

APTA

# MINERÍA DEL FUTURO

PARA UNA OPERACIÓN

INTELIGENTE Y SUSTENTABLE

MAYO, 2021

CORFO





Elaborado por APTA, Andes Pacific Technology Access.

Directora Ejecutiva: Varinka Farren.

Dirección: El director 6000, oficina 203. Las Condes.

Sitio Web: <https://hubapta.com/>

Contacto: [info@hubapta.com](mailto:info@hubapta.com)

Edición: Mayo 2021

# Contenidos

<b>Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>Panorama Científico</b> .....	<b>8</b>
Minería Inteligente .....	17
Minería Sustentable o Verde .....	20
<b>Panorama Tecnológico</b> .....	<b>25</b>
<b>Panorama de Mercado</b> .....	<b>37</b>
Mercado en Chile .....	42
Brechas .....	43
Oportunidades .....	43
Productos y/o Servicios .....	44
<b>Conclusiones Generales</b> .....	<b>46</b>

**"Rajo actual de Chuquicamata"**

CODELCO, 2007

CC BY-NC-ND 2.0



**01**

# INTRODUCCIÓN

La industria minera global se encuentra en una fase de contención de costos y gestión rigurosa del capital, lo que obliga a las compañías a desarrollar estrategias para aumentar su productividad frente a la reducción continua de sus presupuestos, disminución de la concentración de metales en yacimientos, aumento del consumo energético, entre otros determinantes. Esto implica automatizar, monitorear, controlar y gestionar los procesos mineros, donde las tecnologías tienen un papel fundamental como habilitantes de esta estrategia.

A modo general, independiente del mineral a extraer, la minería es bastante heterogénea en cuanto al uso de tecnologías. Un ejemplo de esto es el alto nivel de automatización que tienen las plantas de proceso, mientras que los vehículos mineros aún son, en su mayoría, operados manualmente. Teniendo en cuenta lo anterior, se considera importante destacar la cadena de valor de la minería asociada a la incorporación de tecnologías y cómo su implementación apunta a la construcción de una minería inteligente y en consecuencia sustentable, la cual se puede ver en la Figura 1<sup>1</sup>.

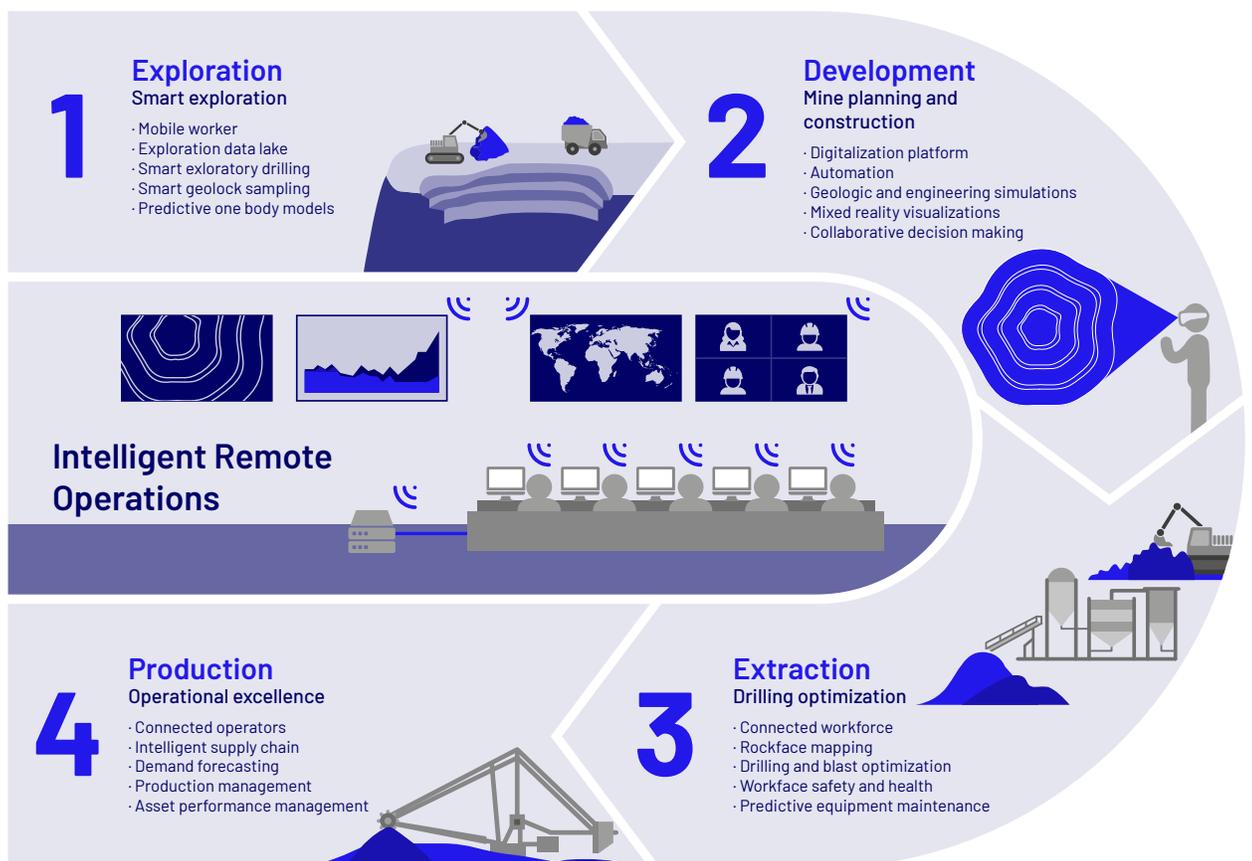


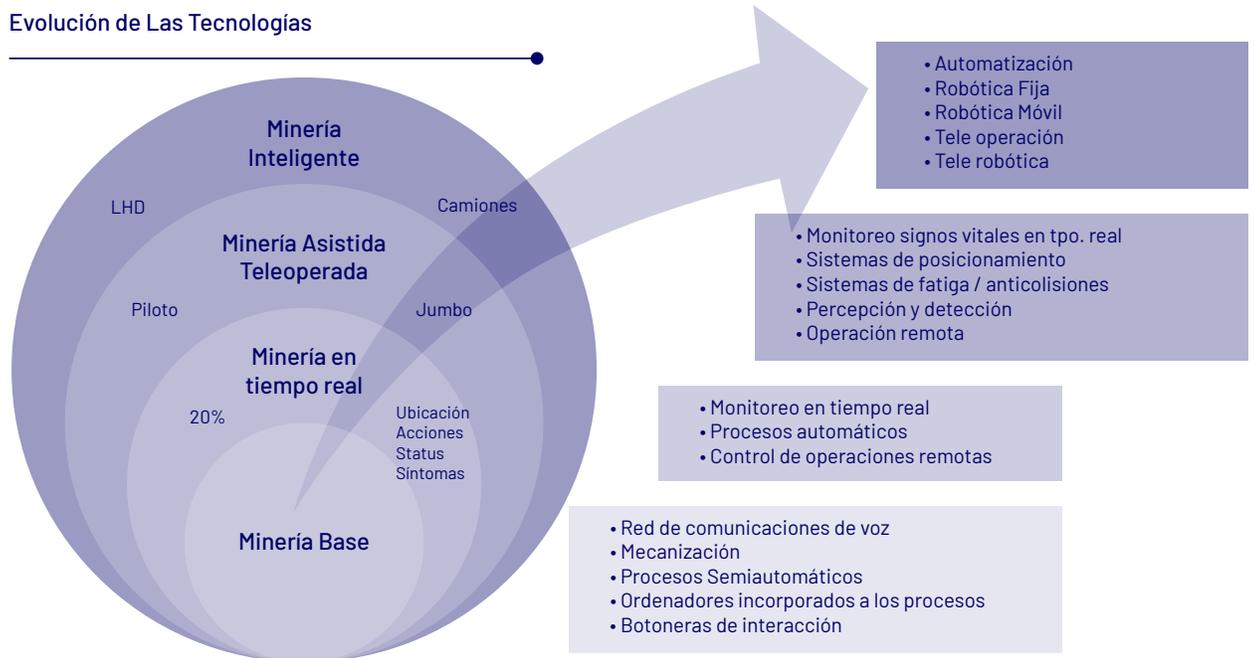
Figura 1. Cadena de valor de la minería inteligente<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Risks and opportunities for mining. Global Outlook 2020”, KPMG, 2020, p. 2.

<sup>2</sup>Ibid.

El presente documento aborda tendencias, conceptos, investigaciones y las tecnologías más representativas existentes y en desarrollo, que estén enfocadas en el potenciamiento de una operación minera inteligente y con foco en la sustentabilidad. Este concepto, vinculado al de “desarrollo sostenible”, corresponde a “la capacidad de satisfacer las necesidades de las personas de hoy, sin comprometer los recursos de las generaciones futuras”. Se pueden mencionar tres pilares asociados a la sustentabilidad: crecimiento económico, protección ambiental y desarrollo social<sup>3</sup>. Este trabajo se enfoca en el pilar de protección ambiental.

Por otro lado, la minería inteligente es un concepto que implica la utilización de tecnología avanzada para obtener una seguridad mejorada, costos operativos reducidos y una mejor productividad para un sitio de mina. Las soluciones de minería inteligente se están incorporando cada vez más a los enfoques de minería tradicionales, debido a los beneficios que brindan<sup>4</sup>.



**Figura 2. Evolución tecnológica en la minería<sup>5</sup>.**

<sup>3</sup> C. Chávez y Patricio Meller (2020), “La gran región minera: Chile y Perú”, Editorial Universidad de Talca, 2da edición (eBook), p. 143.

<sup>4</sup> “Smart Mining Solution - Global Market Outlook (2019-2027)” Research and Markets, junio 2020, <https://www.researchandmarkets.com/reports/5116299/smart-mining-solution-global-market-outlook#pos-0>

<sup>5</sup> “El dilema de transformarse o desaparecer”. Revista Asco, 2019, <http://revistaasco.cl/2019/05/11/mineria-4-0-el-dilema-de-transformarse-o-desaparecer/>

La minería inteligente –o minería 4.0– es la adaptación de la industria 4.0 en toda su cadena de valor y representa el concepto de la minería del futuro, la cual, a través del uso de las tecnologías de vanguardia de manera integrada, consigue una gestión eficiente del proceso productivo, ahorra energía y, protege vidas e infraestructura, garantizando la continuidad operacional del proceso<sup>6</sup>.

Desde la arista de sustentabilidad ambiental, algunos temas sensibles de la minería son agua y relaves. A nivel nacional, en materia de desalinización, la minería ha sido pionera y es líder en Chile. El 23% del recurso hídrico utilizado por el sector es agua de mar, desalinizada o no. Se estima que al 2029 esta representará alrededor del 50%. Además, el 74% del agua utilizada en los procesos mineros es recirculada<sup>7</sup>.

Por otro lado, hablar de *Smart Mining* hace referencia al concepto de la mina del futuro que, a través del uso de las tecnologías digitales y de automatización integrada, obtiene una gestión eficiente del proceso productivo. Esto, al mismo tiempo que genera ahorro de energía, y protege vidas e infraestructura, garantizando la continuidad operacional de los procesos. Algunos protagonistas de la minería inteligente corresponden a inteligencia artificial, internet de las cosas, drones, *business intelligence*, técnicas de modelaje 3D y gemelos digitales<sup>8</sup>.

A nivel global, los conceptos de “Climate Smart Mining (CSM)” o “Green and Climate-Smart Mining (GCSM)” han aparecido durante los últimos años. El enfoque de la minería climáticamente inteligente se ha desarrollado en conjunto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU más amplios, para garantizar que la descarbonización de los sectores minero y energético también beneficie a los países ricos en recursos que albergan estos minerales estratégicos y a las comunidades directamente afectadas por su extracción<sup>9</sup>. La minería climáticamente inteligente apoya la extracción responsable, procesamiento y reciclaje de minerales necesarios para bajas emisiones de carbono, minimizando su huella climática y material de extracción al uso final, mediante la ampliación de la asistencia técnica y las inversiones en países en desarrollo ricos en minerales<sup>10</sup>.

---

<sup>6</sup> Ibid.

<sup>7</sup> C. Chávez y Patricio Meller (2020), “La gran región minera: Chile y Perú”, Editorial Universidad de Talca, 2da edición (eBook), p. 153.

<sup>8</sup> “Tendencias en Smart Mining”, Revista Gerencia, noviembre de 2020, <http://www.emb.cl/gerencia/articulo.mvc?xid=5112&ni=tendencias-en-smart-mining>

<sup>9</sup> “Climate-Smart Mining: Minerals for Climate Action”, World Bank, <https://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/brief/climate-smart-mining-minerals-for-climate-action>

<sup>10</sup> “CLIMATE-SMART MINING (CSM) INITIATIVE”, World Bank Group, septiembre de 2020, <https://www.iva.se/globalassets/info-trycksaker/iva/1--la-porta--csm-presentation--sept-2020.pdf>

**"Centinela, Correa transportadora  
y domo de punto de acopio"**  
Antofagasta Minerals, 2015  
CC BY-NC-ND 2.0

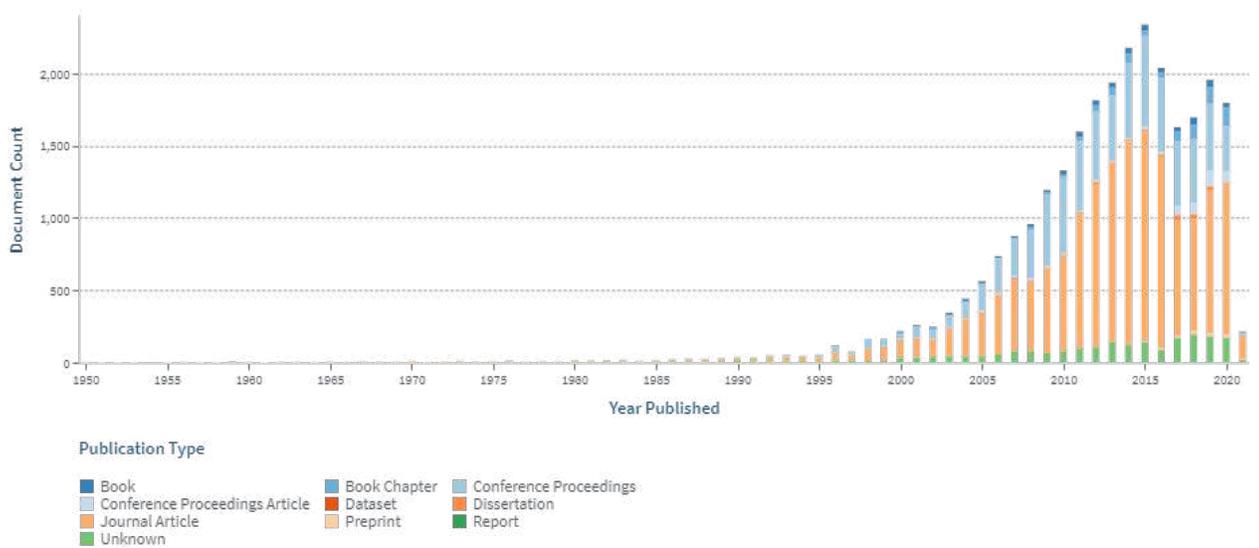


02

PANORAMA CIENTÍFICO

Dentro de los principales conceptos de la minería 4.0 se pueden mencionar: el Internet de las Cosas (IoT), simulación, *Big Data*, robótica, Inteligencia Artificial (AI), integración de sistemas, *Cloud Computing*, fabricación aditiva o impresión 3D, *Blockchain*, automatización y ciberseguridad<sup>11</sup>.

En la figura 3 se puede observar que las publicaciones académicas que relacionan las ciencias de la computación con la minería han aumentado considerablemente durante los últimos 20 años<sup>12</sup>.



**Figura 3. Tendencia anual en publicaciones relacionadas con ciencias de la computación y minería<sup>13</sup>.**

<sup>11</sup> "Informe Línea base – Minería 4.0", Intercop Minería Inteligente y Programa Tecnológico Estratégico: Creación y Adopción de Estándares Internacionales para la Interoperabilidad de la Minería.

<sup>12</sup> Resultado obtenido al realizar una búsqueda en LENS.org de publicaciones académicas que consideran como campo de estudio las Ciencias de la computación y la palabra "mine" en título, resumen y texto completo.

<sup>13</sup> Ibid.

Entre algunos de los autores relevantes se puede nombrar a Yosoon Choi y Christoforos Kanellakis, de la Pukyong National University (Corea)<sup>14</sup>. Yosoon Choi realiza investigación en Minería inteligente, energías renovables en minería, minería espacial, convergencia AICBM (AI, IoT, nube, Big Data, móvil), planificación y diseño de minas, explotación minera a cielo abierto, seguridad minera, sistemas de información geográfica (GIS), geoestadística y modelado geográfico en 3D, análisis hidrológico, análisis y simulación de energía, Diseño de Sistemas de Conversión de Energía Solar y, Sistemas de Energías Renovables. Por otro lado, Christoforos Kanellakis realiza investigación principalmente en robótica, visión computacional, Inteligencia Artificial y teoría de control.

Dentro de las instituciones a nivel global que mayor participación tienen en las publicaciones, se puede nombrar a China University of Mining and Technology, Chinese Academy of Sciences, el Massachusetts Institute of Technology y la Silesian University of Technology <sup>15 16</sup>, lo cual se puede ver reflejado en la Figura 4, donde se destacan Estados Unidos y China como países líderes.



**Figura 4. Países líderes en la producción científica<sup>17</sup>.**

---

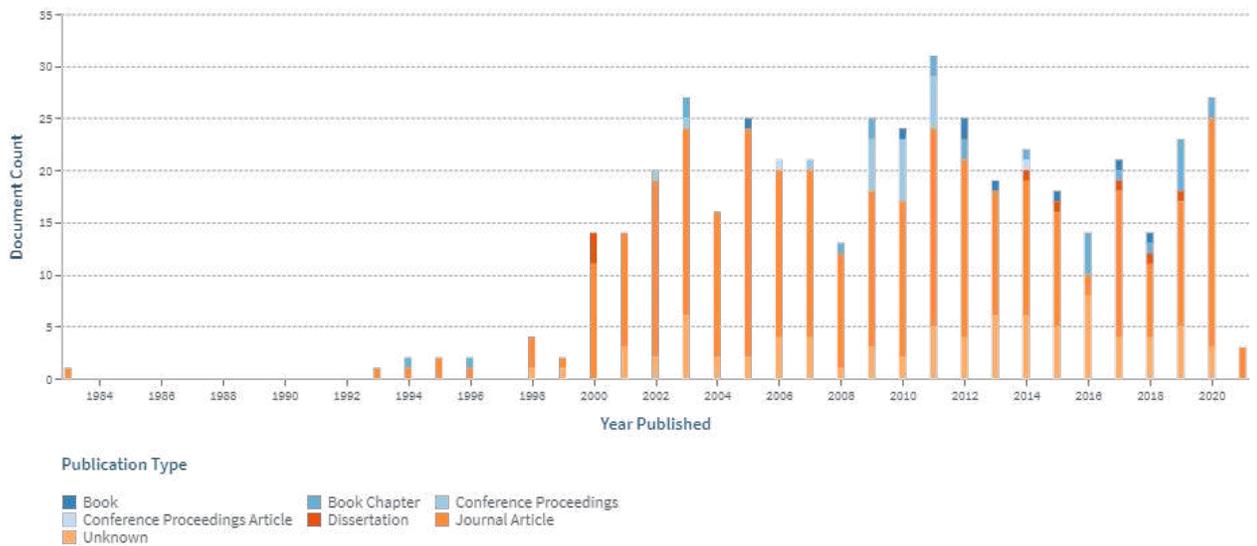
<sup>14</sup> Resultado obtenido al realizar una búsqueda en LENS.org de publicaciones académicas que consideran como campo de estudio las Ciencias de la computación e Industria minera.

<sup>15</sup> Ibid.

<sup>16</sup> Resultado obtenido al realizar una búsqueda en LENS.org de publicaciones académicas que consideran como campo de estudio las Ciencias de la computación y la palabra "mine" en título, resumen y texto completo.

<sup>17</sup> Resultado obtenido al realizar una búsqueda en LENS.org de publicaciones académicas que consideran como campo de estudio las Ciencias de la computación e Industria minera.

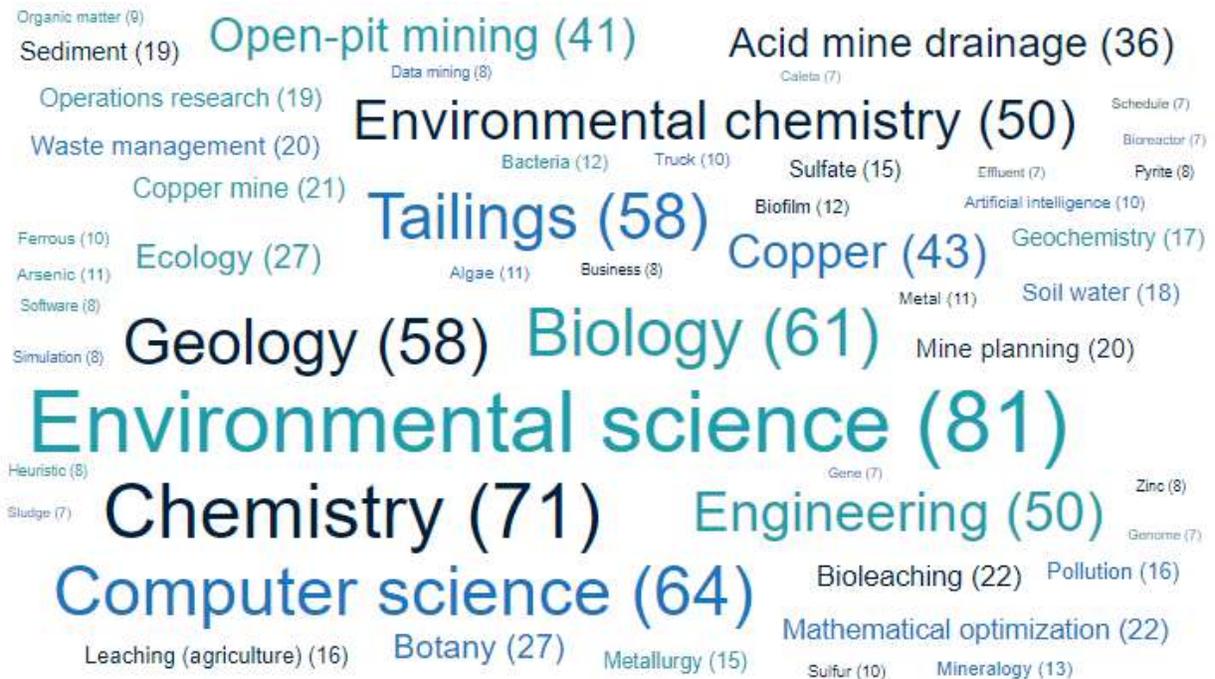
En relación con el desarrollo sustentable en la industria minera, se observa que se han mantenido constantes las publicaciones científicas durante los últimos años, destacándose China nuevamente con trabajos de la China University of Geosciences, la Kunming University of Science and Technology y la China University of Mining and Technology. Además, se destaca la participación de la University of Queensland, en Australia. Estas dos últimas instituciones son las que muestran mayor actividad.



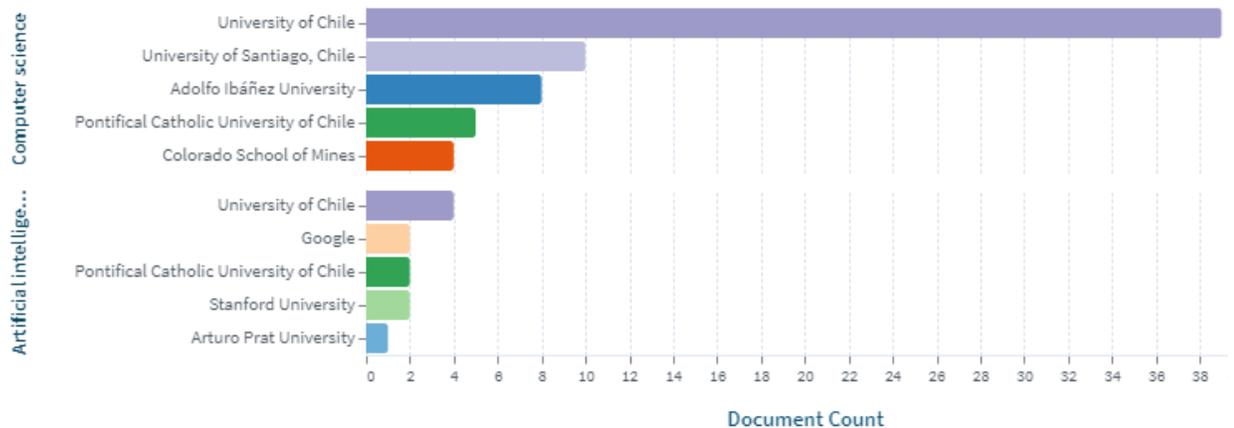
**Figura 5. Tendencia anual en publicaciones relacionadas sustentabilidad y minería<sup>18</sup>.**

<sup>18</sup> Resultado obtenido al realizar una búsqueda en LENS.org de publicaciones académicas que consideran como campo de estudio la Sustentabilidad e Industria minera.

Al realizar una búsqueda general por instituciones nacionales que publiquen sobre trabajos relacionados con minería se pudo observar que los campos de estudio en los que se enfocaban son los siguientes:



En el campo de “Environmental Science”, destacan los conceptos “relave” y “drenaje ácido de mina”<sup>19</sup>. Por otro lado, dentro del campo “Computer Science”, las instituciones nacionales que más publican corresponden a las mencionadas en la Figura 6<sup>20</sup>, destacándose investigadores como Nelson Morales de la Universidad de Chile, Ismael Soto de la Universidad de Santiago de Chile y Eduardo Moreno de la Universidad Adolfo Ibáñez.



**Figura 6. Instituciones chilenas que más publican con relación a ciencias de la computación aplicada a minería <sup>21</sup>.**

A continuación, en la Tabla 1, se muestran las siguientes publicaciones recientes relacionadas a la temática de minería inteligente y sustentable obtenidas utilizando Google Scholar<sup>22</sup>.

<sup>19</sup> Datos no mostrados en el informe, pero obtenidos al ingresar al análisis realizado para los resultados de publicaciones en el campo de “Environmental Science” en instituciones chilenas.

<sup>20</sup> Cabe destacar que las universidades no chilenas que aparecen en la figura se deben a colaboraciones realizadas con instituciones nacionales.

<sup>21</sup> Resultado obtenido al realizar una búsqueda en LENS.org de publicaciones académicas que consideran instituciones chilenas y la palabra “mine OR mining” en título, resumen y texto completo.

<sup>22</sup> Se realizaron búsquedas utilizando la estrategia (sustainable mining) AND (smart OR intelligent) y se realizó un orden por fecha.

**Tabla 1. Panorama científico global minería inteligente y sustentable.**

Título Publicación	Año	Resumen	Institución
<p><b>A new automated, safe, environmentally sustainable, and high extraction softrock underground mining method (p.41)</b></p>	2021	<p>Los depósitos de mineral son cada vez más complejos de extraer, como resultado del agotamiento de la superficie y otros yacimientos minados. También existe una presión sociopolítica cada vez mayor para diseñar proyectos más respetuosos con el medio ambiente, prácticas mineras sostenibles y seguras. Wang y Ma diseñaron un método de extracción de carbón, utilizando un minero continuo para tomar cortes secuenciales, los cuales posteriormente son rellenados. Los autores han modificado el concepto para hacerlo más autónomo, más seguro y menos costoso, usando técnicas de minería de carbón de pared alta, modificadas y adaptadas para aplicaciones subterráneas. El método es más flexible que la minería de tajo largo y el porcentaje de extracción parece estar en el mismo rango. Además, debido al relleno, el hundimiento de la superficie no sería un problema importante y podría ser gestionado eficazmente.</p>	<p>- School of Mines, China University of Mining and Technology, Jiangsu, China</p>
<p><b>Green and climate-smart mining: A framework to analyze open-pit mines for cleaner mineral production</b></p>	2021	<p>Este estudio es un esfuerzo por proponer un marco de indicadores para analizarlos y priorizarlos, con el fin de brindar asistencia técnica para la implementación del Green and Climate-Smart Mining (GCSM). El marco propuesto contiene veinticinco subindicadores categorizados en seis principales (protección ambiental, control de la contaminación, gestión de desechos, consumo de energía y recursos, habilitación e implementación de tecnología, y eficiencia estratégica y de gestión). Se presenta el caso de las minas a cielo abierto chinas para analizar el marco desde dos aspectos: la situación actual de los indicadores GCSM (realidad) y su trascendencia en el desarrollo de GCSM (deseabilidad). Se aplica un enfoque metodológico integrado que involucra el proceso de jerarquía analítica difusa y la agrupación gris, que primero pondera cada indicador y luego analiza más a fondo el nivel de verdor y clima inteligente (GCS) para cada indicador. Los hallazgos revelan que todos los indicadores adelantados caen en los niveles de GCS "bajo" y "alto" en términos de realidad y deseabilidad, respectivamente. Indica una tendencia negativa del desempeño del GCSM e implica que, si se mejora la eficiencia de estos indicadores, el desempeño del GCSM en el futuro puede ser optimista.</p>	<p>- School of Mines, China University of Mining and Technology, Jiangsu, China</p>

Título Publicación	Año	Resumen	Institución
<p><b>New insights on ground control in intelligent mining with Internet of Things</b></p>	<p>2020</p>	<p>Con el desarrollo de la automatización, IoT, Big Data, Inteligencia Artificial y computación en la nube, en la Cuarta Revolución Industrial, la Academia China de Ingeniería ha propuesto la Minería de Inteligencia para lograr el objetivo de la producción de superficies de trabajo no tripuladas.</p> <p>En este trabajo se estudia el control terrestre en la minería inteligente con IoT, proponiendo una arquitectura ad-hoc y una plataforma dinámica en curso sobre control de tierra, basada en nuestra investigación de pruebas no destructivas (NDT).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laboratorio estatal clave de geomecánica e ingeniería subterránea profunda, Universidad de Minería y Tecnología de China, China</li> <li>- Escuela de Mecánica e Ingeniería Civil, Universidad de Minería y Tecnología de China, China</li> <li>- Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Monash, Campus Clayton, Australia</li> </ul>
<p><b>Intelligent and ecological coal mining as well as clean utilization technology in China: Review and prospects</b></p>	<p>2019</p>	<p>El carbón es un combustible fósil esencial en China, sin embargo, la minería del carbón y su utilización están bajo la presión creciente de la protección ecológica y ambiental.</p> <p>Este documento se centra en las tendencias de desarrollo de la Industria China del carbón 3.0 y también se analiza y prospecta su soporte para la Industria China del carbón 4.0 y 5.0, que puede ofrecer asistencia técnica y orientación estratégica para realizar la transformación de la energía tradicional del carbón a una limpia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mining Institute, China Coal Research Institute, China</li> <li>- Coal Mining and Designing Department, Tiandi Science &amp; Technology Co., Ltd., China</li> <li>- State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization, China Coal Research Institute, China</li> </ul>
<p><b>A sustainable future for mining by 2030? Insights from an expert focus group</b></p>	<p>2019</p>	<p>“¿Cómo crees que será la Mina de 2030?” Animado por esta pregunta, la Clase Magistral 2018 del Instituto de Minerales Sostenibles de la Universidad de Queensland sobre “Minería y Sociedad en el Siglo XXI”, desarrolló la visión de un futuro ideal para la industria minera en 2030. Los debates exploraron los medios para acelerar la trayectoria actual de la industria hacia una mayor sostenibilidad. El trabajo centrado en la minería abarca una amplia gama de disciplinas.</p> <p>Este documento resume los resultados de las discusiones y propone acciones en un marco que se enfoca en la interfaz entre empresas mineras, gobiernos y comunidades de acogida.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sustainable Minerals Institute (SMI), The University of Queensland (UQ), Australia</li> <li>- Centre for Social Responsibility in Mining, SMI, UQ, Australia</li> <li>- Centre for Water in the Minerals Industry, SMI, UQ, Australia</li> <li>- Minerals Industry Safety and Health Centre, SMI, UQ, Australia</li> <li>- Centre for Mined Land Rehabilitation, SMI, UQ, Australia</li> <li>- Julius Kruttschnitt Mineral research Centre, SMI, UQ, Australia</li> <li>- The Robert M. Buchan Department of Mining Engineering, Queen's University, Canada</li> </ul>

Título Publicación	Año	Resumen	Institución
<p><b>The Recent Technological Development of Intelligent Mining in China</b></p>	2019	<p>Green Mining Construction (GMC) es la estrategia nacional china de regulación ambiental de la industria minera para motivar a las empresas del rubro a mejorar su eficiencia en la utilización de recursos, proteger el medio ambiente y armonizar la relación entre empresas y comunidades.</p> <p>Esta estrategia utiliza dinámica de sistemas (SD) y el índice de Malmquist-Luenberger (ML) para modelar el efecto sostenible de los instrumentos de política de la construcción minera verde: impuestos y subsidios ambientales.</p> <p>Se proporciona un caso de estudio de empresas típicas de minería de carbón en Anhui, China, para demostrar la aplicación del modelo propuesto. Las estrategias de respuesta se clasifican como escala expansión, innovación técnica y protección del medio ambiente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- School of Economics and Management, China University of Geosciences, China</li> <li>- School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, China</li> <li>- School of Labor and Human Resources, Renmin University of China, China</li> </ul>
<p><b>The need for sustainable technology diffusion in mining: Achieving the use of belt conveyor systems in the German hard-rock quarrying industry</b></p>	2017	<p>El movimiento de materias primas puede ser una de las tareas más desafiantes en la minería a cielo abierto. El transporte con camión representa el factor más importante en los costos de la minería y genera importantes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).</p> <p>Se estudiaron aproximadamente 450 canteras: tonelaje de producción, áreas de arrendamiento, tipo de roca extraída, así como métodos de extracción y equipos de procesamiento. Los resultados demuestran que el 90% de las operaciones utilizan métodos de transporte basados en camiones, y el resto utiliza de forma parcial o completa, sistemas continuos a partir de correas transportadoras. La instalación de sistemas continuos de transportes representa una alternativa real, debido a la reducción de la carga muerta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- School of Economics and Management, China University of Geosciences, China</li> <li>- School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, China</li> <li>- School of Labor and Human Resources, Renmin University of China, China</li> </ul>
<p><b>Decision-support models for sustainable mining networks: fundamentals and challenges</b></p>	2016	<p>La dotación de recursos naturales tiene el potencial de transformar las perspectivas de muchas economías en desarrollo. No obstante, los recursos minerales de una nación solo pueden generar prosperidad si se emplean activos tecnológicos específicos, de manera de desarrollar eficazmente su sector de recursos, capturar valor de él y transformar ese valor en beneficios a largo plazo.</p> <p>El artículo ofrece un análisis sistemático de la literatura dedicada al desarrollo y aplicación de métodos cuantitativos para la toma de decisiones, con consideraciones de sostenibilidad en la industria minera. Muestra las brechas importantes en elementos como la optimización de la cartera de proyectos, la gestión de operaciones y residuos, el cierre y rehabilitación de minas y tecnologías emergentes aplicadas a la fecha y las barreras de adopción.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instituto de Tecnología Vale, Brasil</li> <li>- Universidad de Talca, Chile</li> <li>- Vale SA, Brasil</li> </ul>

A continuación, se mencionan algunos aspectos y soluciones que se han fortalecido como parte de un potenciamiento de la industria nacional para lograr una minería inteligente y medioambientalmente más sustentable.

## Minería Inteligente

### Desarrollo de tecnologías de comunicación en la faena<sup>23</sup>

Si bien la minería posee una gran componente de automatización en sus procesos, éste ha sido progresivamente más lento que en otras industrias, principalmente por las limitantes de las tecnologías de comunicación. La implementación de redes a través de plataformas de comunicación podría mejorar aquel desempeño. En el caso de la minería de superficie, el método más común son las comunicaciones que utilizan UHF/VHF. El uso de sistemas automatizados requiere de redes locales que puedan enviar y recibir comunicaciones y datos, como también el posicionamiento que mejore la información de los equipos.

En el caso de la minería subterránea, la comunicación impacta en la productividad y seguridad de sus trabajadores. Un ejemplo es lo que ocurre en la minera La Ronde, localizada en Quebec, Canadá, donde se provee, mediante sistemas de radio VHF, fibra óptica y redes de Wifi para sus 40 niveles, por lo que se espera que la incorporación de 5G catapulte este desarrollo, acortando las brechas existentes a nivel de redes y detone soluciones de igual importancia en la ciberseguridad.

---

<sup>23</sup> Jang, H., & Topal, E. "Transformation of the Australian mining industry and future prospects". Kalgoorlie: Mining Technology: Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, 2020, <https://doi.org/10.1080/25726668.2020.1786298>, pág 14

## Desarrollo de tecnologías de información

La industria minera se mueve en procesos de incertidumbres, lo que impacta en el desarrollo de los proyectos. Un ejemplo de ello es que aun cuando existan modelos de recursos en tres dimensiones para definir planes mineros bastante precisos, pueden ocurrir diluciones de roca estéril durante la operación, que genera la invalidación de estos. Es por este motivo que se vuelve imperante la realización efectiva de una **gobernanza de datos**, que facilite obtener información segura, precisa y oportuna, habilitando el modelamiento y el análisis de datos indicado, en el cual el uso de inteligencia artificial en los procesos de exploración permita disminuir la incertidumbre para hallar depósitos minerales, mejorando la precisión de la etapa geológica, por mencionar un ejemplo.

Por otro lado, está el uso de sistemas de análisis de datos en la perforación, a través de Measurement while drilling (MWD) o en la optimización de la producción de la mina donde, con el apoyo del machine learning, se monitorea cómo se está desarrollando el socavamiento del bloque de mineral o se construye la interoperabilidad de la operación<sup>24</sup>.

Asimismo, de acuerdo con **Carolina Toro**, directora asociada de minería y energía de la empresa consultora [EY](#), existiría mucho espacio para realizar más análisis de datos e inteligencia artificial (IA) con los sistemas actuales instalados en la minería y revisar el real impacto de estos. Lo anterior, debido a que automatizar no es directamente proporcional a mejorar el proceso, dado que existen otras posibilidades como, por ejemplo, mejorar el entrenamiento de los conductores, siendo necesario el poder determinar cuán entrenado está mediante datos, pero surgiendo la duda sobre de dónde los obtengo y cuál es la calidad de éstos<sup>25</sup>.

