



INNOVACIÓN EN EL DISTRITO NORTE

OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS

Codelco Chile

Presentación a la conferencia ProjectMin 2023



Información Confidencial
Confidential Information

Agenda

¿Qué veremos en esta presentación?



1

¿Por qué innovamos?

2

¿En qué innovamos?

3

¿Cómo innovamos?

4

Principales esfuerzos de innovación disruptiva en el distrito norte

A photograph of an industrial facility, likely a refinery or chemical plant. The scene is dominated by large, cylindrical storage tanks and a complex network of pipes. Some pipes are wrapped in silver insulation, while others are painted red. In the foreground, a group of five workers wearing blue uniforms and hard hats are walking along a paved path. The background shows a clear sky and distant hills.

POR QUÉ INNOVAMOS

CODELCO EN CIFRAS



1^{er}

Productor de cobre
a nivel mundial

3^{er}

Productor
Mundial de
Molibdeno

1,7

Millones de
toneladas
de cobre fino
por año

28 mil

toneladas
de molibdeno
al año

309

US\$ Billones

En exportaciones que representan el 20% del país

115

US\$ Billones

Ingresos, que representan el 9% de los ingresos fiscales

65

US\$ billones

Inversión de capital ~ 5% del país

EN 50 AÑOS CODELCO
HA ENTREGADO
UNA IMPORTANTE
CONTRIBUCION
AL DESARROLLO
DE CHILE



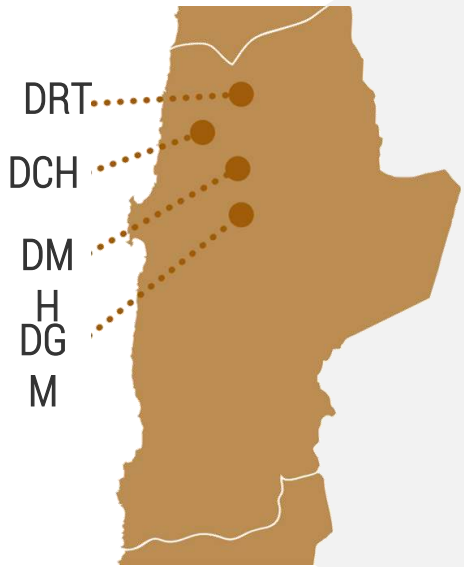
287

Patentes desarrolladas en Chile I+D

127

Patentes internacionales I+D

DISTRITO NORTE



Ubicado en la Región de Antofagasta y se compone de las divisiones

- Radomiro Tomic
- Chuquicamata
- Ministro Hales
- Gabriela Mistral



Cluster Calama se encuentran los 3 depósitos en una longitud de 17 km desde RT a MH



Gabriela Mistral se ubica a 120 km al SE desde Calama



Tranque Talabre con superficie mayor en 3 veces que Calama





Trabajadores Propios 6.290
DCH 3.806 / DRT 1.258
DMH 745 / DGM 481



Colaboradores Operación 11.651
DCH 4.960 / DRT 3.002
DMH 1.702 / DGM 1.987



Colaboradores Inversión/ Proyectos 8.477
DCH 6148 / DRT 1355
DMH 603 / DGM 371

/VP



Tasa de Frecuencia ACTP/Millón HP
DCH 0,37 / DRT 0,40
DMh 1,35 / DGM 0,7



Mineral procesado
Mtms/año
137,3
DCH 47,3 / DRT 52,7
DMH 12,2 / DGM 25,0



Ley mineral Cu
0,62
DCH 0,70 / DRT 0,52
DMH 1,04 / DGM 0,45



Cu Comercial
ktmf
546,4
DCH 180,4 / DRT 193,6
DMH 97,7 / DGM 74,7



Cu Nuevo
ktmf
565,1
DCH 196,8 / DRT 193,6
DMH 99,2 / DGM 75,5



Costo cl
c/lb
164,6
DCH 119,1 / DRT 195,9
DMH 111,5 / DGM 262,7



Costo neto a cátodos
c/lb
238,9
DCH 199 / DRT 264,1
DMH 191,7 / DGM 332

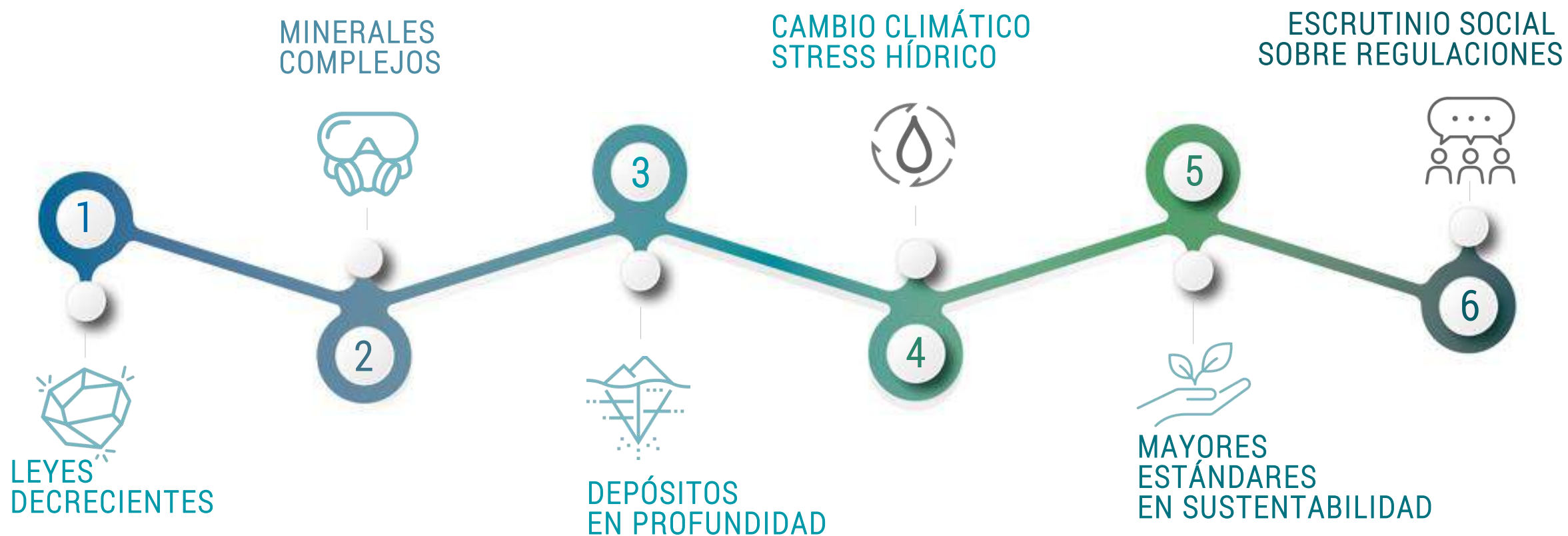


Excedentes
MUSD
1.458
DCH 601 / DRT 465
DMH 297 / DGM 94



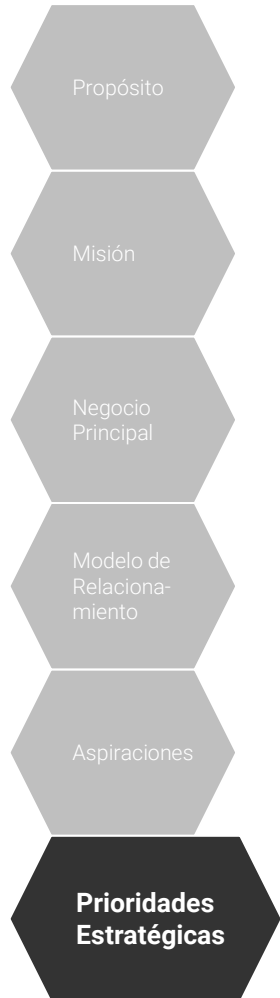
Flujo Caja MUSD
1.943
DCH 671 / DRT 756
DMH 404 / DGM 112

LA INDUSTRIA ENFRENTA DESAFÍOS CADA VEZ MÁS COMPLEJOS



Nuestras prioridades estratégicas:

la forma en que habilitamos y sostenemos la creación de valor





EN QUÉ INNOVAMOS

NUESTRO FOCO ACTUAL ES ASEGURAR LA COMPETITIVIDAD Y SUSTENTABILIDAD DE CODELCO

Recursos y reservas

1. Minería subterránea de alta complejidad
2. