

Organizan:

**FCH**  
FUNDACIÓN CHILE

**CONSEJO  
MINERO**

**ALTALEY**  
DE OPERACIONES INDUSTRIALES  
AL COMERCIO

# ROADMAP:

DIGITALIZACIÓN  
PARA UNA MINERÍA

# 4.0

Proyecto apoyado por: Asesoría técnica:

**CORFO**

**interop**  
Minería Inteligente

# ÍNDICE

3	<b>INTRODUCCIÓN</b>
4	<b>CARTA</b>
5	<b>MAPA NÚCLEOS</b>
6	<b>NÚCLEOS TRACCIONANTES</b>
7	· MINERÍA INTEGRADA E INTELIGENTE
12	· MINERÍA VERDE
18	· MINERÍA SEGURA
25	<b>NÚCLEOS HABILITANTES</b>
26	· DIGITALIZACIÓN
34	· CIBERSEGURIDAD
44	· DESARROLLO DEL CAPITAL HUMANO
54	· LICENCIA SOCIAL Y POLÍTICA PARA INNOVAR
63	<b>HEATMAP</b>



# ROADMAP: DIGITALIZACIÓN PARA UNA MINERÍA 4.0

El Roadmap: Digitalización para una Minería 4.0 es una iniciativa liderada por el Consejo Minero, Fundación Chile y Corporación Alta Ley con el apoyo de Corfo y la asesoría técnica del programa Interop, que busca identificar aquellos ámbitos donde las nuevas tecnologías pueden agregar más valor en los próximos 15 años y así orientar la implementación de tecnologías digitales por parte de la industria.

El desarrollo de esta nueva Hoja de Ruta también busca habilitar una cartera de proyectos y actividades para el corto, mediano y largo plazo que apunte al desarrollo de la industria 4.0 en minería, a la interoperabilidad de los sistemas de información y la digitalización de la industria. Además servirá como una herramienta que permitirá guiar las decisiones de innovación tecnológica, reduciendo el riesgo de inversiones en tecnología, ayudando a la industria a tomar control sobre las oportunidades de mercado, y disminuyendo las barreras de entrada para facilitar el ingreso de proveedores locales.

Su diseño y construcción se extendió por un período de cuatro meses y contempló la elaboración de una línea base de interoperabilidad; identificación de núcleos traccionantes y habilitantes; talleres de priorización de desafíos, soluciones y recursos humanos, tecnológicos, financieros e I+D; y una validación por parte de una gobernanza constituida por compañías mineras.

La elaboración de esta Hoja de Ruta también contó con la participación de más de 100 representantes de la industria, entre compañías mineras (16), asociaciones gremiales (9), empresas proveedoras (65), instituciones públicas y de gobiernos (5), además de universidades (8).

## Digitalización para una Minería 4.0:

¿dónde las tecnologías pueden agregar más valor en los próximos 15 años?

La incorporación de tecnologías digitales es una prioridad para mejorar la productividad y sustentabilidad en la gran minería. Las posibilidades que estas tecnologías ofrecen a la industria, por mencionar algunas, van en la línea de minimizar la variabilidad y aumentar la resiliencia de los procesos; viabilizar la minería técnicamente más compleja y con menores leyes de mineral; integrar la operación “mine to port”; aumentar aún más la seguridad de las operaciones; promover el desarrollo de talento especializado, de clase mundial; y proveer soluciones a los desafíos ambientales que enfrenta el sector. Entendemos también que este proceso de transformación, al estar inmerso en un ambiente en constante cambio y alta incertidumbre, es complejo; tanto desde la perspectiva cultural, como tecnológica. Esta incertidumbre, sin embargo, puede ser manejada a través de procesos colaborativos que permitan a la industria abordar problemáticas comunes, y también señalar al ecosistema de innovación el camino a seguir. De este modo, se asegura la interoperabilidad de los sistemas y la disponibilidad de las soluciones y talento requerido en tiempo y forma.

Si bien el ritmo con que las compañías del sector, incluyendo a los proveedores, incorporarán la digitalización en su gestión será heterogéneo, esta es una tendencia global que -en el largo plazo- modificará el negocio minero tal como lo conocemos hoy. De esta forma, y en la búsqueda de alianzas que permitan a la industria minera acelerar el proceso de incorporación de tecnologías, el Consejo Minero, Fundación Chile y Corporación Alta Ley con el apoyo de Corfo y la asesoría técnica del programa Interop, se unieron para realizar el Roadmap de Digitalización para una Minería 4.0.

Estamos conscientes que el trabajo colaborativo es esencial para orientar esfuerzos, e incentivar la inversión pública y privada en innovación tecnológica. La hoja de ruta que ahora presentamos, es una continuación de otras iniciativas tales como el Roadmap Tecnológico 2015-2035: Desde el Cobre a la Innovación; el trabajo del Consejo de Competencias Mineras (CCM), sobre fuerza de trabajo de la minería; y el estudio de la Comisión Nacional de Productividad, sobre Productividad en la Gran Minería del Cobre. Estas iniciativas han tenido un rol relevante, pues mostraron las virtudes de un trabajo colaborativo para aportar información, generar visiones de largo plazo y priorizar acciones para abordar los desafíos de productividad y sustentabilidad del sector. Hoy entregamos un nuevo complemento a este trabajo focalizado en la transición hacia la industria 4.0.

El objetivo del Roadmap de Digitalización para una Minería 4.0 es aportar orientaciones a nivel sectorial, para aprovechar las oportunidades que ofrecen las tecnologías digitales. En este sentido, hemos identificado un amplio set de desafíos críticos, los que van desde aspectos digitales per-se –como la integración de sistemas, gobierno, gestión y analítica de datos, y la ciberseguridad– hasta el desarrollo de talento y la licencia social para innovar. Además, complementando la identificación de aquellos desafíos, se consolidó un pool de potenciales soluciones y proyectos, que permitirán acelerar y habilitar la captura de valor de las tecnologías en cuestión.

Por otro lado, esperamos que el heat map tecnológico (o mapa de calor), sea una guía que permita a operaciones, evaluando

hacer inversiones, conocer de forma rápida la madurez y lugar de implementación de las distintas opciones tecnológicas.

Este trabajo se extendió por cuatro meses, a partir de noviembre de 2019, y contó con la participación de más de 100 representantes de compañías mineras, proveedores y la academia. Especial mención merecen Anglo American, Antofagasta Minerals, BHP, Codelco, Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, Freeport McMoran y KGHM por haber liderado el comité estratégico de esta iniciativa.

Estamos seguros que el resultado de este esfuerzo contribuirá de manera significativa a que las iniciativas de innovación en tecnologías digitales tengan mayor pertinencia para lograr mejoras en productividad y sustentabilidad, y de ese modo, contribuir al crecimiento de la minería y su entorno.

Joaquín Villarino,  
Presidente Ejecutivo del Consejo Minero

Marcos Kulka,  
Gerente General de Fundación Chile

Fernando Lucchini,  
Presidente Ejecutivo Corporación Alta Ley

# NÚCLEOS TRACCIONANTES

Ámbitos que, en el corazón del proceso minero, constituyen los desafíos tecnológicos más cruciales para la evolución de la industria.



## NÚCLEOS HABILITANTES

Agrupan aquellas dimensiones que, sin ser exclusivas del proceso minero, condicionan la capacidad de la industria para llevar a cabo su plan de desarrollo.



NÚCLEOS

TRACCIONANTES

MINERÍA INTEGRADA E INTELIGENTE



MINERÍA VERDE



MINERÍA SEGURA





## NÚCLEO TRACCIONANTE 1: MINERÍA INTEGRADA E INTELIGENTE

La implementación de Tecnologías 4.0 facilitan la integración horizontal del proceso minero para disminuir la variabilidad y aumentar la predicción y estabilidad, mejorando la toma de decisiones del negocio.

### Desafío 1 Mediano plazo

Contar con procesos predecibles, estables y controlados, acotando y disminuyendo su variabilidad (Producción y Mantenimiento)

La integración de equipos autónomos y con control remoto, entre otras soluciones tecnológicas, permiten mantener los procesos estables y controlados, que, conjugados con las diferentes técnicas de simulación dinámica de procesos, permiten predecir resultados, disminuir la variabilidad, mantener las operaciones en control y reducir el riesgo a las personas y la operación. Lo anterior deriva en ofrecer condiciones de trabajo seguras y también alcanzar una mejora sustancial de la productividad operacional, impactando en forma relevante en la sustentabilidad del Negocio Minero.

Por otro lado, el crecimiento del mercado está impulsando una mayor atención hacia la seguridad y la salud de las personas, incentivando la adopción de soluciones de IoT (Internet de las Cosas) e incrementando la implantación de equipos autónomos. Sin embargo, la falta de mano de obra altamente calificada y la accesibilidad de una infraestructura eficiente limitan el crecimiento del mercado.

El funcionamiento de los equipos mineros inteligentes requiere personal capacitado para obtener su máximo aporte y reducir los accidentes en el sitio. Así pues, la falta de mano de obra calificada puede obstaculizar el crecimiento del mercado. Por el contrario, se prevé que el endurecimiento de la legislación ambiental, por parte de los gobiernos ofrezca oportunidades para el crecimiento del mercado de la minería inteligente.

### Solución: Incorporar Control Automático de los procesos

Los avances en el conocimiento y aplicaciones del control automático en todas sus formas, movido por el crecimiento exponencial del uso de las tecnologías de información y comunicaciones en todos los ámbitos del negocio minero, hacen factible lograr la automatización de la mayoría de los procesos, o los más relevantes, de la cadena de valor a mediano plazo. Lo anterior permitiría optimizar la utilización de activos a través de la operación autónoma, permitiendo reducir la variabilidad de los procesos y, de esta forma, lograr mayores niveles de eficiencia y recuperación, con un adecuado control.

En este sentido es indispensable, disponer de un servicio que facilite el cambio de prácticas y evite que los sistemas de automatización se vuelvan obsoletos, manteniendo sus beneficios a largo plazo. Para la adecuada implementación de la automatización en estos los procesos, se requiere un profundo cambio en la gestión y cultura de las compañías mineras; puesto que se requerirá de la actualización de todos sus modelos, dado el cambio en los procesos productivos, que significa la introducción de nuevas tecnologías.

### Solución: Uso de telemetría y tecnologías de control avanzado integrado

El uso de telemetría permite a las faenas mineras, registrar, transmitir y almacenar datos en tiempo real, que tienen el potencial de utilizarse para realizar análisis precisos y desarrollar algoritmos operativos, los cuales son implementados por los sistemas de control avanzado. Los datos recolectados pueden transformarse en información vital para mejorar los aspectos de seguridad, eficiencia, predicción y principalmente reducción y control de costos operacionales, ya que se pone en control el margen para cometer errores e improvisar. Aunque esta tecnología tiene un gran potencial para innovar en minería, depende de la industria utilizar estos datos para poder aumentar la productividad y los beneficios.

### Solución: Planificación operativa de la cadena de valor en tiempo real, bajo metodología BIM 7D

La metodología BIM ( Building Information Modeling) 7D, va más allá de tener un modelo geométrico tridimensional para el manejo de un proyecto. Esta incluye un modelamiento basado en datos que tiene en cuenta, además de la Geometría, otras dimensiones como Tiempo, Costos, Ambiental y Mantenimiento. Este nuevo enfoque aplicado a la minería, permite generar resultados reales, minimizar

costos, optimizar plazos y facilita la interacción entre las partes relacionadas. Uno de los principales beneficios, que presenta su implementación, es la posibilidad de anticipar el desempeño y costos de los procesos mineros, al incorporar o modificar variables y componentes en equipos relevantes del proceso como chancadores, molinos, celdas de flotación o filtrado, de manera de seleccionar la combinación más eficiente, económica y segura durante el ciclo de vida completo de la faena.

### **Solución: Modelamiento 3D mina**

El éxito de un proyecto de explotación minera depende en gran medida de la comprensión integral de la geometría tridimensional de cada depósito. Este conocimiento puede obtenerse construyendo modelos tridimensionales para evaluar la mejor secuencia económica de la recuperación del yacimiento, su nivel de riesgo, el modelo geotécnico y geomecánico, su distribución de las leyes de mineral y de contaminantes, etc. Esto permite tener un conocimiento robusto del yacimiento en cada una de las diferentes etapas de proyecto y su operación.

### **Solución: Simulación dinámica de procesos**

Tener una sólida comprensión de las operaciones y del impacto de los factores externos críticos que puedan afectar sus procesos, se convierte en un componente necesario para lograr que una compañía minera sea sustentable. Los modelos de simulación dinámicos, no sólo abordan asuntos operacionales que afectan la viabilidad de las inversiones, sino también otras preocupaciones a las que se enfrentan las empresas de la industria minera, como factores ambientales, entre otros.

Una de las mayores ventajas de la simulación dinámica de procesos, es que permite un cambio dinámico que va más allá de la prefactibilidad. A medida que el proceso de producción evoluciona dentro de los parámetros, pueden cambiar los datos y adaptarse a los factores externos e internos, lo que permite cambiar las proyecciones, actualizar los equipos en el sistema, y ajustar los procesos a medida que el diseño evoluciona. En general, utilizar modelos de simulación dinámicos en los procesos mineros, permite ampliar las proyecciones, evaluar las suposiciones y tomar decisiones con mayor información de por medio.

### **Solución: Procesos y Equipos autónomos**

Dentro de la visión de la minería 4.0, está alcanzando un alto nivel de autonomía en los procesos y equipos que integran la cadena de valor. El monitoreo mediante el uso de telemetría y control remoto de equipos mineros, permite automatizar procesos unitarios como el de perforación, tronadura, y transporte. Los nuevos equipos automatizados que se utilizan para realizar estas tareas son más rápidos, más precisos y pueden cubrir más área en menos tiempo.

La eficiencia se obtiene a través de operaciones continuas y consistentes, mejores comunicaciones y una infraestructura reducida; además de reducir la exposición al riesgo de trabajadores, situándolos en salas de control remoto desde donde puedan operar el equipo a una distancia segura. El mundo se está desarrollando y utilizando actualmente equipos autónomos para una amplia variedad de funciones; tal es el caso de los camiones mineros de extracción CAEX sin conductor, los cuales operan en muchas operaciones mineras a rajo abierto, siendo la División Gabriela Mistral de Codelco, pionera en su uso.



## NÚCLEO TRACCIONANTE 1: MINERÍA INTEGRADA E INTELIGENTE

La implementación de Tecnologías 4.0 facilitan la integración horizontal del proceso minero para disminuir la variabilidad y aumentar la predicción y estabilidad, mejorando la toma de decisiones del negocio.

### Desafío 2 Mediano plazo

#### Modelo de Negocio "Inteligente"

La concepción de un modelo de negocio minero Inteligente, debe girar en torno a la integración de toda su cadena de valor de principio a fin, e implica la migración a un modelo productivo asociado a la industria 4.0, en el que tecnologías como el Internet de las cosas, la analítica avanzada, el digital twin, la robótica y el uso de Inteligencia Artificial, son actores preponderantes para conseguir mejores productos y procesos más eficientes; además de generar nuevas oportunidades de negocio.

La Minería Inteligente depende en primera medida de la digitalización de sus procesos, por lo que su modelo debe tener en cuenta, los profundos impactos que la tecnología disruptiva tendrá en cuanto a la toma de decisiones, el requerimiento de nuevas competencias y habilidades para la implementación de dichas aplicaciones, además de la optimización en el uso de recursos como el agua y la energía.

### Solución: Scouting Tecnológico

Para lograr un modelo de negocio inteligente dentro de una compañía minera, desde la visión de la minería 4.0, se debe establecer un programa de vigilancia tecnológica permanente, donde se identifiquen las tecnologías emergentes, se canalice la información referente a éstas y se apoye consecuentemente la adquisición de dichas tecnologías, de acuerdo al potencial impacto en sus procesos mineros particulares. La vigilancia tecnológica es un método que puede reducir el tiempo que transcurre entre los avances tecnológicos y su detección por parte de la industria, mediante el análisis de proveedores tecnológicos, patentes o publicaciones. En este sentido, la identificación y el uso de fuentes externas de conocimientos cobra especial relevancia en la actualidad, dada la creciente complejidad que implica la globalización.

### Solución: Centralización de datos

El hablar de centralización de datos, significa que todos los datos que genera una operación minera, se encuentren disponibles en una plataforma centralizada, de fácil acceso para los interesados; lo que contrasta con la realidad de hoy, donde los datos son dispersos y están almacenados en varios equipos y servidores. Integrar y sincronizar los datos provenientes de distintas fuentes en una sola plataforma de control, permitiría aprovechar los datos de forma limpia y directamente de los clientes, productos y proveedores, además de los datos operacionales de todos los procesos asociados a la cadena de valor.

Habilitar una plataforma centralizada e integrada de datos, permitiría generar una mejor calidad de ellos, más eficiencia operacional, así como tener una mejor disponibilidad y visibilidad de los mismos. Esto es de gran importancia, por la complejidad de la información que se maneja en las operaciones mineras; lo que además ahonda en la imperiosa necesidad de adoptar estándares de interoperabilidad de datos a nivel de industria.

### Solución: Modelamiento de la cadena de valor integrada

La cadena de valor de la industria minera, representa cada una de las etapas y los procesos por los que pasa un proyecto minero para producir su producto final. Este sector particularmente divide sus actividades en dos niveles: Las tareas de apoyo, como lo son la administración de recursos humanos, el desarrollo tecnológico, entre otras; y, en segundo lugar, las labores primarias como el abastecimiento, exploraciones, logística, operaciones, distribución y comercialización.

Para responder transversalmente a los desafíos de la minería 4.0, es necesario que, en una etapa temprana de la hoja de ruta, se desarrolle un modelo estratégico de la cadena de valor, desde una visión completamente integrada de todos sus procesos; lo que permitirá a las compañías mineras, identificar donde enfocar sus esfuerzos para la digitalización de los procesos, de acuerdo a cada caso en particular.

### **Solución: Digital TWIN en la cadena de valor**

Un gemelo digital es una réplica digital de activos físicos, procesos, personas, lugares, sistemas y dispositivos reales, que pueden utilizarse con diversos fines. Dentro de sus potenciales usos en la industria minera, se debe considerar, por ejemplo, la inclusión de un gemelo digital de aprendizaje para personal de diversas áreas de trabajo, lo cual permitirá realizar una rápida simulación de las opciones de planificación, tronadura, metalurgia y control de procesos.

La visualización de un gemelo digital permitirá descomponer los silos operativos existentes y, a su vez, crear diferentes escenarios y situaciones operativas y de planificación, con el fin de disponer en línea de soluciones, permitiendo la integración y uso de equipos multidisciplinarios y transversales. Además, al simular el equipo, la maquinaria y todo el proceso de trabajo, los involucrados podrán probar nuevas metodologías in situ en sus procesos de trabajo más cruciales, de una manera muy rentable, porque no se requerirá capital para averiguar con precisión qué es lo que realmente funciona y qué no, con la ventaja de que la simulación mediante gemelos digitales permite utilizar exactamente la misma maquinaria y equipo.

### **Solución: Operación Integrada en CIO (Centro Integrado de Operaciones)**

Minimizar la variabilidad, predecir comportamientos operativos, incrementar el rendimiento de los activos, reducir la exposición al riesgo, entre otros desafíos, requieren de acciones coordinadas por parte de las compañías mineras, las cuales se facilitan con la digitalización. En este sentido, los Centros Integrados de Operaciones (CIO), tienen un rol protagónico para aportar valor al negocio minero, a través de la integración total de la operación minera, para lograr mejoras globales en el desempeño más allá de la optimización parcial de los procesos.

Entre muchos de los beneficios que entrega un CIO, están la gestión integrada de procesos, la habilitación de inteligencia de negocio y el direccionamiento estratégico, con miras a capturar el máximo potencial del negocio en forma sostenida. Dicho esto, la visión de un CIO debe ser multidimensional,

y debe contar con el diseño de elementos tecnológicos y de gestión transversales a la operación, en tiempo real, con modelos integrados y dinámicos que habiliten el control operativo, táctico y estratégico.

### **Solución: Habilidad de Analítica Avanzada para toma de decisiones inteligentes**

Las empresas mineras generan grandes volúmenes de datos a partir de equipos y procesos, pero solo una fracción de éstos se utiliza realmente para mejorar la toma de decisiones; no obstante, con la adopción del Internet de las Cosas (IoT), se espera que el volumen de datos que se manejen supere significativamente a los generados en la actualidad. Los recientes avances en el aprendizaje automático (Machine Learning) y el análisis de datos (Data Analytics), permiten a las compañías mineras, aprovechar los datos tomados de distintas fuentes, dentro y fuera de la cadena de valor, para proporcionar apoyo a la toma de decisiones en tiempo real y conocimientos sobre la probabilidad de sucesos futuros.

La Analítica Avanzada permite analizar gran cantidad de datos para identificar distintas tendencias en los procesos, al igual que oportunidades de mejora, que los humanos no pueden ver a simple vista; además, el poder reunir y analizar todos los datos de producción y procesos de una operación minera, mediante la aplicación de técnicas de Analítica Avanzada, ayudaría a identificar los cuellos de botella operacionales o los patrones de pérdidas, mejorar el mantenimiento predictivo y aumentar la eficiencia de las operaciones cotidianas.

### **Solución: Global Digital Twin**

El desarrollo de un Gemelo Digital Global (donde se incorporen todos los procesos mineros), dará a las compañías mineras la capacidad de crear versiones digitalizadas de sus componentes, los cuales se actualizan en tiempo real por medio de sensores o etiquetas localizados en los equipos físicos. La capacidad de crear una representación digital de un activo físico, puede proporcionar datos importantes sobre el estado de cada uno de ellos. Los datos reunidos, pueden agilizar el programa de mantenimiento de una mina, al predecir posibles interrupciones antes de que ocurran, y así reducir, por ejemplo, el riesgo de que se produzca una parada no programada en cualquiera de sus procesos mina - planta.

Al dar a los equipos de trabajo de las distintas áreas que conforman la cadena de valor, la capacidad de simular rápidamente cambios en sus procesos, sin riesgo para la operación real e independientemente de lo grande o pequeños que estos sean; se elimina la presión asociada a la comisión de errores, se estimula la creatividad y, por ende, la posibilidad de optimizar los resultados.

# NÚCLEO TRACCIONANTE 1: MINERÍA INTEGRADA E INTELIGENTE

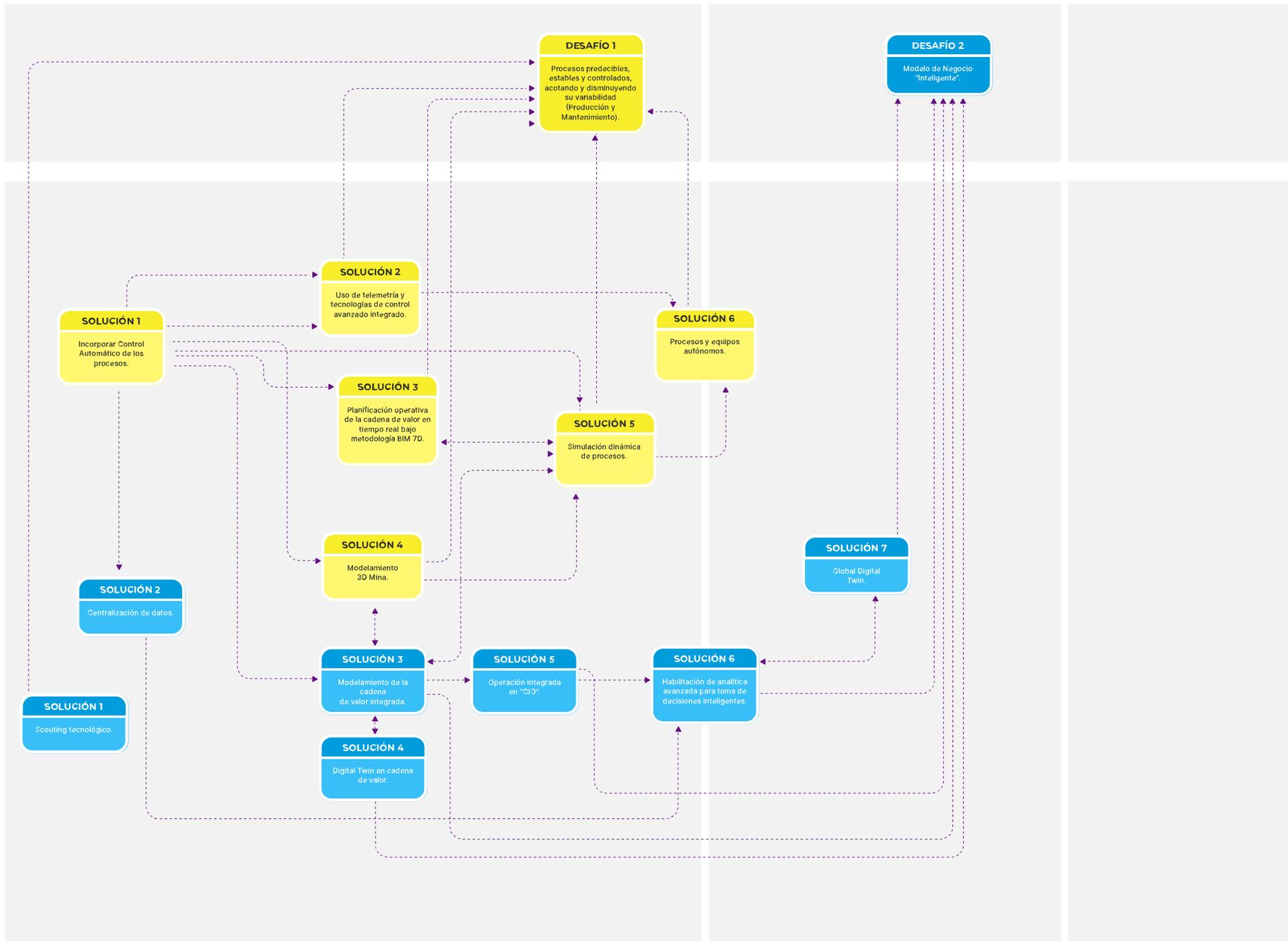
CORTO PLAZO  
(2020/2025)

MEDIANO PLAZO  
(2025/2030)

LARGO PLAZO  
(2030/2035)

DESAFÍOS

SOLUCIONES





## NÚCLEO TRACCIONANTE 2: MINERÍA VERDE

Adopción de Tecnologías 4.0 que posibiliten una minería sustentable, minimizando los impactos en el medioambiente y comunidades, reduciendo emisiones, gestionando los residuos, aumentando el uso de energías renovables y el uso eficiente de recursos energéticos e hídricos, promoviendo una economía circular.

En Chile, el sector minero es uno de los mayores responsables de la emisión de CO<sub>2</sub>. Alrededor del 30% de la electricidad chilena se usa para extraer y procesar materias primas, principalmente cobre. Para la generación de la electricidad necesaria para este propósito, se recurre mayoritariamente a combustibles fósiles: en Chile el 40% de la energía eléctrica se genera solo a partir del carbón. A esto se suma que además de la energía eléctrica, se requieren grandes cantidades de energía térmica para el tratamiento de los metales subsidiados (cobre, molibdeno, plata, oro, litio, etc.). Por consiguiente, se calcula que en Chile el sector minero, es responsable de más de 14 millones de CO<sub>2</sub> anuales.

### Desafío 1 Corto plazo

Control y monitoreo transparente, de recursos y parámetros relevantes del cómo operamos (hídricos, aire, polución, contaminación y otros) y entrega a la comunidad

Implica la posibilidad de disponibilizar a la comunidad local información en tiempo real sobre el desempeño de indicadores y variables ambientales de su interés.

### Solución: Tecnologías de captura y monitoreo de datos operacionales en tiempo real

Un sistema en tiempo real (STR) es aquel sistema digital que interactúa activamente con un entorno con dinámica conocida en relación con sus entradas, salidas y restricciones temporales, para darle un correcto funcionamiento de acuerdo con los conceptos de predictibilidad, estabilidad, controlabilidad y alcanzabilidad. Por ejemplo el sistema de monitoreo en tiempo real de los depósitos de relaves en las variables físico químicas y estabilidad del talud. otro ejemplo es el sistema de monitoreo microsísmico para minería subterránea y de rajo abierto permiten conocer en tiempo real el estado de la mina, en cuanto a espeleología, socavones, estabilidad del talud o sismología natural.

### Solución: Tecnología de almacenamiento de datos (Cloud)

La computación en la nube es la disponibilidad a pedido de los recursos del sistema informático, especialmente el almacenamiento de datos y la capacidad de procesamiento, sin una gestión activa directa por parte del usuario. El término se usa generalmente para describir los centros de datos disponibles desde cualquier lugar para muchos usuarios a través de Internet desde cualquier dispositivo móvil o fijo. Tomado el mismo ejemplo que la solución anterior el monitoreo en tiempo real de los depósitos de relaves al estar en la nube es posible que cualquier usuario autorizado pueda de cualquier dispositivo acceder a la información.

### Solución: Implementación sistemas de gestión - energía, agua, emisión - responsables - presupuesto - objetivos

Las nuevas tecnologías 4.0 ofrecen soluciones digitales avanzadas que capturan y analizan nueva información para dar soporte a la toma de decisiones en tiempo real. El desarrollo de soluciones digitales para la gestión integrada de los recursos del agua, la emisión y la energía a lo largo de la cadena de valor contribuirá de manera importante a la transparencia y veracidad de los datos hacia la comunidad. Como por ejemplo la implementación de un sistema de gestión de energía basado en el estándar ISO50001 que se centra únicamente en el uso de la energía.

### Solución: Plataforma abierta y pública para administrar y compartir la información

Construcción de una plataforma pública que considere las dos soluciones anteriores, Tecnologías de captura y monitoreo de datos operacionales en tiempo real y Tecnología de almacenamiento de datos (Cloud) y que disponibilice procesos y datos de interés público y que consideren la economía circular.



## NÚCLEO TRACCIONANTE 2: MINERÍA VERDE

Adopción de Tecnologías 4.0 que posibiliten una minería sustentable, minimizando los impactos en el medioambiente y comunidades, reduciendo emisiones, gestionando los residuos, aumentando el uso de energías renovables y el uso eficiente de recursos energéticos e hídricos, promoviendo una economía circular.

En Chile, el sector minero es uno de los mayores responsables de la emisión de CO2. Alrededor del 30% de la electricidad chilena se usa para extraer y procesar materias primas, principalmente cobre. Para la generación de la electricidad necesaria para este propósito, se recurre mayoritariamente a combustibles fósiles: en Chile el 40% de la energía eléctrica se genera solo a partir del carbón. A esto se suma que además de la energía eléctrica, se requieren grandes cantidades de energía térmica para el tratamiento de los metales subsidiados (cobre, molibdeno, plata, oro, litio, etc.). Por consiguiente, se calcula que en Chile el sector minero, es responsable de más de 14 millones de CO2 anuales.

### Desafío 2 Corto plazo

#### Incluir eficiencia energética y de agua en los proyectos

Implica aprovechar las posibilidades que las nuevas tecnologías nos ofrecen para una mejor estimación, simulación y proyección futura del consumo de agua asociada a los proyectos mineros.

En los últimos años, la demanda energética del sector minero ha aumentado anualmente un promedio de 4%. A pesar de que los procesos de producción tienen un notable potencial de ahorro y de que Chile depende casi completamente de las importaciones de petróleo, gas natural y carbón, los planes concretos para la implementación de medidas de eficiencia energética han jugado un rol minoritario.

Es importante entender que la eficiencia energética depende del consumo inteligente de la energía para la producción de los minerales en cada proceso que es parte de la cadena de valor.

#### Solución: Data Science

La ciencia de datos es un campo interdisciplinario que utiliza métodos, procesos, algoritmos y sistemas científicos para extraer valor de los datos. Revela tendencias y genera información para tomar mejores decisiones, su valor proviene de la información que se pueda extraer y aplicar.

#### Solución: Simulación de escenarios

El modelamiento del uso de los recursos energéticos basándose en análisis "what if", permite reproducir virtualmente el consumo energético de los procesos y estudiar su comportamiento, para analizar el impacto de los posibles cambios o para comparar diferentes alternativas de diseño sin el alto costo de los experimentos a escala real. El objetivo final es conseguir la eficiencia energética logrando el menor impacto en las fuentes de recursos y en la emisión de contaminantes.

#### Solución: Incluir en Planificación BIM

Incluir Building Information Modeling (BIM) en los proyectos de eficiencia energética, con los datos de operación y mantenimiento, para realizar simulaciones al más alto nivel, permitirá anticipar el efecto en el uso de las energías y de los recursos naturales asociados a la producción de mineral.

#### Solución: Modelamiento predictivo

Mediante el análisis de datos históricos y el uso del data science será posible construir modelos predictivos que permitan proyectar el impacto del uso de las energías y de emisiones en la eficiencia energética, así como de la disponibilidad y consumo de aguas. Con modelos predictivos es posible simular posibles escenarios de impacto ambiental.

#### Solución: Disminución consumo de agua

Para disminuir el uso de agua en minería se debe pensar en la implementación de un circuito cerrado con cero pérdida, para esto las investigaciones se han enfocado en el estudio de la evaporación en piscinas de agua, relaves secos de bajo costo, conminución y separación seca de mineral, procesado no acuoso de mineral usando polímeros específicos para separar mineral de la roca.



## NÚCLEO TRACCIONANTE 2: MINERÍA VERDE

Adopción de Tecnologías 4.0 que posibiliten una minería sustentable, minimizando los impactos en el medioambiente y comunidades, reduciendo emisiones, gestionando los residuos, aumentando el uso de energías renovables y el uso eficiente de recursos energéticos e hídricos, promoviendo una economía circular.

En Chile, el sector minero es uno de los mayores responsables de la emisión de CO<sub>2</sub>. Alrededor del 30% de la electricidad chilena se usa para extraer y procesar materias primas, principalmente cobre. Para la generación de la electricidad necesaria para este propósito, se recurre mayoritariamente a combustibles fósiles: en Chile el 40% de la energía eléctrica se genera solo a partir del carbón. A esto se suma que además de la energía eléctrica, se requieren grandes cantidades de energía térmica para el tratamiento de los metales subsidiados (cobre, molibdeno, plata, oro, litio, etc.). Por consiguiente, se calcula que en Chile el sector minero, es responsable de más de 14 millones de CO<sub>2</sub> anuales.

### Desafío 3 Mediano plazo

Mejorar la trazabilidad en el consumo de energía a lo largo del proceso

Implica la posibilidad de conocer y monitorear el flujo y consumo de las distintas fuentes de energía desde su origen, más allá de las fronteras de la operación minera, en toda la cadena de suministro energético. De esta manera es posible determinar los factores críticos en el consumo de la energía a través de la cadena de valor para así buscar formas de mejorar el uso eficiente y responsable de la energía disponible.

### Solución: Sensores de consumo en tiempo real

Los sensores inteligentes son un conjunto en el que uno o varios elementos sensores y algún instrumento de acondicionamiento de señal se disponen en una misma unidad física, es decir, la combinación de un sensor analógico o digital con un procesador, una memoria y un controlador de red en una misma placa. Un sensor inteligente aporta información a los datos obtenidos para dar soporte a la toma de decisiones y al procesamiento distribuido. Estos sensores permiten que los equipos se autoregulen en sus consumos, porque los hace trabajar en su capacidad óptima.

### Solución: Medición de huella de carbono

En minería, la eficiencia energética y la incorporación de fuentes de energías renovables no convencionales a la matriz energética constituyen las principales medidas que están utilizando las compañías para disminuir su huella de carbono. La medición de la huella de carbono se realiza siguiendo las normativas internacionales reconocidas. Las principales son el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) y la ISO 14064:2012 sobre Gases de Efecto Invernadero, que apuntan tanto a la huella corporativa como por producto.

### Solución: Vincular KPIs sustentables /ambientales con productivos

Poder identificar, medir y mitigar el impacto que producen los procesos productivos de la minería mediante la elaboración de indicadores de sustentabilidad con el fin de cumplir las nuevas demandas mundiales por consumir un mineral preocupado por el medio ambiente.

### Solución: Definición de estándar de trazabilidad

Adoptar estándar que soporte aquellas tecnologías que permiten dar trazabilidad al consumo de energía. Permitiendo identificar las fuentes de energía y cómo se distribuye el consumo dentro de las operaciones mineras. La calidad de esta información promoverá la confianza de la comunidad hacia una minería más sustentable.

### Solución: Implementación Blockchain para identificación de activos

La trazabilidad de datos en el sector energético con tecnología Blockchain en el ecosistema minero permite la capacidad de gestionar una base de datos distribuida para una comunidad o red con la premisa de la seguridad

apalancada en criptografía pura, esto supone un gran logro cuando se trata de compartir información salvaguardando la privacidad.

### **Solución: Plataforma para identificar fuente / origen de la energía**

Construcción de una plataforma que permita la trazabilidad de la energía, conocer el origen de ésta, permitiendo medir el impacto en la huella de carbono al separar fuentes de energías limpias de las de combustibles fósiles.

### **Solución: Generar plataforma de oferentes de energía limpia**

Construcción de una plataforma que permita la trazabilidad de la energía, conocer el origen de ésta, permitiendo medir el impacto en la huella de carbono al separar fuentes de energías limpias de las de combustibles fósiles. Identificando los oferentes de energías limpias.



## NÚCLEO TRACCIONANTE 2: MINERÍA VERDE

Adopción de Tecnologías 4.0 que posibiliten una minería sustentable, minimizando los impactos en el medioambiente y comunidades, reduciendo emisiones, gestionando los residuos, aumentando el uso de energías renovables y el uso eficiente de recursos energéticos e hídricos, promoviendo una economía circular.

En Chile, el sector minero es uno de los mayores responsables de la emisión de CO<sub>2</sub>. Alrededor del 30% de la electricidad chilena se usa para extraer y procesar materias primas, principalmente cobre. Para la generación de la electricidad necesaria para este propósito, se recurre mayoritariamente a combustibles fósiles: en Chile el 40% de la energía eléctrica se genera solo a partir del carbón. A esto se suma que además de la energía eléctrica, se requieren grandes cantidades de energía térmica para el tratamiento de los metales subsidiados (cobre, molibdeno, plata, oro, litio, etc.). Por consiguiente, se calcula que en Chile el sector minero, es responsable de más de 14 millones de CO<sub>2</sub> anuales.

### Desafío 4 Mediano plazo

#### Eficiencia energética y de agua en la operación

Gestionar de manera eficiente el gasto energético es una necesidad, tanto para el sector minero, como para las entidades de servicios. Implica la posibilidad de optimizar y disminuir los consumos energéticos de los procesos productivos a partir de una mejor captura y explotación de datos facilitado por las nuevas tecnologías.

#### Solución: Modelos de recursos. Captura de data, almacenamiento, análisis y optimización

Construcción de un sistema / plataforma que entregue en tiempo real, y basado en data science, recomendaciones sobre el consumo energético con los datos obtenidos mediante el despliegue de un conjunto de dispositivos modelizadores energéticos, en cuanto a su consumo de potencia y/o energía. Es necesario modelizar matemáticamente mediante una serie de ecuaciones, generando líneas, superficies e incluso espacios multivectoriales de base energética, que muestran el ratio dinámico de la cantidad de energía consumida por unidad de producción y/o de servicio, en función de otras muchas variables de interés.

#### Solución: Implementación sistema de gestión

El sistema debería proponer recomendaciones respecto de la gestión de ahorros de energía que puedan traducirse en acciones concretas de mitigación de cambio climático. El sistema debe considerar los estándares internacionales y de acuerdo a las regulaciones territoriales de cada comunidad.

#### Solución: Interoperabilidad (aljibes autónomos, sensores dispatch)

Además el sistema debe considerar la optimización de uso de los equipos según variables de sustentabilidad para ser consideradas en el plan minero.

#### Solución: Uso de inteligencia artificial

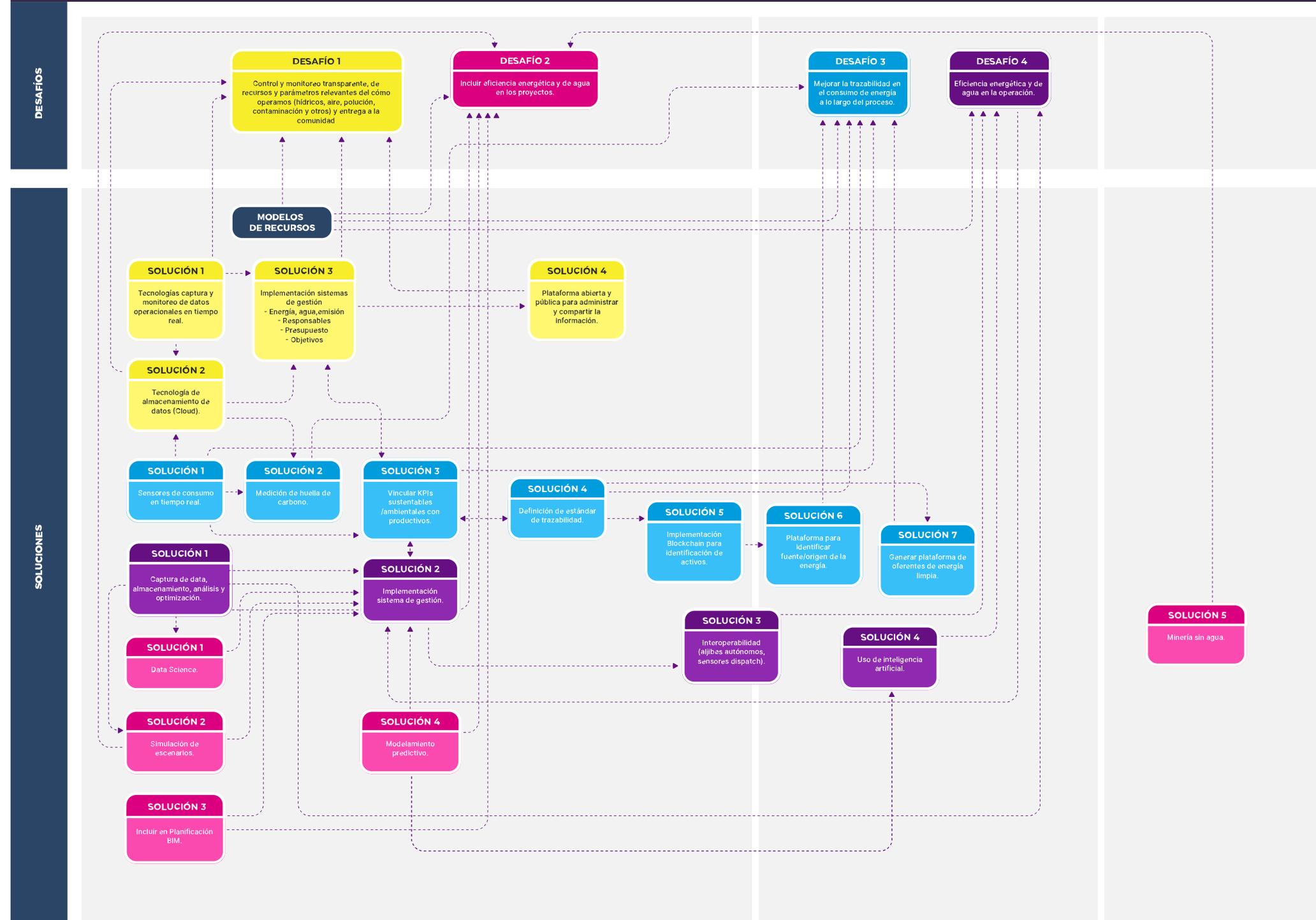
El sistema además debe considerar inteligencia artificial lo que permitirá el desarrollo de nuevos modelos de gestión para la eficiencia energética.

# NÚCLEO TRACCIONANTE 2: MINERÍA VERDE

CORTO PLAZO  
(2020/2025)

MEDIANO PLAZO  
(2025/2030)

LARGO PLAZO  
(2030/2035)



## NÚCLEO TRACCIONANTE 3: MINERÍA SEGURA

Tecnologías 4.0, tales como la teleoperación, automatización y robótica, juegan un rol fundamental en la disminución de la exposición de las personas a los riesgos. Asimismo, estas tecnologías facilitan la detección en tiempo real de la exposición a riesgos.

### Desafío 1 Corto plazo

#### Comunicación efectiva de los riesgos en tiempo real

Implica la posibilidad de mejorar la medición y comunicación oportuna de los riesgos de exposición para las personas y equipos actuando en la operación minera.

### Solución: Implementación de estándares de transmisión (IoT) de datos que permitan la captura confiable y su trazabilidad

Con el surgimiento del Internet de las Cosas (IoT, por su sigla en inglés, Internet of Things), que podemos entender como la capacidad de extender la conectividad de red a objetos distintos a las computadores, tales como; equipos, sensores y artículos de uso diario, se permite que estos dispositivos generen, intercambien y consuman datos con una mínima intervención humana, lo que a su vez amplia enormemente las posibilidades de monitorear los riesgos operacionales y de las personas en un entorno minero. Esta hiperconectividad, sin embargo, supone también mayores vulnerabilidades frente a la calidad y seguridad de los datos, por lo que se hace muy necesario contar con estándares, modelos de referencia y mejores prácticas que aseguren esta calidad y seguridad.

### Solución: Captura y transmisión en tiempo real de los parámetros de seguridad personales, del entorno y de equipos

Los avances tecnológicos asociados al Internet de las Cosas (IoT) amplían las posibilidades para capturar y transmitir en tiempo real, información relacionada con la seguridad de las personas, variables de su entorno y condiciones de los equipos en operación. En los últimos años ha proliferado el desarrollo de los denominados "wearables" (ropa, equipo y otros accesorios que incorporan computadoras y equipos electrónicos avanzados) que facilitan el monitoreo de condiciones biométricas en los operadores o de las condiciones ambientales en el lugar de trabajo. Algunos ejemplos de las diferentes categorías de "wearables" incluyen:

- Seguimiento de personal: Uso de sensores de proximidad (por ejemplo, etiquetas RFID) para ubicar a los trabajadores de primera línea en la operación.
- Realidad aumentada y realidad virtual: Muestra en las gafas datos esenciales de seguridad y mantenimiento (por ejemplo, datos de equipos, alertas, listas de verificación de procedimientos).
- Monitoreo del ambiente: Sensores y detectores para rastrear métricas clave (por ejemplo, niveles de oxígeno, calor y gases peligrosos) y cámaras de alta definición para registrar procedimientos y proporcionar instrucciones en tiempo real cuando sea necesario (p. ej., al realizar tareas de mantenimiento bajo tierra).
- Monitoreo biométrico: Dispositivos que contienen sensores usados por la fuerza laboral para capturar información sobre el estado de salud de los empleados (por ejemplo, frecuencia cardíaca, concentración y niveles de fatiga, movimientos biométricos repetitivos, pesos de carga).



## NÚCLEO TRACCIONANTE 3: MINERÍA SEGURA

Tecnologías 4.0, tales como la teleoperación, automatización y robótica, juegan un rol fundamental en la disminución de la exposición de las personas a los riesgos. Asimismo, estas tecnologías facilitan la detección en tiempo real de la exposición a riesgos.

### Desafío 2 Corto plazo

**Minimizar exposición al riesgo, manteniendo la productividad y costos**

Implica las posibilidades de minimizar y hasta eliminar por completo los riesgos de accidentes en las personas a través del reemplazo de funciones operativas/manuales, mediante el uso de tecnologías.

### Solución: EPP con monitoreo continuo

Los elementos de protección personal (EPP) comúnmente utilizados en la operación minera tales como cascos, guantes, anteojos y zapatos de seguridad, constituyen fuentes naturales de oportunidad para potenciar la captura e intercomunicación de datos asociados a las seguridad de los operadores. Por ejemplo, el casco inteligente, incluye una plataforma que analiza los datos para reducir los riesgos durante el trabajo en terreno, está equipado con sensores de geolocalización y mide la temperatura, presencia de gases, iluminación y ruido. Además se puede complementar con otros dispositivos como pulseras y chalecos inteligentes que miden parámetros fisiológicos de la persona.

### Solución: Data de predicción de riesgos / Analítica predictiva integrada a los procesos

La minería es una industria con una larga trayectoria en materia de gestión de la seguridad de las personas, donde, como regla general, se dispone de un robusto sistema de gestión de la seguridad que promueve el análisis y registro de los accidentes e incidentes. Sin embargo, la mayoría de estos análisis se basan en el estudio de indicadores aislados y se limitan a datos vinculados directamente con el evento (accidente/incidente) estudiado. Este tipo de reportes y análisis puede describir qué ocurrió, pero no por qué ocurrió. La analítica avanzada aplicada a grandes bases de datos históricos (Big data), nos permite, por ejemplo, identificar con mayor precisión las causas de los accidentes e incidentes y construir modelos de predicción más efectivos, posibilitando un mejor control y eliminación de riesgos de accidentes y enfermedades profesionales.

### Solución: Robotización, automatización y teleoperación

La tendencia en la gestión de la seguridad laboral en minería es hacia la eliminación o disminución de la exposición de las personas a las zonas y condiciones de riesgo de accidentes. En este sentido, las tecnologías relacionadas con las funciones de teleoperación, automatización y robotización son los principales habilitantes de la desintermediación humana en las zonas de riesgo de accidentabilidad de la operación minera.

### Solución: Teleoperación

Un sistema de teleoperación es una integración de variadas tecnologías en una aplicación que permite a un operador realizar una determinada tarea a distancia, a través de imágenes de video e interfaces de software y hardware que replican los comandos y estados del proceso. La creciente necesidad en minería de producir de forma más segura, sumada al acelerado desarrollo tecnológico y su adecuada

adaptación al difícil entorno minero, han impulsado la habilitación de sistemas de teleoperación para muchos procesos de la minería, tales como; perforadoras, palas, camiones, cargadores, correas, chancadores, molinos, entre otros.

### **Solución: Autónomos**

Las compañías mineras de todo el mundo están adoptando rápidamente las últimas tecnologías de automatización para modernizar sus operaciones. La automatización también proporciona importantes beneficios a este sector, como la reducción de costos, la productividad de la conducción y el aumento de la seguridad. Las tecnologías autónomas son capaces de operar sin la intervención de un humano, reduciendo la exposición de las personas, elevando la productividad y controlando los costos. Los equipos están dotados de una gran variedad de sensores que capturan y transmiten información del equipo y su entorno en tiempo real por lo que se puede monitorear su funcionamiento en cualquier lugar del mundo. Todo esto se traduce en menos trabajadores en la faena. Ejemplo de equipos autónomos en uso hoy en día son los camiones de acarreo de material, perforadoras, bulldozers.

### **Solución: Robotización**

En el contexto de la Cuarta Revolución Industrial se entiende por robotización la acción de sustituir al ser humano en tareas que pueden realizar las máquinas mejorando la seguridad de los trabajadores e incrementando la productividad. Hoy el concepto que se está desarrollando es robótica colaborativa con nuevos modelos de producción y tipos de robots diseñados para colaborar en forma segura con operarios humanos. Por ejemplo, el uso de exoesqueletos, lo cual aumenta la productividad de los trabajadores y mejora la ergonomía del puesto de trabajo, reduciendo lesiones articulares y musculares, el despegue de cátodos y la toma de muestras de material a granel, también el empleo de visión artificial y reconocimiento de patrones en pilas y correas, el muestreo de concentrados de cobre en camiones, cambio automático de neumáticos, lavado de camiones, el despegue de los cátodos de cobre en planta, etc.



## NÚCLEO TRACCIONANTE 3: MINERÍA SEGURA

Tecnologías 4.0, tales como la teleoperación, automatización y robótica, juegan un rol fundamental en la disminución de la exposición de las personas a los riesgos. Asimismo, estas tecnologías facilitan la detección en tiempo real de la exposición a riesgos.

### Desafío 3 Mediano plazo

#### Simulación de riesgos en planes mineros

Implica la posibilidad de proyectar, generar escenarios alternativos y dimensionar los riesgos asociados a proyectos en forma más flexible y precisa, de manera de optimizar decisiones de diseño.

#### Solución: Interoperabilidad entre plataformas

Al tener interoperabilidad entre distintas plataformas, por ejemplo de gestión operacional y gestión de seguridad, se hace posible cruzar y analizar datos con el fin de predecir posibles riesgos, tanto físicos como conductuales y tomar las acciones necesarias para reducirlos y/o eliminarlos.

#### Solución: Analítica y modelamiento predictivo de riesgos

Los recientes avances en el aprendizaje automático (Machine Learning) y el análisis de datos (Data Analytics), permiten a las compañías mineras, aprovechar los datos tomados de distintas fuentes, para proporcionar apoyo a la toma de decisiones en tiempo real y conocimientos sobre la probabilidad de sucesos futuros. Mediante la aplicación de técnicas de Analítica Avanzada se pueden desarrollar modelos con mayor valor predictivo de los riesgos operacionales y de seguridad facilitando una mejor evaluación de escenarios en el desarrollo de los proyectos mineros.

#### Solución: Digital Twin, RV+

La posibilidad de crear representaciones digitales de sistemas físicos (Digital Twin o Gemelo Digital) y de recrear su comportamiento en un contexto de realidad virtual, permite analizar la eficiencia operativa de equipos o sistemas de operación y sus respuestas bajo determinados supuestos de entorno y condiciones de operación. Asimismo, estas recreaciones en contextos de realidad virtual o aumentada, pueden utilizarse a modo de simuladores para el entrenamiento de operadores en gestión de riesgos y conducta segura.



## NÚCLEO TRACCIONANTE 3: MINERÍA SEGURA

Tecnologías 4.0, tales como la teleoperación, automatización y robótica, juegan un rol fundamental en la disminución de la exposición de las personas a los riesgos. Asimismo, estas tecnologías facilitan la detección en tiempo real de la exposición a riesgos.

### Desafío 4 Mediano plazo

#### Integrar la gestión de seguridad a las plataformas 4.0

Implica la posibilidad de sistematizar e integrar la información histórica relacionada a la gestión de la seguridad y explotar la data de manera de potenciar el conocimiento y rescatar los aprendizajes para reducir riesgos futuros.

### Solución: Interoperabilidad

Podemos definir la interoperabilidad como la habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y utilizar la información intercambiada. Se entiende que existe además interacción entre los datos, la interacción implica que los procesos compartan información, mediante el intercambio de datos entre sus respectivos sistemas de tecnología de la información y las comunicaciones. Es así que podemos cruzar los datos de distintos procesos con el fin de construir un modelo predictivo, integrando las variables de seguridad a las variables operacionales y su efectos interactivos.

### Solución: Datos de seguridad integrados en plataforma única

La minería es una industria con una larga trayectoria en materia de gestión de la seguridad de las personas, donde, como regla general, se dispone de un robusto sistema de gestión de la seguridad que promueve el análisis y registro de los accidentes e incidentes. Sin embargo, la mayoría de estos datos no se encuentran estandarizados en un lenguaje que permita su integración y explotación con fines predictivos. Por lo tanto, existe una gran oportunidad, habilitada por las tecnologías 4.0, para que estos datos de seguridad, tanto de instalaciones como de personas, se integran en una base única para poder cruzar información y así incluir en el modelo predictivo la seguridad.

### Solución: Safety cloud (incidentes - accidentes)

Hoy en día existen software basados en web que permiten gestionar la seguridad de las organizaciones de manera integrada (Safety Cloud). Toda la información respecto de seguridad de la empresa; incidentes, accidentes, entrenamientos, auditorías, certificaciones, se concentran en una plataforma integrada en un solo sitio o, hub on-line, que permite analizar y comparar los datos y predecir tendencias tanto dentro de los límites de una compañía como potencialmente para compartir, integrar y explotar información a nivel inter-empresas.



## NÚCLEO TRACCIONANTE 3: MINERÍA SEGURA

Tecnologías 4.0, tales como la teleoperación, automatización y robótica, juegan un rol fundamental en la disminución de la exposición de las personas a los riesgos. Asimismo, estas tecnologías facilitan la detección en tiempo real de la exposición a riesgos.

### Desafío 5 Mediano plazo

**Controlar fuentes de emisión que producen enfermedades profesionales actuales y futuras**

Implica la posibilidad de identificar, medir y controlar la fuentes que inciden en la generación de enfermedades profesionales por exposición prolongada, para reducir riesgos y evitar generar la condición de enfermedad.

### **Solución: Identificación de variables y desarrollo de modelos predictivos**

Las tecnologías 4.0 como, por ejemplo, la analítica avanzada aplicada a Big Data, permitirán agilizar la identificación de aquellas variables y condiciones que intervienen en la salud del trabajador y crear modelos predictivos que orienten las decisiones de diseño y gestión operacional para evitar o mitigar riesgos de afectación a la salud y enfermedades profesionales. Se puede extender a condiciones de contagios y/o enfermedades como el COVID 19.

### **Solución: Monitoreo en línea de las variables operacionales, derivadas de modelos predictivos y simulaciones**

La implementación de sensores que midan y reporten las variables y condiciones de las fuentes de emisión de contaminantes y su integración a los demás indicadores de operación de los procesos productivos, permitirán un control más efectivo de los riesgos de exposición y de la eficiencia del proceso.

### **Solución: Habilitar sistema experto para direccionar solución**

Un sistema experto combina datos, conocimientos y un conjunto de inferencias que permiten traducirse ya sea en una decisión o recomendación de decisión. Su aplicación para la gestión de la seguridad y salud ocupacional puede traducirse, por ejemplo, en un mejor control de fuentes de emisión u otras acciones necesarias para reducir o eliminar riesgos asociados a enfermedades profesionales.

