Informe técnico de Frost & Sullivan

Una nueva era para la industria metalúrgica:

Tecnologías digitales y de automatización para satisfacer la demanda creciente y al mismo tiempo alcanzar los objetivos de sostenibilidad

En alianza con

Schneider Electric

FROST & SULLIVAN

Empresa Growth Pipeline™

Capítulo 1: La descarbonización, el gran disruptor: Satisfacer la mayor demanda de metales y minerales 3

Los metales como columna vertebral de las energías renovables 4

Los vehículos eléctricos impulsan la demanda de metales 5

Las fuerzas que aumentan la demanda también pueden restringir las operaciones 6

Capítulo 2: Las múltiples facetas de un negocio "sostenible" 8

La mayoría de los desafíos culminan con la Licencia Para Operar (LTO,por sus siglas en inglés) 8

Mejoras en la sustentabilidad que crean ventajas comerciales y en la cadena de valor..... 12

Capítulo 3: Transformación digital para crear resiliencia en los modelos de negocio y sostenibilidad operativa..... 13

Digitalización de la industria metalúrgica mediante operaciones unificadas..... 13

Soluciones digitales que impulsan los objetivos de la empresa y la industria 14

Los líderes del mercado del futuro necesitan sostenibilidad mediante la tecnología 17

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

CAPÍTULO 1: LA DESCARBONIZACIÓN, EL GRAN DISRUPTOR: SATISFACER LA CRECIENTE DEMANDA DE METALES Y MINERALES

Se espera que la expansión de los objetivos de sostenibilidad ambiental adoptados por las entidades del sector público y privado sea uno de los factores de cambio dominantes en los próximos años. Los gobiernos han establecido objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial, y casi todos los países, que abarcan el 98% de las emisiones de GEI, han firmado el Acuerdo Climático de París. Cientos de ciudades y miles de empresas han establecido objetivos de GEI, que van desde la reducción a la mitad de las emisiones para 2030 hasta alcanzar la neutralidad de carbono para 2050.

Estos cambios monumentales en las políticas gubernamentales y las prioridades comerciales van a repercutir en los mercados globales. Junto con la responsabilidad de cumplir los objetivos, surgen oportunidades mediante el crecimiento de ciertos sectores y nuevas tecnologías. La industria metalúrgica se encuentra en un cruce interesante entre estos frentes: por un lado, los contaminantes, así como el uso de energía y agua, deberán mejorarse o compensarse, mientras que, por el otro, la industria se beneficiará de la creciente demanda de metales. Que requieren las energías renovables y los vehículos eléctricos (VE). Este documento analiza estas oportunidades, resume lo que la industria enfrentará en la próxima década y explora cómo las soluciones inteligentes basadas en datos crearán negocios resilentes y sostenibles.

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

Los metales como columna vertebral de las energías renovables

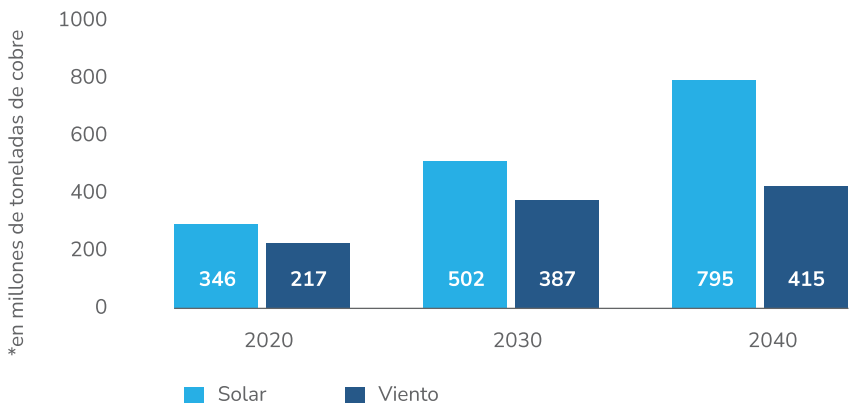
Docenas de países en todo el mundo, incluida la Unión Europea y 22 estados de Estados Unidos, se han comprometido a utilizar energía 100% renovable para 2050, al canalizar inversiones masivas hacia el cambio de energía fósil a la energía renovable. La investigación de Frost & Sullivan estima que las inversiones anuales en energía renovable para América del Norte aumentarán de $ 28 mil millones en 2021 a más de $ 58 mil millones para 2030, lo que resultará en $ 447 mil millones en inversiones netas en el mercado durante este período.[i] A nivel mundial, se pronostica que las instalaciones de energía solar se expandirán dramáticamente en los próximos años, al superar los 3500 gigavatios (GW) de capacidad instalada en 2022 a casi 1700 GW instalados para 2025, un crecimiento masivo de más del 57%.[ii]

Tanto la energía eólica como la solar desempeñarán un papel importante en la consecución de los objetivos de energía verde. Las instalaciones solares superarán a la eólica en los próximos años debido a la disminución de los precios de la energía solar y la capacidad de ubicar la generación solar cerca del punto de consumo (al eliminar la necesidad de una costosa transmisión de energía a través de las geografías). Entre 2021 y 2030, sé espera que Estados Unidos agregue 286 GW de energía solar[iii] en comparación a los 199 GW de energía eólica. Se espera que esta tendencia refleje también la demanda mundial, ya que la energía solar representará casi él 60 % de las nuevas instalaciones de energía renovable en comparación con el 25 % de la energía renovable procedente de la energía eólica terrestre para 2030.[iv] Ambos mercados experimentarán un crecimiento saludable a medida que el mundo se esfuerce por cumplir objetivos ambientales agresivos.

La capacidad de la industria metalúrgica para garantizar un suministro adecuado a estos mercados es fundamental para lograr los objetivos globales en materia de energías renovables. Cada megavatio (MW) eólico requiere más de 100 toneladas de acero, más de una tonelada y media de cobre, una tonelada de aluminio, una cantidad significativa de zinc y dos tercios de tonelada de elementos de tierras raras. El volumen de metal necesario para satisfacer la demanda es inmenso. Por ejemplo, la demanda de cobre se expandirá en 5,5 millones de toneladas entre 2018 y 2028 para satisfacer la capacidad eólica.[v]

El cobre también es un elemento crítico para la industria solar, solo superado por el silicio metaloide para su uso en paneles fotovoltaicos (FV). Un megavatio de energía solar fotovoltaica requiere entre 4,5[vi] y 5.5[vii] toneladas de cobre. En el Escenario de Desarrollo Sostenible de la Asociación Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) (un pronóstico más ambicioso que su escenario de política establecido), la demanda de cobre de la industria solar podría aumentar casi un 250 % durante esta década, desde su estimación de 346 mil toneladas vendidas en 2020 a tanto como 927 mil toneladas para 2030. Frost & Sullivan calcula que la demanda de cobre será mayor; la industria necesitará casi 1.100.000 toneladas de cobre para 2025.

