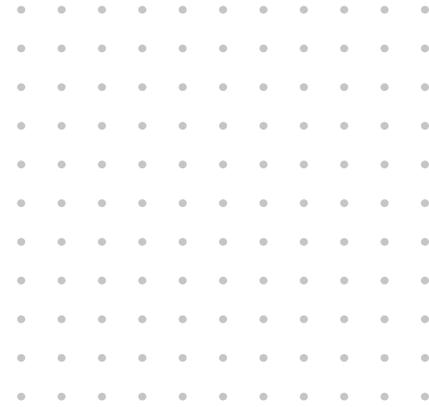
La incorporación de tecnologías de manufactura avanzada para proveedores de minería genera un impacto medible en el ecosistema, generando un mayor valor agregado tanto para las empresas manufactureras básicas de metales como para la industria minera que obtiene mayores niveles de productividad.

Además, si bien existe un impacto respecto a número de personas que quedan desempleadas producto de estas nuevas tecnologías en el ecosistema, se producen también oportunidades de transformación de capacidades ya que la brecha entre profesionales de las áreas de tecnología sigue creciendo.

IDC considera que gran parte de la solución es cambiar la manera de pensar por parte del empresariado minero, ya que ellos son el principal catalizador de cualquier iniciativa de transformación del sector de manufactura. En la práctica, ellos pueden facilitar la creación de innovación en situaciones reales de operación, obteniendo beneficios no solo localmente en la operación de las minas si no también en la posibilidad de preparar la plataforma de exportación de conocimiento y tecnología de la industria de manufactura chilena.

- Si se considera que la capacidad tractora de la implementación de herramientas de manufactura avanzada tiene un potencial de 55 mil millones de dólares, es importante realizar los esfuerzos para que ese potencial se alcance, ya que éste involucra no solo una mayor productividad en la manufactura, sino también en la minería.
- La adopción de tecnología en la empresa minera tiene un impacto directo en la seguridad de las personas, y esta incorporación de tecnología no puede ser indiferente a la administración de las empresas mineras. Las tecnologías de manufactura avanzada son un habilitante para la seguridad de las personas al evitar lesiones y muertes de trabajadores; por ejemplo, mediante productos o servicios para detectar somnolencia en los conductores, detección de conductas erráticas de los trabajadores, entre otros.
- Las empresas de tecnología aún están enfocadas en la implementación de sistemas de comunicación y automatización para minería, centrándose en la oportunidad puntual de mejora detectada o solicitada por la industria minera, ya sea para solucionar los problemas operativos de corto plazo, y sin una mirada de producto escalable.

- La maquinaria pesada, ya sea palas de carguío, camiones fuera de carretera, palas LHD, entre otros, puede descomponerse en sistemas o partes relativamente independientes que permiten identificar una oportunidad para que los proveedores los fabriquen mediante manufactura avanzada. En estos nichos de especialidad, podrían ser competitivos.
- Los proveedores desarrollan soluciones y éstas se están incorporando a la industria, pero todavía son sobre pedido. Falta desarrollar la escalabilidad de estas soluciones, ya que los proveedores ven una demanda acotada.
- La colaboración genuina entre la industria, la academia y el sector público es importante para la consolidación de una industria de manufactura avanzada, por lo que se debe fomentar la creación de alianzas entre sectores, programas y plataformas de colaboración, instituciones especializadas e incentivos económicos que fomenten la cooperación entre la industria, la academia y el sector público, y al mismo tiempo acelerar la transición hacia una industria de manufactura avanzada.
- Los proveedores mineros que ofrecen soluciones de manufactura avanzada deben realizar mayores esfuerzos para hacer tangible su propuesta de valor en términos económicos, así como evaluar la opción de utilización de metodologías ágiles o la creación de acuerdos de colaboración con su ecosistema para alcanzar una mayor agilidad y productividad en la entrega de productos y servicios.



# Recomendaciones

## Recomendación para la Industria de Manufactura

IDC considera que la automatización, dado un crecimiento promedio en los últimos 7 años de 20.4% en robótica, presentará en la próxima década a nivel mundial las tasas más altas de crecimiento para la vertical de minería en simulación y mejora del proceso de reparación a través de nuevas tecnologías de manufactura como, por ejemplo, la manufactura aditiva. En Latinoamérica, la manufactura aditiva para la producción de partes y piezas tiene una tasa compuesta anual de 28,5% entre 2017 y 2021, convirtiéndose en una oportunidad donde las empresas de manufactura chilenas pueden destacar si se cuentan con los incentivos necesarios y se fijan planes a largo plazo.

En opinión de IDC, el sector de manufactura avanzada en Chile debería enfocarse en actividades para el desarrollo de las capacidades de exportación de la industria de manufactura y de servicios en el sector minería. En lugar de enfocarse en aquellos mercados que no demandan gran cantidad de inversión, como los de hornos, molinos o camiones caex, se puede aprovechar mejor las ventajas competitivas y comparativas de la industria en Chile en equipos de apoyo, revestimientos, y en general partes y piezas, obteniendo ventajas como conocimiento, experiencia en el sector minero, ubicación geográfica, entre otros, a través de las siguientes iniciativas:

- Exploración digital a través de modelos matemáticos y geológicos que permitan mejorar la eficiencia del proceso de exploración y extracción (con incorporación de herramientas de analítica e inteligencia artificial).
- Operaciones integradas y eficientes con activos conectados y automatizados, con plataformas de software de modelos predictivos y analítica.
- Mantenimiento mediante la utilización de herramientas predictivas, analíticas, de realidad virtual y aumentada, observando también el desarrollo de la manufactura aditiva (impresión en 3D).
- Desarrollo de la industria de robótica para la minería, un mercado con una de las tasas más altas de crecimiento para los próximos diez años, considerando que las empresas de manufactura participen (recursos, experiencia, tiempo) invirtiendo en el desarrollo de este tipo de tecnología, aprovechando el conocimiento que Chile tiene en minería y el desarrollo avanzado de la robótica en sector educativo.
- El ecosistema de empresas de TI y TO deberían recibir incentivos por parte de las diferentes instancias de gobierno para el desarrollo de una industria de IoT en la minería, aprovechando el desarrollo tecnológico en sensores inteligentes, controladores de borde (Edge Controllers) de nueva generación, software, seguridad, etc.
- La oportunidad en el corto y mediano plazo de la plataforma de IoT desarrollada por la industria de manufactura sería la automatización de maquinaria, hornos, sistemas de molienda, entre otros equipos de la operación minera, ya que no se tendría que invertir en nuevas máquinas sino más bien se haría una modernización de la base instalada actual.

- La automatización con plataformas de software, realidad aumentada y virtual y manufactura aditiva (impresión en 3D) con un enfoque en mejoras en productividad de las empresas mineras es otra oportunidad que el sector de manufactura puede atender en el corto y mediano plazo. Esto porque con el conocimiento y experiencia de Chile en minería y los incentivos correctos se pueden establecer centros de investigación que apoyen a las empresas de manufactura a desarrollar este tipo de tecnología para consumo local o internacional. Un ejemplo de la eficiencia logrado con esta tecnología podemos verlo en modelos de simulación y 3D a través de manufactura aditiva para los repuestos y partes que se necesiten en tiempo real, aun en localidades remotas.
- Dado los antecedentes observados en los conceptos de InTECH y el ecosistema de nuevas tecnologías de MA ampliamente basadas en componentes de tecnologías de la información, consideramos necesario incluir las certificaciones de seguridad de TI como parte del desarrollo de las nuevas soluciones que la MA pueda desarrollar y al menos conocer y considerar las distintas aristas de ciberseguridad que ya se han identificado anteriormente.
- En cuanto a los proveedores mineros, se recomienda la utilización o implementación a nivel organizacional de metodologías ágiles como Lean Startup, Agile, Open Innovation, Design Thinking, Co-creation u otras que, mediante el trabajo colaborativo entre los proveedores y las empresas mineras, se establecen métricas de desarrollo o la elaboración de un producto mínimo viable, lo que permite otorgar una mayor velocidad y eficiencia en el proceso de innovación y reducir los costos involucrados en este proceso.
- Evaluar la opción de enfocarse en mercados o nichos específicos como las partes conformadas al desagregar maquinarias pesadas como palas, camiones, cargadores, entre otros, en sistemas relativamente independientes. La fabricación de partes y sistemas relativamente independientes mediante la utilización de manufactura avanzada puede ser un nicho de interés, dado que los proveedores podrían ser más competitivos y evitarían competir con los grandes proveedores tanto locales como internacionales de maquinaria pesada.
- Buscar la creación de acuerdos de colaboración para conformar un ecosistema tanto con sus propios proveedores como con sus clientes de la industria minera. Junto con la implementación de sistemas de información integrados tanto hacia adelante como hacia atrás, da oportunidad al proveedor minero para abastecerse de manera más rápida con su propio proveedor, así como ofrecer una mejor lectura de las problemáticas de cliente. Esto se traduce finalmente en alcanzar una mayor agilidad y productividad en la entrega de productos y servicios.
- Así mismo, al buscar la creación de alianzas con sus propios proveedores permite orientarse hacia nuevas propuestas de valor y propuestas competitivas. Por ejemplo, la alianza con un proveedor de maquinaria para la manufactura aditiva puede permitir a un proveedor de partes y piezas transformarse hacia la producción Just in Time que satisfaga las necesidades de las empresas mineras. La propuesta de valor se basa en la rapidez de la entrega de partes y piezas, aumentando la productividad en las empresas mineras por la reducción de tiempos de inactividad, en comparación con propuestas tradicionales de re-manufactura.
- Además, se identifica que en esta alianza se debe otorgar gran importancia a los pilotajes que se realicen entre el proveedor indirecto (proveedor del proveedor minero) y el proveedor directo (proveedor minero). Los pilotajes permitirán dar visibilidad del impacto real de la aplicación de manufactura avanzada en el proveedor directo, en términos de los beneficios monetarios que puede traer su implementación. Asimismo, los beneficios económicos que obtenga el proveedor minero deben ser reflejados en sus propuestas de valor hacia las compañías mineras, dado que este es un punto crítico para una industria minera donde la innovación es desafiante debido a su alto costo de falla.



## Recomendaciones para la Industria Minera y Entidades Gubernamentales

- Fomentar la creación de alianzas entre la industria y la academia, para potenciar las áreas de investigación y desarrollo en la industria e impulsar la aplicación práctica del conocimiento de la academia. Iniciativas exitosas como Research Alliance en Alemania han logrado conformar un consejo integrado por 19 miembros representativos de la academia y la industria. Entre los promotores de esta alianza se encuentran la Academia de Ciencia e Ingeniería, que agrupa el interés de la comunidad científica y tecnológica, con funciones de organización asesora en innovación tanto para policy-makers como en la transferencia de conocimientos para el sector empresarial, y el Centro Alemán de Inteligencia Artificial, orientado a la aplicación de la investigación básica, que desarrolla productos, prototipos y soluciones patentables en el área de las TIC.
- Con la finalidad de fomentar la colaboración entre la industria y la academia, y al mismo tiempo acelerar la formación de recursos humanos con conocimiento real de la manufactura sobre las tecnologías y perspectivas operacionales, considerar el modelo de Centros Públicos de Investigación (CPI) que se ha establecido en México. Los CPI tienen un importante papel en la difusión científica y tecnológica que los conecta con las empresas de los estados donde se ubican, generando cerca de 75% de la actividad científica, tecnológica y de formación de capital humano fuera de la Ciudad de México con presencia en 28 estados y 61 ciudades.
- Evaluar el establecimiento de programas de apoyo a las pequeñas y medianas empresas en términos de acelerar el time to market y facilitar su sistema de tributación, como sucede con los programas de Investigación de la Innovación para Pequeñas Empresas y Transferencia Tecnológica para Pequeñas Empresas en Estados Unidos, que no tan solo se encargan de proveer financiamiento para pequeñas empresas, cuyo capital es escaso, con ideas innovadoras, sino que también admiten el pago a largo plazo de los impuestos generados por la venta de productos o servicios.
- Considerar el incentivo para la creación de instituciones especializadas en tecnologías habilitadoras de manufactura avanzada, como es el caso de America Makes, instituto nacional de innovación en fabricación aditiva, establecido en 2012 en Youngstown, Ohio, con el objetivo de acelerar la adopción de la manufactura aditiva e impresoras 3D en las manufacturas, el cual está organizado como un instituto público-privado con integrantes de la industria, la academia, el gobierno y las agencias no gubernamentales.
- Conocer instituciones que favorezcan las transiciones para el diseño y la fabricación a partir de herramientas de manufactura avanzada, como sucede en Estados Unidos con el Instituto de Innovación de Diseño y Fabricación Digital, que tiene la misión de establecer un lugar de pruebas de vanguardia para la fabricación y el diseño digital que vincule herramientas, estándares, modelos, sensores, controles y habilidades en tecnología informática. El instituto se alinea estrechamente con las necesidades de la manufactura avanzada y con el flujo de información de las empresas para habilitar las capacidades de flexibilidad, calidad, productividad y sostenibilidad.
- Considerar la creación de plataformas para la colaboración genuina entre las empresas e instituciones públicas y privadas del ecosistema minero, que permitan habilitar espacios de experimentación y prueba tecnológica, similar a lo que sucede con SmartFactoryKL en Alemania, la fábrica público-privada de proveedores para la aplicación industrial de TIC, que manufactura productos personalizados en lotes de acuerdo con la especificación del cliente.

- Además, se puede evaluar la opción de otorgar diversos incentivos fiscales a las empresas de manufactura que incrementen su gasto en investigación y desarrollo y que formen parte de programas de innovación de la industria minera, así como también a las empresas que colaboren con universidades e institutos en la formación y contratación de profesionales, orientados a la manufactura avanzada con aplicación en la industria minera.
- En general se pueden tomar casos de éxito internacionales, y evaluar su aplicabilidad en el ecosistema minero local. Por ejemplo, se sugiere estudiar el modelo de la manufactura automotriz que impulsó México, que, gracias a la creación de una plataforma de colaboración entre proveedores y fabricantes, y a una integración vertical con los sindicatos, las universidades, los gobiernos estatales y federales, además de incentivos fiscales y laborales, ha logrado la creación de un Clúster de alto impacto tanto local como global para los proveedores del sector automotriz.
- Establecer un programa de certificación a través de universidades y organismos certificadores, para garantizar que los futuros profesionales y en activo participen en programas de educación continua y se certifiquen en, por ejemplo, Lean Manufacturing, Additive Manufacturing certification, ISO 9001:2000, ATEX (atmosferas explosivas), SIL (safety integrity level), entre otras.
- Incentivar el recambio tecnológico de las fundiciones y refinerías de cobre, así como también de los distintos hornos convertidores, promoviendo la estandarización de estas tecnologías. Si bien la implementación y puesta en marcha de nuevas fundiciones y refinerías conlleva una serie de factores ambientales, sociales y políticos (que deben ser considerados para ejecutar este tipo de iniciativas) es importante asegurar el valor agregado de la industria de cobre y al mismo tiempo generar mejores condiciones para los proveedores de recubrimientos dándoles la posibilidad de escalamiento de su producción.

La industria minera y de manufactura se encuentra en un momento de transición y coyuntura económica y tecnológica, con lo cual es importante hacer una revisión de las acciones y programas que hasta este momento se han establecido para el crecimiento las industrias de manufactura y de minería en Chile. La integración de todos los actores (gobierno, academia y sector privado) será fundamental para establecer los nuevos programas y acciones que detonen las competencias de una industria de exportación de clase mundial en los mercados de mayor valor agregado de las industrias de manufactura y minería tales como robótica, automatización, nuevos materiales y procesos productivos.



## Anexo 1. Bibliografía utilizada en la elaboración del estudio

- Minería Chilena. (2015). Catastro de Equipamiento Minero 2013-2014. Santiago: Grupo Editorial Editec SPA.
- <http://www.mch.cl/catastros/catastro-de-equipamiento-minero-2013-2014/>
- Fundación Chile. (2016). Casos de innovación de proveedores en la minería chilena. Volumen I. Santiago: Fundación Chile.  
<http://www.minmineria.gob.cl/media/2017/05/2016.08.31-Casos-de-Innovacion-de-Proveedores-en-la-Mineria-Chilena.pdf>
- Fundación Chile. (2017). Casos de innovación de proveedores en la minería chilena Volumen II. Santiago: Fundación Chile y Centro de Innovación UC Anacleto Angelini.  
<http://centrodeinnovacion.uc.cl/assets/uploads/2018/06/casos-de-innovacion-05-01-2017-vf-1.pdf>
- Fundación Chile. (2018). Casos de innovación de proveedores en la minería chilena Volumen III. Santiago: Fundación Chile y Centro de Innovación UC Anacleto Angelini.  
<http://centrodeinnovacion.uc.cl/assets/uploads/2018/07/expanse-casos-vol-3.pdf>
- Minnovex. (2017). Casos de innovación en la industria minera. Santiago: Minnovex.  
<http://www.minnovex.cl/minnovex-innovacion-industria-minera.pdf>
- iUAI Mining Center. (2017). Desarrollo de un Marco de Trabajo y Buenas Prácticas para Incentivar la Innovación Colaborativa en la Industria Minera Nacional. Santiago: iUAI Mining Center.  
[http://colaboramineria.cl/documentos/informe\\_2.pdf](http://colaboramineria.cl/documentos/informe_2.pdf)
- Michael E. Porter. (1998). Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors. New York: Free Press.  
<https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=195>
- Alexander Osterwalder. (2009). Generación de modelos de negocio. Suiza: Strategyzer.  
<https://www.strategyzer.com/books/business-model-generation>
- Dirección de Estudios y Políticas Públicas. (2015). Caracterización de los costos de la gran minería del cobre. Santiago: Comisión Chilena del Cobre.  
[https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Informe\\_caracterizacion\\_de\\_los\\_costos.pdf](https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Informe_caracterizacion_de_los_costos.pdf)
- CEPAL. (2016). Encadenamientos productivos desde la minería de Chile. Santiago: Publicación de las Naciones Unidas.  
[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39975/4/S1600356\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39975/4/S1600356_es.pdf)
- Comisión Chilena del Cobre. (2014). Productividad en la Industria Minera en Chile. Santiago: Comisión Chilena del Cobre.  
[https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Informe\\_de\\_productividad\\_en\\_mineria\\_VF.pdf](https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Informe_de_productividad_en_mineria_VF.pdf)
- Consejo Minero. (2015). Minería en Chile Principales desafíos y oportunidades. Santiago: Consejo Minero.  
<https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2018/02/Miner%C3%ADa-en-Chile.-Principales-desaf%C3%ADos-y-oportunidades-mayo-20151.pdf>
- Comisión Nacional de Productividad. (2017). Productividad en la Gran Minería del Cobre. Santiago: Editorial Universitaria S.A.  
<http://www.comisiondeproductividad.cl/wp-content/uploads/2017/06/Informe-Final-Productividad-en-la-Gran-Mineria-del-Cobre-2.pdf>
- Cochilco y Aprimin. (2017). Encuesta de Innovación en Empresas Proveedoras de la Gran Minería. Santiago: Cochilco y Aprimin.  
<http://www.mch.cl/wp-content/uploads/sites/2/2017/05/Innovaci%C3%B3n-en-Proveedores-de-la-Gran-Miner%C3%ADa.pdf>
- Fundación Chile. (2016). Desde el cobre a la innovación, Roadmap Tecnológico 2015-2035. Santiago: Fundación Chile y Programa Alta Ley.  
[http://transparencia.minmineria.cl/Transparencia/archivos/fch\\_roadmap\\_mineria.pdf](http://transparencia.minmineria.cl/Transparencia/archivos/fch_roadmap_mineria.pdf)

- Sociedad Nacional de Minería. (2017). Fundamentos y desafíos para el desarrollo minero. Santiago: Sociedad Nacional de Minería.  
<http://www.sonami.cl/site/wp-content/uploads/2017/06/Fundamentos-y-Desaf%C3%ADos-para-el-Desarrollo-Minero-2017.pdf>
- Codelco. (2015). Memoria anual 2014. Santiago: Codelco.  
[https://www.codelco.com/memoria2014/site/artic/20150318/asocfile/20150318124155/memoria\\_anual\\_codelco\\_2014.pdf](https://www.codelco.com/memoria2014/site/artic/20150318/asocfile/20150318124155/memoria_anual_codelco_2014.pdf)
- Codelco. (2016). Memoria anual 2015. Santiago: Codelco.  
<https://www.codelco.com/memoria2015/pdf/memoria-anual/memoria-anual-codelco-2015.pdf>
- Codelco. (2017). Memoria anual 2016. Santiago: Codelco.  
<https://www.codelco.com/memoria2016/pdf/memoria-anual/memoria-anual-codelco-2016.pdf>
- Codelco. (2018). Memoria anual 2017. Santiago: Codelco.  
[https://www.codelco.com/memoria2017/site/artic/20180312/asocfile/20180312173849/memoria\\_anual\\_codelco\\_2017.pdf](https://www.codelco.com/memoria2017/site/artic/20180312/asocfile/20180312173849/memoria_anual_codelco_2017.pdf)
- Consejo Minero. (2019). Cifras actualizadas de la minería. Santiago: Consejo Minero.  
<https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2019/03/Cifras-actualizadas-de-la-mineria-Marzo-2019.pdf>
- Don Scott Kemmis. (2013). How about those METS? Canberra: Minerals Council of Australia.  
[https://corporacionaltaley.cl/wp-content/uploads/2015/10/mca\\_how\\_about\\_those\\_METS\\_FINAL.pdf](https://corporacionaltaley.cl/wp-content/uploads/2015/10/mca_how_about_those_METS_FINAL.pdf)
- World Economic Forum. (2017). Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry. Ginebra, Suiza: Digital Transformation Initiative in collaboration with Accenture.  
<http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-mining-and-metals-white-paper.pdf>
- Patricio Pérez y Pablo Villalobos. (2009). ¿Por qué subcontratan las empresas mineras en Chile? Santiago: Cochilco.  
[https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/subcontratacion\\_DE0809.pdf](https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/subcontratacion_DE0809.pdf)
- PriceWaterhouseCoopers. (2017). Reinventing innovation Five findings to guide strategy through execution. United States: pwc.  
<https://www.pwc.com/us/en/advisory-services/business-innovation/assets/2017-innovation-benchmark-findings.pdf>
- Emilie Ditton. (2016). Business Strategy: IT/OT Convergence in the Worldwide Mining Industry. Sydney, Australia: IDC Worldwide.  
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=AP40127416>
- Emilie Ditton. (2017). IDC FutureScape: Worldwide Mining Predictions. Sydney, Australia: IDC Worldwide.  
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US40127516>
- Stacy Crook. (2017). IDC MarketScape: Worldwide IoT Platforms. Boston, Estados Unidos: IDC Worldwide.  
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US42033517>
- Emilie Ditton. (2017). Mining Industry Transformation. Sydney, Australia: IDC Worldwide.  
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=AP43032617>
- Jing Bing Zhang. (2018). Systems Integration Services for Robotics in Manufacturing. Asia/Pacific: IDC Worldwide.  
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US42380517>
- Emilie Ditton. (2018). IDC Worldwide Digital Transformation Use Case Taxonomy Mining. Sydney, Australia: IDC Worldwide.  
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US43515518>
- Maggie Slowik. (2018). INTECH: Next-Generation Automation and Collaboration in Manufacturing Business Ecosystems. Londres, Reino Unido: IDC Worldwide.  
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US43135218>



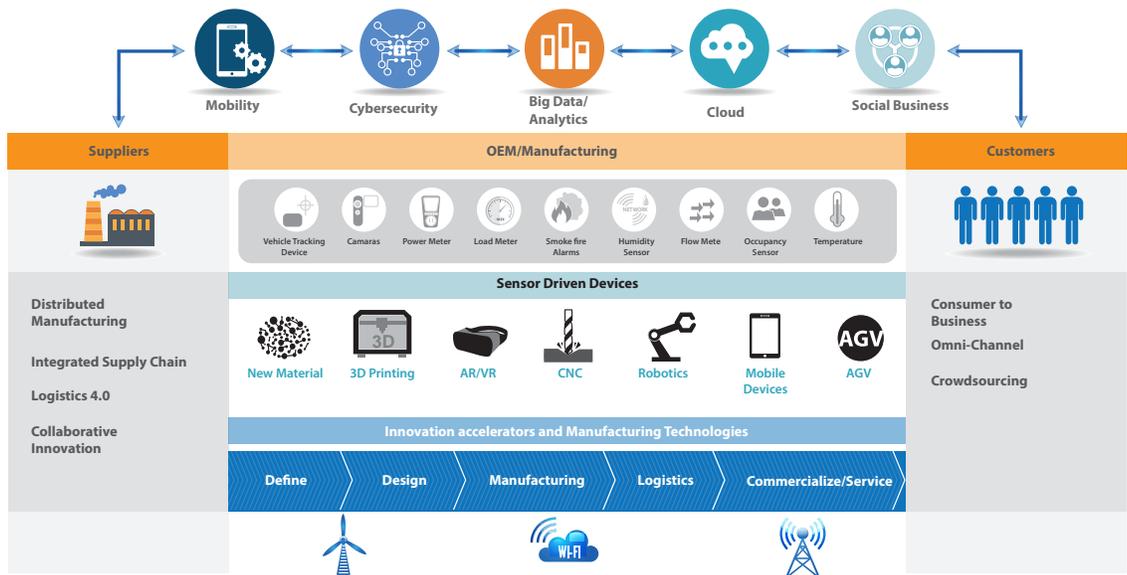
## Anexo 2. Definiciones

### Definición Manufactura Avanzada

La Manufactura Avanzada es la manufactura de productos de altas especificaciones técnicas, que demandan tanto materias primas y componentes más sofisticados, como son los servicios de alto valor (diseño, ingeniería especializada, financieros, entre otros), logística, alta digitalización y software, entre otros, generando una mayor creación de valor en productos y procesos con impactos positivos al interior (en sus cadenas productivas y operaciones) y al exterior (en los usuarios y otros relacionados a la cadena de valor) de las empresas.

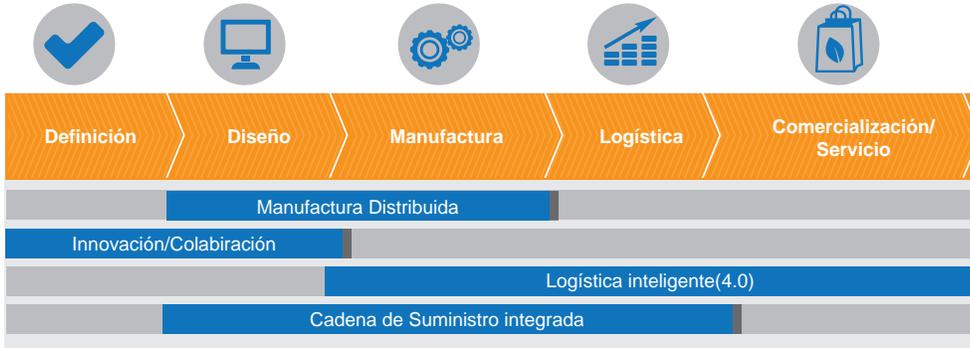
La industria MA se entiende como la integración de empresas manufactureras que tienen expresiones relevantes de MA, empresas tecnológicas y de servicios diversos que proveen servicios necesarios para que sus empresas usuarias puedan realizar MA.

### Modelo Conceptual de Manufactura Avanzada

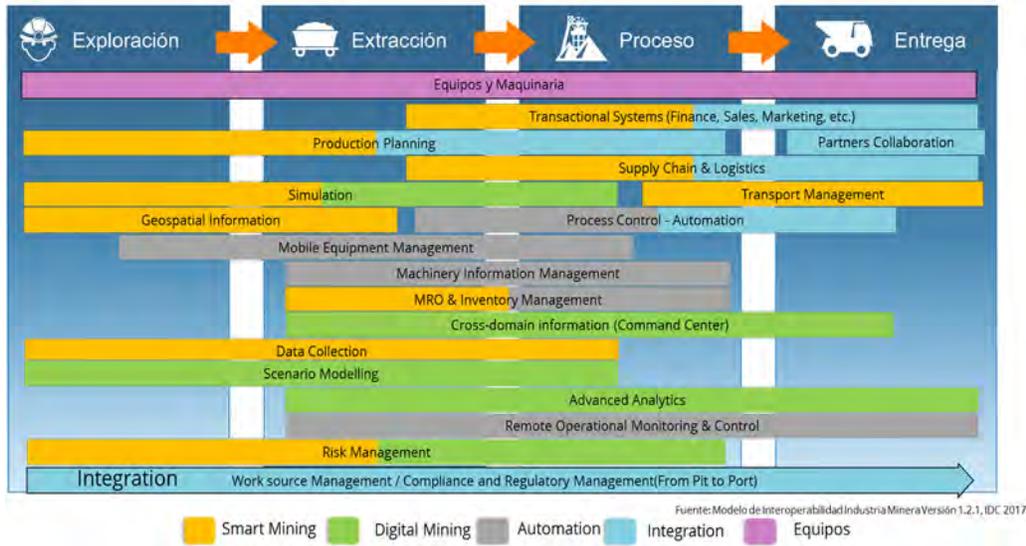


*Nota: Se considera que el modelo conceptual es transversal a todas las industrias manufactureras, así como también lo son las tecnologías de manufactura avanzada. De este modo, la maquinaria característica de cada tipo de manufactura se considera de forma implícita.*

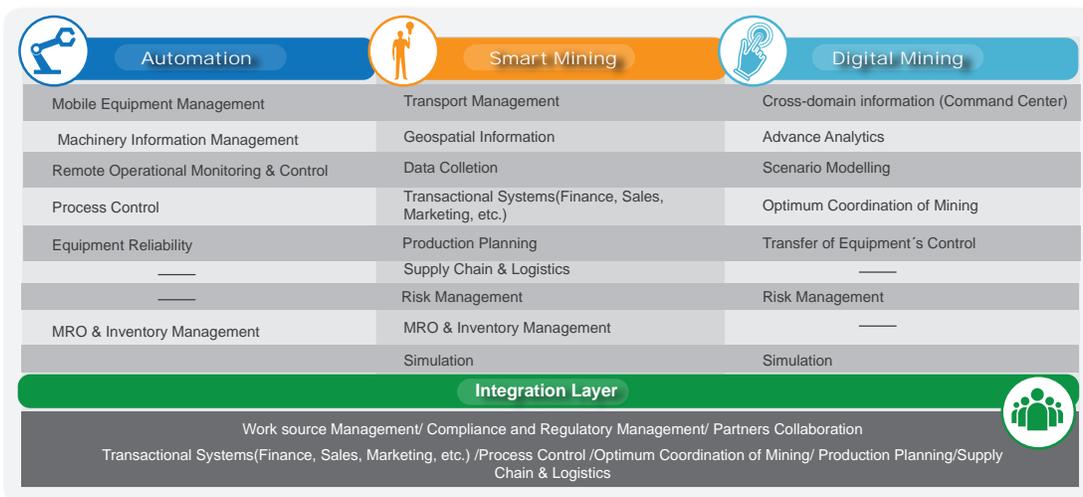
## Industria de Manufactura: Macroprocesos de Negocio



## Representación del Modelo de Minería Inteligente (4.0)

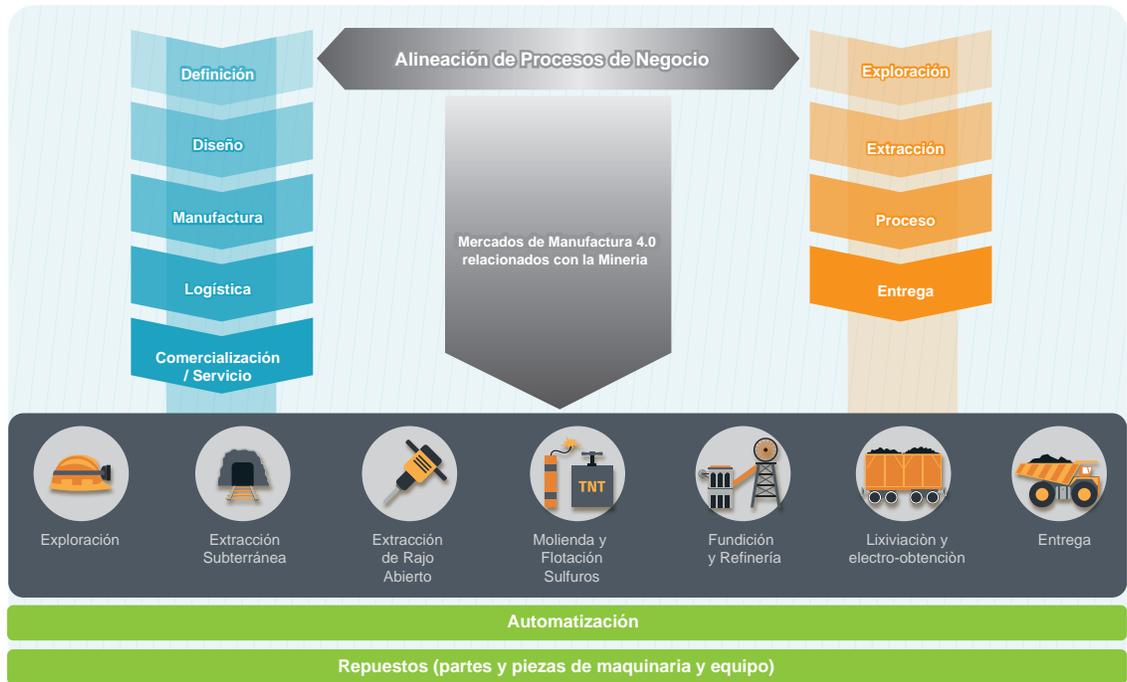


## Modelo de Minería Inteligente (4.0): Segundo Nivel



Nota: El modelo de minería inteligente considera los procesos conforme se avanza en la cadena de valor. Todo el equipamiento necesario para la realización se entiende que forma parte integral de cada uno de los procesos de la cadena de valor. Por ejemplo, en el proceso de extracción y la utilización de perforadoras para explosivos, palas de carga, camiones, correas transportadoras, etc. se consideran dentro del proceso.

## Alineación de Macroprocesos: Industria Minera y Manufactura Avanzada



## Taxonomía de Mercado para equipamiento de Minería

Mercado Primario: categoría que agrupa diferentes equipamientos del proceso dentro de la cadena de valor de la industria minera

### Mercados de Manufactura Avanzada relacionados con la Minería: Mercados Primarios



## Costos utilizados en minería

Para la comparación y clasificación de costos, por parte de la industria es reconocida la terminología de clasificación a través de los conceptos C1, C2 y C3 .

Un término común en la industria del cobre para realizar comparaciones de la posición competitiva de las distintas faenas corresponde al denominado net direct cash cost o C1. El objetivo de tal indicador se encuentra en determinar la curva de oferta de corto plazo del cobre.

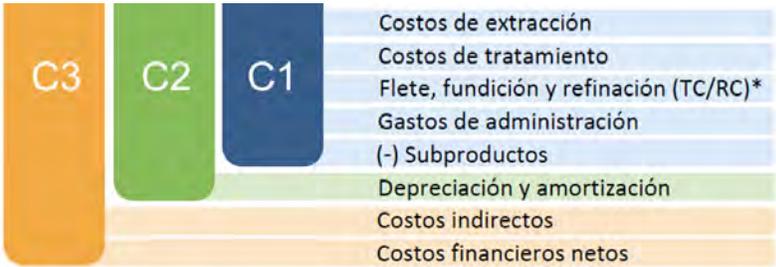
El concepto de costo C1 agrupa los costos incurridos a través de todo el proceso minero hasta la venta del producto comercializable (cátodo en el caso del cobre), descontando los ingresos provenientes de los

subproductos en caso de que existan. Además, el costo C1 incorpora, para el caso de las explotaciones que comercializan productos intermedios, como el concentrado, los costos asociados a fundición y refinación (TC/RC) y los costos asociados al transporte marítimo del concentrado.

El costo C2 (production cost) corresponde al mismo costo C1, pero agregando los montos dados por depreciación, amortización o agotamiento del recurso en los casos que corresponda. En este caso, la incorporación de las variables previamente mencionadas permite tener una noción del costo operacional, que a diferencia del C1 tiene una visión de sustentabilidad del negocio en un mediano plazo.

Finalmente, el denominado costo C3 (fully allocated cost) incluye, costos indirectos, gastos, cargos financieros netos. Los costos indirectos incluyen entre otros, la porción atribuible de los gastos de las casas matrices, exploración atribuible a la operación, royalties u otros gastos extraordinarios.

**Desglose de costos C1, C2 y C3**



Fuente: Caracterización de los costos de la gran minería del cobre, Comisión Chilena del Cobre 2015, Ministerio de Minería

**Extracto del documento Encadenamientos productivos desde la minería en Chile**

En la actualidad, Chile cuenta con siete fundiciones y tres refinerías para sulfuros, las cuales tienen capacidad para producir 1.706 y 800 toneladas, respectivamente, de cobre fino contenido al año. Un aspecto problemático es que la no construcción de nueva capacidad instalada en los próximos años implica una serie de riesgos y perjuicios: i) el creciente contenido de arsénico en los concentrados hace que se ponga en riesgo la posibilidad de exportar el mineral; ii) la creciente pérdida de poder negociador de Chile con respecto a los cargos por tratamiento y fundición que enfrentan los concentrados de cobre, sobre todo con respecto a China; iii) crecientes pérdidas de un porcentaje del oro, la plata y otros metales contenidos en los concentrados de cobre por deducciones metalúrgicas; iv) futura falta de capacidad en puertos nacionales para comercializar crecientes volúmenes de concentrados, además de los mayores costos de transporte terrestre y marítimo, sumado a los crecientes costos de flete por tener que transportar tres veces más toneladas en forma de concentrados, en comparación con el transporte de cátodos; v) los crecientes costos de operación de las fundiciones y refinerías nacionales, que en algunos casos poseen tecnología de mediados del siglo pasado.

Estudios han mostrado que la construcción de nuevas fundiciones y refinerías son una opción económicamente rentable, bajo ciertas variables. Estas son: la utilización de tecnología de última generación —procedente eventualmente de China o Finlandia— y un alto volumen de procesamiento del mineral que permite aprovechar las economías de escala.

Un factor adicional por considerar es la nueva normativa ambiental en Chile que obliga a capturar como mínimo el 95% de los compuestos contaminantes a partir del 2018. Según algunas estimaciones, adecuar





las fundiciones y refineras nacionales a esta normativa requeriría de una inversión de entre US\$2.000 millones y US\$2.500 millones, mientras que para llegar posteriormente a un 98% de captura se necesitaría cerca del doble de ese valor, es decir, entre US\$5.000 millones y US\$6.000 millones. Alternativamente, la construcción de nuevas instalaciones significaría una inversión de US\$5.000 millones. Ante esta situación, considerar la posibilidad de instalar en el corto plazo nuevas fundiciones y refineras con tecnología de última generación es sin dudas una opción mucho más atractiva desde el punto de vista de la rentabilidad y la eficiencia de la producción nacional. Esto implicaría también no solo un mayor estándar ambiental —de 99,99% de captura en vez de 95% o 98%— sino también una importante reducción de costos, con el consiguiente mejoramiento del VAN de la industria al rededor de US\$1.500 millones respecto a la situación actual. Lógicamente, las inversiones destinadas a procesar el 100% del cobre nacional —público y privado— implicarían un importante nivel de inversión, lo que en el mediano plazo se ve retribuido por las ganancias directas del negocio de fundición y refinera y los ahorros asociados a los costos no incurridos por el incremento en el volumen de producción de concentrados.



## Acerca de IDC

International Data Corporation (IDC) es la principal firma mundial de inteligencia de mercado, servicios de consultoría, y eventos para los mercados de Tecnologías de la Información, Telecomunicaciones y Tecnología de Consumo. Con más de 1,100 analistas alrededor del mundo, IDC provee experiencia mundial, regional y local sobre las tendencias y oportunidades en tecnología e industria en 110 países.

El análisis y conocimiento de IDC ayuda a los profesionales de TI, ejecutivos de negocios y la comunidad de inversión, a tomar decisiones fundamentadas sobre tecnología y a alcanzar los objetivos clave de negocio. Fundada en 1964, IDC es una subsidiaria de IDG, la empresa líder en medios de tecnología, investigación y eventos.

Para conocer más acerca de IDC, por favor visita [www.idc.com](http://www.idc.com) y [www.idclatin.com](http://www.idclatin.com)

Síguenos en Twitter como @IDCLatin / @IDC

### IDC Chile

Luis Thayer Ojeda 166  
Piso 11 Of.1101.  
Providencia Chile  
+56 2 592 0990  
Twitter: @IDCLatin  
[www.idclatin.com/chile](http://www.idclatin.com/chile)  
[www.idc.com](http://www.idc.com)

## Equipo de Trabajo

Patricio Soto  
Natalia Vega  
Pamela Castillo  
Cristian Peña  
Gustavo Strobel  
Alejandro Floreán  
Ricardo Villate  
Kevin Prouty  
Maggie Slowyk