# NÚCLEO TRACCIONANTE 3: MINERÍA SEGURA

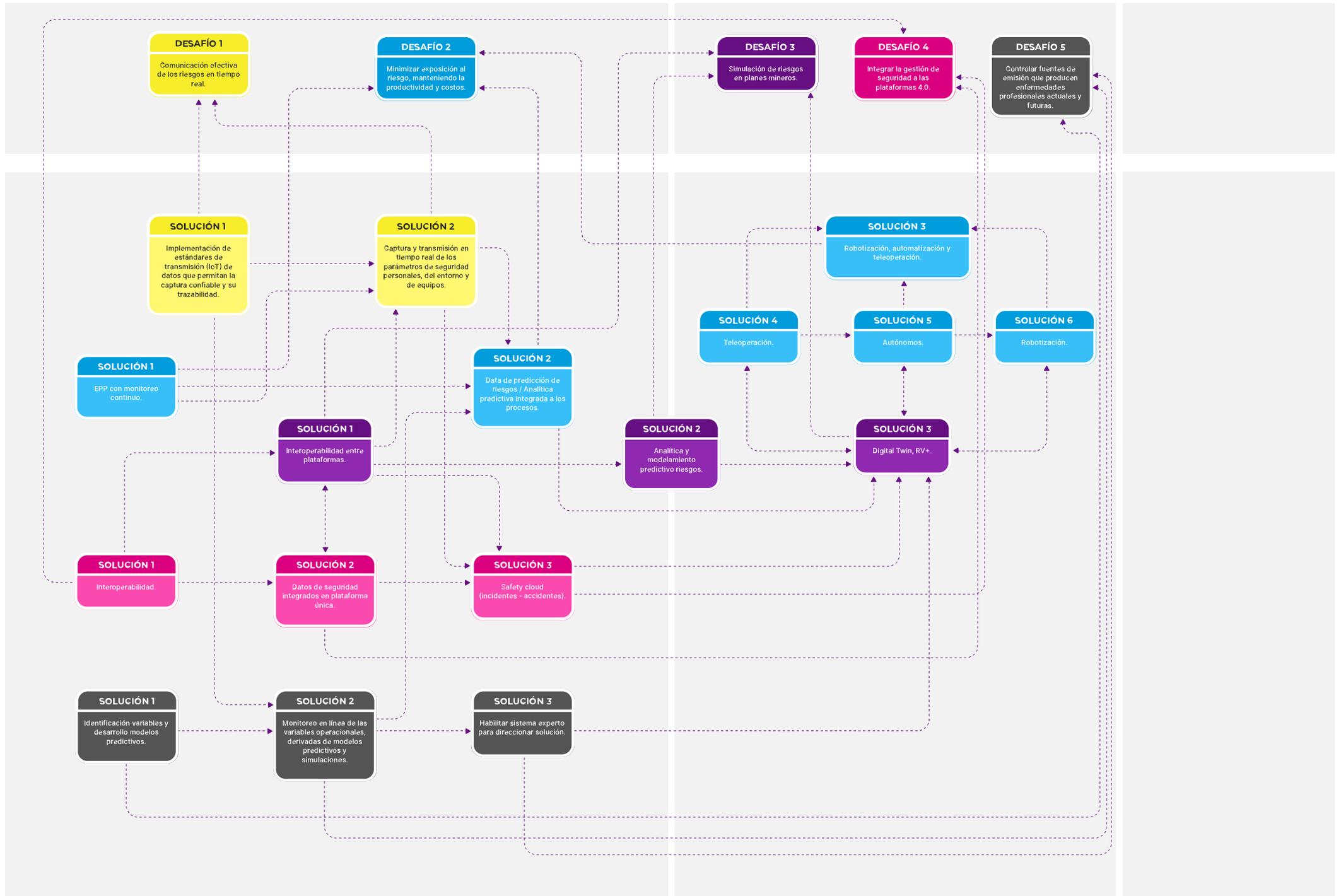
CORTO PLAZO  
(2020/2025)

MEDIANO PLAZO  
(2025/2030)

LARGO PLAZO  
(2030/2035)

DESAFÍOS

SOLUCIONES





# NÚCLEOS HABILITANTES

DIGITALIZACIÓN 

CIBERSEGURIDAD 

DESARROLLO DEL  
CAPITAL HUMANO 

LICENCIA SOCIAL Y  
POLÍTICA PARA INNOVAR 



## NÚCLEO HABILITANTE 4: DIGITALIZACIÓN

Comprende la infraestructura de Tecnologías de la Información (IT), Tecnologías Operacionales (OT), captura, gestión e integración de los datos provenientes de la operación minera y su entorno, permitiendo la gestión integral de la cadena de valor en todas sus dimensiones.

### Desafío 1 Corto plazo

#### Conocer el nivel de madurez de la digitalización en la minería chilena

La Digitalización, es un requisito fundamental para lograr que la industria minera siga creciendo. Toda compañía minera que quiera integrarse en el dinámico sistema económico actual y seguir siendo competitiva, debe aplicar el pensamiento digital en todos sus procesos.

Para tener éxito en la transformación digital, es importante que las compañías sepan dónde se encuentran y dónde quieren estar; de esta manera, pueden alinear sus estrategias con las tendencias del mercado y del sector minero en concreto. Dicho de otra manera, las compañías mineras deben evaluar y medir su grado de madurez digital. Midiendo las capacidades y los resultados de cada una de las compañías mineras en Chile, se obtiene un Indicador de Madurez Digital como punto de partida para iniciar la transformación digital de la industria minera.

### Solución: Levantamiento del estado de la Digitalización en otras industrias

Junto con la banca, las empresas que conforman el sector industrial, son las que más avanzadas están en materia de digitalización de sus procesos; al contrario de la industria minera, donde el nivel de digitalización aún es muy bajo comparativamente. En algunos casos es factible encontrar ejemplos de grandes empresas que tienen plenamente digitalizada e integrada toda su cadena de valor: desde sus procesos de fabricación y sus operaciones, pasando por su capital humano, sus procesos comerciales y sus relaciones con clientes y proveedores. El levantamiento del estado del nivel de digitalización, además de permitir obtener una referencia real de otras industrias, permitirá también conocer las estrategias y soluciones de las que estas disponen, para así adaptar las buenas prácticas al entorno minero y eventualmente optimizarlas.

### Solución: Relevar experiencia internacional en términos de digitalización

La solución planteada radica en realizar un benchmarking continuo, en el cual se tomen como referencia los productos, servicios o procesos de trabajo de las empresas consideradas como líderes en industrias como la del petróleo y gas, sector salud, alimenticia, entre otras. Esto permitirá aprender que están haciendo otras industrias consideradas con alto grado de digitalización, estudiar las estrategias y técnicas que estas utilizan, con el fin de adaptarlas a la industria minera chilena y así potenciar su grado de competitividad.

### Solución: Desarrollar un modelo de Madurez Digital para la minería chilena

El tener un Modelo de Madurez Digital para la minería chilena, permitirá a las compañías mineras estructurar las iniciativas correctas para abordar o continuar su transformación digital y subir al siguiente nivel. Dependiendo de los resultados por cada ámbito que se mida, se pueden definir los focos específicos para avanzar y lograr más homogeneidad en la transformación organizacional. Los proyectos y programas se pueden estructurar por cada ámbito y, de esta forma, generar un portafolio de transformación digital coordinado a nivel organizacional, que les permitirá a las empresas mineras transitar a una Transformación Digital de manera ordenada y alineadas con sus estrategias de negocio (Road Map de Transformación Digital).

## **Solución: Levantamiento del nivel de adopción de la digitalización en la minería chilena**

Es sabido que la industria minera cuenta con diversas tecnologías de punta, y se reconoce la importancia de la innovación en sus procesos; sin embargo, el principal problema radica en saber cómo desplegar, utilizar e integrar dichas tecnologías para lograr sus prioridades estratégicas y con esto maximizar el potencial del negocio. Como parte de la estrategia para conocer el nivel de madurez de la Digitalización, se plantea realizar un estudio que brinde una mirada en profundidad de la adopción tecnológica y del estado de la confianza digital de las mineras locales.



## NÚCLEO HABILITANTE 4: DIGITALIZACIÓN

Comprende la infraestructura de Tecnologías de la Información (IT), Tecnologías Operacionales (OT), captura, gestión e integración de los datos provenientes de la operación minera y su entorno, permitiendo la gestión integral de la cadena de valor en todas sus dimensiones.

### Desafío 2 Mediano plazo

Asegurar la captura confiable de los datos con precisión y oportunidad para alimentar el modelo de negocio

En el pasado, la competitividad de las mineras se medía por cuán bien éstas extraían sus recursos; sin embargo, en la actualidad dada la coyuntura del mercado internacional, la propuesta de valor de la industria está cambiando, y tiende a analizar cuán bien una empresa actúa sobre la información que genera, y qué tan confiable es esta información para optimizar la producción, reducir los costos, aumentar la eficiencia y mejorar la seguridad.

En resumen, los datos y la capacidad de organizar, administrar y procesarlos, se están volviendo rápidamente un nivel diferenciador competitivo, que incluso puede estimular nuevos modelos de negocio.

### **Solución: Definición de políticas y estándares de transmisión de datos que permitan su captura confiable y trazabilidad**

La continua necesidad de incrementar la productividad en la minería, hace que se requiera de una visión del proceso productivo integral, en tiempo real y con precisión; lo que además considera la inclusión de nuevos equipos, que requieren de una ágil integración con los sistemas preexistentes. Bajo este panorama, la inclusión de políticas que promuevan el uso de datos en tiempo real estandarizados, provee flexibilidad para adaptar rápidamente el negocio y sus procesos productivos a las variaciones de mercado y enfrentar los nuevos desafíos de la industria; además de generar beneficios que disminuyen los costos de transacción, asegura un mayor poder de negociación, promueve alianzas, reduce el riesgo en I+D, entre otros beneficios.

### **Solución: Implementación de protocolo de seguimiento de datos**

Las compañías mineras pueden ver afectados sus procesos debido a la pérdida de información y datos de mala calidad que se van acumulando en sus sistemas a lo largo del tiempo, impactando toda la cadena de valor, dada la incidencia que éstos tienen en los procesos de trabajo y la creación de valor añadido de la organización.

Definir altos estándares de calidad de datos, establecer métodos preventivos, correctivos y eficientes en la gestión de los datos de mala calidad, prever el control y los medios de sanidad para minimizar el impacto que éstos puedan traer en los procesos de la cadena de valor, son algunos de los protocolos que debe contener un sistema de gestión de datos para la Minería 4.0, los cuales deben incluir el “dónde guardar” y el “dónde buscar” los datos, identificando desde la fuente primaria hasta el usuario final.

### **Solución: Habilitar infraestructura de redes integradas IT/OT**

En respuesta a los desafíos de trabajar en áreas difíciles, remotas, además de la constante fluctuación en los precios de los minerales; las compañías mineras deben habilitar infraestructura de redes integradas que permitan rescatar la información de los procesos y compartirla con los sistemas de gestión, para generar mayor valor agregado, y consecuentemente mejorar la toma de decisiones.

## **Solución: Captura de los parámetros de operación y mantenimiento de cada proceso de la cadena de valor, a través de tecnologías ad hoc**

Los distintos procesos existentes en el negocio minero, desde la operación de minado, el procesamiento de minerales en planta, hasta la entrega del producto final, proporcionan gran cantidad de datos e información; lo cual, con un análisis adecuado, permite tomar decisiones correctas y oportunas.

En este sentido, la inserción de sensores inteligentes al entorno minero juega un papel preponderante junto al internet de las cosas (IoT), para lograr capturar los datos de los parámetros de operación y mantenimiento de sus activos de manera confiable, lo que posibilita medir el desempeño de los mismos y así determinar puntos de mejora.



## NÚCLEO HABILITANTE 4: DIGITALIZACIÓN

Comprende la infraestructura de Tecnologías de la Información (IT), Tecnologías Operacionales (OT), captura, gestión e integración de los datos provenientes de la operación minera y su entorno, permitiendo la gestión integral de la cadena de valor en todas sus dimensiones.

### Desafío 3 Mediano plazo

Gestión de datos para la incorporación de nuevas técnicas de Analítica Avanzada

Si bien las compañías mineras disponen de gran cantidad de datos, éstas aún no los manejan lo suficientemente bien como para darle sentido y sacar provecho de la información que pueda resultar del análisis de estos.

La simple recopilación de datos no es suficiente. Las empresas mineras deben comprender desde el principio que la gestión y el análisis de sus datos, depende de que exista una estrategia corporativa, en donde se plantee cómo obtener valor de dichos datos; entonces podrán ir más allá de la simple recolección, mediante la implementación de sistemas eficientes de procesamiento, almacenamiento y validación, así como con estrategias de análisis eficaces como la Analítica Avanzada.

A continuación, se mencionan las soluciones que el grupo de expertos participantes en el desarrollo de la Hoja de Ruta para la Innovación de la Minería 4.0 para Chile identificó, con el objetivo de hacerle frente al desafío descrito.

### Solución: Capturar talentos y generar equipos para nuevas disciplinas de la ciencia de datos, aplicado a procesos mineros

En los últimos años, han entrado al mercado una cantidad considerable de nuevas ramas de la ciencia de datos, como la Inteligencia Artificial, Machine Learning, Deep Learning, Big Data, entre otras tantas; las cuales, mediante su aplicación, permiten optimizar distintos aspectos de los procesos industriales. Dada esta coyuntura, es de vital importancia contar con operadores, técnicos y profesionales capacitados en dichas ramas de la ciencia, que puedan aportar desde un principio a la implementación de la estrategia de digitalización, incorporando su conocimiento a los procesos mineros.

### Solución: Procesamiento inteligente de grandes cantidades de datos, para optimizar la función objetivo del negocio minero

El análisis y procesamiento de gran cantidad de datos, por medio de las técnicas que utiliza el Big Data, tienen el potencial de estimular la eficiencia en la planificación, extracción, transporte, procesamiento de minerales, comercialización y toda la cadena de apoyo del negocio minero al permitir decisiones más rápidas y más acertadas en todos los niveles. Dentro del entorno de la Minería 4.0, en donde se espera la incorporación de gran cantidad de sensores inteligentes en las operaciones mineras, se generarán grandes cantidades de datos de diferente índole, en tiempo real (datos geocientíficos, de estado de los activos y operacionales, etc.), en toda la cadena de valor. Estos datos pueden analizarse mediante un procesamiento masivo en paralelo y además permitiría una distribución más inteligente y rápida a los interesados.

### Solución: Asegurar la calidad del dato para su utilización

Es indispensable que los datos disponibles en cada proceso, sean fidedignos, para así asegurar que las decisiones que se tomen, producto de la aplicación de Analítica Avanzada, sean las adecuadas. En este punto, cobra particular relevancia que los elementos de medición estén calibrados, y que el sistema implementado para disponer de dichos datos, permita su trazabilidad, desde el momento de su captura hasta su usuario final.



## NÚCLEO HABILITANTE 4: DIGITALIZACIÓN

Comprende la infraestructura de Tecnologías de la Información (IT), Tecnologías Operacionales (OT), captura, gestión e integración de los datos provenientes de la operación minera y su entorno, permitiendo la gestión integral de la cadena de valor en todas sus dimensiones.

### Desafío 4 Mediano plazo

**Pasar de ecosistemas aislados a interoperables en la cadena de valor**

La interoperabilidad, definida en términos generales como la capacidad de los sistemas para intercambiar y utilizar información, es un concepto estrechamente vinculado a la Digitalización y es esencial para el progreso hacia la minería del futuro.

Sin la digitalización, desde el sentido de cambiar la información del formato análogo al digital, el intercambio de datos sería engorroso, y la digitalización desde la perspectiva de cambiar el modelo de operación actual, a uno basado en el uso de tecnologías digitales, sería también imposible de lograr; y sin la interoperabilidad, los equipos y sistemas informáticos de la minería, quedarían estancados en las estructuras de datos actuales, las cuales han obstaculizado las iniciativas de mejora de los procesos mineros durante años.

En otras palabras, la interoperabilidad es requisito indispensable para maximizar las capacidades y los beneficios de la automatización de la minería, la digitalización, la integración operativa y las iniciativas de análisis de datos; y además puede ser un enorme motor de innovación, partiendo de la base que la minería 4.0 requerirá de un extraordinario nivel de trabajo en equipo entre las personas, los softwares y las máquinas.

### **Solución: Generar un modelo de operación integrado “base” para el inicio de actividades**

La interoperabilidad digital posibilita la construcción de modelos de operación que pueden iniciarse con pocos actores e ir escalando ordenadamente, hasta incorporar un mayor número de dispositivos, equipos, procesos, etc., e incluso construir otros nuevos; para generar así una plataforma que crezca y se fortalezca. Aunque es posible realizar proyectos de interoperabilidad por sectores, construir desde el principio un modelo operacional con criterios generales de integración de todo el proceso, ofrecería mayores beneficios y facilidades de implementación en forma lógica y ordenada. Esto por cuanto se facilita una mayor reutilización, seguridad y consistencia en el manejo integral de los datos que interoperan, además de permitir la generación de datos agregados más completos, provenientes de todas las áreas que conforman la cadena de valor y de esta forma habilitar la generación de diferentes tipos de informes, tendencias e información relevante para la toma de decisiones a todos los niveles.

### **Solución: Desarrollar una arquitectura de referencia para la integración de procesos**

El desarrollo de una arquitectura de referencia para la integración de los procesos mineros, debe proponer una alternativa para la interoperabilidad de sus componentes y la supervisión de las operaciones, con una visibilidad global de los procesos. La arquitectura debe constar, a lo menos de tres capas: una capa de integración, en donde se establecen los mecanismos de acceso a las fuentes de datos y aplicaciones de las empresas mineras; una capa de modelo de datos, donde se describen los activos físicos del negocio minero, y una capa de gestión, en la cual, a través de sistemas multiagentes, se ejecutan y supervisan sus procesos de negocio.

En su conjunto, la integración de los niveles jerárquicos, la conexión horizontal de los procesos, junto al desarrollo de una arquitectura de referencia para la integración de estos; corresponden inherentemente al desarrollo de un Modelo Conceptual para la Industria Minera 4.0 de Chile.

### **Solución: Definir la integración de los diferentes niveles jerárquicos de cada proceso de negocio**

La integración de los diferentes niveles jerárquicos o integración vertical, en la minería 4.0, tiene como objetivo unir todas las capas lógicas dentro de la

organización, desde la capa de campo (mina - planta) hasta I+D, control de calidad, la gestión de productos, la TI, las ventas etc. Los datos fluyen libremente y de forma transparente hacia arriba y hacia abajo de estas capas, de modo que tanto las decisiones estratégicas como las operacionales, puedan ser impulsadas por los datos. Desde el punto de vista digital, contar con una arquitectura vertical interoperable, permitirá que el flujo de la información que se produce en la operación de los dispositivos físicos de mina y planta, vayan libremente a los sistemas de nivel superior como HMI, SCADA, MES, ERP, etc.

\*Trasladar toda la información, que se intercambia entre los dispositivos a nivel de campo, para realizar un correcto control de los procesos requiere necesariamente de la adopción de un protocolo abierto que asegure una plena transmisión de la información, y con ello, una toma de decisiones adecuada. El lograr este tipo de integración (Vertical y Horizontal) en todos los niveles del negocio minero, representa una ventaja competitiva crucial, al permitir a las compañías mineras ser capaces de responder adecuadamente y con agilidad a las señales cambiantes del mercado y a las nuevas oportunidades.

### **Solución: Conectar horizontalmente los procesos de la cadena de valor**

Además de la integración vertical de los niveles jerárquicos de cada proceso, se requiere también de una integración horizontal que garantice las comunicaciones entre dispositivos físicos de mina y planta, tales como entradas y salidas, sensores, paneles de operador, etc. Una alternativa para alcanzar el éxito de esta integración, es adoptar el estándar de Interoperabilidad OPC-UA (Open Platform Communication - Unified Architecture), el cual facilita el intercambio seguro y fiable de los datos, en un entorno de automatización industrial, facilitando la intercomunicación de sistemas y procesos en entornos distribuidos o multiplataforma.