Expansión masiva del cobre para satisfacer la demanda de energía renovable

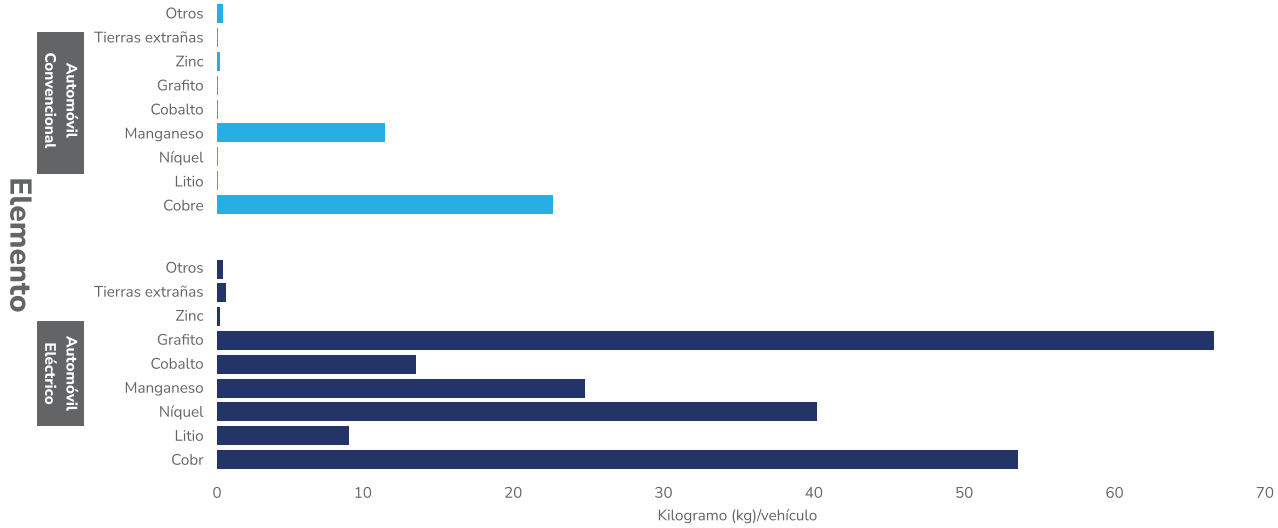


Fuente: IEA. La función de los minerales críticos en las transiciones hacia energías limpias. Escenario estándar.

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

El aluminio es otro metal importante para la industria solar. Si bien no está presente en gran medida en los paneles fotovoltaicos, el aluminio (junto con el zinc para la galvanización) forma la mayor parte de los marcos de los paneles y las estructuras relacionadas. Los fabricantes necesitan más o menos 47 toneladas de aluminio para 1 MW de energía solar fotovoltaica.[viii] El Banco Mundial predice que para 2050 la energía solar representará el 87 % del aluminio utilizado para las tecnologías de generación de energía,[ix] y la energía eólica ocupará el segundo lugar con un 9,7%., La demanda de energía renovable para el aluminio eclipsa lo que necesitan los combustibles fósiles o la energía nuclear. Se espera que la demanda solar en el mercado mundial del aluminio aumenté del 3 % actual a 12% para 2040.[x] El zinc, necesario para el aluminio galvanizado, también se expandirá de 0,4 millones de toneladas a más de 2 millones de toneladas en escenarios de alto crecimiento del mercado para 2040.[xi] Incluso en los escenarios de crecimiento más bajo, aún se proyecta que el mercado de zinc se duplique en este período.

Consumo de minerales en vehículos ICE convencionales frente a vehículos eléctricos



Fuente: IEA. La función de los minerales críticos en las transiciones hacia energías limpias.

Los vehículos eléctricos impulsan la demanda de los metales

Alcanzar los GEI y otros objetivos ambientales requiere cambiar de motores de combustión interna (MCI) de combustibles fósiles a vehículos eléctricos (VE). La investigación de Frost & Sullivan indica que el mercado mundial de vehículos eléctricos (incluidos los vehículos eléctricos híbridos [VEH]) creció alrededor del 75% en 2021,[xii] a pesar de los contratiempos, como la escasez de mano de obra relacionada con la pandemia y los problemas de la cadena de suministro. En unidades, esto equivale a 14,5 millones de VE y VEH, o alrededor del 10% de todos los vehículos vendidos en 2021. Para 2025, se espera que las ventas de vehículos eléctricos alcancen el 18% de todas las ventas de vehículos y superen las ventas de vehículos MCI convencionales antes de que finalice la década. Los vehículos eléctricos representarán más o menos el 56 % de las ventas de vehículos para 2030, más de la mitad de los cuales serán vehículos eléctricos totalmente alimentados por batería (VEB). Los vehículos eléctricos representan más de una cuarta parte de todas las ventas de vehículos en Hong Kong y varios países europeos, incluidos Alemania, Dinamarca, los Países Bajos, Suecia (casi el 50 % de las ventas) y Noruega (más del 65 % de las ventas). A nivel mundial, más de 30 países se han comprometido a eliminar los MIC por completo, y para algunos, incluso los VEH, en las próximas décadas. El crecimiento de los VEB no híbridos está acompañado del mercado global de estaciones de carga que, después de una caída en 2020, se ha recuperado a tasas de crecimiento anual previas a la pandemia del 40 % al 50 %.

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

¿Qué significa esto para la industria metalúrgica y cuánto varían los VE de los MIC convencionales? La respuesta, en pocas palabras, es mucho. Los datos de la IEA[xiii] muestran que se espera que la demanda de grafito, cobre, níquel, manganeso, litio y cobalto crezca significativamente para respaldar la producción de VE y baterías relacionadas.

El cobre registrará la mayor demanda de metales en el espacio de VE. Un automóvil MIC convencional usa de 8 kg a 22 kg de cobre; sin embargo, un VEH usa más o menos 40 kg por vehículo y un BEV necesita 84 kg de cobrex[iv] por vehículo. Para satisfacer la demanda de VE, se estima que la industria agregue 1,700 mil toneladas de producción entre 2017 y 2027.[xv]

> **“Se espera que las ventas de cobre aumenten un 250 % entre 2015 y 2050, con una demanda de más o menos un 14 % de las ventas crecientes de vehículos eléctricos.”**

El níquel, necesario para las baterías, también juega un rol destacado en los vehículos eléctricos. Para 2040, las baterías para vehículos eléctricos representarán hasta el 90% del mercado total de baterías.[xvi] La química de las baterías también evoluciona. Si bien las baterías de iones de litio (ión de Li) (la mayoría de las cuales también usan níquel) han sido la química dominante, y se espera que las baterías de óxido de aluminio de cobalto de níquel, óxido de cobalto de manganeso de níquel y fosfato de hierro y litio aumenten la participación de mercado con el tiempo. Se estima que la demanda de níquel para baterías se duplique entre 2021 y 2040. Las baterías representan entre el 6 % y el 7 % de la demanda mundial de níquel y se estima que aumenten a un tercio de la demanda mundial de níquel para 2030[xvii] y 40 % para 2040[xviii]. Si bien el reciclaje satisfará algunas necesidades, Frost & Sullivan estima que el mercado deberá agregar hasta 2 millones de toneladas de níquel en los próximos 15 años.

> **“El mercado de baterías para vehículos eléctricos aumentó de 4.892 MWh en 2013 a 296.657 MWh en 2021, a una TCAC del 55,7%.”**
>
> *Oportunidades de crecimiento global para baterías de litio avanzadas, Frost & Sullivan, julio de 2022*

Las fuerzas que aumentan la demanda también pueden restringir las Operaciones

Desde una perspectiva de desarrollo comercial, el crecimiento de GEI y otros objetivos ambientales son un buen augurio para la industria metalúrgica; sin embargo, los crecientes costos relativos y las restricciones ambientales siguen siendo desafíos. Los decretos regulatorios presionarán a la baja el uso de los recursos (energía y agua) y restringirán los contaminantes del aire, el agua y el suelo. La dificultad para cumplir con estos objetivos se verá agravada a medida que aumente la demanda, ya que los metales son cada vez más difíciles de extraer debido a la degradación de la calidad del mineral. Por ejemplo, el mineral de cobre suele tener un 1 % o menos de cobre real, en comparación con el 5 % o el 10 % de cobre de hace 150 años, una tendencia a la baja que persiste. Un estudio de las minas de cobre chilenas entre 2003 y 2013 mostró una disminución del 25 % de cobre por peso en el mineral de cobre durante ese período. Una mina en el estudio, la mina El Soldado, también experimentó una disminución en la ley del mineral de 1,7 % en 2003 a 0,46 % en 2012.[xix]

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

La degradación del mineral hace que la extracción y la producción de metales sea relativamente más costosa e intensiva en energía y recursos. El estudio chileno encontró que un crecimiento del 30% en la producción de cobre durante el período de investigación de 10 años requirió un crecimiento del 43 % en la energía utilizada.[xx] A medida que la demanda de cobre y otros metales se dispare en las próximas décadas, cada onza de metal será más difícil, costosa, intensiva en recursos y más contaminante de producir.

Bucle de utilización de recursos

Parte de la solución puede ser adoptar las mismas tecnologías renovables y eléctricas que demandan los metales en expansión en primer lugar, como agregar energía solar y eólica en el sitio y cambiar a equipos que funcionan con baterías. El líder minero BHP ha tomado una iniciativa de este tipo con la construcción de su primera planta solar fuera de la red en febrero de 2022 en Australia en dos minas de níquel destinadas a suministrar material para las baterías de VE Tesla. El sistema de 38 MW con 10 MW de almacenamiento en batería le costará a la compañía más de $ 50 millones y se espera que compense el 12 % de las emisiones de la operación a partir de noviembre de 2022.[xxi]

Si bien la instalación de BHP muestra una mejora espectacular en la reducción de las emisiones de CO2, cuesta a la empresa más de $1,3 millones por MW cuando se incluye la energía de respaldo instalada. Como sé señalará en el Capítulo 2, la reducción de CO2 también puede no ser suficiente para cumplir con las futuras restricciones ambientales. (BHP y sus socios ya han identificado sitios para proyectos futuros de energía eólica en la misma área). La industria necesita encontrar estrategias y considerar inversiones para crear procesos eficientes y sostenibles para construcciones nuevas y actualizar los activos existentes. Como se explorará en él Capítulo 3, las tecnologías basadas en datos serán cruciales en la modernización de las operaciones, al permitir a los primeros en adoptar la oportunidad de capturar un crecimiento nuevo del mercado mientras minimizan los costos derivados de las crecientes restricciones medioambientales.

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

CAPÍTULO 2: LAS MÚLTIPLES FACETAS DE UN NEGOCIO "SOSTENIBLE"

Como se señaló en el capítulo anterior, el cambio global hacia la sostenibilidad ambiental genera crecimiento para la industria metalúrgica. Sin embargo, las mismas fuerzas que impulsan la energía renovable y la adopción de vehículos eléctricos presionan a la industria para que actualice sus procesos. Este capítulo resume lo que enfrenta la industria metalúrgica en los próximos años y presenta soluciones que los primeros usuarios pueden usar para obtener una ventaja competitiva.

La mayoría de los actores de la industria ven la sostenibilidad en un contexto predominantemente ambiental. Sin embargo, convertirse en una organización sostenible también puede extenderse a desarrollar estrategias operativas sólidas para crear un negocio sólido y resilente. Las estrategias ambientales y comerciales sostenibles serán cada vez más dependientes entre sí. El éxito dependerá de metas tan diversas como la utilización de recursos, la reducción de la huella ambiental, el crecimiento de la eficiencia, la digitalización de las cadenas de valor y la optimización de la fuerza laboral.

La mayoría de los desafíos culminan con la licencia para operar (LTO, por sus siglas en inglés)

De todos los principales riesgos comerciales que enfrenta la industria metalúrgica en la actualidad, la licencia para operar se ha convertido rápidamente en un área de enfoque principal. La LTO se considera uno de los tres principales desafíos que enfrentan las operaciones mineras modernas hoy día (los otros dos, consideraciones ambientales/sociales y descarbonización, son asuntos relacionados con la LTO).[xxii] La LTO se refiere a una organización que tiene estrategias correctas, a menudo relacionadas con temas ambientales, sociales y de gobierno (ESG, por sus siglas en inglés), que son aceptables para las comunidades cercanas, el mercado y las partes interesadas de la empresa. En la industria metalúrgica fuertemente globalizada, la LTO trasciende él derecho legal de operar e incluye la aceptación de prácticas comerciales por parte de empleados, socios de la cadena de valor, partes interesadas financieras, gobiernos, organizaciones ambientales y de derechos humanos, la comunidad inversora y el público.

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

Mejoras en la utilización de los recursos

Mejorar la utilización de los recursos, como la descarbonización mediante la energía verde y mejorar el uso/reutilización del agua, es necesario para garantizar la LTO. La industria metalúrgica en su conjunto(incluidos los metales básicos, como el acero, el hierro y el aluminio) representa el 12 % del consumo mundial de electricidad.[xxiii] la mayoría de los cuales proviene de fuentes no renovables. Además de consumir mucha energía, la industria es un usuario importante de agua en sus procesos. Por ejemplo, una planta de cobre que procesa 50000 toneladas de mineral de cobre por día requiere 30000 metros cúbicos (m3) de agua dulce por día.[xxiv] Esto supone una concentración promedio de 0,5 % de cobre dentro del mineral y, como se señaló en el capítulo anterior, disminuye constantemente con el tiempo. Sin nuevas tecnologías y procesos, el costo y el volumen de agua que necesita la producción de cobre aumentará mientras que el volumen de cobre disponible a partir del mineral disminuirá. Así, la industria requerirá más agua para extraer una menor cantidad de cobre.

Para complicar aún más el panorama, gran parte del cobre del mundo proviene de regiones áridas, como él suroeste de los Estados Unidos y el desierto de Atacama en Chile (que producen más del 25 % del cobre y contienen el 20 % de las reservas naturales de cobre a nivel mundial). El agua que utilizan las minas chilenas sé debe transportar a largas distancias y bombear a grandes alturas, al cuadruplicar el costo de cada metro cúbico de agua.[xxv]

La demanda creciente de cobre en tecnologías renovables y vehículos eléctricos tiene un impacto directo en él uso del agua. Un vehículo convencional utiliza entre 8 kg y 22 kg de cobre, como se indicó en el Capítulo 1, y requiere el equivalente de 1,5 a 4 m3 de agua para ese cobre, respectivamente. Mientras tanto, un VEB usa 84 kg de cobre, con 15 m3 de agua, un crecimiento de más o menos diez veces.[xxvi] El litio, otro mineral vital que requieren las baterías de vehículos eléctricos, necesita mucha más agua: 1.900 m3 de agua por tonelada[xxvii] frente a 1.670 m3 por tonelada de cobre.

Como la geografía y la disponibilidad de recursos varían de un sitio a otro, también lo hace la energía requerida por cada metro cúbico de agua que utiliza la industria metalúrgica. Sin embargo, la energía y el agua están vinculadas inevitablemente, ya que cada paso del proceso del agua (transporte, uso, procesamiento y reciclaje) requiere energía. En Chile, el uso de agua y energía aumentará más de un 2 % y un 3 % por año, respectivamente.[xxviii]

> **“El nexo agua-energía es la interrelación y la interdependencia del agua y energía. La energía por agua y agua para energía son dos conceptos inextricablemente vinculados que expresan la dependencia de un bien con respecto al otro.”**
>
> *Frost & Sullivan, Convergencia tecnológica que resuelve los desafíos del agua y la energía*

Algunas empresas mineras utilizan una combinación de estrategias para hacer frente a los crecimientos de costos inminentes, como el uso de plantas de desalinización para el agua de mar en lugar de depender de la disminución de las reservas de agua subterránea o de volúmenes impredecibles de agua superficial. La desalinización distribuye el riesgo del suministro de agua, pero consume mucha energía; por lo tanto, las empresas mineras pueden utilizar energías renovables para abordar los problemas de agua y energía para impulsar los procesos. El ejemplo de la próxima página muestra cómo BHP aborda estos problemas en sus minas de cobre Escondida y Spence.

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

La energía y el agua son recursos interconectados esenciales que las empresas pueden abordar mediante una combinación de las estrategias siguientes:

- **Actualización a equipos más eficientes:** La mejora es costosa pero necesaria, ya que los minerales de alta calidad se vuelven escasos y aumentan los costos de procesamiento.

- **Utilizar energía renovable cuando sea posible:** Aunque hay un gasto de capital, la energía solar y eólica sin carbono reduce la huella ambiental de una operación. La energía solar fotovoltaica y eólica reducen él uso de agua, ya que la generación de energía nuclear, de carbón o de gas requiere agua de refrigeración o generación de vapor. La tecnología tiene beneficios de costos importantes, especialmente durante la incertidumbre geopolítica, ya que la energía renovable en el sitio protege contra el crecimiento de los costos de los servicios públicos y el combustible y la posible escasez de combustible.

- **Acelerar para convertirse en una mina/planta inteligente:** Los sensores de bajo costo y alta funcionalidad se vuelven omnipresentes en los equipos industriales. Los sensores y análisis sofisticados pueden rastrear rápidamente la productividad, la eficiencia, el estado y la seguridad de los equipos, al generar información basada en datos que se puede incorporar a los sistemas de automatización de procesos para aprovechar los sistemas de automatización de procesos abiertos e inter operable que controlan mejor la eficiencia operativa de la mina y la planta de procesamiento.

Reducción de contaminantes

Junto con la utilización de recursos como objetivo de la LTO/ESG está la reducción de contaminantes, lo que incluye evitar/remediar la contaminación del agua y el suelo, y reducir la contaminación del aire. Las fundiciones y refinerías de metales no ferrosos generan subproductos de metales pesados, partículas radiactivas, dióxido de azufre (SO2), CO2 y partículas que impactan grandes áreas alrededor de la ubicación del proceso. Las represas de relaves construidos para contener desechos (lodos o relaves) deben ser robustas; fallas pasadas han causado numerosas muertes y grandes cantidades de contaminantes que ingresan al medio ambiente. Incluso sin catástrofes de infraestructura, la minería y el procesamiento de metales imponen una pesada carga ambiental. Los analistas han medido niveles dañinos de concentraciones de cobre, plomo, arsénico, zinc y níquel en sitios agrícolas en las vastas regiones productoras de cobre de Chile. En los Estados Unidos, el cobre genera más desechos que cualquier proceso de metal, y es común encontrar pilas de almacenamiento de desechos que abarcan 1,000 acres.[xxix]

Éxitos ambientales de BHP en Chile

Fuente: BHP. Estudio del caso Aquí

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

Si bien los esfuerzos de recuperación del suelo tienden a afectar ubicaciones específicas y están impulsados por la legislación local, las restricciones de contaminación del aire serán un tema general en la industria de metales y minerales. A medida que la producción se expande para satisfacer las necesidades de energía renovable y VE, los gobiernos que luchan por alcanzar los objetivos de GEI buscarán reducciones de CO2 de la industria para minimizar o remediar los contaminantes, lo cual es vital.

El cobre, por ejemplo, representa más o menos el 0,3 % de los GEI globales y podría aumentar al 2,7 % para 2050 a medida que crezca la producción. La importancia del cobre para abordar los objetivos de GEI está impulsada por el tamaño del mercado, ya que otros metales utilizados en los vehículos eléctricos y las energías renovables utilizan otros metales que tienen proporciones de CO2 más altas. Si bien el cobre genera más o menos 2,4 toneladas de carbono por tonelada de cobre producido en comparación con el zinc (3 toneladas de CO2), el litio (15 toneladas de CO2) o el níquel (18 toneladas de CO2), el volumen total de cobre necesario para cumplir con VE y los objetivos de energía renovable significan que la cantidad absoluta de CO2 generado podría eclipsar el impacto de otros metales. La producción de cobre también genera SO2, otro contaminante ambiental importante.

Consideraciones sociales y su relación con el medio ambiente, la fuerza laboral y la tecnología

Los factores sociales de la LTO se relacionan con consideraciones ambientales, así como con el bienestar humano. Garantizar condiciones laborales seguras, reducir los contaminantes y utilizar los recursos crea comunidades más saludables donde operan las empresas. La tecnología desempeña una función importante al crear sistemas de alerta de seguridad y monitoreo de condiciones predictivas y en tiempo real, automatizar tareas que pueden ser repetitivas, peligrosas o propensas a errores humanos, y reducir los costos de cumplimiento ESG mediante seguimiento/informes automatizados de métricas esenciales.

Adoptar un futuro sostenible para la industria metalúrgica va más allá de cumplir con los objetivos ambientales y crear una mejor resiliencia operativa; también puede ayudar a atraer una fuerza laboral cada vez más selectiva. La generación millennial, que será el 75 % de la fuerza laboral mundial para 2030, y la Generación Z en expansión muestra un interés significativamente mayor en trabajar para organizaciones que adoptan prácticas ESG líderes en la industria. La industria metalúrgica debe enmendar su reputación de "industria antigua" mediante la creación de estrategias sociales y ambientales efectivas que las reposicionescomo una industria que permite un futuro más saludable y más verde. Las tecnologías avanzadas que crean negocios eficientes orientados a la LTO y ESG también atraen a la próxima generación de empleados: La inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático (AA), la realidad aumentada (RA), la realidad virtual (RV), la ludificación, robótica avanzada y los equipos autónomos crean funciones interdisciplinarias altamente atractivas, sofisticadas, seguras, versátiles y productivas.

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

Mejoras en la sustentabilidad Creación de negocios y cadena de valor Ventajas

El enfoque en mejorar la sustentabilidad organizacional brinda ventajas más allá de abordar las preocupaciones de la LTO. Los objetivos de GEI de alcance 1 y 2 afectan las operaciones principales de una empresa (alcance 1) o las emisiones directas, como las de los servicios públicos relacionados (alcance 2). La planificación a largo plazo debe considerar la posibilidad de objetivos eventuales de "emisión de la cadena de valor" del alcance 3,[xxxi] en donde las organizaciones miden, informan y mitigan el carbono de fuentes indirectas, como proveedores, transportistas e incluso cómo los clientes usan un producto o material.

El desafío para la industria metalúrgica y su cadena de valor es casi un tanto de información, o mejor dicho, una falta de transparencia en la información, como de reducción de contaminantes, control de costos y crecimiento de la eficiencia. Las industrias de envío, fabricación y nivel superior, como la metalúrgica, tienden a quedar rezagadas con respecto a otras industrias en el uso de registros digitales y plataformas automatizadas que hacen que el seguimiento y la comunicación de información crucial sean más fáciles, rápidos y precisos.[xxxii]

La adopción de soluciones basadas en datos a nivel organizacional prepara a una empresa para abordar los nuevos requerimientos de informes complejos. La colaboración entre los socios de la cadena de valor dentro de una organización y con los reguladores se puede mejorar en gran medida mediante el intercambio de información digitalizada respaldada por plataformas seguras e integradas. Los primeros usuarios y sus socios obtienen mayor eficiencia y claridad en los informes de GEI; la comunicación y la transparencia de datos avanzadas abordan los problemas persistentes de la cadena de suministro y mejoran la programación y la planificación, al atraer y retener una fuerza laboral versátil y eficaz. La digitalización y la modernización de la industria aumentan la eficiencia de los procesos para reducir la utilización de recursos, disminuir la generación de desechos y mitigar los costos crecientes asociados con la producción en expansión rápida. Las tecnologías avanzadas que generan conocimientos organizacionales valiosos y respaldan el intercambio de datos son vitales para la capacidad de la industria metalúrgica de impulsar la sostenibilidad ambiental y comercial.

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

CAPÍTULO 3: TRANSFORMACIÓN DIGITAL PARA CREAR RESILIENCIA EN MODELOS DE NEGOCIOS Y SOSTENIBILIDAD OPERACIONAL

El panorama de la industria metalúrgica está cambiando y generando oportunidades que tendrán efectos considerables en la forma en que operan las empresas. En este documento, hemos analizado la función esencial que desempeñará la industria metalúrgica para ayudar a los gobiernos y organizaciones de todo el mundo a alcanzar sus objetivos ambientales y de GEI. También hemos debatido cómo estos mismos objetivos imponen costos y cargas operativas en la industria. A pesar de esta dicotomía aparente, la industria metalúrgica puede aliviar los costos y aprovechar las oportunidades anticipadas en el avance hacia 2030, la fecha que muchos gobiernos y organizaciones han establecido como un hito importante en su camino hacia la sostenibilidad. Las tecnologías avanzadas tienen una función importante que desempeñar en la construcción de una industria resiliente. La instrumentación especial puede mejorar la detección de contaminantes en el aire, el agua y el suelo e identificar fallas estructurales potenciales en presas de relaves para evitar fallas. Las tecnologías portátiles pueden mejorar la seguridad de los trabajadores mediante alertas sofisticadas y aumentar la productividad al aprovechar el RA. Dentro de una década, la transformación digital de la industria podría reducir las emisiones de carbono en más de 600 millones de toneladas y aumentar las ganancias en un 9 %, al agregar más de $320 mil millones en valor de la industria.[xxxiii] Las empresas con las soluciones basadas en datos adecuadas lograrán la sostenibilidad operativa y ambiental, liberándolas del bucle de utilización de recursos.

Digitalización de la industria metalúrgica a través de operaciones unificadas

La industria metalúrgica adopta cada vez más sensores y equipos de seguimiento para optimizar los activos, medir y mejorar el rendimiento y reducir los riesgos. Sin embargo, la industria todavía va a la zaga de muchas otras: la industria metalúrgica y la minería es al menos un 30 % menos "madura digitalmente" que, por ejemplo, las industrias de tecnología y automotriz.[xxxiv] La transformación digital de la industria metalúrgica aumentará significativamente la eficiencia, reducirá los errores y mejorará las ganancias desde la mina hasta la planta y la distribución.

Pasar a un sistema digital, o un "sistema de sistemas" digitalizado conocido como Operaciones Unificadas, brindaría visibilidad, planificación y programación de extremo a las operaciones. Esta evolución de la información se conoce como Industria 4.0, en la que los puntos de datos estáticos y aislados que pueden informar las decisiones individuales se transforman en conocimientos integrados, dinámicos y procesables que incluso pueden predecir resultados. Las operaciones unificadas para la industria metalúrgica brindan beneficios en toda la organización y sus socios de la cadena de valor, como los siguientes:

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

- **Aumento de la productividad y rentabilidad a través de la utilización de activos:** Como industria intensiva en activos, los metales y la minería obtendrán un importante retorno de la inversión con tecnologías que aumentan la productividad y la eficiencia. Las soluciones digitales avanzadas mejorarán él rendimiento en un 20 % estimado y aumentarán los rendimientos hasta en un 5 %.[xxxv] La plataforma de inteligencia artificial de Codelco, productor de cobre líder en el mercado, aumentó la producción en una mina de más de 100 años en $ 80 millones en 2021,[xxxvi] a pesar de la caída de las leyes de minerales, los costos crecientes y las restricciones ambientales crecientes.

- **Mejor aprovechamiento de los recursos:** Expandir el uso de sensores, datos y análisis brinda el mayor valor si una empresa lo implementa a lo largo de los ciclos de vida de la mina y la planta, desde la fase de diseño y construcción hasta la operación y el mantenimiento de la planta. Sin embargo, la mejora de las plantas existentes con un programa eficaz de gestión de la energía dará como resultado mejoras significativas en la eficiencia. Por ejemplo, mejorar una mina existente reduce los costos de energía entre un 15 % y un 20 % y hasta un 50 % si la empresa incorpora soluciones de eficiencia energética (es decir, estrategias de energía y procesos) en la nueva construcción y diseño.[xxxvii]

- **Ser eficaz y eficiente en operaciones auditables y sostenibles:** Ampliar el cumplimiento ambiental y la información por parte de las empresas y sus socios de la cadena de valor exacerbará los procesos manuales que consumen mucho tiempo y son propensos a errores. La automatización de estos procesos reducirá exponencialmente el tiempo de creación de informes para las agencias reguladoras y liberará recursos costosos para trabajar en tareas que generan más valor, al ayudar a las organizaciones a cumplir con los objetivos ambientales y evitar multas. Barrick Gold utilizó conocimientos digitales mediante soluciones avanzadas para reducir sus desviaciones de permisos ambientales en un 45 %.[xxxviii]

- **Mitigar los problemas costosos de la cadena de suministro:** Los datos e información precisos y en tiempo real de los proveedores y las empresas de envío conducen a mejores predicciones y gestión de la programación. Las empresas que utilizan análisis avanzados para mejorar la programación y la planificación a largo plazo pueden reducir los costos hasta en un 2 %, y la previsión de precios de materias primas basada en datos puede ahorrar entre un 1 % y un 2 % adicionales.[xxxix]

- **Métricas sociales y laborales mejoradas:** Las tecnologías, como los dispositivos portátiles para monitorear el bienestar de los trabajadores, los drones o la robótica para reemplazar a las personas en entornos peligrosos y los datos y análisis avanzados que generan conocimientos, reducen las lesiones entre un 10 % y un 20 %. La automatización crea lugares de trabajo más atractivos, minimiza los riesgos y las tareas redundantes, y atrae a la próxima generación de empleados diversos y comprometidos que buscan carreras altamente tecnológicas.

Soluciones digitales que impulsan los objetivos de la empresa y la industria

Si bien las empresas utilizan soluciones basadas en datos para mejorar los procesos en toda la industria, es posible que subutilicen el potencial de estas soluciones. Acelerar la adopción de soluciones impulsadas digitalmente mejora el rendimiento en más o menos un 20 %, aumenta el rendimiento hasta en un 5 %, mitiga las emisiones entre un 15 % y un 30 % y reduce las lesiones entre un 10 %[xl] y un 20%.[xli] Las organizaciones que buscan adoptar los beneficios de la digitalización pueden implementar las estrategias siguientes:

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

La optimización de procesos crea mejoras en los resultados y metas

El uso de soluciones digitales para optimizar los procesos de una organización puede generar mayores rendimientos y reducir costos, al mejorar los ingresos y las ganancias. Por ejemplo, una empresa minera de cobre utilizó el "Aprendizaje Automático" para analizar datos físicos y químicos para crear un modelo que optimizaría su proceso de recuperación. Amplió el modelo en toda la empresa y, como consecuencia, reconoció un crecimiento del 10 % en el EBIT gracias a mayores ingresos y menores costos operativos.[xlii]

Otra mina de cobre utilizó tres años de datos en un modelo impulsado por IA para cambiar con éxito el punto operativo de su molino y aumentar la producción en más del 10 %. Años de reducción de la calidad del mineral degradaron los ingresos, pero no se probó el molino a velocidades más altas y podría haber tenido consecuencias catastróficas para la seguridad de los trabajadores y la salud del equipo. El modelo le dio al equipo de operaciones los datos y la confianza para ejecutar con éxito el proyecto. El crecimiento resultante en el rendimiento evitó más o menos $200 millones en gastos de capital que habrían sido necesarios para aumentar la producción.[xliii]

Junto con el crecimiento del rendimiento, las operaciones unificadas generan ahorros de costos por la integración de sistemas de energía y potencia como parte de la optimización de procesos. La energía a menudo se administra por separado de los sistemas de proceso, con almacenes de datos y controles separados. Bajo el paraguas de un sistema unificado que fusiona los controles de proceso y energía, las redundancias del sistema se pueden reducir, la producción y la energía se pueden optimizar al mismo tiempo, y los operadores obtienen una mejor visibilidad del sistema de extremo a extremo. Saber cuándo, dónde y cuánta energía se usa durante diferentes horas y actividades permite la creación de programas de reducción de picos, en los que se usan cargas de energía pesadas cuando las tarifas de servicios públicos son más bajas o se utiliza energía en el sitio para compensar las horas pico altas.

Aprovechar las capacidades de los Sistemas de Control Distribuidos (DCS) es otra forma en que una organización puede mejorar la eficiencia en tiempo real, la ciberseguridad, la confiabilidad y, finalmente, el desempeño ambiental de sus activos.

Un DCS es un sistema innovador, tolerante a fallas y altamente disponible que está reforzado con seguridad cibernética y optimizado arquitectónicamente para ofrecer un control más preciso y efectivo sobre la operación de una mina. Al brindar información valiosa sobre el desempeño comercial con logros comprobados hasta de un 20 % de reducción de los costos y riesgos del proyecto, hasta un 30 % menos de tiempo para la primera producción y hasta un 30 % de mejora en los costos de mantenimiento, un DCS permite que una mina satisfaga él crecimiento de la demanda mientras se abordan restricciones ambientales más estrictas.[xliv]

Las soluciones también necesitan adaptarse y evolucionar con la industria y sus necesidades. El uso de estándares y protocolos abiertos por parte de los proveedores líderes en la arquitectura inter operable estará preparado para el futuro, integrándose con capacidades de automatización avanzadas, seguimiento de activos, mantenimiento preventivo/predictivo y otras soluciones que aumentan la eficiencia.

Soluciones Digitales consideradas en Minería

Optimización en los procesos con IA y AA

Aprovechar al máximo todas las capacidades de su DCS

Utilizar el análisis de datos para él mantenimiento predictivo

Gestionar los riesgos de ciberseguridad

Utilizar la tecnología avanzada para crear una fuerza laboral avanzada y conectada

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

Asociarse con un proveedor de DCS avanzado ofrece los siguientes beneficios.

- Los proveedores de DCS pueden contribuir a mejorar los objetivos de la LTO, ESG y comerciales mediante el desarrollo de estrategias de control avanzadas y la medición de emisiones de GEI en tiempo real para identificar mejoras de procesos para reducir las emisiones, el uso de energía y agua, y lograr una mayor productividad de los equipos existentes.

- Al ampliar la cooperación y la influencia en la industria y con los reguladores, los proveedores de DCS colaboran con los actores principales y las partes interesadas de la industria, como gobiernos y organizaciones de investigación, para promover y mejorar las ventajas de los estándares abiertos y los avances tecnológicos. Los grandes proveedores globales de DCS pueden incorporar las mejores prácticas de otras industrias y organizaciones intersectoriales con objetivos similares, como UniversalAutomation.org.

- Los proveedores de DCS permiten una mejor gestión de la fuerza laboral, desde la seguridad hasta la optimización de conjuntos de habilidades y recursos. Al combinar estrategias y operaciones de control, los algoritmos de IA permiten un control adecuado en entornos cambiantes, al realzar la seguridad en el lugar de trabajo, las alertas y las mejoras de productividad. También pueden desarrollar soluciones de simulación de procesos para capacitación y gestión de escenarios de operaciones hipotéticas.

> **“Los proveedores de DCS respaldan las verticales de la industria al permitir que los usuarios finales controlen su impacto ambiental y garanticen lugares de trabajo seguros para todas las partes interesadas.”**
>
> *Oportunidades de crecimiento de los sistemas de control distribuido global de Frost & Sullivan, junio de 2022*

Análisis de datos que para el mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es otra estrategia gratificante que persiguen las organizaciones líderes. Como industria intensiva en activos, el mantenimiento de equipos es una preocupación principal. Sin embargo, programar el mantenimiento, incluso al tener en cuenta la antigüedad del equipo, la ubicación y las variables de uso, aún puede provocar fallas en el equipo que conllevan graves consecuencias financieras y riesgos de seguridad. Por el contrario, realizar un mantenimiento programado con mucha frecuencia (más de lo que se justifica) puede desperdiciar el tiempo y los recursos de una organización. El análisis de datos avanzado junto con el aprendizaje automático utiliza grandes cantidades de datos, lo que permite a las organizaciones predecir dinámicamente los mejores protocolos para mantener los equipos y reducir los riesgos y costos. Según Deloitte, una empresa puede reducir los costos totales de mantenimiento entre un 5 % y un 10 %, el tiempo de planificación del mantenimiento entre un 20 % y un 50 % y aumentar la disponibilidad y el tiempo de actividad de los equipos entre un 10 % y un 20 %[xlv] con mantenimiento predictivo avanzado.

La ciberseguridad es fundamental, pero no debería obstaculizar el progreso

La función fundamental de la industria metalúrgica en la economía global y sus grandes cantidades de datos geológicos y comerciales la convierten en un objetivo principal para los ataques cibernéticos. En una encuesta realizada por Ernst & Young (EY), el 71 % de las empresas mineras notó un crecimiento en los ataques disruptivos en el último año, y el 55 % expresó su preocupación con respecto a qué tan bien manejan el riesgo cibernético.[xlvi]

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

Los incidentes de seguridad cibernética pueden incluir el robo de datos comerciales confidenciales o las operaciones de secuestro que implican daños en los equipos, apagones e interrupciones en las comunicaciones. La implementación de estrategias digitales para permitir el flujo de datos entre la tecnología de la información (TI) y la tecnología operativa (TO) eleva la necesidad de proteger una mayor variedad de soluciones digitales. Sin embargo, el delito cibernético no debería disuadir a las organizaciones mineras y de metales de buscar agresivamente la convergencia de TI/TO. La digitalización es esencial para mantener la competitividad para compensar la disminución de la calidad del mineral, satisfacer la mayor demanda del mercado y cumplir con las restricciones ambientales estrictas. Una estrategia de seguridad integral protegerá, detectará, contrarrestará y mitigará mejor los desafíos cibernéticos que si los datos y los sistemas están en silos, donde los intrusos pueden pasar desapercibidos durante semanas o incluso meses. Una solución de ciberseguridad robusta que aproveche la automatización impulsada por IA puede detectar, corregir y, a veces, predecir amenazas de datos que no son de seguridad, como fallas de software o errores de usuario que pueden resultar en infracciones regulatorias o fallas en todo el sistema.

Un trabajador más seguro, mejor capacitado y más conectado

Muchas de las mismas estrategias que crean operaciones más eficientes también tienen una función dual crítica en la mejora de la seguridad de los trabajadores y del sitio. Codelco,invirtió $ 60 millones en tecnología, lo que produjo un resultado triple de reducción del riesgo de los trabajadores, un crecimiento de la productividad en un 50 % y una reducción de costos en un 20 %.[xlvii] En toda la industria, se espera que la combinación del trabajador conectado y los centros de comando centralizados en plataformas integradas constituya el 60 % del valor que genera la digitalización para la industria metalúrgica en el futuro.[xlviii] El monitoreo de condiciones impulsado por sensores, el mantenimiento preventivo y predictivo y el uso de drones o automatización para tareas difíciles o inaccesibles mantendrán a los empleados fuera de situaciones peligrosas. Las soluciones digitales garantizan que los empleados puedan ejecutar las tareas de campo requeridas para operaciones y mantenimiento confiables y reducir el error humano que puede provocar fallas en los equipos o escenarios de riesgo. Los sistemas centralizados y conectados que identifican y comunican automáticamente información crucial previenen los peligros. Las empresas pueden equipar a los empleados con sensores que rastrean y alertan al usuario, al equipo de operaciones y al personal de emergencia sobre problemas, como contaminantes o mala calidad del aire. Los sensores biométricos alertan a los supervisores sobre los riesgos, como la fatiga o la eliminación del equipo de protección, y los sensores de ubicación limitan la exposición y el acceso a áreas peligrosas. Los análisis avanzados que recopilan e interpretan datos en múltiples sitios que las empresas utilizan para mejorar él rendimiento de los equipos identifican y predicen qué situaciones se convertirán en situaciones peligrosas. Los sistemas automatizados pueden usar datos para facilitar las auditorías y los informes de cumplimiento.

Las empresas pueden difundir estos conocimientos entre sitios y equipos para capacitar a empleados nuevos o mejorar las habilidades de los existentes. Muchas organizaciones en la industria metalúrgica no están preparadas para seguir el ritmo de la adaptación de los empleados a las tecnologías modernas. Una encuesta de Boston Consulting Group (BCG) halló que el 75 % de las organizaciones mineras y de metales no tenían planes de capacitación digital o acababan de comenzar iniciativas de capacitación a pesar de las tecnologías.[xlix] Las empresas harán que la capacitación sea más efectiva y atractiva con simulaciones de RV/RA. Los empleados conectados digitalmente pueden colaborar fácilmente dentro de los equipos y entre ellos, y los empleados de campo pueden ofrecer comentarios inmediatos sobre los problemas, al involucrar a especialistas en tiempo real para diagnosticar fallas o reparar equipos.

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

Los líderes del mercado del futuro necesitan sostenibilidad mediante Tecnología

Los próximos años y décadas traerán una nueva era de crecimiento para la industria metalúrgica y, a veces, restricciones, costos y responsabilidades que ahogarán las ganancias. Si bien el ciclo de utilización de recursos amenaza con complicar las cosas, las empresas que adopten un enfoque tecnológico vanguardista crearán organizaciones exitosas, resilientes y sostenibles. Las empresas a la vanguardia de la transformación e integración digital estarán mejor posicionadas para garantizar operaciones eficientes, compatibles y rentables para convertirse en líderes competitivos en la nueva era de crecimiento del mercado y descarbonización.

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

REFERENCIAS

i. Frost & Sullivan, Oportunidades globales de crecimiento solar fotovoltaico. Febrero de 2022.
ii. Ibídem
iii. Ibídem
iv. Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés).
v. Mining.com. BHP y sus socios también han identificado sitios para futuros proyectos de energía eólica. Septiembre de 2019.
vi. Asociación de Desarrollo del Cobre. https://www.copper.org/publications/pub_list/pdf/A6168Sustainable_Energy_Map.pdf.
vii. Mundo de Energías Renovables. ¿Se pavimentará en cobre la transición a las energías renovables? Enero de 2016.
viii. Energía solar de Wood Mackenzie para impulsar la demanda de metales básicos. Agosto de 2021.
ix. Banco Mundial. Minerales para la Acción Climática: La intensidad mineral de la transición de energía limpia, 2020.
x. Ibídem
xi. Energía solar de Wood Mackenzie para impulsar la demanda de metales básicos. Agosto de 2021.
xii. Frost & Sullivan, Perspectiva mundial de vehículos eléctricos. Junio de 2022.
xiii. Asociación de Desarrollo del Cobre. El cobre impulsa los vehículos eléctricos.
xiv. Simon Flowers, Wood Mackenzie. Energía del futuro: cómo los vehículos eléctricos transforman la demanda de baterías. Febrero de 2021.
xv. Fraser, J., Anderson, J., Lazuen, J., Lu, Y., Heathman, O., Brewster, N., Bedder, J. y Masson, O., Estudio sobre la demanda futura y la seguridad del suministro de níquel para baterías de vehículos eléctricos, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 2021, ISBN 978-92-76- 29139-8, doi:10.2760/212807, JRC123439.
xvi. Andrew Mitchel, Wood Mackensie, Níquel y cobre: componentes básicos para un futuro más verde, abril de 2022.
xvii. Calvo, Guiomar, Gavin Mudd, Alicia Valero y Antonio Valero. 2016. "Disminución de las leyes del mineral en la minería metálica mundial: ¿Un problema teórico o una realidad global?". Recursos 5, núm. 4: 36. https://doi.org/10.3390/ resources5040036.
xviii. Ibídem
xix. Cameron Murray, Noticias de almacenamiento de energía. Comienza la construcción de la primera planta solar fuera de la red del proyecto solar del gigante minero BHP. Febrero de 2022.
xx. EY, Los 10 principales riesgos comerciales que enfrenta la minería y los metales en 2021 y 2022. https://www.ey.com/en_us/ mining-metals/top-10-business-risks-and-opportunities-for-mining-and- metals-in-2022.
xxi. Administración de Información del Departamento de Energía de Estados Unidos
xxii. Tecnología Minera. Cómo menos agua puede ayudar a llenar la brecha de suministro de cobre. Noviembre de 2021.
xxiii. Wood Mackenzie, varias fuentes.
xxiv. CSIRO, https://www.csiro.au/en/work-with-us/industries/mining-resources/processing/water-footprint.
xxv. https://www.tcc.fl.edu/media/divisions/academic-affairs/academic-enrichment/urc/poster-abstracts/Xanders_Madison_Poster_URS.pdf.
xxvi. Leiva González, Jorge, e Italo Onederra. 2022. "Estrategias de Gestión Ambiental en la Industria Minera del Cobre en Chile para abordar desafíos del agua y energía. Revisión" Minería 2, No. 2: 197-232. https://doi.org/10.3390/mining2020012.
xxvii. La EPA de Estados Unidos https://www.epa.gov/radiation/tenorm-copper-mining-and-production-wastes.

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

xxviii. Se pueden encontrar más detalles sobre las emisiones de Alcance 3 en el sitio web de la EPA de Estados Unidos: https://www.epa.gov/ climateleadership/scope-3-inventory-guidance.
xxix. BCG. Carreras hacia un futuro digital en metales y minería. https://web-assets.bcg.com/65/43/b63e686f453d82fb46f6a0702e2d/bcg-racing-toward-a-digital-future-in-metals-and-mining-feb-2021.pdf.
xxx. Foro Económico Mundial. Iniciativa de Transformación Digital Industria Minera y Metalúrgica. 2017.
xxxi. BCG. Carreras hacia un futuro digital en metales y minería. https://web-assets.bcg.com/65/43/b63e686f453d82fb46f6a0702e2d/bcg-racing-toward-a-digital-future-in-metals-and-mining-feb-2021.pdf.
xxxii. Ibídem
xxxiii. https://www.datacenterknowledge.com/companies/ codelco-turns-ai-squeeze-out-more-copper-aging-mines.
xxxiv. https://www2.deloitte.com/jp/en/pages/energy-and-resources/articles/driving-value-through-energy-management-mining.html.
xxxv. Revista CIO https://www.cio.com/article/304827/what-the-mining-and-metals-industry-can-gain- from-predictive-analytics.html.
xxxvi. McKinsey. Aprovechar la oportunidad digital en el sector metalúrgico. 2018.
xxxvii. BCG. Carreras hacia un futuro digital en metales y minería. https://web-assets.bcg.com/65/43/b63e686f453d82fb46f6a0702e2d/bcg-racing-toward-a-digital-future-in-metals-and-mining-feb-2021.pdf.
xxxviii. Foro Económico Mundial. Iniciativa de Transformación Digital Industria Minera y Metalúrgica. 2017.
xxxix. BCG. https://www.bcg.com/publications/2021/digital-acceleration-index.
xl. McKinsey. Dentro de la transformación de IA de una empresa minera. https://www.mckinsey.com/industries/ metals-and-mining/how-we-help-clients/inside-a-mining- companys-ai-transformation.
xli. Revista CIO https://www.cio.com/article/304827/what-the-mining-and-metals-industry-can-gain- from-predictive-analytics.html.
xlii. EY. https://www.ey.com/en_us/mining-metals/cybersecurity.
xliii. Codelco, reporte anual. 2015.
xliv. https://www.arcweb.com/blog/schneider-electric-releases-next-generation-ecostruxure-foxboro-dcs-software-ecostruxure-field.
xlv. Foro Económico Mundial. Iniciativa de Transformación Digital Industria Minera y Metalúrgica. 2017.
xlvi. BCG. Carreras hacia un futuro digital en metales y minería.

Todos los derechos reservados © 2023 Frost & Sullivan

Sí más información sobre las soluciones de minería, minerales y metales sostenibles de Schneider, puede visitar el sitio web mediante el siguiente enlace:

se.com/mineralsandmetals

FROST & SULLIVAN

El crecimiento es un viaje. Somos tu guía.

Durante más de seis décadas, Frost & Sullivan ha brindado información procesable a corporaciones, gobiernos e inversores, lo que ha causado un flujo de oportunidades de crecimiento innovadoras que les permiten maximizar su potencial económico, navegar por las megatendencias emergentes y dar forma a un futuro enfocado en el crecimiento sostenible.

Contáctenos: Iniciar la conversación

El contenido de estas páginas tiene Copyright ©2023 Frost & Sullivan.