En la misma línea, Nury Briceño, subgerenta de Innovación Operacional de [Antofagasta Minerals](#) (AMSA) (Chile), comentó que se realizaron algunos estudios de analítica avanzada para determinar las causas de la variabilidad del consumo de diésel en los camiones. Una de las conclusiones del estudio es que la variabilidad se ve significativamente afectada por las prácticas de conducción del operador. Esto da un indicio claro de cuáles deben ser las acciones para mejorar el comportamiento de estas variables y que, en este caso, no era tecnológica, si no que humana. En ese sentido, Nury opina que la combinación de la expertise minera con una buena analítica de data es lo que va a indicar un nuevo camino hacia la búsqueda de soluciones poco evidentes<sup>26</sup>.

---

<sup>24</sup> "Mining Equipment, Technology and Services - Australia", CSIRO, 2017, pág 35.

<sup>25</sup> Carolina Toro, (Directora asociada de minería y energía, EY), en entrevista con APTA el 14 de octubre de 2020.

<sup>26</sup> Nury Briceño, (Subgerenta de Innovación Operacional, Antofagasta Minerals), en entrevista con APTA el 7 de octubre de 2020.

## Automatización de equipos

Desde el año 2000 que se están realizando sistemas de transporte autónomo (Autonomous Haulage System: AHS), los cuales han buscado mejorar la seguridad en la operación, incorporando sistemas de posicionamiento en tiempo real. La información de posicionamiento es transmitida a los equipos para definir las rutas de transporte. Este sistema se ha percibido como un ícono en la automatización de las faenas mineras, tanto en la superficie como subterráneas<sup>27</sup>.

En el caso de la minería chilena, en cuanto a la utilización de vehículos autónomos, destaca el caso de la División Gabriela Mistral de [CODELCO](#) (Chile), considerada como la primera faena minera a nivel mundial en tener toda su flota de camiones de extracción completamente autónomos<sup>28</sup>.

Por otro lado, para AMSA, el remotizar, robotizar y automatizar es prioritario, por lo que están acelerando proyectos referentes a ello. Es así como esta compañía proyecta incorporar dos perforadores autónomos más en una de sus minas (Pelambres) e implementar el uso de camiones autónomos<sup>29</sup>.

En cuanto a la seguridad, AMSA está enfocado en la robótica para así, además, acortar los tiempos de exposición de los operadores en mantenciones mayores. Así, por ejemplo, están llevando a cabo proyectos de robotización en mantenimiento del molino SAG<sup>30</sup>.

---

<sup>27</sup> Jang, H., & Topal, E. "Transformation of the Australian mining industry and future prospects". Kalgoorlie: Mining Technology: Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, 2020, pág 19.

<sup>28</sup> "Mining Equipment, Technology and Services - Australia", CSIRO, 2017, pág 12.

<sup>29</sup> Nury Briceño, (Subgerente de Innovación Operacional, Antofagasta Minerals), en entrevista con APTA el 7 de octubre de 2020.

<sup>30</sup> Nury Briceño, (Ingeniero Experto en Innovación, Antofagasta Minerals), en entrevista con APTA el 7 de octubre de 2020.

# Minería Sustentable o Verde

## Electromovilidad

La tendencia en preferir vehículos eléctricos autónomos ha significado una evolución tecnológica bastante rápida. En el caso de la minería subterránea, el uso de estos sistemas o equipos se ha producido principalmente por la contaminación causada por los equipos de combustión interna<sup>31</sup>, obteniendo una reducción de emisiones del 60%, reducción de impacto acústico y vibraciones<sup>32</sup>.

La empresa Atlas Copco fue pionera en presentar este tipo de equipos en 2017, específicamente en cargadores, jumbos, perforadoras y camiones de minería subterránea. Del mismo modo, empresas como Caterpillar o Sandvik han comenzado a desarrollar este tipo de equipos, permitiendo disminuir la contaminación y huella de carbono que generan<sup>33</sup>.

En Chile, se destaca el caso de CODELCO, que además de la flota de camiones de extracción completamente autónomos en la División Gabriela Mistral<sup>34</sup>, mencionado anteriormente, se suma en abril del 2019, la integración a las operaciones de la División El Teniente, de la primera máquina de carga, acarreo y descarga – o Load Haul Dump (LHD)– híbrido de la industria minera mundial<sup>35</sup>.

Además, **Gonzalo Ramírez**, especialista en Electromovilidad de CODELCO, indica que se espera para el 2022 tener la mayor parte de la gama eléctrica de minería subterránea probada – enfocándose en los próximos 5 a 10 años en las divisiones subterráneas, debido a la disponibilidad de tecnologías–quedando solo rajo pendiente (Camión de Extracción Minera CAEX y vehículos de alto tonelaje). Esto último tiene una agenda de mayor plazo<sup>36</sup>.

---

<sup>31</sup> "Mining Equipment, Technology and Services - Australia", CSIRO, 2017, pág 12.

<sup>32</sup> Gonzalo Ramírez Troxler, (Especialista en Electromovilidad, CODELCO), en entrevista con APTA el 29 de septiembre de 2020.

<sup>33</sup> "Mining Equipment, Technology and Services - Australia", CSIRO, 2017, pág 12.

<sup>34</sup> Ibid.

<sup>35</sup> Casos exitosos de electromovilidad: Chile se pone pantalones largos, Nueva minería, 3 de febrero de 2020, <https://www.nuevamineria.com/revista/casos-exitosos-de-electromovilidad-chile-se-pone-pantalones-largos/>

<sup>36</sup> Gonzalo Ramírez Troxler, (Especialista en Electromovilidad, CODELCO), en entrevista con APTA el 29 de septiembre de 2020.

Asimismo, el profesional mencionó que una de las líneas de trabajo de la compañía tiene que ver con el hidrógeno, dirigida hacia los camiones de extracción en el rajo. No obstante, esto está siendo abordado con una visión más exploratoria y de largo aliento.

En esta misma línea, la Gerencia de Energía de AMSA está liderando varias acciones y se mantiene activa en las discusiones, a nivel industria, en los temas de electromovilidad que permitan empujar al mercado de grandes proveedores mineros en este sentido<sup>37</sup>.

Respecto al uso de hidrógeno en la movilidad, la empresa minera [Anglo American](#), junto a [Engie](#), están desarrollando el primer camión a hidrógeno, el que se espera realice su primer movimiento en 2021<sup>38</sup>, seguido de un programa de prueba y validación en la mina de metales de platino de Anglo American Platinum en Limpopo (Sudáfrica). Tras esto, se espera que los camiones se implementen en otras operaciones de Anglo American<sup>39 40</sup>, avance con el cuál están presionando el mercado.

Por su parte, a nivel nacional, la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo), a inicios de 2018, adjudicó cofinanciamiento por más de CLP 4 mil millones a dos consorcios tecnológicos internacionales, para desarrollar un camión de extracción a combustible dual petróleo-hidrógeno y equipos móviles para minería subterránea, en base a celdas de combustible, esperándose que en el 2021 se encuentren los prototipos funcionales, libres de emisiones y más económicos que los actuales<sup>41 42</sup>.

---

<sup>37</sup> Nury Briceño, (Subgerenta de Innovación Operacional, Antofagasta Minerals), en entrevista con APTA el 7 de octubre de 2020.

<sup>38</sup> Moore, P. "Anglo says seven mines set for hydrogen mining truck fleets by 2030; rollout of 40 at Mogalakwena starts 2024". (2020) Im-Mining, <https://im-mining.com/2020/10/30/anglo-says-seven-mines-get-hydrogen-mining-truck-fleets-2030-rollout-40-mogalakwena-starts-2024/>

<sup>39</sup> "Anglo American presentará el camión de transporte de hidrógeno más grande del mundo", Guía Minera de Chile, <https://www.guiaminera.cl/anglo-american-presentara-el-camion-de-transporte-de-hidrogeno-mas-grande-del-mundo/>, fecha de acceso 13 de octubre de 2020

<sup>40</sup> "Engie y Anglo American desarrollarán primer camión minero impulsado por hidrógeno", Minería Chilena, 15 de octubre de 2019, <https://www.mch.cl/2019/10/15/engie-y-anglo-american-desarrollaran-primer-camion-minero-impulsado-por-hidrogeno/#>, fecha de acceso 13 de octubre de 2020.

<sup>41</sup> "Prototipo de CAEX que funciona con hidrógeno estará operativo en 2020", Revista Electricidad, 5 de agosto de 2019, <https://www.revistaeci.cl/2019/08/05/prototipo-de-caex-que-funciona-con-hidrogeno-estara-operativo-en-2020/>, fecha de acceso 13 de octubre de 2020.

<sup>42</sup> "En 2021 se espera que esté operativo el primer camión minero que funciona con hidrógeno", Alta Ley, <https://corporacionaltaley.cl/primer-camion-minero-con-hidrogeno/>

## Copper Mark

Como indica la Hoja de Ruta Tecnológica de la Corporación Alta Ley, en 2015 la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre desarrollo sostenible. En ese sentido, la industria minera tiene un potencial real para contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS), que se ve reflejada en la tendencia global de los mercados de metales en el establecimiento de un marco conceptual de suministro responsable de minerales y metales. Lo anterior, busca que las compañías mineras que operan a lo largo de la cadena de valor proporcionen evidencia de que los minerales entregados se han producido en zonas libres de conflicto, utilizando las mejores prácticas. Esto también se ha visto fomentado por el Banco Mundial con el reporte *“Minerales para la acción climática: La intensidad de los minerales de la transición a la energía limpia”*, donde se concluye que la producción de minerales, como el grafito, el litio y el cobalto, podría aumentar en casi un 500% para 2050 y así cumplir con la creciente demanda de tecnologías de energía limpia, lo que implica que las empresas mineras deben tomar las medidas correspondientes a asegurar el menor impacto, en especial, en la minería subterránea<sup>43</sup>.

Tecnologías como *blockchain* han servido justamente para promover este tipo de iniciativas, puesto que permiten generar una **trazabilidad de procesos mediante la incorruptibilidad de la información**, contribuyendo a dar las garantías del proceso. En Chile, en la División Gabriela Mistral de CODELCO (específicamente en la planta Pampa Elvira Solar) se utiliza *blockchain* para certificar datos de sus procesos<sup>44</sup>. Lo antes mencionado, apunta en la dirección de CODELCO, de anticiparse a los proyectos futuros y entregar un producto trazable y con menor huella de carbono (cobre trazable y verde).

---

<sup>43</sup> “Climate-Smart Mining: Minerals for Climate Action” World Bank, <https://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/brief/climate-smart-mining-minerals-for-climate-action>

<sup>44</sup> “Cobre solar y electromovilidad en la era del blockchain ponen a División Gabriela Mistral a la vanguardia en innovación tecnológica en la industria minera”, Guía de Minería de Chile, <https://www.guiaminera.cl/cobre-solar-y-electromovilidad-en-la-era-del-blockchain-ponen-a-division-gabriela-mistral-a-la-vanguardia-en-innovacion-tecnologica-en-la-industria-minera/>

## Simulaciones 3D y de Realidad Virtual

La entrada de este tipo de simulaciones ha sido muy importante para que la tecnología *digital twin* se consolide en la industria de la fabricación. Realizar simulaciones en tiempo real, sin construir modelos de prueba físicos, es una gran ventaja de esta tecnología, que permite optimizar el rendimiento de los procesos rápidamente<sup>45</sup>.

El paso del sistema real a la simulación virtual se puede dividir en tres fases<sup>46</sup>:

1. La primera fase es la “**descripción**”, es decir, la copia digital de los elementos físicos de la planta o instalación, reproduciendo su estado.
2. Tras esto, se da pie a abordar la segunda fase de “**predicción**”, que permite prever problemas y aplicar técnicas de mantenimiento predictivo.
3. Como objetivo último del gemelo virtual, la tercera fase o “**simulación**”, ofrece la posibilidad de comprobar la respuesta del sistema o el comportamiento del proceso ante cambios en sus condiciones, gracias a pruebas virtuales que no conllevan costes ni pérdidas de tiempo.

A nivel nacional no se identificaron registros aun referentes a *digital twin*. S, sin embargo, existen casos de procesos donde se ha incorporado la realidad virtual, destacando AMSA, específicamente en Mina Centinela, que dispone de un Diseño 3D del Revestimiento Molino SAG,; el cual consiste en un modelo computacional de todas las piezas , y que, además, puede mostrar un recorrido desde el exterior al interior de éste. AMSA cuenta con la plataforma de realidad virtual de la empresa chilena Austral 3D, uno de los proveedores nacionales de esta tecnología, la cual consiste en una plataforma integral de capacitación y educación, que apunta a disminuir accidentes en empresas industriales, utilizando un sistema de entrenamiento con lógicas de videojuego<sup>47</sup>.

---

<sup>45</sup> “Gemelos digitales”, Fundación CTIC, <https://www.fundacionctic.org/es/actualidad/gemelos-digitales>

<sup>46</sup> Ibid

<sup>47</sup> “La realidad aumentada llega a la industria y a la minería regional”, Noticias UCN, <http://www.noticias.ucn.cl/destacado/la-realidad-aumentada-llega-a-la-industria-y-a-la-mineria-regional>

## Minería sin agua

La escasez hídrica generada debido al cambio climático ha derivado en el uso de nuevas tecnologías para el procesamiento de sus yacimientos. Empresas proveedoras como [FLSmidth](#) han definido como meta para el 2030, ofrecer soluciones que generen cero desperdicios de agua, basándose en el éxito de desarrollos recientes, como su solución de relaves de pila seca (DST). El uso de DST puede recuperar hasta el 95% del agua de proceso y, al mismo tiempo, ser económicamente competitivo con opciones de gestión del agua, como la desalinización<sup>48</sup>.

Una de las problemáticas en terreno que actualmente se está trabajando y que conlleva el uso del recurso hídrico es el control de polvo en suspensión, una de las soluciones empleadas es el control automatizado de riego en la mina, con un plan de riego para entender cuánta agua se está gastando (cumplimiento con la comunidad y cuidando el agua); y la utilización de domos sobre el *stock pile*<sup>49</sup>.

---

<sup>48</sup> "MissionZero, un nuevo programa de sostenibilidad destinado a reducir significativamente las emisiones en las industrias globales del cemento y la minería para 2030". FLSmidth, noviembre 2019, <https://www.flsmidth.com/en-gb/company/news/company-announcements/2019/flsmidth-announces-missionzero-to-reduce-emissions-in-cement-and-mining-by-2030>

<sup>49</sup> Carolina Toro, (Directora asociada de minería y energía, EY), en entrevista con APTA el 14 de octubre de 2020.



Para analizar la actividad de patentamiento en el ámbito de la minería inteligente y sustentable, se realizó una búsqueda con la herramienta **PatSnap**<sup>50</sup>, empleando diferentes estrategias de búsqueda asociadas a palabras claves detectadas, según los focos de interés.

Se pudo observar que las publicaciones que relacionan IoT y minería han ido al alza durante los últimos 10 años y se relacionan con invenciones asociadas a transmisión de información digital y sistemas de procesamiento de datos o métodos, lo cual se evidenció debido a la clasificación de la mayoría de las patentes, bajo los códigos H04L y G06Q del sistema de Clasificación Cooperativa de Patentes (CPC<sup>51</sup>). Dentro de las estrategias utilizadas, se complementó dando foco a sistemas de comunicación en minería y en conceptos de inteligencia<sup>52 53</sup> y se obtuvo una tendencia al alza similar a la mostrada en la Figura 7. En ambos casos, en las solicitudes destaca la amplia participación de China como país de origen de los requerimientos de protección.

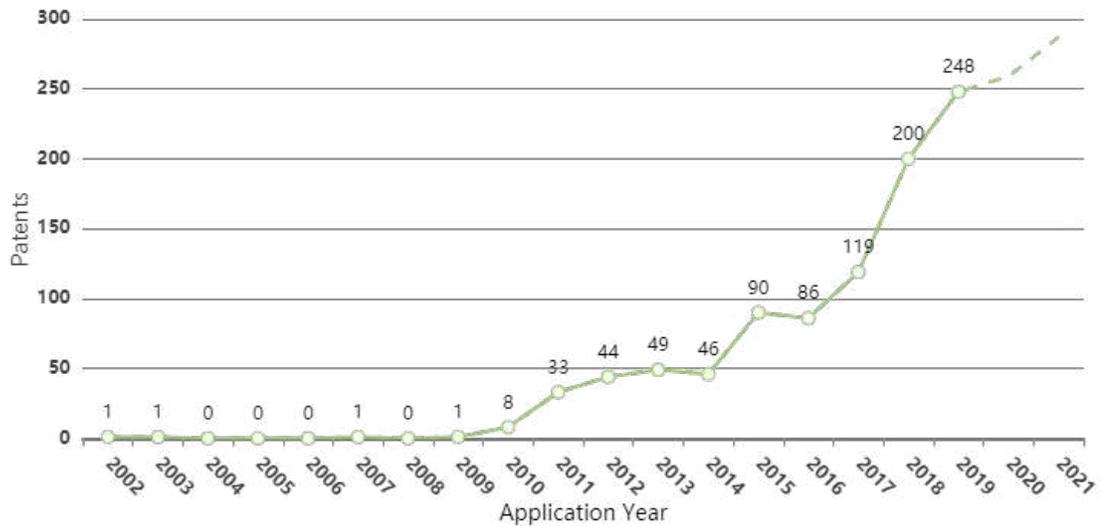
---

<sup>50</sup> Información otorgada por PatSnap, licencia adquirida por APTA.

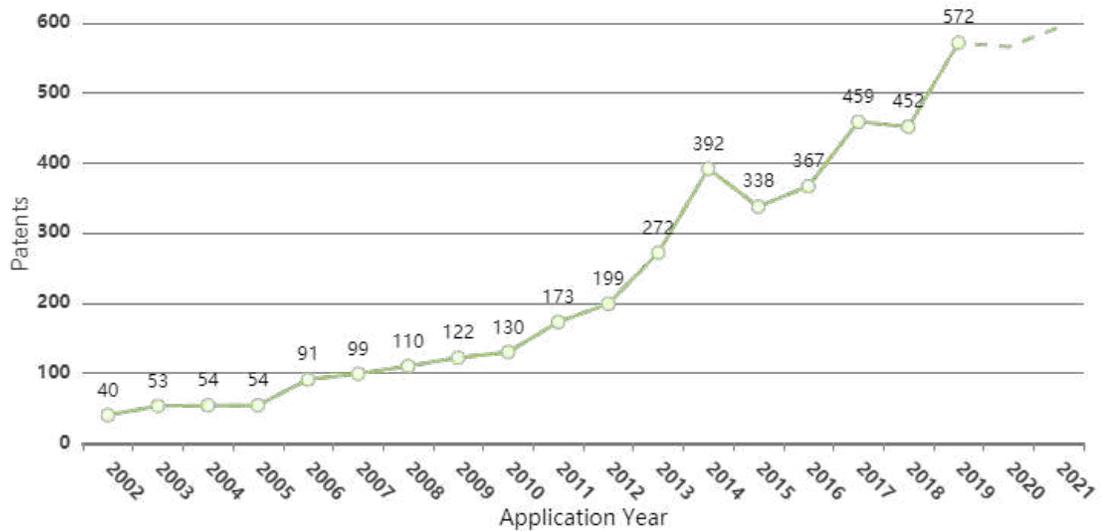
<sup>51</sup> La Clasificación Internacional de Patentes (IPC) constituye un sistema jerárquico de símbolos que no dependen de idioma alguno para la clasificación de las patentes y los modelos de utilidad con arreglo a los distintos sectores de la tecnología a los que pertenecen.

<sup>52</sup> Resultado obtenido en PatSnap al utilizar la siguiente estrategia TAC\_ALL:(mine OR mining) AND IPC: ((G06 OR G05) AND (H04)) NOT web\*, donde los CPC corresponden a G06: COMPUTING; CALCULATING OR COUNTING OR G05: CONTROLLING; REGULATING y H04: ELECTRIC COMMUNICATION TECHNIQUE; y TAC\_ALL está referido a la identificación de dichas palabras clave en Títulos, Abstract y Claims.

<sup>53</sup> TAC\_ALL:(mine OR mining) AND TAC\_ALL: (smart OR intelligen\*) NOT web\*.



**Figura 7. Tendencia anual en el número de solicitudes de patentes relacionadas con IoT y minería <sup>54</sup>.**



**Figura 8. Tendencia anual en el número de solicitudes de patentes relacionadas con sustentabilidad y minería<sup>55</sup>.**

<sup>54</sup> Resultado obtenido en PatSnap al utilizar la siguiente estrategia TAC\_ALL:(mine OR mining) AND TAC\_ALL:("IoT" OR "internet of things") NOT "medical procedure", donde TAC\_ALL está referido a la identificación de dichas palabras clave en Títulos, Abstract y Claims.

<sup>55</sup> Resultado obtenido en PatSnap al utilizar la siguiente estrategia TAC\_ALL:(mine OR mining) AND TAC\_ALL:(sustainabl\* OR green OR ecological\*) NOT A61 NOT A01, donde TAC\_ALL está referido a la identificación de dichas palabras clave en Títulos, Abstract y Claims.

Al realizar una búsqueda para combinar los conceptos de minería inteligente y medioambientales se puede observar que las siguientes instituciones contaban con mayor participación. Se destaca nuevamente un alza sostenida en el número de solicitudes de patentes y la participación de China y la University of Mining and Technology de dicho país, la cual patenta mayoritariamente en aspectos relacionados con comunicación inalámbrica, robots, redes de comunicación y monitoreo de seguridad<sup>56</sup>.

Technology PatSnap Query		
<b>Total Patents: 1,365</b>		
<b>Patsnap Query:</b>	TAC_ALL:(mine OR mining) AND TAC_ALL: (smart OR intelligen*) AND TAC_ALL:(environmental* OR green OR ecolog*)	
<b>Top 10 assignees</b>	STATE GRID CORP OF CHINA	29
	CHINA UNIV OF MINING & TECH	26
	XIAN UNIV OF SCI & TECH	14
	CHINA UNIV OF MINING & TECH BEIJING ZONE	11
	SHANDONG UNIV OF SCI & TECH	11
	XIAN KUOLI MACHANICAL & ELECTRICAL TECH	10
	CHINA ELECTRIC POWER RES INST	8
	TSINGHUA UNIV	6
	TAIYUAN UNIV OF TECH	6
	ANHUI UNIV OF SCI & TECH	6

**Figura 9. Instituciones con mayor participación en patentamiento en minería inteligente y sustentable.**

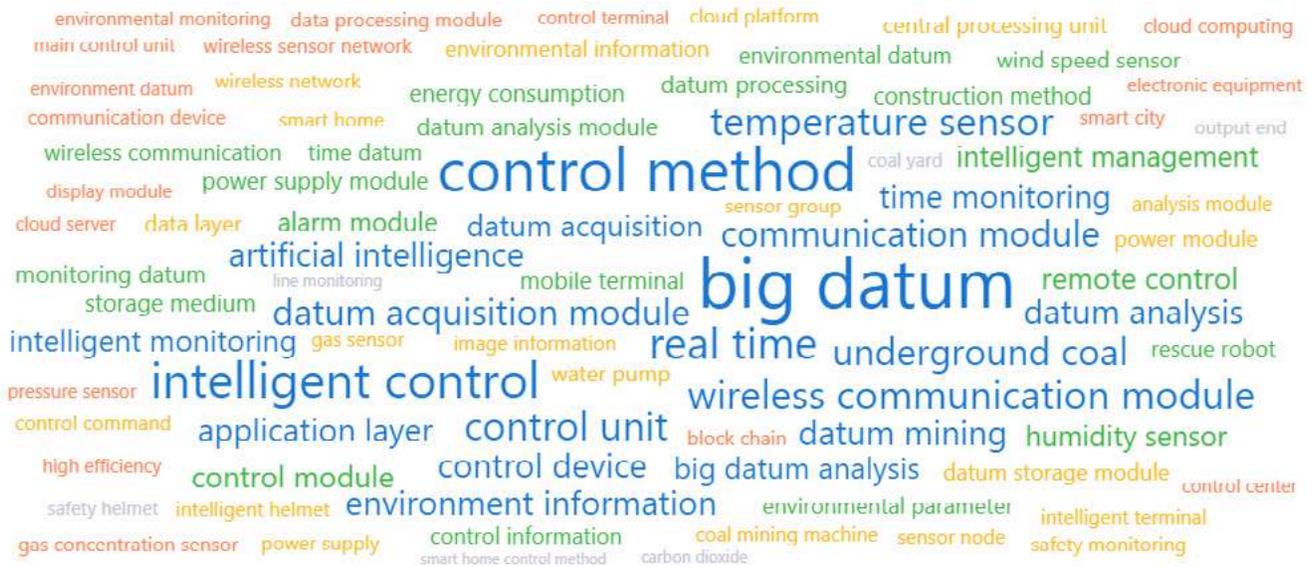
<sup>56</sup> Resultado obtenido en PatSnap al utilizar la siguiente estrategia TAC\_ALL:(mine OR mining) AND TAC\_ALL: (smart OR intelligen\*) AND TAC\_ALL:(environmental\* OR green OR ecolog\*) NOT web\*), donde TAC\_ALL está referido a la identificación de dichas palabras clave en Títulos, Abstract y Claims.

Como se puede ver, existe una alta participación de instituciones académicas en la solicitud de patentes. Además, al realizar una revisión de dónde y en qué áreas se concentran mayoritariamente las patentes, se pudo observar que hay foto en Blockchain, vehículos inteligentes, comunicación inalámbrica y fuentes de agua (montes blancos de la Figura 10). Además, se pudo desprender que el concepto de "control" es ampliamente utilizado para métodos, unidades y dispositivos a aplicarse en estas áreas (Figura 11).



Figura 10. Technology Landscape para el patentamiento en minería inteligente y sustentable<sup>57</sup>.

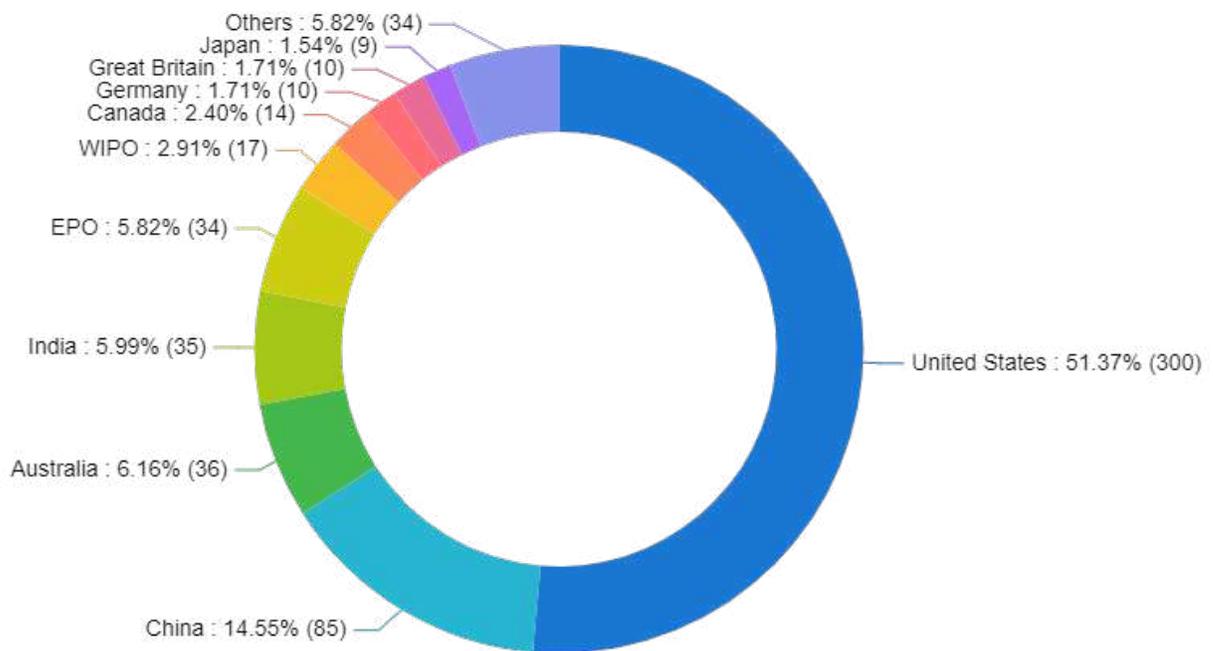
<sup>57</sup> Ibid.



**Figura 11: Nube de palabras identificadas en los resultados de patentes relacionadas con minería inteligente y sustentable<sup>58</sup>.**

<sup>58</sup> Resultado obtenido en PatSnap al utilizar la siguiente estrategia TAC\_ALL:(mine OR mining)AND TAC\_ALL: (smart OR intelligen\*)AND TAC\_ALL:(environmental\* OR green OR ecolog\*)NOT web\*), donde TAC\_ALL está referido a la identificación de dichas palabras clave en Títulos, Abstract y Claims

Al realizar una búsqueda de patentes con conceptos más dirigidos, como los identificados en la sección anterior, relacionados con Blockchain, Big Data, Machine Learning, IoT, sensorización e Inteligencia Artificial, se pudo identificar un cambio en las regiones geográficas solicitantes de las patentes (ver Figura 10). Además, algunas empresas que destacan son IBM CORP, SHELL OIL CO, KIVERDI y TECHNOLOGICAL RESOURCES<sup>59</sup>.



**Figura 12. Origen de las solicitudes de patente entre 2012 y 2021 relacionadas con minería y Blockchain, Big Data, Machine Learning, IoT, sensorización e Inteligencia Artificial.**

Algunas patentes relacionadas a los temas mencionados previamente, que han sido solicitadas durante los últimos años, se listan a continuación:

<sup>59</sup> Resultado obtenido en PatSnap al utilizar la siguiente estrategia TAC\_ALL:(mining OR mine) AND (blockchain OR "big data" OR ("machin\* learning") OR ("internet of things" OR IoT) OR ("artificial intelligence") OR sensor\*) AND (sustainabl\* OR green) NOT IPC:A61, donde TAC\_ALL está referido a la identificación de dichas palabras clave en Títulos, Abstract y Claims

Tabla 2. Panorama tecnológico<sup>60</sup>.

Número de solicitud	Título Patente	Fecha de prioridad	Breve descripción	Solicitante
IN202011016153	An internet of things (IoT) based alert generation system for mining workers	19 junio 2020	<p>Sistema para vigilancia en tiempo real con inteligencia de alerta temprana sobre gases nocivos, temperatura y humedad, que minimizan los riesgos para la salud de los trabajadores dentro de la industria minera.</p> <p>Si cruzan el límite predefinido, el usuario recibe una alerta, ya que una advertencia sonora se encenderá automáticamente junto con las indicaciones de la pantalla. Este sistema se centra en un sistema de supervisión de <b>áreas de gases peligrosos y minimiza los riesgos</b>, incluso la muerte de trabajadores dentro de la industria minera.</p>	University of Petroleum and Energy Studies
AU2020100571A4	A system and a method of inspecting a machine	15 abril 2020	Método para inspeccionar una máquina. Muestra los datos provenientes del sensor en un dispositivo de usuario portátil, permitiendo así la inspección de su estado operativo.	BHP Billiton Innovation Pty Ltd.
WO2020049517A1	Monitoring ore	12 marzo 2020	<p>Sistemas y métodos para estimar la magnitud de una carga de mineral, determinar la distribución del tamaño de partícula (PSD) del mismo y reconocer material extraño en imágenes de mineral.</p> <p>Se recibe una imagen de un vehículo de transporte de mineral desde un dispositivo de captura.</p> <p>Los datos relacionados con la carga de mineral en el vehículo de transporte se detectan con un escáner.</p> <p>Se calcula una magnitud estimada de la carga de mineral, accediendo a los datos relacionados con la carga, la información de la imagen y los relacionados con el vehículo transportador de mineral.</p> <p>Se utiliza un módulo de aprendizaje automático para identificar una región de mineral, en una imagen de y reconocer así las partículas de mineral.</p>	Stone Three Digital (Pty) Ltd.

<sup>60</sup> Patentes seleccionadas de acuerdo al nivel de relevancia entregado por PatSnap y ordenadas en la tabla según su fecha de prioridad desde la más reciente a la más antigua.

Número de solicitud	Título Patente	Fecha de prioridad	Breve descripción	Solicitante
US201916276035A	Charging System for a Battery-Operated Machine	14 febrero 2020	<p>Sistema de carga para una máquina que funciona con batería. El controlador de carga está configurado para recibir una señal de temperatura del sensor correspondiente, siendo su señal indicativa de la temperatura del receptáculo de carga.</p> <p>Además, permite transmitir señal al enchufe conectado, para ajustar (por ejemplo, subir o bajar) la corriente eléctrica suministrada a la conexión de energía.</p>	Caterpillar Inc.
US62882914P0	Infrastructure detection and monitoring system	5 de agosto de 2019	<p>Un sistema de detección y monitoreo de infraestructura, que incluye un espacio de almacenamiento de datos remoto, el cual recibe y comunica datos de sensores y señales con respecto al estado de la infraestructura. El sistema de almacenamiento de datos remoto procesa y / o almacena, al menos, una primera porción de datos de sensor y genera señales de aviso, basadas en la primera porción de datos. Estas señales se comunican a un dispositivo receptor, que responde a los datos del sensor, indicando que el estado de la infraestructura revela una falla inminente. Adicional o alternativamente, el dispositivo receptor puede generar una o más señales de control, que responden a las de aviso o a los datos del sensor que indican que el estado de la infraestructura tiene un fallo inminente de la infraestructura.</p>	Transportation IP Holdings LLC
IB2019054841W	Environmental management system	11 junio de 2019	<p>Un sistema de gestión y monitoreo ambiental implementado por computadora, que es apto para acomodar y asistir operaciones multidisciplinarias tales como plantas industriales y de procesos, instalaciones de fabricación, minas, hospitales, escuelas y similares para monitorear y rastrear continuamente las variables relacionadas con el medio ambiente, salud y seguridad y sugerir acciones correctivas. La invención se extiende a un método de uso de los mismos.</p>	RAPHAEL GARCIA DA COSTA IAN NEIL CLARKE

Número de solicitud	Título Patente	Fecha de prioridad	Breve descripción	Solicitante
CA3036272A	Localized road dust control, soil stabilization and Anti-ice additives management system	11 de marzo 2019	Los métodos, equipos y sistemas descritos con las características reveladas permiten a los administradores de carreteras planificar, monitorear, pronosticar y optimizar el uso de aditivos de control de polvo, estabilización de suelos y antihielo para carreteras, de manera de construir y mantener las condiciones en estos caminos. Las redes de carreteras requieren, a lo largo del año, diferentes aditivos de control del polvo, estabilización del suelo y antihielo para garantizar un tránsito libre de polvo, seguro, suave, regular y de bajo consumo de combustible. Los administradores de carreteras deben decidir qué aditivo usar, dónde usarlo, cómo usarlo, cuánto y cuándo usarlo, de una manera rentable. El sistema divulgado utiliza sensores georreferenciados montados en vehículos y estaciones, un sistema informático, un método y algoritmos para pronosticar la demanda de aditivos de mantenimiento vial (control de polvo, estabilización de suelos y anti-hielo), gestionar su proceso de aplicación, informes de optimización y cumplimiento. y diferentes lugares de interacción de usuarios, como acceso web, aplicación móvil, Internet de las cosas y Realidad Virtualmente Aumentada. El sistema descrito permite a los fabricantes de aditivos para carreteras personalizar sus mezclas de productos para optimizar su rendimiento en función de tipos específicos de suelos y necesidades de la red de carreteras. El método descrito también puede configurarse con túneles de localización subterráneos para proporcionar un sistema de gestión aditiva de una carretera subterránea.	Samuel Toledo Subirana
CN201910706089A	Fault monitoring system and method for mine shaft	8 de enero de 2019	Se proporciona un sistema de monitoreo de fallas para un pozo de mina, que comprende un terminal de adquisición, uno de transmisión y uno de monitoreo de tierra, donde el terminal de adquisición se usa principalmente para adquirir los datos requeridos en el pozo de la mina, el terminal de transmisión es un diseño Zigbee, y una estructura de red utilizada para transmitir datos y el terminal de monitoreo terrestre es una estación de control inteligente para analizar, clasificar y juzgar datos, que puede recopilar varios datos ambientales y de rendimiento del pozo de la mina, realizar análisis automático, monitoreo, almacenamiento, alarma y reconocimiento de fallas, y puede monitorear y predecir la etapa temprana de peligros ocultos en su modo de comparación de tendencias único. Mientras tanto, después de que ocurre una situación anormal, los datos de imagen relevantes se pueden recuperar automáticamente, de modo que un ingeniero pueda tomar suficientes datos para el análisis del terreno y así mejorar la cantidad y la seguridad de la ingeniería de mantenimiento.	QINGDAO TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

Número de solicitud	Título Patente	Fecha de prioridad	Breve descripción	Solicitante
CN105554837A	Intelligent sensing node and sensing method for underground work surface wireless sensor network	8 enero 2016	Se proporcionan un nodo de detección inteligente y un método de detección para una red de sensores inalámbricos de superficie de trabajo subterránea. El nodo sensor comprende un microprocesador de bajo consumo de energía, un módulo de recepción inalámbrico, un módulo de transmisión inalámbrico, un módulo de alarma de luz y sonido, un sensor de temperatura, un sensor de infrarrojos, un sensor de vibración, un sensor de sonido, un módulo de monitoreo de la fuente de energía, una batería de almacenamiento y carcasa antiexplosión y antichoque. El nodo de detección monitorea la cantidad eléctrica de la batería de almacenamiento en tiempo real. El reenvío adaptativo de la información del nodo se determina a través de la información de cantidad eléctrica para realizar un algoritmo de enrutamiento inteligente, basado en la disipación del balance energético, en tanto, el nodo de detección detecta la temperatura ambiental, el sonido y señales infrarrojas de una superficie de trabajo en tiempo real, y se mide la información de vibración sobre el propio nodo sensor. El nodo sensor mide las señales de posicionamiento enviadas por otros nodos y realiza la interpretación de la posición del nodo, según AOA / TDOA, para realizar el autoposicionamiento del nodo sensor. El nodo de detección tiene una buena adaptación ambiental, por lo que no es necesario establecer la posición inicial de cada nodo y el nodo de detección y el método de detección se pueden aplicar a entornos inestables después de desastres mineros.	CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY
AU2015200309A	Predicting failure of a mining machine	22 enero 2015	Un método para identificar el deslizamiento de la correa de multitud de una máquina minera. Comprende: recibir, por un procesador, datos de velocidad del motor indicativos; recibir, datos de velocidad del eje indicativos de la velocidad del eje, el cual es impulsado por el motor de multitud; supervisar, por parte del procesador, la velocidad del motor y la velocidad del eje, para identificar una disminución en la velocidad del eje indicativa de una anomalía de deslizamiento de la banda de carga y generar una alerta, por parte del procesador, que indique la anomalía de deslizamiento del cinturón de multitud y sistema correspondiente.	JOY GLOBAL SURFACE MINING INC

Número de solicitud	Título Patente	Fecha de prioridad	Breve descripción	Solicitante
US2015012094W	Optimization of truck assignments in a mine using simulation	20 enero 2015	<p>Asignación de camiones que se pueden utilizar en la industria minera.</p> <p>Mejora la utilización de los activos en todas las minas y no están limitadas a ninguna en particular.</p> <p>Las implementaciones de ejemplo incluyen la realización de simulaciones para determinar las asignaciones de camiones a pares de pala / descarga.</p>	Hitachi Ltd.
US9213934B1	Real time explosive hazard information sensing, processing, and communication for autonomous operation	16 marzo 2011	<p>Un núcleo de inteligencia de robot (RIK) que incluye una estructura de autonomía dinámica con dos o más niveles entre la intervención del operador y la iniciativa del robot. Un sensor de mina y módulo de procesamiento (ESPM), que opera por separado del RIK, percibe variables ambientales indicativas de una mina que utiliza perceptores subterráneos. El ESPM procesa la información de la mina para determinar la probabilidad de presencia. Un robot puede modificar de forma autónoma el comportamiento en respuesta a una indicación de una mina detectada. El comportamiento se modifica entre la detección de minas, el escaneo detallado y la caracterización de la mina, el desarrollo de los parámetros de indicación de la mina y la reanudación de la detección. Los mensajes en tiempo real se transmiten entre el RIK y el ESPM. Una combinación de mensajes vinculados ESPM y mensajes vinculados RIK hacen que la plataforma del robot cambie entre modos, incluido uno de calibración, de detección de minas y de caracterización de las mismas.</p>	BATTELLE ENERGY ALLIANCE, LLC

"Minera Antucoya, Catados, Nave 3"

Antofagasta Minerals, 2017

CC BY-NC-ND 2.0

04

PANORAMA DE MERCADO

La extracción eficiente de materias primas es uno de los conceptos de moda más importante en este momento en las compañías mineras. En este sentido, McKinsey ha estimado que la implementación de análisis de datos, robótica y otras tecnologías pueden impulsar la productividad en los sectores productores de recursos, con las ganancias en términos de reducción de costos en nuestro escenario de adopción de tecnología acelerada, alcanzando cerca al 30% para el petróleo y al 40% para el mineral de hierro. En general, los aumentos de productividad podrían potencialmente desbloquear entre USD 290 mil millones y USD 390 mil millones en ahorros anuales para los productores en minería metálica y no metálica, con enfoque en 2035<sup>61</sup>.

La tecnología utilizada en la industria minera está cambiando, debido a la creciente demanda de mayor seguridad, productividad y sostenibilidad. Empresas de todo el mundo están adoptando tecnologías automatizadas para mejorar su funcionamiento y obtener un mejor control de los datos en tiempo real. Las empresas mineras están implementando tecnologías inteligentes para la minería y la distribución de productos básicos para satisfacer la demanda mundial de recursos naturales. Este factor está alentando a las empresas que, a su vez, están impulsando el mercado global de minería inteligente. La automatización de esta aumenta la productividad y la eficiencia en general, lo que está llevando a las empresas hacia la implementación de la automatización en esta industria. Además, la adquisición por parte de actores clave está impulsando aún más el mercado global de minería inteligente<sup>62</sup>.

Dentro de los *Key players* en el mercado de minería inteligente se puede mencionar a: Río Tinto, Rockwell Automation, ABB Ltd., Trimble Navigation Ltd., Atlas Copco., Caterpillar Inc., Hitachi Construction Machinery, Komatsu Mining, Cisco Systems Inc., Siemens, Deloitte Intelligent Mining, SAP ERP, Bosch Global, Codelco, Hitachi y Mining Solution<sup>63</sup>.

A pesar de una caída significativa en los ingresos, después de que la pandemia tomó desprevenida a la industria, los expertos esperan que la inversión del sector de los metales y la minería en innovación digital crezca aproximadamente un 10% interanual. Mediante el uso de tecnología innovadora, la industria superará el desafío de convertir las minas tradicionales en minas inteligentes y sostenibles con compromiso social, responsabilidad y cuidado hacia sus trabajadores y sus derechos<sup>64</sup>.

---

<sup>61</sup> "BEYOND THE SUPERCYCLE: HOW TECHNOLOGY IS RESHAPING RESOURCES", McKinsey Global Institute, febrero de 2017, <https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Business%20Functions/Sustainability/Our%20Insights/How%20technology%20is%20reshaping%20supply%20and%20demand%20for%20natural%20resources/MGI-Beyond-the-Supercycle-Executive-summary.pdf>, p.10.

<sup>62</sup> "Smart Mining Market Expected to Witness High Demand, Provisions Associated with Smart Innovation Will Support Growth, Says Fortune Business Insights", Globenewswire, 9 de febrero de 2021, <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/02/09/2171818/0/en/Smart-Mining-Market-Expected-to-Witness-High-Demand-Provisions-Associated-with-Smart-Innovation-Will-Support-Growth-Says-Fortune-Business-Insights.html>

<sup>63</sup> Ibid.

<sup>64</sup> "COVID-19: the catalyst for driving sustainability in the metals and mining sector", Octubre de 2020, International Mining, <https://im-mining.com/2020/10/02/covid-19-catalyst-driving-sustainability-metals-mining-sector/>

El mercado de minería inteligente se valoró en USD 8 mil millones en 2020 y se espera que alcance los USD 24,23 mil millones para 2026, creciendo a una tasa compuesta anual del 20,40% durante el período de pronóstico 2021 - 2026. La minería es una industria de recursos críticos, donde la capacidad de monitorear de forma remota, tanto al personal como el equipo de control, pueden tener un impacto significativo.

Numerosas operaciones mineras han comenzado a asociarse con empresas de tecnología para desarrollar soluciones creativas para el despliegue de redes inalámbricas subterráneas. A lo largo del camino están realizando un mejor seguimiento de los empleados y los equipos, aumentando la seguridad, mejorando el mantenimiento e incrementando la eficiencia<sup>65</sup>.

Se espera que la integración del sistema tenga una participación significativa<sup>66</sup>:

- Se está llevando a cabo la integración de IoT y sistemas inteligentes para reemplazar las partes heredadas de los sistemas. Esta práctica está haciendo que las operaciones en estas industrias sean mucho más accesibles, productivas y eficientes.
- Hoy en día, la adopción de IoT también puede depender de cómo se desarrolle la integración, en las minas existentes. Por ejemplo, la integración adecuada de la tecnología de radiofrecuencia y la red de sensores inalámbricos puede mejorar la seguridad dentro de las minas. A medida que se adopten tecnologías más inteligentes y dispositivos de IoT en el sector, se prevé que la necesidad de sistemas de integración avanzados crezca simultáneamente.
- En diciembre de 2018, ABB amplió su software de biblioteca de control de energía 800xA del sistema ABB Ability (anteriormente biblioteca MIDAS), para integrar más opciones, con el fin de comunicarse y controlar dispositivos eléctricos en toda la infraestructura de energía, para operaciones de procesamiento de minerales y minería. Esto, ayuda a integrar la funcionalidad de conexión de PLC, para extender la automatización de energía más allá de los dispositivos e infraestructura IEC 61850.

---

<sup>65</sup> "Global Smart Mining Market Growth, Trends, COVID-19 Impact and Forecasts 2021-2026 - Growing Emphasis on Worker Safety & Health - ResearchAndMarkets.com", Businesswire, 10 de marzo de 2021, <https://www.businesswire.com/news/home/20210310005408/en/Global-Smart-Mining-Market-Growth-Trends-COVID-19-Impact-and-Forecasts-2021-2026---Growing-Emphasis-on-Worker-Safety-Health---ResearchAndMarkets.com>

<sup>66</sup> Ibid.

Por otro lado, se ha proyectado que el tamaño del mercado de la “minería verde” crezca de los USD 9,0 mil millones estimados en 2019 a USD 12,9 mil millones para 2024, a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 7,5% durante el período de pronóstico, siendo Norteamérica la región con mayor crecimiento proyectado. En esta dirección, algunos desarrollos recientes e interesantes de mencionar pueden ser<sup>67</sup>:

- La mina Raglan de Glencore opera de manera rentable para extraer níquel. La mina no está conectada con ninguna red hidroeléctrica o de gas natural. Glencore ha estado trabajando en el uso de fuentes de energía renovables para la mina Raglan, mediante la construcción de una turbina eólica junto con un sistema de almacenamiento integrado con la red de energía, que permitan la máxima energía de la turbina eólica.
- Rio Tinto se está enfocando en mejorar la eficiencia y la productividad de sus operaciones y ha reducido su intensidad de emisiones en casi un 30% y apunta a disminuirla aún más para 2020. Aproximadamente, el 70% de la electricidad que se usa en toda la organización proviene de energías renovables bajas en carbono. La empresa también es la primera en ser verificada bajo la iniciativa de administración del aluminio.
- Vale invirtió USD 487 millones en 2017 en desempeño ambiental y su mejora. Entre eso, la inversión más significativa fue en emisiones atmosféricas, recursos hídricos y gestión de residuos.
- BHP Billiton ha instalado redes de monitoreo del aire en tiempo real para proporcionar información adecuada sobre los impactos del polvo fuera del sitio. Esto permitirá a la empresa realizar los cambios necesarios en las actividades de mitigación del polvo, en respuesta a cualquier cambio en el clima o en las propiedades del producto.

Los componentes y equipos de minería inteligente encuentran su aplicación tanto en la minería subterránea como en la minería de superficie, también conocida como operaciones de minería a cielo abierto o a rajo abierto. La integración de la minería inteligente en la minería subterránea ha mejorado las condiciones de trabajo en el sitio y ha aumentado la productividad de las minas subterráneas<sup>68</sup>.

---

<sup>67</sup> Green Mining Market by Mining Type (Surface and Underground), Technology (Power Reduction, Fuel and Maintenance Reduction, Toxicity Reduction, Emission Reduction, and Water Reduction), and Region (NA, SA, EU, APAC, MEA) - Global Forecast to 2024, Markets&Markets, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/green-mining-market-142994284.html>

<sup>68</sup> “Smart Mining Solution - Global Market Outlook (2019-2027)” Research and Markets, junio 2020, <https://www.researchandmarkets.com/reports/5116299/smart-mining-solution-global-market-outlook#pos-0>

Una mayor conciencia sobre las duras influencias de las atmósferas mineras, como la exposición a los rayos UV, el polvo, el ruido, los peligros químicos, la inestabilidad del suelo y otros, causan problemas de salud en los trabajadores de la mina y en el medio ambiente. Esto está influyendo en muchos fabricantes claves para introducir soluciones avanzadas de minería inteligente. La integración de flotas autónomas, equipos de control remoto y soluciones de ventilación ofrecen condiciones de trabajo seguras y también mejoran las productividades operativas. Además, el crecimiento del mercado está impulsado por un mayor enfoque en la seguridad y la salud, el aumento en la adopción de soluciones de IoT y en la implementación de equipos autónomos. Sin embargo, la falta de mano de obra altamente capacitada y calificada y la accesibilidad a una infraestructura deficiente limitan el crecimiento del mercado. La operación de equipos de minería inteligente requiere personal capacitado para obtener la máxima eficiencia y reducir los accidentes en el sitio. Al mismo tiempo, se proyecta que la aplicación de regulaciones estrictas, como la Ley de Protección Ambiental y otras, por parte de varios gobiernos para controlar las emisiones y la contaminación del aire, ofrezca oportunidades en el desarrollo tecnológico<sup>69</sup>.

Dentro de algunas noticias que destacar se puede mencionar que la empresa ABB ha firmado un Memorando de Entendimiento (MoU) con Hitachi Construction Machinery para compartir su experiencia y colaborar para llevar al mercado soluciones que reducirán las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas con la maquinaria pesada en la minería. "Hoy, el desafío de nuestros clientes está en la electrificación de camiones y el momento de cambiar es ahora. Pero nadie puede lograr esta transformación solo. Se necesita la creación conjunta de soluciones con OEM y empresas mineras para integrar con éxito la electrificación en las minas", menciona Max Luedtke, ABB's Global Head of Mining<sup>70</sup>.

---

<sup>69</sup> Smart Mining Market by Type (Underground Mining and Surface Mining) and Category (Automated Equipment and Component): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2020-2027. Allied Market Research, marzo 2020, <https://www.alliedmarketresearch.com/smart-mining-market>

<sup>70</sup> ABB calls for more collaboration with OEMs to accelerate transition to all-electric mines as it signs memorandum with Hitachi Construction Machinery, ABB, 29 de marzo de 2021, <https://new.abb.com/news/detail/76215/abb-calls-for-more-collaboration-with-oems-to-accelerate-transition-to-all-electric-mines-as-it-signs-memorandum-with-hitachi-construction-machinery>

## Mercado en Chile

Se considera que las tecnologías que han marcado un antes y un después en minería en Chile consisten en las de control de fatiga/somnolencia, choque y colisión, y electromovilidad. De acuerdo con CODELCO, la integración de la electromovilidad de forma progresiva es clave para hacer una implementación que tenga mejores resultados en los procesos claves y críticos de la operación<sup>71</sup>.

Para implementar nuevas tecnologías, empresas mineras como CODELCO, poseen una mesa corporativa de electromovilidad (innovación, sustentabilidad, recursos estratégicos, abastecimiento y divisiones), abordan los desafíos con equipos multidisciplinarios y se relacionan con diferentes partners. A su vez, se está continuamente buscando, a nivel mundial, empresas que tengan experiencia demostrada en operar, diseñar y mantener minas que funcionen con equipos 100% eléctricos. En ese sentido, la región de Ontario, Canadá, representa un hub interesante de observar<sup>72</sup>.

En otras empresas mineras, como AMSA, están afrontando la gestión de cambios implementando una Vicepresidencia de Estrategia e Innovación y trabajando en codesarrollo con los proveedores de minería, los que considera fundamentales. Adicionalmente, Nury Briceño, subgerenta de Innovación Operacional de esta compañía, considera que el nivel de las empresas chilenas es alto y hay buenos conocimientos<sup>73</sup>.

Por otro lado, para Carolina Toro, de EY, la implementación de cambios va de la mano con las empresas consultoras expertas en tecnologías, siendo realizados de manera más ágil, con revisiones constantes, volviendo atrás si es necesario, de manera que no exista la demora actual<sup>74</sup>.

---

<sup>71</sup> Gonzalo Ramírez Troxler, (Especialista en Electromovilidad, CODELCO), en entrevista con APTA el 29 de septiembre de 2020.

<sup>72</sup> Ibid.

<sup>73</sup> Nury Briceño, (Subgerenta de Innovación Operacional, Antofagasta Minerals), en entrevista con APTA el 7 de octubre de 2020.

<sup>74</sup> Carolina Toro, (Directora asociada de minería y energía, EY), en entrevista con APTA el 14 de octubre de 2020.

## Brechas

Algunas de las brechas identificadas relacionadas con la implementación de tecnologías para lograr una minería inteligente y sustentable en Chile, tienen relación con la falta de instancias para colaborar con universidades existiendo en estas instituciones buenas capacidades, pero falta de experiencia práctica<sup>75</sup>. Además, para los altos directivos se vuelve difícil tomar la decisión de implementarlas, siendo el uso de metodologías ágiles importantes, ya que han logrado vencer el paradigma de deber tener todos los datos antes de tomar una decisión, por ejemplo, para automatización y analítica y, finalmente, el cambio cultural o gestión del cambio son muy relevantes<sup>76</sup>.

Respecto a esta última, según señala Nury Briceño, la gestión del cambio –si la tecnología realmente está pensada en el usuario– no debería requerir gran cantidad de cursos de capacitación para implementarla. Asimismo, las tecnologías mineras deben considerar que en las compañías existen varias generaciones de profesionales a las que hay que apuntar<sup>77</sup>.

## Oportunidades

En cuanto a las oportunidades detectadas en el mercado chileno, éstas tienen relación con la preocupación de todos los elementos de desgaste (wearables); elementos tecnológicos que aporten a disminuir el costo en transporte de la mina; realizar más análisis de datos e IA con los sistemas ya instalados para establecer el impacto de las tecnologías implementadas en la actualidad en minería<sup>78</sup>, y la formación de capacidades y generación de conocimiento exclusivo nacional, ya que las empresas de ingeniería que resolvieron los problemas para implementar empresas mineras eléctricas en otros países, como Canadá, no necesariamente podrán resolver los problemas locales<sup>79</sup>.

---

<sup>75</sup> Gonzalo Ramírez Troxler, (Especialista en Electromovilidad, CODELCO), en entrevista con APTA el 29 de septiembre de 2020.

<sup>76</sup> Nury Briceño, (Subgerente de Innovación Operacional, Antofagasta Minerals), en entrevista con APTA el 7 de octubre de 2020.

<sup>77</sup> Ibid

<sup>78</sup> Carolina Toro, (Directora asociada de minería y energía, EY), en entrevista con APTA el 14 de octubre de 2020.

<sup>79</sup> Gonzalo Ramírez Troxler, (Especialista en Electromovilidad, CODELCO), en entrevista con APTA el 29 de septiembre de 2020.

## Productos y/o servicios

A continuación, se detallan algunos productos y servicios identificados, que están dirigidos a abordar los desafíos y oportunidades mencionados en las secciones anteriores, dentro de los cuales destacan compañías con participación en patentamiento.

**Tabla 3. Productos y servicios identificados**

Producto/Servicio	Breve descripción	Fabricante o prestador de servicio
Stone Three	<p>Stone Three es una empresa de IoT industrial que aprovecha su amplio conocimiento de dominio, ciencia de datos y experiencia en software empresarial, y capacidades de dispositivos para desarrollar soluciones sostenibles a problemas repetidos en industrias globales clave.</p> <p>Han desarrollado un sistema de visión artificial que mejora la productividad del camión de transporte, al monitorear y alertar sobre carga insuficiente y sobrecarga, lo que brinda más visibilidad y control de su preciosa carga.</p>	Stone Three (USA)
4sight.Ai	<p>Symbotic Ware es una empresa dedicada a transformar digitalmente las industrias de recursos con información de datos procesable de extremo a extremo, en tiempo real. 4sight.ai empodera las operaciones con monitoreo proactivo, informes en tiempo real y conocimientos prácticos sobre el estado y la productividad de sus máquinas. Algunos de sus objetivos apuntan a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar el tiempo de inactividad no programado</li> <li>• Optimizar la productividad de los activos y los operadores</li> <li>• Minimizar el consumo de combustible</li> <li>• Reducir la huella de carbono</li> <li>• Reducir los costos operativos</li> <li>• Mejorar la seguridad</li> </ul>	Symbotic Ware (Suecia)

Producto/Servicio	Breve descripción	Fabricante o prestador de servicio
Smart Mining Coach	Indimin es una empresa que conecta inteligencia artificial, personas y productividad para una minería sostenible. El Smart Mining Coach es un asistente digital inteligente, que detecta en línea y en forma predictiva y personalizada pérdidas operacionales y oportunidades de mejora de personas, procesos y activos mineros. Permite ver la productividad personalizada en línea y en forma remota.	Indimin (Chile)
Mine Brain	Con tecnología de Big Data e Inteligencia Artificial, la solución Mine Brain de Huawei puede aumentar la seguridad en las minas de carbón, al optimizar el lugar de trabajo y la eficiencia de supervisión. Puede reemplazar a los humanos en entornos peligrosos y asumir tareas tediosas y repetitivas. Por ejemplo, las capacidades de visión por computadora de Mine Brain pueden monitorear los transportadores raspadores, reduciendo la cantidad de personas necesarias y aumentando la eficiencia.	Huawei (China)
MT Guardian	La empresa Mining Tag desarrolla e implementa soluciones de monitoreo y visibilidad de procesos para mejorar la seguridad y productividad en la industria minera. El sistema permite localizar en tiempo real múltiples personas, equipos y activos, a través de la utilización de tecnología RFID. Personas o vehículos al interior de la mina utilizan sensores que serán detectados mediante portales ubicados en entradas o salidas y zonas claves. Por medio de una plataforma web, es posible visualizar reportes en tiempo real. MT Guardian permite monitorear los accesos de personas en buses y camionetas al instante, reportando datos hasta una velocidad de ingreso a mina de 50 km/h.	Mining Tag (Chile)
Rhino	Emplea sensores inteligentes, técnicas de perforación sísmica e IA para medir propiedades de rocas en tiempo real, mientras se realizan los trabajos de perforación de pozos de tronadura.	DataCloud (USA)



**05**

**CONCLUSIONES GENERALES**

- A nivel mundial, los mercados asociados a la minería inteligente y minería verde presentan tasas de crecimiento positivas. También se evidencia la aparición del concepto “Green Climate Smart Mining”, el cual busca garantizar que la descarbonización de los sectores minero y energético también beneficie a los países ricos en recursos que albergan estos minerales estratégicos y a las comunidades directamente afectadas por su extracción.
- El crecimiento del mercado está impulsado por un mayor enfoque en la seguridad y la salud, el aumento en la adopción de soluciones de IoT y la implementación de equipos autónomos.
- En la actualidad, las empresas mineras nacionales e internacionales han incorporado algunas tecnologías y han comenzado a tomar planes de acción en sus operaciones, que apunten a la sustentabilidad de sus diferentes procesos, incluso, algunas compañías nacionales –tales como AMSA y CODELCO– están creando áreas específicas para analizar este tipo de actividades.
- En relación con las principales áreas de desarrollo tecnológico, se destaca la generación de nuevos sistemas de gestión de recursos para la producción y también para seguridad; sistemas de control y automatización del equipamiento, lo cual se encuentra directamente relacionado con los desafíos detectados en áreas como seguridad, control de polvo, electromovilidad para equipos a rajo y el análisis de datos para evaluar las soluciones implementadas, entre otros.
- Algunos de los aspectos y soluciones que se han fortalecido, como parte de un potenciamiento de la industria nacional para lograr una minería inteligente y medioambientalmente sustentable, han sido el desarrollo de tecnologías de información, automatización de equipos, electromovilidad, copper mark, simulaciones en 3D de procesos y equipos, realidad virtual y minería sin agua.
- La industria minera chilena ha sido pionera en el mundo en cuanto a la implementación y desarrollo, en conjunto con sus proveedores, de distintas tecnologías. Tal es el caso de la División Gabriela Mistral de CODELCO, considerada como la primera faena minera a nivel mundial en tener toda su flota de Camiones de Extracción completamente autónomos. Adicionalmente, en la misma División, específicamente en planta Pampa Elvira Solar, se utiliza blockchain para certificar datos de los procesos.
- Referente al trabajo de investigación a nivel mundial, China y Estados Unidos poseen una alta participación en publicaciones científicas relacionadas con Minería inteligente. En Chile, destacan la Universidad de Chile, Universidad de Santiago de Chile y Universidad Adolfo Ibáñez.

- En relación con el patentamiento, a nivel global se pudo observar que las solicitudes relacionadas con IoT y minería han presentado un alza en los últimos 10 años. Lo mismo ha ocurrido con las solicitudes de patentes vinculadas con sustentabilidad en minería. En este sentido, se mantiene una gran participación de organizaciones chinas y también estadounidenses. Además, al realizar una revisión de dónde y en qué áreas se concentran mayoritariamente las patentes, se pudo observar que hay foco en Blockchain, vehículos inteligentes, comunicación inalámbrica y fuentes de agua.
- Se han identificado una serie de soluciones disponibles a nivel comercial, lo cual da cuenta que el desarrollo científico y tecnológico ha traído como consecuencia la implementación de productos en el mercado, como es el caso de Stone Three; enfocada en mejorar factores de las operaciones. Muchas de las soluciones que se ofrecen actualmente en la Industria 4.0 están dirigidas a su aplicabilidad en la minería inteligente como, por ejemplo, el uso de gemelos digitales, lo cual permite el traspaso de know how y así disminuir posibles errores en su implementación.
- La incertidumbre respecto a las tecnologías que existirán en el futuro hace que los profesionales tengan que desarrollar habilidades multidisciplinarias, conectar ideas y construir información, por lo que la tendencia presente y futura de la industria minera está en unir al hombre y la tecnología potenciando lo mejor de ambos. Asimismo, se presenta el desafío de que los desarrollos tecnológicos apunten a la variedad generacional y disciplinaria del personal que trabaja en minería.
- En cuanto a las oportunidades detectadas en el mercado chileno, éstas tienen relación con la preocupación de todos los elementos de desgaste (wearables); elementos tecnológicos que aporten a disminuir el costo en transporte de la mina; realizar más análisis de datos e IA con los sistemas ya instalados para establecer el impacto de las tecnologías implementadas en la actualidad en minería y la formación de capacidades y generación de conocimiento exclusivo nacional; pues las soluciones desarrolladas en otros países no siempre resuelven completamente los requerimientos de la industria minera chilena.

# APTA | ANDES PACIFIC TECHNOLOGY ACCESS

[www.hubapta.com](http://www.hubapta.com)



@Hub\_APTA



Hub APTA



Hub APTA



[info@hubapta.com](mailto:info@hubapta.com)

CORFO 