### **Solución: Definir estructura de traspaso de información de un proceso a otro, que sea confiable, auditable y segura, para asegurar la interoperabilidad**

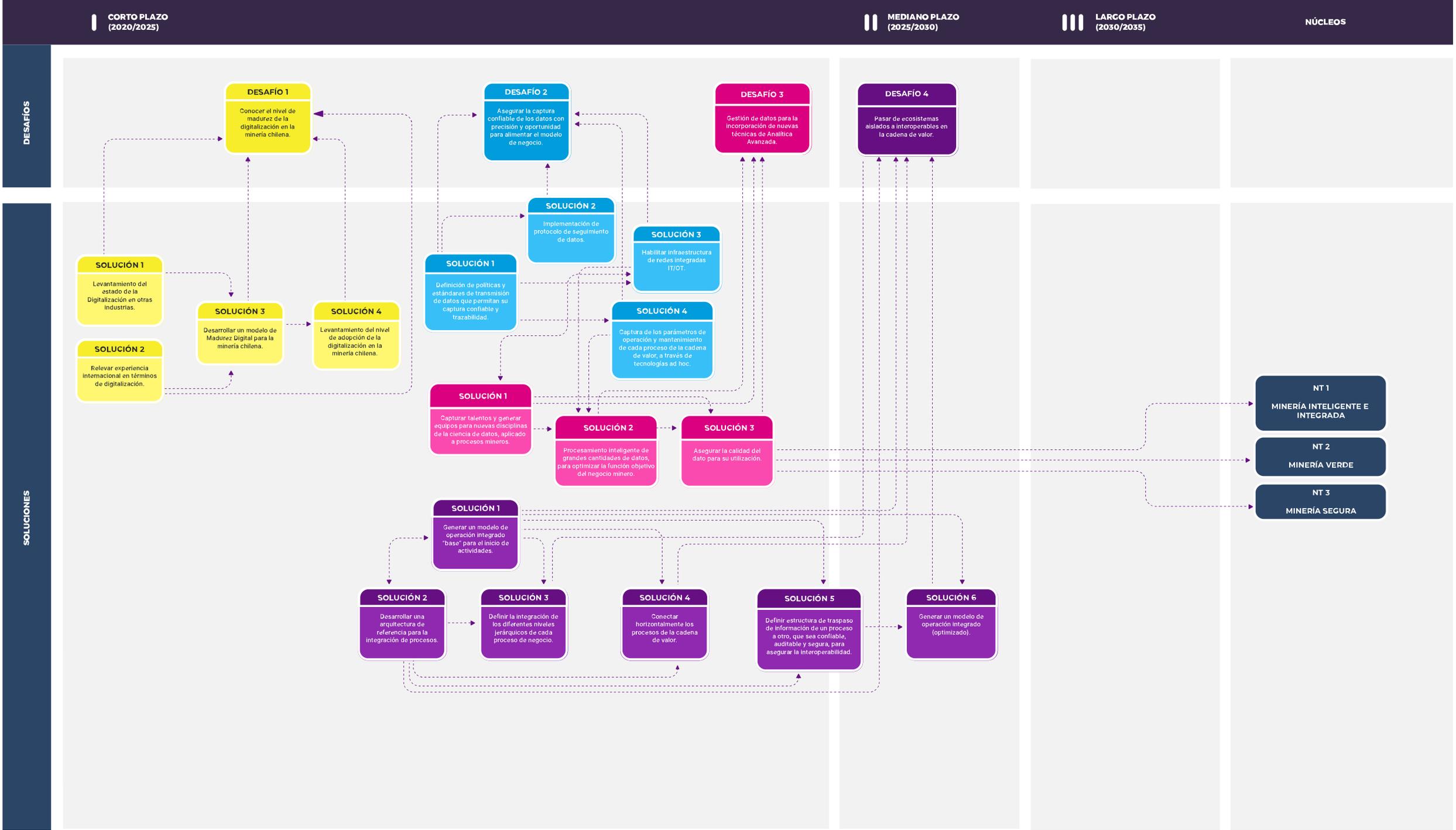
Para asegurar la interoperabilidad, se requiere de un formato especializado de los datos, que permita organizar, procesar, recuperar y almacenar los datos que se generen. Si bien, existen varios tipos de estructuras básicas y avanzadas, toda estructura de datos está diseñada para organizarlos, de manera que se ajusten a un propósito específico, y que además se pueda acceder y trabajar con ellos de manera

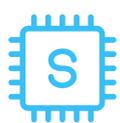
apropiada. Se hace entonces indispensable contar con protocolos y estándares interoperables, para lograr la integración de todos los procesos y entre todos los niveles jerárquicos; lo que requiere indudablemente del esfuerzo conjunto de los distintos proveedores de tecnología que forman parte del entorno minero.

### **Solución: Generar un modelo de operación integrado (optimizado)**

La estrategia de transformación digital debe apuntar a la generación de un modelo de operación completamente integrado, que logre posicionar competitivamente el negocio minero del futuro, con un nuevo modelo operativo racionalizado, simplificado y más sostenible. El alcance de este modelo debe incluir todos los aspectos de la producción, la calidad, la logística, la gestión de activos, la seguridad, las funciones de apoyo, la simplificación de los sistemas; además del desarrollo del liderazgo y la cultura de la organización. La integración de todas las variables que impactan el negocio minero, permitirá optimizar el valor de todo el sistema, mejorar el alineamiento y la disciplina en la ejecución de los programas; además de simplificar radicalmente el entorno de trabajo.

# NÚCLEO HABILITANTE 4: DIGITALIZACIÓN





## NÚCLEO HABILITANTE 5: CIBERSEGURIDAD

Comprende los desafíos y soluciones para evitar todo tipo de amenazas, que ponen en riesgo la información que es procesada, transportada y almacenada en los sistemas de gestión utilizados por la industria minera.

### Desafío 1 Corto plazo

#### Mejorar la segmentación de zonas de redes OT

Dada la especial relevancia de las redes OT para las operaciones mineras, se hace necesario la implementación de prácticas óptimas, como la segmentación de redes en distintas zonas de seguridad y aplicar capas de protección para aislar las partes críticas de dicha red; esta práctica, en combinación con los protocolos de control industrial, pueden dar a las compañías mineras propietarias de los activos, una mejor comprensión de lo que es una situación de normalidad dentro del entorno OT.

En el contexto de la minería 4.0, significa conocer, por ejemplo, si los usuarios autorizados pertinentes, están utilizando un proxy de acceso remoto específico, qué número de protocolo de control industrial está en uso y qué activos están conectados directamente a la Internet, etc.

### Solución: Definir arquitectura de referencia (topología, control de accesos, segmentación por tipo de datos y flujos)

La infraestructura crítica de la información, la cual comprende las instalaciones, redes, servicios y equipos físicos y de tecnología de la información, cuya afectación repercute considerablemente en la seguridad y el efectivo funcionamiento del negocio minero, debe estar especialmente protegida. Por tal motivo, las compañías mineras deben diseñar una arquitectura de referencia que maximice su robustez y resiliencia frente a eventos que puedan inhabilitar el normal desarrollo de sus operaciones, de modo que se puedan adaptar a fenómenos de la naturaleza, intervenciones humanas o interferencias informáticas tales como incidentes involuntarios o ciberataques.

El desarrollo de una arquitectura de referencia, debe definir controles de acceso para los componentes de hardware, software y redes, las cuales deben estar tanto físicas como lógicamente aseguradas, con acceso concedido solo a través de una autenticación formal y posterior autorización. El acceso a las redes existentes debe estar limitado y asegurado de acuerdo con los protocolos de gestión de ciberseguridad adoptados, entre ellos la autenticación, monitoreo 24/7 y seguridad en el punto final. Los dispositivos portátiles deben estar restringidos y además deben ser regularmente escaneados en busca de softwares maliciosos; además, se debe incluir un mecanismo de gestión de incidentes, el cual elabore políticas y procedimientos de forma proactiva, y esté periódicamente probando la eficiencia de sus sistemas de ciberseguridad.

### Solución: Segmentación orientada al consumo de la fuente del dato (Aplicación)

Una red abierta representa una oportunidad tanto para propiciar ciberataques desde el exterior de las corporaciones, como también para eventuales amenazas internas, ya sea por un empleado descontento o a partir de un error humano, como un cambio incorrecto del sistema. Esta es la razón por la cual la segmentación de red debe ser parte de la estrategia de ciberseguridad de cada compañía minera, ya que su implementación permite a los interesados, acceder específicamente a los datos, activos o aplicaciones que necesitan, de acuerdo a las restricciones consideradas para cada caso particular.

Una de las herramientas más usadas para la fortificación de redes es el diodo de datos. Se trata de un dispositivo hardware (no existe firmware como el caso de los firewalls) que separa/protege dos redes asegurando la unidireccionalidad en el flujo de información asegurando que la información de una red llegue a otra red (pero no viceversa). Es altamente recomendable para entornos realmente críticos en los que es necesario dotar a las infraestructuras de un nivel de seguridad casi infranqueable.

### **Solución: Implementar sistema de monitoreo proactivo de flujos de datos en la red IT/OT**

Dentro del contexto de la minería 4.0, los sistemas IT / OT ya no son sistemas que fluyen a través de redes separadas. Tecnologías como la operación a distancia de equipos mineros, el Internet de las Cosas (IoT) y Cloud, han hecho que las redes IT y las redes OT converjan para permitir monitorear, gestionar y modelar la producción minera, lo que implica nuevos retos en términos de ciberseguridad.

Bajo la perspectiva descrita, es vital que se esté monitoreando de forma proactiva el tráfico de datos dentro de las redes en la operación, con el fin de detectar amenazas que estén en las redes de proceso. Existen diversas formas de detectar estas amenazas, las cuales van desde la protección y análisis en el “punto final” a través de sistemas de detección y respuestas (EDR), analizadores de Log con inteligencia de detección de malware, y el uso de firewalls de nueva generación, los cuales incluyen la tecnología para generar reconocimiento de protocolos de ciberseguridad industrial y además permiten detectar amenazas avanzadas o de denegación de servicios.

### **Solución: Inducir estándar bancario para IT y estándar ICS para OT**

En términos de preparación y gobernanza de ciberseguridad, el sector bancario sobresale por la eficiente adopción de marcos de seguridad y/o estándares internacionales en torno a la seguridad digital. La inclusión de normas propias del sector financiero, como la Information Security Management System (ISMS) – ISO 27001, Control Objectives for Information and Related Technology (COBIT), Information Technology Infrastructure Library (ITIL) & IT Service Management (ITSM) y el Payment Card Industry Data Security Standards (PCI-DSS), entre otros, pueden ser adaptados a los sistemas IT de las compañías mineras.

Por otra parte, se requiere de una evaluación multidimensional de las vulnerabilidades de ciberseguridad existentes en redes las OT mineras, acorde al marco de trabajo internacional de ciberseguridad industrial (ICS) como IEC62443, NIST 800-82, etc.; los cuales buscan garantizar altos niveles de ciberseguridad dentro de un entorno industrial, de modo de minimizar los riesgos asociados a las tecnologías y maximizar la disponibilidad y operatividad de los procesos productivos de la minería 4.0.



## NÚCLEO HABILITANTE 5: CIBERSEGURIDAD

Comprende los desafíos y soluciones para evitar todo tipo de amenazas, que ponen en riesgo la información que es procesada, transportada y almacenada en los sistemas de gestión utilizados por la industria minera.

### Desafío 2 Corto plazo

**Proteger de ciberataques: la información, tecnología, sistemas, desde internet, red corporativa y servicios de terceros**

Cada vez se conectan más procesos y dispositivos a Internet en el entorno minero, por lo que la seguridad de TI debe integrarse en todos los sistemas involucrados.

Los sistemas de defensa sólidos e integrados pueden permitir que los sistemas de TI de una empresa resistan los ataques cibernéticos y protejan contra eventos tales como bloqueos del sistema, pérdida de datos y acceso no autorizado.

Cualquier inversión en ciberseguridad debe hacerse sobre la base del caso de negocio para cada caso en particular, ya que cada compañía minera tiene su propia infraestructura.

Es importante encontrar soluciones que respalden el negocio minero y no reprima su eficiencia.

### Solución: Servidores de respaldo para cada sistema OT

Con la llegada de la minería 4.0, los diferentes sistemas OT (tecnologías de operaciones) se integrarán al entorno del Internet de las Cosas, proporcionando gran cantidad de datos. Mientras que en los entornos IT, la confidencialidad de la información es el aspecto más importante a proteger, la disponibilidad es el aspecto más relevante en los entornos OT, puesto que una compañía minera puede perder mucho dinero, por culpa de una parada de servicios de operación mina y/o planta; además de que una potencial pérdida de control de las operaciones, producto de un ataque cibernético, pone en riesgo vidas humanas, e incluso puede causar severos daños de impacto ambiental, los cuales también terminan afectando al negocio de una compañía.

Dada esta coyuntura, las compañías mineras deben tomarse seriamente el diseño de un modelo de seguridad eficiente para sus redes, que incorpore servidores de respaldo para cada sistema OT. Un servidor de respaldo, debe diseñarse específicamente para operar en las topologías de red heterogéneas características de los sistemas OT, y además de ser fiables, deben ser compatibles con los distintos sistemas operativos del ecosistema OT. La función principal de dichos servidores, es la de realizar copias de seguridad de los datos, archivos, aplicaciones y/o bases de datos de un servidor especializado interno o remoto, con el fin de evitar la pérdida de datos en caso de fallos de discos duros, errores de usuarios, desastres o accidentes; además y no menos importante, deben tener la habilidad de recuperar el control de operaciones desde sus sistemas. Una alternativa a los servidores de respaldo comunes, son los servicios de respaldo y recuperación en línea que guardan los datos de la red OT en la nube (Cloud).

### Solución: Planes de capacitación sobre protección de datos y sistemas

Si bien, existe un aumento de las inversiones específicas de las compañías mineras para abordar la ciberseguridad, los presupuestos asignados actualmente, aún no son suficientes para gestionar el riesgo, particularmente en lo que refiere a la potencial amenaza a las tecnologías operativas; por tanto, es crucial que las organizaciones lleven a cabo programas de formación y concienciación en materia de ciberseguridad, que entreguen las herramientas necesarias para asegurarse que se apliquen las mejores prácticas para la protección de datos y sistemas. Por otra parte, también se debe considerar la contratación de consultoría de redes de terceros, para capacitar a personal propio, como también a proveedores externos que probablemente tengan acceso a información y sistemas sensibles.

## **Solución: Definir arquitectura de referencia (topología, control de accesos, segmentación por tipo de datos y flujos)**

La infraestructura crítica de la información, la cual comprende las instalaciones, redes, servicios y equipos físicos y de tecnología de la información, cuya afectación repercute considerablemente en la seguridad y el efectivo funcionamiento del negocio minero, debe estar especialmente protegida. Por tal motivo, las compañías mineras deben diseñar una arquitectura de referencia capaz de hacer frente a eventos que puedan inhabilitar el normal desarrollo de sus operaciones, de modo que se puedan adaptar a fenómenos de la naturaleza, intervenciones humanas o interferencias informáticas tales como incidentes involuntarios o ciberataques.

El desarrollo de una arquitectura de referencia, debe definir controles de acceso para los componentes de hardware, software y redes, las cuales deben estar tanto físicas como lógicamente aseguradas, con acceso concedido solo a través de una autenticación formal y posterior autorización. El acceso a las redes existentes debe estar limitado y asegurado de acuerdo con los protocolos de gestión de ciberseguridad adoptados, entre ellos la autenticación, Monitoreo 24/7 y seguridad en el punto final. Los dispositivos portátiles deben estar restringidos y además deben ser regularmente escaneados en busca de softwares maliciosos; además, se debe incluir un mecanismo de gestión de incidentes, el cual elabore políticas y procedimientos de forma proactiva, y este periódicamente probando la eficiencia de sus sistemas de ciberseguridad.

## **Solución: Encriptar (cifrado) información sensible**

El cifrado de datos es una práctica en ciberseguridad en el que la información está codificada y sólo puede ser accedida o descifrada por un usuario con la clave de codificación correcta; mientras que los datos cifrados, aparecen codificados o ilegibles para una persona o entidad que accede sin permiso.

Para el encriptado de la información se utilizan softwares especializados en desarrollar esquemas de cifrado que, teóricamente, sólo puede romperse con tecnología computacional muy potente.

El método de cifrado descrito, puede ser muy útil para proteger la información sensible de las compañías mineras, por lo que se debe incluir dentro de las buenas prácticas de ciberseguridad de la industria 4.0.

## **Solución: Sistema con registros de todos los dispositivos conectados a las redes**

Otra de las herramientas usadas que se deben incluir dentro de un plan estratégico de ciberseguridad, es el uso de plataformas para registrar los dispositivos conectados a las redes, el cual requiere que cada usuario acepte las condiciones de uso en su dispositivo, antes de acceder a la red. Esta medida, supone tener mayor control a la hora de identificar posibles intrusos o potenciales amenazas de ciberataques.

## **Solución: Implementar sistemas de alerta, contención y mitigación por ataques**

Las estrategias de prevención ante ataques cibernéticos y violación de datos, deben integrarse a la actividad cotidiana de las operaciones mineras 4.0. En última instancia, ninguna herramienta de seguridad es inexpugnable ante el ataque de adversarios determinados, por lo que se difiere que los ataques cibernéticos y las brechas de los sistemas de seguridad en algún momento no sean suficientes. Dicho lo anterior, resulta fundamental contar con procesos eficaces de alerta, contención y mitigación de ataques, de modo de identificar y responder rápidamente a las violaciones de la seguridad, contener las brechas de seguridad y detener la pérdida de datos sensibles, prevenir los ataques asegurando todas las vías de explotación y además (no menos importante), aplicar las lecciones aprendidas para fortalecer aún más el sistema y evitar la repetición de incidentes.

## **Solución: Hackeo ético**

El hackeo ético, es una práctica de intrusión en un sistema o en una red para descubrir amenazas, y vulnerabilidades que un atacante malintencionado puede encontrar y explotar, causando pérdida de información, pérdida financiera u otros daños importantes.

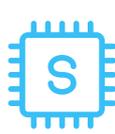
El propósito de esta práctica es la de mejorar la seguridad de la red o de los sistemas mediante la corrección de las vulnerabilidades encontradas durante la ejecución de estas pruebas, en el que los piratas informáticos éticos, pueden utilizar los mismos métodos e instrumentos que se utilizan en un ciberataque real, pero con el permiso de la organización, para así mejorar la seguridad y defender los sistemas de los ataques cibernéticos malintencionados.

Los profesionales encargados de realizar esta práctica, pueden hacer parte directamente del staff de la compañía minera, o personal externo, previa firma de un contrato de confidencialidad y moralidad laboral. Esta es una de las prácticas más usadas por el sector financiero y en la industria en general, para testear la eficacia de sus sistemas de ciberseguridad.

### **Solución: Incorporar al mundo de los proveedores (incorporar a terceros) en cadena de "ciberseguridad"**

La industria minera, dentro del entorno de la minería 4.0, debe ver la seguridad cibernética como una responsabilidad compartida, donde, tanto compañías mineras, como proveedores, aporten a la consecución de un sistema seguro en términos de ciberseguridad. En este sentido, la consideración del riesgo a ciberataques, debe extenderse más allá de los propios límites de las compañías mineras e incorporar a los proveedores, clientes, socios y otras organizaciones con las que entran en contacto a la cadena de ciberseguridad.

Las compañías mineras, además de proteger simplemente sus intereses propios, deben optar por promover una cultura de seguridad cibernética, que implique cuidar también de todos quienes intervienen en su negocio minero; ya que entre mayores sean los niveles de seguridad en las empresas con las que se relacionan, la capacidad de propagación de los ataques de afectación de servicios, virus, etc., se verán disminuidos. Dicho esto, siguiendo con esta política colaborativa, es importante que los proveedores también tomen las medidas necesarias para protegerse a sí mismos y también a sus clientes.



## NÚCLEO HABILITANTE 5: CIBERSEGURIDAD

Comprende los desafíos y soluciones para evitar todo tipo de amenazas, que ponen en riesgo la información que es procesada, transportada y almacenada en los sistemas de gestión utilizados por la industria minera.

### Desafío 3 Corto plazo

#### Proteger accesos a sistemas y dispositivos OT

En el pasado, los entornos de IT y OT estaban efectivamente separados, haciendo mucho más difícil el acceso a los sistemas de OT; como resultado, la ciberseguridad industrial no representaba una inversión significativa en términos financieros para las compañías mineras. En la actualidad, sin embargo, con la integración de las redes OT e IT, ha cambiado este enfoque considerablemente, puesto que la infraestructura OT se ha convertido en un conjunto de sistemas ciber-físicos, los cuales cuentan con nuevas formas para controlar las operaciones, aumentar la eficiencia y racionalizar los procesos.

Si bien esta integración proporciona muchos beneficios, también aumenta significativamente el riesgo a que las compañías mineras reciban potenciales ciberataques desde el exterior, que, de suceder, pondrían en riesgo no solo la continuidad de las operaciones, sino también la integridad física de las personas que hacen parte de las operaciones mineras.

### Solución: Definir arquitectura de referencia (topología, control de accesos, segmentación por tipo de datos y flujos)

La infraestructura crítica de la información, la cual comprende las instalaciones, redes, servicios y equipos físicos y de tecnología de la información, cuya afectación repercute considerablemente en la seguridad y el efectivo funcionamiento del negocio minero, debe estar especialmente protegida. Por tal motivo, las compañías mineras deben diseñar una arquitectura de referencia capaz de hacer frente a eventos que puedan inhabilitar el normal desarrollo de sus operaciones, de modo que se puedan adaptar a fenómenos de la naturaleza, intervenciones humanas o interferencias informáticas tales como incidentes involuntarios o ciberataques.

El desarrollo de una arquitectura de referencia, debe definir controles de acceso para los componentes de hardware, software y redes, las cuales deben estar tanto físicas como lógicamente aseguradas, con acceso concedido solo a través de una autenticación formal y posterior autorización. El acceso a las redes existentes debe estar limitado y asegurado de acuerdo con los protocolos de gestión de ciberseguridad adoptados, entre ellos la autenticación, monitoreo 24/7 y seguridad en el punto final. Los dispositivos portátiles deben estar restringidos y además deben ser regularmente escaneados en busca de softwares maliciosos; además, se debe incluir un mecanismo de gestión de incidentes, el cual elabore políticas y procedimientos de forma proactiva, y esté periódicamente probando la eficiencia de sus sistemas de ciberseguridad.

### Solución: Implementar sistemas de acceso físico y lógico a sistemas informáticos OT

Los sistemas de control de acceso físico y lógico, son técnicas de seguridad que regulan quiénes pueden ver o utilizar los recursos en un entorno informático. El control de acceso físico, limita el acceso a activos físicos; mientras que el control de acceso lógico limita las conexiones a las redes informáticas, los archivos del sistema y los datos.

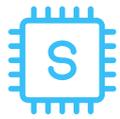
Para asegurar los sistemas informáticos OT, las compañías mineras deben incorporar a su estrategia de ciberseguridad, la utilización de sistemas de control de acceso electrónico basados en el uso de credenciales, lectores de tarjetas de acceso, realizar auditorías e informes de seguimiento del acceso del personal a activos restringidos, como por ejemplo a los datos de los equipos mineros. Estos sistemas deben ser adaptados de manera tal, que incorporen paneles de

control de acceso para restringir la entrada a equipos y plantas, así como alarmas y capacidades de cierre para evitar el acceso u operaciones no autorizadas.

## **Solución: Hackeo ético**

El hackeo ético, es una práctica de intrusión en un sistema o en una red para descubrir amenazas, y vulnerabilidades que un atacante malintencionado puede encontrar y explotar, causando pérdida de información, pérdida financiera u otros daños importantes. El propósito de esta práctica es la de mejorar la seguridad de la red o de los sistemas mediante la corrección de las vulnerabilidades encontradas durante la ejecución de estas pruebas, en el que los piratas informáticos éticos, pueden utilizar los mismos métodos e instrumentos que se utilizan en un ciberataque real, pero con el permiso de la organización, para así mejorar la seguridad y defender los sistemas de los ataques cibernéticos malintencionados.

Los profesionales encargados de realizar esta práctica, pueden hacer parte directamente del staff de la compañía minera, o personal externo, previa firma de un contrato de confidencialidad y moralidad laboral. Esta es una de las prácticas más usadas por el sector financiero y en la industria en general, para testear la eficacia de sus sistemas de ciberseguridad.



## NÚCLEO HABILITANTE 5: CIBERSEGURIDAD

Comprende los desafíos y soluciones para evitar todo tipo de amenazas, que ponen en riesgo la información que es procesada, transportada y almacenada en los sistemas de gestión utilizados por la industria minera.

### Desafío 4 Mediano plazo

#### Estándar de industria para el manejo y backup de datos

Como parte de la estrategia de ciberseguridad para la minería 4.0, se requiere del desarrollo de estándares y pautas de seguridad de la información, incluidos los requisitos mínimos para los sistemas de información de las compañías mineras. Además, se deben definir un conjunto de mapas de dependencias funcionales y de seguridad que ayuden a explicar el orden de prioridad de restauración. Estos mapas deben incluir control, función operacional y sistemas de usuario, con atención específica a los sistemas que almacenan copias de seguridad de datos.

### Solución: Contar con un estándar de ciberseguridad en minería

La adopción de medidas de seguridad concretas y la aplicación de un marco integrado de gestión de la seguridad cibernética para prevenir la interrupción de las operaciones y que permita reaccionar ante las amenazas, es esencial para cualquier compañía minera. Por tanto, se hace imperativo desarrollar guías y estándares para la administración de IT/OT, descubrimiento y protección de datos, administración de seguridad de proveedores, identificación e inventario de activos, planes de respuesta a incidentes, entre otras acciones que fortalezcan el entorno de ciberseguridad para la minería chilena. Además, se debe considerar como alternativa, la adopción de estándares, guías y buenas prácticas, aplicadas por sectores como la banca y los departamentos de Defensa Nacional, los cuales son considerados como avanzados en la materia.

### Solución: Definir arquitectura de referencia (topología, control de accesos, segmentación por tipo de datos y flujos)

La infraestructura crítica de la información, la cual comprende las instalaciones, redes, servicios y equipos físicos y de tecnología de la información, cuya afectación repercute considerablemente en la seguridad y el efectivo funcionamiento del negocio minero, debe estar especialmente protegida. Por tal motivo, las compañías mineras deben diseñar una arquitectura de referencia que maximice su robustez y resiliencia frente a eventos que puedan inhabilitar el normal desarrollo de sus operaciones, de modo que se puedan adaptar a fenómenos de la naturaleza, intervenciones humanas o interferencias informáticas tales como incidentes involuntarios o ciberataques.

El desarrollo de una arquitectura de referencia, debe definir controles de acceso para los componentes de hardware, software y redes, los cuales deben estar tanto físicas como lógicamente asegurados, con acceso concedido solo a través de una autenticación formal y posterior autorización. El acceso a las redes existentes debe estar limitado y asegurado de acuerdo con los protocolos de gestión de ciberseguridad adoptados, entre ellos la autenticación, Monitoreo 24/7 y seguridad en el punto final. Los dispositivos portátiles deben estar restringidos y además deben ser regularmente escaneados en busca de softwares maliciosos; además, se debe incluir un mecanismo de gestión de

incidentes, el cual elabore políticas y procedimientos de forma proactiva, y esté periódicamente probando la eficiencia de sus sistemas de ciberseguridad.

### **Solución: Desarrollo de un plan de ciberseguridad con las mineras**

Resolver los desafíos de ciberseguridad a los que se enfrenta la minería chilena, requiere del esfuerzo conjunto de todas las compañías mineras. Dentro de un ambiente colaborativo, se debe concebir a corto plazo la creación de una organización sin fines de lucro, propiedad de la industria minera, que sea abierta a todas las empresas del sector. El enfoque de esta organización debe orientarse a la elaboración de un plan general de Ciberseguridad para la Industria, que además permitirá a las empresas miembros, compartir experiencias e intercambio de información de seguridad similar al enfoque colectivo adoptado por el sector financiero.

### **Solución: Implementar registro público que permita compartir información entre mineras**

Como parte del proceso de desarrollo estratégico de un plan de ciberseguridad para la minería chilena dentro del entorno de la minería 4.0, se plantea la necesidad de implementar un registro público que permita compartir información entre las compañías mineras, como incidentes de seguridad informática propios de cada organización; y donde además, se ponga a disposición de la industria un informe con las alertas, vulnerabilidades, reportes, indicadores, comunicados, recomendaciones y estadísticas recopiladas durante el periodo de tiempo que se acuerde informar. Se hace necesario entonces establecer un estándar de control y resguardo de la información similar al MM-ISAC de Canadá.

### **Solución: Crear comité para la gobernanza de ciberseguridad**

Para la implementación de los estándares, protocolos y buenas prácticas de ciberseguridad a nivel de industria, resulta imprescindible para la minería chilena contar con un modelo para la gobernanza de ciberseguridad que se haga cargo de, al menos, desempeñar las funciones que se identifican como esenciales, y que pueda identificar además temáticas que no se estén abordando en determinado momento, o actividades que se ejecutan de manera descoordinada en la industria, por lo cual se propone la creación de un comité que asuma dichas funciones, y donde estén representados todas las compañías mineras.

### **Solución: Incorporarse al “equipo de Ciberseguridad del Estado”**

El Estado chileno cuenta con el Comité Interministerial sobre Ciberseguridad (CICS), cuya misión esencial es desarrollar una política nacional de ciberseguridad. El programa de gobierno 2018-2022 considera el desarrollo de una estrategia de seguridad digital que se enfoca en la protección de los usuarios privados y públicos, además de la protección de la privacidad de todos los ciudadanos. Para el caso concreto de la minería, se define que a través del Ministerio tienen que implementarse centros de coordinación en el que participe toda la industria y que permita compartir las mejores prácticas, tener información respecto a incidencias, y aunar criterios sobre cómo resolverlas. Chile debe avanzar en materia de ciberseguridad en la actividad minera, dada la relevancia de esta industria en materia económica para el país.

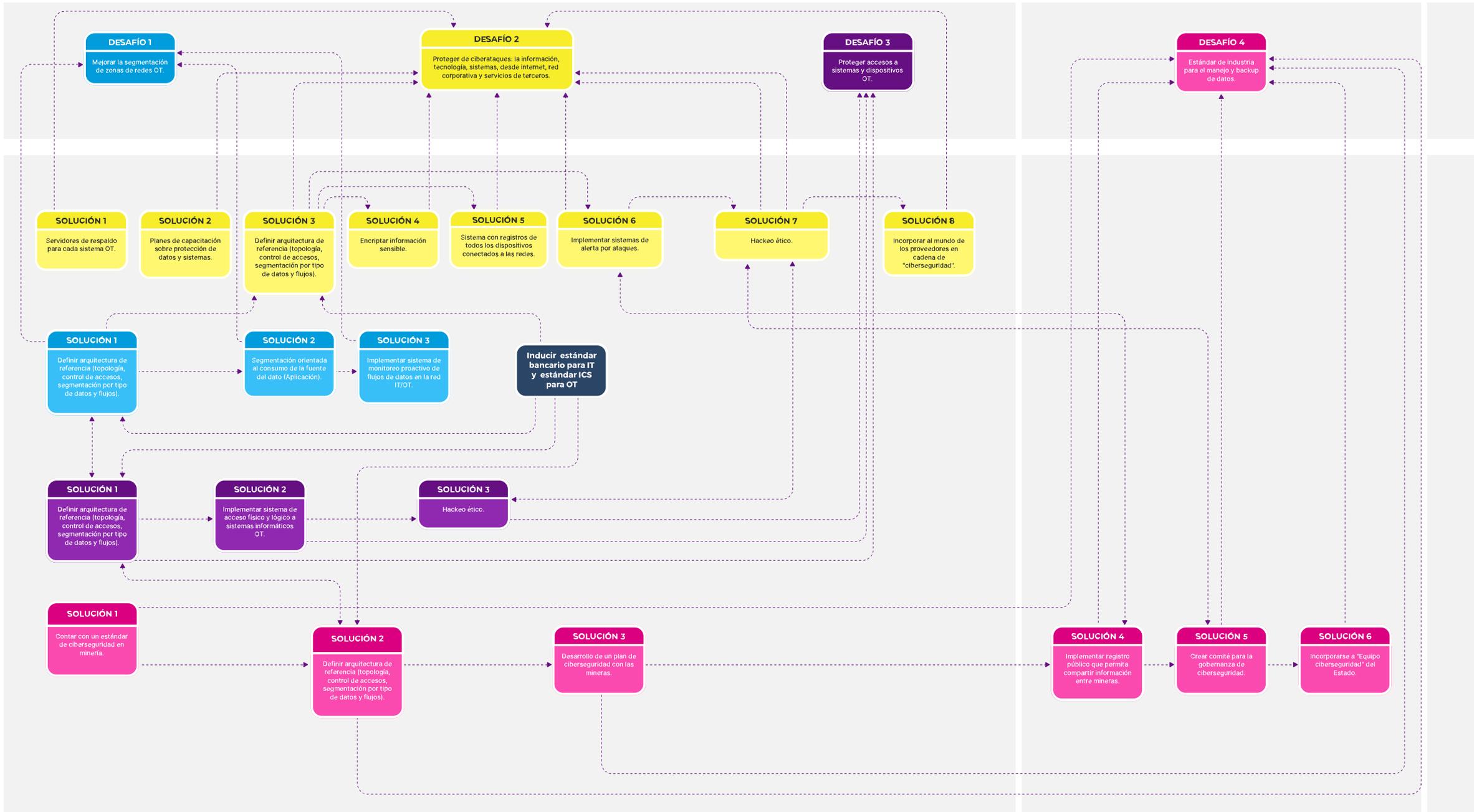
# NÚCLEO HABILITANTE 5: CIBERSEGURIDAD

CORTO PLAZO  
(2020/2025)

MEDIANO PLAZO  
(2025/2030)

DESAFÍOS

SOLUCIONES





## NÚCLEO HABILITANTE 6: DESARROLLO DEL CAPITAL HUMANO

Comprende la necesidad de contar con estrategias facilitadoras de adopción de las tecnologías por parte de las personas y la adquisición de competencias 4.0.

### Desafío 1 Corto plazo

Definir los requerimientos y estándares (competencias 4.0) para la capacitación y desarrollo de la oferta

Implica determinar cuáles serán las nuevas habilidades y conocimientos requeridos por la fuerza de trabajo de la minería para desenvolverse con efectividad en el entorno 4.0. y promover el desarrollo de la oferta formativa.

### Solución: Benchmarking sobre programas de formación en tecnologías 4.0 en otros países

La solución planteada consiste en Identificar mejores prácticas en programas de formación en tecnologías 4.0 desarrollados por países considerados como líderes en industrias como la minera, el petróleo y gas, sector salud, alimenticio, entre otros. Esto permitirá aprender qué están haciendo otros países considerados con alto grado de digitalización, estudiar las estrategias y técnicas que éstos utilizan para la formación de sus trabajadores, con el fin de adaptarlas a la industria minera chilena y así potenciar su grado de competitividad. Por ejemplo: The Mining Industry Skills Centre - Australia, Mining Industry Human Resources Council - Canadá.

### Solución: Actualizar Marco de Cualificaciones (MCM) para la minería 4.0

Hacer una revisión y profundizar en las cualificaciones; competencias conductuales y funcionales requeridas para la adopción de las tecnologías 4.0 por los distintos perfiles laborales del Marco de Cualificación de la Minería (MCM). Lo anterior permitiría contar con un marco de referencia que guíe y facilite la plena adopción de las competencias conductuales y funcionales requeridas por estas tecnologías.

### Solución: Definir estándares / perfiles para pequeña y mediana minería

La solución consiste en hacer una revisión en las cualificaciones; competencias conductuales y funcionales requeridas para la adopción de las tecnologías 4.0, adaptando el marco de cualificaciones de la minería, a la realidad de la pequeña y mediana minería. Lo anterior permitiría contar con un marco de referencia que guíe y facilite el desarrollo de competencias conductuales y funcionales requeridas para la incorporación de estas tecnologías. Por ejemplo, generar una versión específica para la pequeña y mediana minería, adaptada del Marco de Cualificaciones Mineras.

### Solución: Alinear malla curricular con requerimientos de la minería 4.0

Hacer una revisión de las mallas curriculares de los centros de formación: liceos, CFT, universidades, alineando el plan local de capacitación y desarrollo en función de los lineamientos de un Marco actualizado (4.0) de Cualificaciones para la Minería. Lo anterior permitiría acortar los procesos de aprendizaje, aminorando la brecha respecto al uso de tecnologías 4.0, dada la correspondencia entre lo enseñado y lo requerido por la industria, al ingreso de nuevos trabajadores a la minería.

## **Solución: Metodologías enseñanza - aprendizaje potenciadas por nuevas tecnologías**

Consiste en aprovechar las tendencias y nuevas modalidades del proceso de enseñanza - aprendizaje potenciadas por las tecnologías 4.0, acercando y facilitando la adquisición de competencias conductuales y funcionales mediante técnicas como la gamificación, la realidad virtual o aumentada, la simulación y Learning Chunks, entre otras.



## NÚCLEO HABILITANTE 6: DESARROLLO DEL CAPITAL HUMANO

Comprende la necesidad de contar con estrategias facilitadoras de adopción de las tecnologías por parte de las personas y la adquisición de competencias 4.0.

### Desafío 2 Corto plazo

#### Identificar impacto del 4.0 en regulación laboral

Implica la necesidad de actualizar y ajustar el marco legal vigente en aquellos lineamientos que obstaculizan la adopción de las nuevas tecnologías y cambios asociados en las modalidades de trabajo.

### Solución: Estudio Marco Legal

Realizar una revisión del marco legal vigente, identificando los actuales obstáculos y vacíos de la legislación/regulación laboral y desarrollar un análisis comparativo (benchmark) de regulaciones de otros mercados que sirvan de inspiración para la modernización y adecuación de la legislación local.

### Solución: Proponer / influir actualización de Marco Legal

Generar una propuesta de actualización del marco legal vigente, que permita la adopción de las nuevas tecnologías y cambios asociados en las modalidades de trabajo, requeridas por la industria 4.0. Por ejemplo, constituir una comisión o mesa de trabajo sectorial para canalizar una propuesta hacia el sistema legislativo y entidades reguladoras.



## NÚCLEO HABILITANTE 6: DESARROLLO DEL CAPITAL HUMANO

Comprende la necesidad de contar con estrategias facilitadoras de adopción de las tecnologías por parte de las personas y la adquisición de competencias 4.0.

### Desafío 3 Corto plazo

#### Atracción y retención de talentos para la industria minera 4.0

La irrupción de las tecnologías 4.0 ha afectado la configuración y distribución del talento en la organización. Hoy han cobrado relevancia nuevas especialidades y funciones, así como también la necesidad de incluir nuevas variables en la gestión del talento crítico, como son la dimensión de afinidad o agilidad digital y las diferencias intergeneracionales.

### Solución: Estudio nuevas generaciones

Implica desarrollar un estudio sobre la oferta laboral prospectivo para obtener una mejor comprensión de las actitudes, valores y preferencias de las nuevas generaciones en torno a las oportunidades del mercado laboral minero, que permita proyectar tendencias y desarrollar estrategias apropiadas, para la incorporación y retención de las nuevas generaciones en la industria.

### Solución: Sistema gestión de personas 4.0

Implica identificar los ajustes necesarios de implementar en los actuales modelos y procesos de gestión de personas como consecuencia de los cambios que las tecnologías 4.0 traerán sobre las modalidades de trabajo, como por ejemplo; teletrabajo, células ágiles, jornadas parciales, entre otros.

### Solución: Beneficios flexibles

Consiste en desarrollar una oferta flexible de beneficios, que responda a los variados intereses de los trabajadores y permita una gestión flexible del talento crítico. Por ejemplo, la segmentación de beneficios en función de necesidades e intereses diferenciados por generación.

### Solución: Planes de desarrollo con transparencia y consecuencia en crecimiento profesional

Contar con un sistema de desarrollo de carrera, requisitos, criterios y reglas conocidas por todos, donde estén claramente definidos los mecanismos, procesos y rutas de desarrollo para el crecimiento personal, favoreciendo el autodesarrollo y la retención de talentos en la industria.

### Solución: Reverse Mentoring

Hace referencia a la estrategia formativa que favorece la asociación de colaboradores de generaciones nuevas con colaboradores de experiencia en una relación de mentoría de beneficio mutuo, donde un colaborador provee orientación en base a la experiencia en la organización y la carrera y el más joven le ayuda con la adaptación y adopción de nuevas tecnologías.



## NÚCLEO HABILITANTE 6: DESARROLLO DEL CAPITAL HUMANO

Comprende la necesidad de contar con estrategias facilitadoras de adopción de las tecnologías por parte de las personas y la adquisición de competencias 4.0.

### Desafío 4 Mediano plazo

#### Gestión del cambio cultural interno (adopción de tecnologías 4.0)

La misma visión que inspira la presente hoja de ruta, nos invita a "cambiar la manera en que hacemos minería en Chile".

En una escala de magnitud del cambio, esta aspiración se corresponde con el máximo nivel de la escala, es decir, de "transformación mayor", ya que la plena incorporación de las tecnologías 4.0 tocan no sólo los procesos unitarios, sino que el modelo mismo del negocio minero y consecuentemente, los procesos, la distribución de la toma de decisiones y del poder, las fronteras entre unidades funcionales, las tecnologías de información, los cargos y competencias asociadas.

Se hace imprescindible contar con una adecuada estrategia de cambio cultural, que no sólo acompañe, sino que sea parte integral de la estrategia de transición hacia esta nueva forma de hacer minería.

### Solución: Involucrar a los representantes laborales en la estrategia de gestión de cambio

Busca desarrollar estrategias que permitan el involucramiento de actores claves en el proceso de cambio que implica la adopción de las nuevas tecnologías. Por ejemplo, constituir mesas de trabajo o comisiones con representantes de la administración y de los trabajadores para co-diseñar estrategias para la transición laboral (actualización de habilidades (up-skilling), reconversión laboral (re-skilling), planes de egreso y reconversión externa).

### Solución: Desarrollar competencias relacionales que ayudan a la gestión del cambio y minería 4.0 (liderazgo y accountability)

Consiste en ampliar los planes de formación más allá de las competencias funcionales, técnicas o disciplinares, incorporando las competencias relacionales requeridas para una adecuada gestión del cambio por la irrupción de la industria 4.0. Se requerirá de capacidades transversales y deseables para cualquier posición laboral, técnica o profesional, las que tienen relación con el trabajo en equipo, la resolución de problemas, aprender a aprender y la creatividad.

### Solución: Levantamiento de mejores prácticas para la gestión del cambio

Consiste en desarrollar un benchmarking de acciones y estrategias adoptadas por la industria que faciliten la gestión del cambio requerida para una adecuada adopción de las tecnologías 4.0. Por ejemplo, identificar y compartir experiencias y lecciones aprendidas a través de mesas transversales interempresas que faciliten la identificación de patrones y de factores claves de éxito en la adopción e internalización de tecnologías, que sirvan de orientación para el diseño de estrategias de cambio locales.

### Solución: Guía de mejores prácticas para la gestión del cambio en la adopción de tecnologías 4.0

Desarrollar una guía que contenga las mejores prácticas para la gestión del cambio en la adopción de tecnologías 4.0. Por ejemplo: conformar un comité experto que investigue y consolide en la guía la investigación de casos y estrategias de éxito adoptadas por otras industrias más avanzadas en la incorporación de las tecnologías 4.0.

## Solución: Desarrollo de aplicación (App) para la gestión de personas

Consiste en el desarrollo de aplicaciones (app) que faciliten y hagan más eficientes los procesos de gestión de personas. La industria 4.0 y las posibilidades potenciadas por la digitalización están acelerando también las funciones y procesos asociados a la gestión de personas, como por ejemplo, la posibilidad de aplicar reconocimiento facial y actitudinal a través de fotografías y videos utilizados para selección de personal, aplicaciones inspiradas en búsqueda de pareja para generar encuentros entre búsquedas y postulantes, aprendizaje basado en juegos (gamificación), entre muchas otras que prometen hacer más livianos, eficientes y entretenidos los procesos de RRHH.



## NÚCLEO HABILITANTE 6: DESARROLLO DEL CAPITAL HUMANO

Comprende la necesidad de contar con estrategias facilitadoras de adopción de las tecnologías por parte de las personas y la adquisición de competencias 4.0.

### Desafío 5 Mediano plazo

#### Gestión del conocimiento

La gestión del conocimiento representa un desafío, pero a la vez una gran oportunidad habilitada por las tecnologías 4.0. En la medida que dependemos más y más de expertos para nuestro éxito en la transformación digital y estos expertos son demandados por diversos sectores industriales su riesgo de retención aumenta y en consecuencia, la necesidad de capturar y transferir su conocimiento oportunamente para que quede en la organización. Por otra parte, las tecnologías 4.0 son las principales habilitantes para la captura, almacenamiento y transferencia del conocimiento clave de la organización.

### Solución: Metodología manuales de buenas prácticas 4.0

Consiste en el desarrollo de una herramienta de referencia que rescate las mejores prácticas de la industria 4.0., donde se consolide de manera consensual casos de éxito, lecciones aprendidas y opinión de expertos, entre otras, que sirva de guía para la adecuada implementación de dichas tecnologías. Por ejemplo, habilitar un Sistema de Gestión del Conocimiento que facilite la captura de casos, lecciones aprendidas y recomendaciones expertas para la adopción de las tecnologías 4.0 a medida que ésta se pilotea y expande en la organización.

### Solución: Sistema o plataforma de gestión de conocimiento en red, más IA

Hoy en día existen disponibles múltiples opciones para capturar, almacenar y sistematizar conocimiento crítico para el negocio bajo los sistemas denominados KMS, por su sigla en inglés (Knowledge Management System). Estos tienen como objetivo básicamente traspasar el conocimiento tácito a conocimiento explícito proveyendo principalmente herramientas como repositorios de documentos, bases de datos de expertos o listas de discusiones. Esta solución busca que las empresas cuenten con una solución que les permita capturar, consolidar y gestionar su propio conocimiento, permitiendo la transferencia oportuna y sistemática a sus miembros, resguardando que ésta se quede en la organización.



## NÚCLEO HABILITANTE 6: DESARROLLO DEL CAPITAL HUMANO

Comprende la necesidad de contar con estrategias facilitadoras de adopción de las tecnologías por parte de las personas y la adquisición de competencias 4.0.

### Desafío 6 Mediano plazo

#### Desarrollo Sustentable (personas por tecnología)

Una de las principales amenazas y potenciales obstáculos para la innovación y adopción de las tecnologías 4.0 en las organizaciones mineras es el temor al reemplazo de puestos de trabajo, por procesos tecnologizados (automatizados, robotizados). Implica el desafío de convenir una estrategia de transición laboral que cuide e integre los intereses de todas las partes involucradas, la administración y los trabajadores y sus representantes.

### Solución: Estudio de impacto de tecnologías 4.0 en la fuerza laboral

Para obtener una dimensión realista de las amenazas y oportunidades que la incorporación de las tecnologías 4.0 traerán consigo sobre el mercado laboral minero, es necesario realizar un levantamiento de los actuales planes de desarrollo y proyectos mineros en curso, que permita proyectar la demanda ocupacional, así como también sobre la proyección de la potencial oferta laboral futura.

### Solución: Incluir a los representantes laborales en estrategias de desarrollo sustentable

Consiste en generar espacios de participación de los representantes laborales en la definición de estrategias de desarrollo sustentable de la industria. Por ejemplo, constituir mesas de trabajo o comisiones con representantes de la administración y de los trabajadores para co-diseñar estrategias para la transición laboral (actualización de habilidades (up-skilling), reconversión laboral (re-skilling), planes de egreso y reconversión externa).

### Solución: Ejecutar programas de actualización (diplomados, cursos, entre otros)

Se refiere a la necesidad de generar una estrategia de reinducción y actualización permanente. Dada la velocidad de los avances tecnológicos y su incidencia en las prácticas de trabajo, más allá del "up-skilling" o adquisición de habilidad incrementales como un evento aislado, se hace necesario un nuevo paradigma de aprendizaje continuo y herramientas que lo faciliten.

### Solución: Assesment de "potencial" digital

La necesidad de adoptar y aprender nuevas tecnologías en forma permanente es una nueva condición que llegó para quedarse. La capacidad individual, en términos de facilidad o agilidad para aprender lo digital, es ampliamente variable entre las personas y entre generaciones. Contar con una solución para determinar la capacidad individual de aprendizaje digital, o "agilidad digital", facilitará la personalización y efectividad de las estrategias de enseñanza -aprendizaje.

## **Solución: Planes de retiro**

En el entendido de que no necesariamente todas las personas tendrán la capacidad para adaptarse razonablemente a las nuevas prácticas y condiciones laborales que impondrá la adopción masiva de las tecnologías 4.0, debe velarse por entregar opciones de retiro dignas y justas una vez se hayan disponibilizado razonables oportunidades de aprendizaje. Estos planes pueden contemplar estrategias tales como, posibilidades de reconversión hacia oficios funcionales al territorio local, apoyo al emprendimiento, capacitación en finanzas personales, asesoría para la vida en retiro, entre otros.

## **Solución: Reconversión / Reubicación - Polifuncionalidad**

Implica desarrollar estrategias para el reciclaje de las habilidades y competencias laborales de quienes se desempeñan en funciones y actividades que serán reemplazadas por funcionalidades derivadas de la adopción de las tecnologías 4.0. Se busca dar continuidad a la vida laboral, asumiendo nuevas labores, reubicando, reconvirtiendo o ampliando las habilidades de los trabajadores que pudieran ser impactados.

# NÚCLEO HABILITANTE 6: DESARROLLO DEL CAPITAL HUMANO

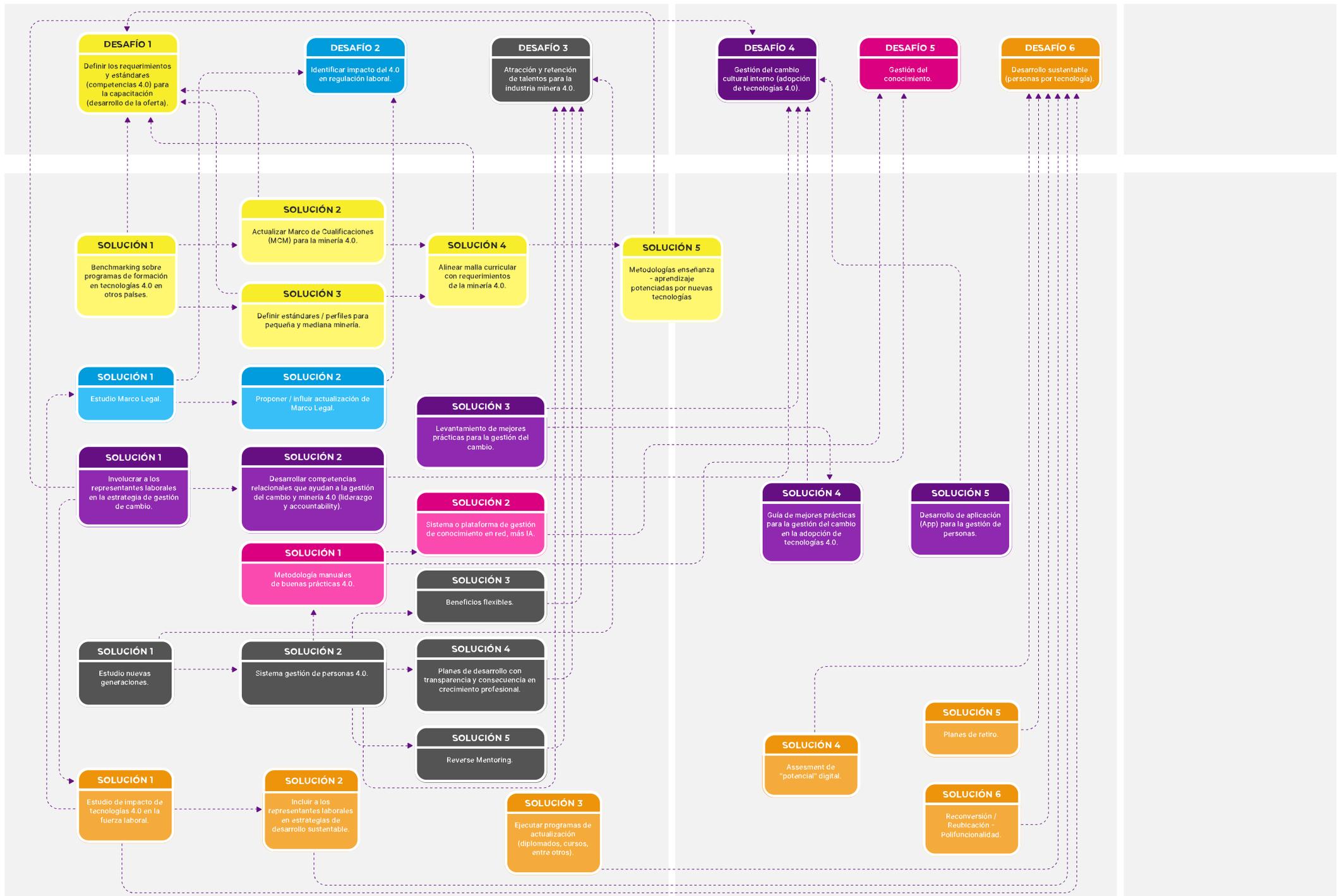
**CORTO PLAZO**  
(2020/2025)

**MEDIANO PLAZO**  
(2025/2030)

**LARGO PLAZO**  
(2030/2035)

DESAFÍOS

SOLUCIONES





## NÚCLEO HABILITANTE 7: LICENCIA SOCIAL Y POLÍTICA PARA INNOVAR

Comprende la necesidad de contar con un marco regulatorio y de política pública que facilite la implementación de nuevas tecnologías desde el punto de vista técnico y laboral.

### Desafío 1 Corto plazo

#### Formulación de una narrativa y oferta de valor de Minería 4.0

La posibilidad de evolucionar como industria minera nacional hacia convertirse en un referente de adopción de tecnologías 4.0 pasa por contar con el apoyo de todos los actores y grupos de interés del ecosistema minero. La cuarta revolución industrial, al igual que las anteriores ha traído consigo un gran debate en cuanto a sus beneficios y potenciales amenazas, entre las más relevadas, el temor a la pérdida de empleos y su reemplazo por tecnologías. Se hace necesario entonces primero comprender y dimensionar estos impactos y luego informar y educar debidamente a los grupos de interés susceptibles.

### Solución: Establecer un grupo de trabajo integral que genere un discurso único a nivel industria y articule iniciativas que aborden los impactos en los grupos más susceptibles

La transición a la industria 4.0 conlleva importantes cambios tecnológicos y sociales; generar una visión compartida a nivel industria permitiría resolver temas de coordinación tecnológica tales como definición de estándares y protocolos.

Por otro lado, solo con una visión compartida respecto a cómo se llevará a cabo la gestión del cambio, estableciendo claramente cuáles son las oportunidades y las alternativas para nuestros trabajadores es que se logrará disminuir la incertidumbre sobre la continuidad laboral y establecer los puentes que permitan la adopción tecnológica.

Dada la envergadura y relevancia de estas temáticas, generar esta visión requiere de un esfuerzo público-privado a nivel industria. Esta acción debe tener un liderazgo empoderado que dé confianza a todos los actores involucrados.

Las mesas público-privadas permiten incorporar una diversidad de actores, aunar voluntades y generar las confianzas requeridas para abordar temáticas complejas. Tal como lo demostraron las experiencias de Valor Minero y Alta Ley, el valor social permite generar una visión común a partir de la cual los distintos actores definen las problemáticas y proyectos concretos para abordarlas. Para esto se requiere de un líder empoderado capaz de traer a la mesa al gobierno, industria minera, representantes de trabajadores y comunidades.

### Solución: Mapeo de stakeholders y análisis de percepción e impacto de las tecnologías 4.0 por grupo de interés

El mapeo de stakeholders permite identificar quiénes están siendo o serán afectados por el cambio hacia la digitalización. Esta información luego debe ser cruzada con los efectos que podemos predecir generarán las tecnologías que la industria incorporará para así cuantificar y evaluar el impacto para cada grupo de interés. Esta herramienta entrega los insumos para diseñar tanto una estrategia de gestión de cambio como para las iniciativas concretas que facilitarán este cambio.

En términos estratégicos permite identificar alianzas y adelantarse a potenciales conflictos. Desde la táctica, permite potenciar oportunidades, pero también hacerse cargo de aquellos que quedan en posiciones desmejoradas en el proceso de adopción masiva de tecnologías digitales.

## **Solución: Identificar los beneficios y aportes de la Minería 4.0**

Identificar los beneficios y aportes de la minería 4.0 es un insumo clave para potenciar una estrategia de gestión de cambio desde la comunicación, pero también para identificar alianzas. En este proceso debemos incorporar qué ocurre dentro y fuera de nuestras operaciones. A modo de ejemplo, temas como seguridad, mejoras en calidad de vida, traslado de puestos de trabajo son importantes para evitar que el cambio solo sea leído como dolor y no como oportunidad.

Por otro lado, en nuestras áreas de impacto fuera de nuestras faenas también se generarán impactos positivos como, por ejemplo, menores emisiones, mejoras en el acceso a información y desarrollo local. Estos beneficios deben ser relevados tanto a comunidades como autoridades para dar un sentido de urgencia al cambio. Finalmente, esta información también puede ser utilizada para el desarrollo de una estrategia comunicacional orientada a jóvenes y niños (minería-educación 4.0) para que sepan que la minería 4.0 es una nueva forma de hacer minería que escapa de sus paradigmas tradicionales.

Ejemplos de beneficios identificados en los talleres son: mayor calidad de vida y equidad por cambios en las modalidades de trabajo, flexibilidad, teletrabajo, inclusión y diversidad, disminución de exposición al riesgo/el rol y aporte de la minería a macro tendencias (por ejemplo, uso del cobre y litio para electromovilidad); visualizar toda la información/data disponible en tiempos adecuados en función de las posibilidades del uso de tecnologías; generar bienes públicos a partir de data y soluciones tecnológicas de la minería 4.0.

## **Solución: Integrar a todos los stakeholders en el diseño e implementación de iniciativas de innovación a través de alianzas**

Es requisito fundamental en la generación de alianzas que todas las partes se sientan dueñas del proyecto común (ownership). Para esto, debemos socializar las necesidades de innovación de la industria e invitar a todos los actores relevantes a diseñar la estrategia para abordarlas. La única forma de generar este valor social es incluyéndolos a todos en la definición de la visión y luego trabajar con las partes interesadas cada temática en particular.

La digitalización generará múltiples oportunidades y se debe evitar que aquellos que podrían ser beneficiados dificulten este proceso por no sentirse parte. A modo de ejemplo se puede trabajar con proveedores en convocatorias de innovación abierta para abordar soluciones de interés gremial y que vinculen a consorcios para el desarrollo de las soluciones.

## **Solución: Desarrollar estrategia comunicacional (narrativa), oferta de valor y plan de engagement hacia los stakeholders**

Contar con una narrativa consistente es clave en los procesos de cambio. En el caso de la digitalización de la minería, este discurso debe orientarse a los beneficios y oportunidades que genera de modo que todos los stakeholders sean capaces de identificar claramente los beneficios hacia ellos. A diferencia de los temas tocados anteriormente, este no es un insumo sino uno de los productos generados a partir de estrategias de gestión del cambio. Algunas de las oportunidades a ser destacadas que se identificaron en los talleres fueron el aporte al desarrollo de Chile, promoción de la igualdad de oportunidades desde la habilitación y formación en tecnologías 4.0, avanzar hacia una nueva era en sustentabilidad, y potenciar el desarrollo de proveedores tecnológicos.



## NÚCLEO HABILITANTE 7: LICENCIA SOCIAL Y POLÍTICA PARA INNOVAR

Comprende la necesidad de contar con un marco regulatorio y de política pública que facilite la implementación de nuevas tecnologías desde el punto de vista técnico y laboral.

### Desafío 2 Corto - Mediano plazo

Asegurar marco regulatorio de políticas públicas que habiliten las tecnologías 4.0

La velocidad con que las compañías mineras que operan en Chile puedan avanzar en su transformación digital y para la plena adopción de las tecnologías 4.0 dependerá en gran medida de contar con una regulación que lo habilite, y de políticas públicas que lo promuevan.

### **Solución: Conformar un equipo experto que influya y proponga políticas públicas**

Las tecnologías de la industria 4.0 están siendo desarrolladas en estos momentos a una velocidad vertiginosa. Por otro lado, conocemos los ejemplos de Uber, Airbnb y Tesla donde en todo el mundo las autoridades se han demorado en abordar los desafíos regulatorios que han levantado. Este desfase entre desarrollo tecnológico y regulación dificulta y ralentiza la incorporación de nuevas tecnologías. Este desfase ocurre, en gran medida, por una falta de conocimiento y no priorización por parte del regulador (considerando también que son temáticas delicadas cuyos resultados políticos no son fáciles de predecir).

Para evitar esta situación se propone la formación de un equipo experto o consejo que sea capaz de identificar de forma temprana la tendencia y así adelantarse a las temáticas que deberán ser abordadas por el regulador. Este grupo debe ser capaz de hablar por la industria y tener una llegada fluida con la autoridad de forma de poner los temas en la agenda y fomentar la co-construcción de soluciones. Un claro ejemplo de esto es la regulación que facilita pilotajes de nuevas tecnologías de forma de acelerar el proceso de innovación.

### **Solución: Anticipar requerimientos especiales de futuros trabajos y prácticas laborales (ejemplos: jornadas flexibles, teletrabajo, home office)**

Como se mencionó anteriormente, es fundamental para el trabajo del equipo experto, ser capaz de adelantarse a los requerimientos regulatorios de las nuevas tecnologías. Para esto, debe utilizar un amplio número de fuentes tales como vigilancia tecnológica, mapeo de startups, reuniones con la industria y revisión de lo que ocurre en otras industrias y el mundo de la innovación en general. A modo de ejemplo, un tema a ser abordado son los potenciales requerimientos de regulación en función de la evolución de las modalidades de trabajo y la masificación de vehículos autónomos y eléctricos.

### **Solución: Identificar buenas prácticas regulatorias en otros países y en otras industrias**

Debemos aprovechar la existencia de experiencias internacionales en materia de regulación de nuevas tecnologías. Para esto se debe hacer un levantamiento de las políticas que han seguido otros países más evolucionados en materias de regulación para la adopción de tecnologías en la industria minera e industrias relacionadas. También se debe tomar contacto con esfuerzos globales como el

Climate-Smart Mining del Banco Mundial. Finalmente, está la oportunidad de aprender a partir del levantamiento de buenas prácticas en sectores productivos o de servicios que tengan una mayor evolución regulatoria en torno al uso de datos y explotación de tecnologías, tales como la Banca o la Salud.

### **Solución: Identificar obstáculos y brechas regulatorias (desafíos de la hoja de ruta vs. Normativa y regulación actual)**

El trabajo de la Hoja de Ruta de Digitalización para Minería 4.0 entrega un mapeo de las tecnologías que la industria está buscando implementar. Este trabajo se debe complementar con un análisis del cuerpo regulatorio relacionado para identificar áreas donde la actual normativa no es suficiente para permitir la incorporación de tecnologías. Este trabajo permitiría adelantarnos y poner en agenda desde ya el trabajo regulatorio que requerirá la industria de aquí tres años. Ejemplos de temáticas que requerirán de actualización de su marco regulatorio son accidentabilidad y trabajo a distancia, jornadas parciales y horarios flexibles.



## NÚCLEO HABILITANTE 7: LICENCIA SOCIAL Y POLÍTICA PARA INNOVAR

Comprende la necesidad de contar con un marco regulatorio y de política pública que facilite la implementación de nuevas tecnologías desde el punto de vista técnico y laboral.

### Desafío 3 Mediano plazo

Cómo generar una transición laboral para una plena adopción de tecnologías

La revolución de la Industria 4.0 impactará o está impactando, en mayor o menor medida a cada uno de los sectores productivos. La minería en Chile seguirá siendo hacia el futuro un sector con un peso relativo determinante para la economía y el mercado del trabajo nacional. Acelerar la innovación tecnológica, representa para el sector un desafío mayor, pero a la vez una gran oportunidad de instalarse como referente en la manera de gestionar la necesaria transición laboral para la plena adopción de las tecnologías.

### **Solución: Estudio de impacto prospectivo de fuerza laboral (oferta y demanda)**

Un estudio prospectivo de fuerza laboral permite entender qué capacidad son y serán requeridas por la industria y contrastarlas con las capacidades que entregan las instituciones educacionales. Basados en la exitosa experiencia de ELEVA y el trabajo del Consejo de Competencias del Consejo Minero, se propone realizar un estudio que permita estimar cómo evolucionará la demanda cuantitativa y cualitativa de las profesiones, especialidades y oficios requeridos por la industria minera nacional. Esta información luego debe ser traspasada a la oferta de formación técnica y profesional para asegurar que sus programas estén alineados con las necesidades de la industria.

### **Solución: Promover el diagnóstico de potencial digital de la fuerza laboral y estrategias basadas en la capacitación, actualización y la reconversión interna y externa para maximizar empleabilidad**

No hay duda de que las tecnologías digitales requerirán de una actualización de las capacidades de los trabajadores mineros. Si este proceso no es abordado de forma sistemática, su alto nivel de incertidumbre percibida genera temor y crítica frente a los cambios.

Esta percepción se puede modificar toda vez que se establezca una estrategia de transferencia de capacidades para reconvertir y actualizar competencias, dando una clara señal que la revolución 4.0 genera oportunidades para todos y la industria está buscando apoyar a sus trabajadores en este proceso. Esto se puede llevar a cabo, por ejemplo, mediante modelos diagnósticos que permitan orientar soluciones diferenciadas para colaboradores, con distintos niveles de afinidad y agilidad digital, así como también de habilidades transferibles de un contexto laboral/funcional a otro.

### **Solución: Promover la transparencia y el involucramiento de los trabajadores en el desarrollo de las estrategias de transición laboral**

La transición laboral no es un proceso sencillo, en particular cuando involucra una fuerza laboral madura que luego de años deben aprender nuevas capacidades para seguir en su rubro o cambiar a uno nuevo. Esto hace que sea complejo que la administración sea capaz de

predecir la capacidad de adaptación de su fuerza trabajo. Algunos pueden estar deseosos de manejar nuevas tecnologías e invertir tiempo en esto, pero otros pueden preferir pasar por un proceso lo más sencillo posible.

En este sentido, construir las estrategias de transición laboral con los trabajadores es una forma de complementar la información imperfecta con que cuenta la administración al inicio del proceso. Adicionalmente, la co-creación genera empoderamiento y responsabilidades compartidas, ambas variables que incrementan la probabilidad de éxito y de detección temprana de dificultades.

Un ejemplo de cómo llevar a cabo este proceso es impulsar la gestión participativa directa o intermediada como instancia de diálogo permanente entre trabajadores y líderes de la organización para la construcción de soluciones inspiradas en buenas prácticas de la industria, pero contextualizadas a la realidad propia de cada operación.

### **Solución: Compartir buenas prácticas a través del Consejo Minero y otros gremios (Benchmark)**

El trabajo con buenas prácticas tiene un doble rol en este contexto. Por un lado, permite identificar y compartir soluciones y buenas prácticas adoptadas por actores dentro de la industria y tendencias en otras industrias para abordar los desafíos de la transformación en las modalidades de trabajo y de transición laboral (Por ejemplo: Up Skilling, Re Skilling, reconversión interna y externa). Por otro, provee un sentido de realidad de qué es lo que se ha hecho y los resultados obtenidos. De esta forma, las buenas prácticas también permiten informar las expectativas a todas las partes involucradas.



## NÚCLEO HABILITANTE 7: LICENCIA SOCIAL Y POLÍTICA PARA INNOVAR

Comprende la necesidad de contar con un marco regulatorio y de política pública que facilite la implementación de nuevas tecnologías desde el punto de vista técnico y laboral.

### Desafío 4 Mediano - largo plazo

#### Cómo generar oportunidades alternativas de desarrollo local y regional

El desarrollo sustentable de la actividad minera requiere y depende de una relación simbiótica con la comunidad y territorio donde opera.

La minería necesita del consentimiento y contribución de las comunidades, así como la comunidad local y su desarrollo social y económico también dependen en importante medida de la actividad minera.

El desafío implica entonces enfrentar las oportunidades e impactos de la innovación tecnológica con sentido local, y desarrollar en forma conjunta con la comunidad, estrategias para potenciar la captura de oportunidades y mitigar los impactos.

### Solución: Hacer un levantamiento/estudio de oportunidades para el desarrollo económico regional y local

Podemos definir la interoperabilidad como la habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y utilizar la información intercambiada. Se entiende que existe además interacción entre los datos, la interacción implica que los procesos compartan información, mediante el intercambio de datos entre sus respectivos sistemas de tecnología de la información y las comunicaciones. Es así que podemos cruzar los datos de distintos procesos con el fin de construir un modelo predictivo, integrando las variables de seguridad a las variables operacionales y su efectos interactivos.

### Solución: Identificar cartera de estudios, proyectos e investigaciones de promoción de desarrollo económico local

La digitalización de la industria presenta una oportunidad para potenciar iniciativas que ya están en curso. Esta es una forma rápida y ágil de escalar las oportunidades toda vez que se apalanca en una red que ya está en movimiento. Para esto, es necesario realizar un catastro de proyectos, estudios y líneas de investigación, actuales y potenciales, orientadas a la promoción, diversificación y fortalecimiento del desarrollo económico local con el fin de identificar cuáles son aptos a ser potenciados.

### Solución: Establecer alianzas con gobiernos regionales, organizaciones locales, y comunidad para la co-construcción de plan de futuro y soluciones

En el trabajo con comunidades, las alianzas público-privadas aportan a generar confianzas al incorporar una tercera parte a la mesa que busca maximizar el valor social. En este sentido, la generación de convenios de colaboración público-privado, a nivel regional y local, que involucre a las comunidades, organizaciones sociales, empresas mineras y gobiernos locales y regionales, para la construcción de una hoja de ruta para el fortalecimiento del desarrollo local y comunal maximiza las probabilidades de éxito de cualquier apoyo o intervención.

### Solución: Promover la alfabetización tecnológica en la comunidad

Sin alfabetización digital es muy poco probable que las comunidades puedan aprovechar las oportunidades que puede generar el proceso de digitalización

de la minería. Es por esto que se hace fundamental implementar programas de capacitación para el desarrollo de habilidades en ámbitos de uso de nuevas tecnologías y digitalización. Ejemplos de iniciativas a ser implementadas son: cursos de capacitación para adultos sobre tecnologías digitales y su uso, incorporar tecnologías digitales al currículo de escuelas y liceos, capacitar profesores y facilitar implementos para la aplicación de contenidos y pasos prácticos.

### **Solución: Alianza de mineras con universidades de cada zona para fomentar prácticas laborales y empleo**

Según a la experiencia de ELEVA, la implementación de prácticas laborales de faena conlleva múltiples beneficios, desde disminución de los tiempos de inducción y capacitación a mejoras en empleabilidad, a la generación de oportunidades de desarrollo local.

Vemos que hay una oportunidad de generar convenios de colaboración entre empresas mineras y centros académicos y de formación a nivel regional y local, orientados a la identificación y desarrollo de prácticas laborales en temas digitales.

Estas tienen el potencial de generar un real impacto económico en el ámbito local a partir de mayores empleos locales, pero también a partir del fomento al emprendimiento. Por ejemplo, conocer la industria desde adentro permite a los jóvenes identificar nuevos modelos y oportunidades de negocio, los que pueden luego ser apoyados a partir de programas de capacitación para el desarrollo de las habilidades requeridas.

### **Solución: Explorar fuentes de financiamiento/ inversión de riesgo y políticas de fomento para actividades económicas alternativas**

Para ser exitosas, las iniciativas de desarrollo local y comunitario deben ser sustentables. Esto implica que la industria puede proveer las capacidades e incluso, en algunos casos, un capital semilla. Sabemos bien, sin embargo, que el emprendimiento requiere de recursos propios para, entre otras cosas, alinear los incentivos del emprendedor con los del emprendimiento. Para esto, debemos facilitar el acceso a otras fuentes de financiamiento como son fondos privados y públicos, de riesgo y convencionales.

Este trabajo debe incluir una revisión de los requisitos y áreas de financiamiento de forma de hacer visible a la comunidad una oferta ajustada a sus requerimientos específicos. Ejemplos de estos son: Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), Fondos de Desarrollo del Ministerio de Desarrollo Social y Familia, SERCOTEC del Ministerio de Economía Fomento y Turismo, CORFO, redes de inversionistas ángeles, fondos de impacto, banca, fondos de capital de riesgo, private equity y grants de fundaciones nacionales e internacionales.

En los casos que impliquen levantamiento de capital se sugiere también un acompañamiento dado que esto requiere de una experiencia específica que es probable no esté presente en la comunidad.

# NÚCLEO HABILITANTE 7: LICENCIA SOCIAL Y POLÍTICA PARA INNOVAR

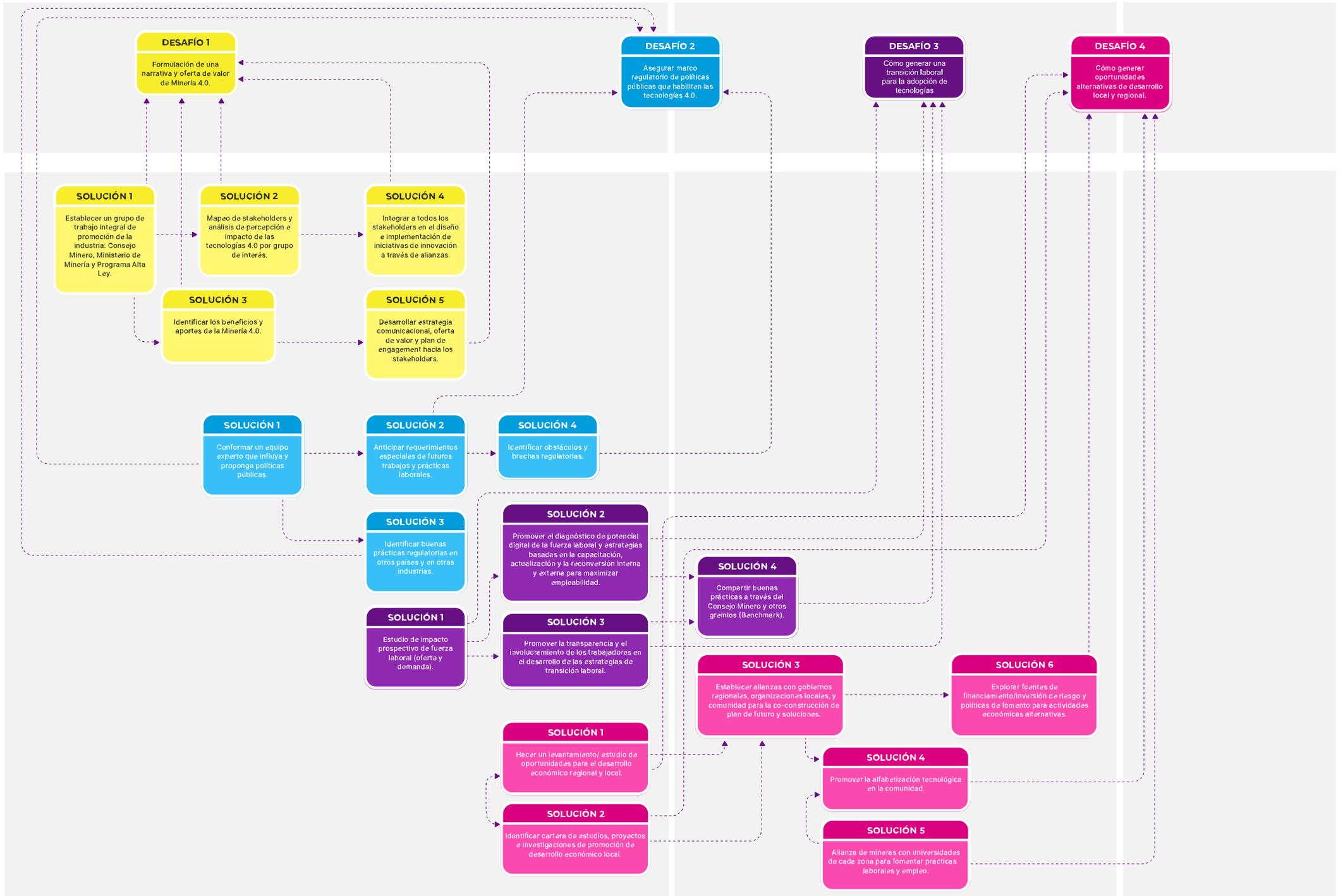
**CORTO PLAZO**  
(2020/2025)

**MEDIANO PLAZO**  
(2025/2030)

**LARGO PLAZO**  
(2030/2035)

DESAFÍOS

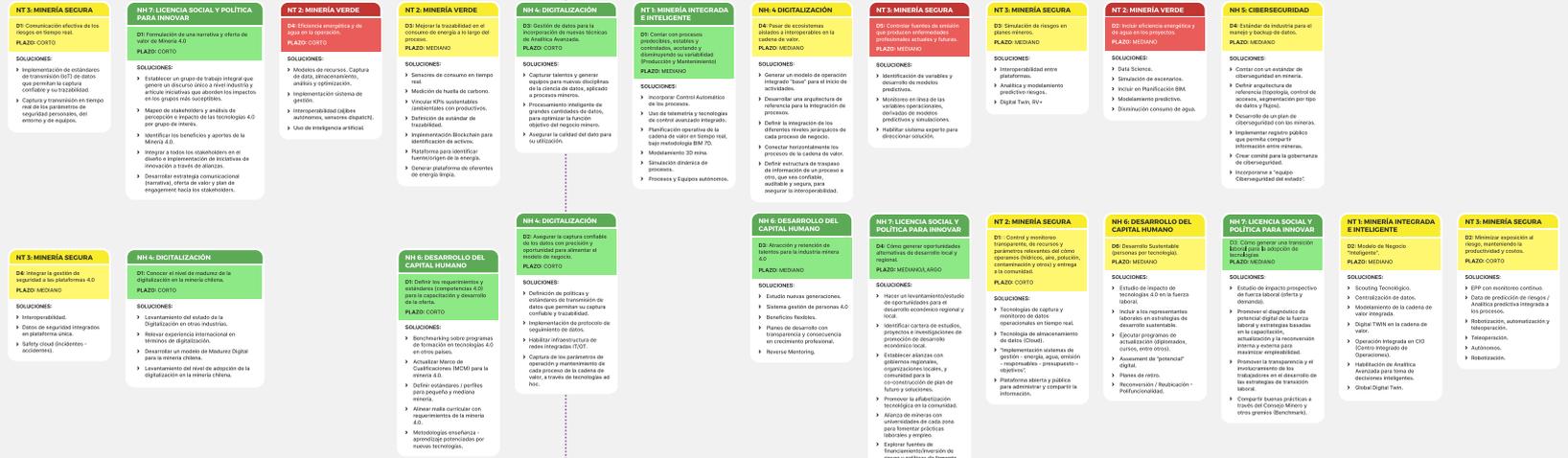
SOLUCIONES





HEATMAP

IMPACTO



# MATRIZ DE IMPACTO/ESFUERZO PARA LOS DESAFÍOS DE LA HOJA DE RUTA PARA LA MINERÍA 4.0

**NH 6. DESARROLLO DEL CAPITAL HUMANO**  
D1: Gestión del cambio cultural interno (integración de tecnologías 4.0).  
PLAZO: MEDIANO  
SOLUCIONES:  
- Involucrar a los representantes laborales en la estrategia de gestión de cambio.  
- Diseñar competencias, habilidades que permitan la gestión del cambio y minería 4.0 (desarrollar y actualizar).  
- Desarrollar de nuevos protocolos para la gestión de cambio.  
- Crear un modelo de negocio para la gestión del cambio de la minería 4.0.  
- Desarrollar un modelo de negocio para la gestión de personas.

**NT NÚCLEOS TRACCIONANTES**  
**NH NÚCLEOS HABITANTES**



**VISIÓN 2035**  
Transformar la manera en que hacemos minería en Chile y proyectar una industria sostenible a través de la incorporación proactiva de las oportunidades presentadas por las tecnologías de la industria 4.0



ESFUERZO

Organizan:



Proyecto apoyado por:



Asesoría técnica:

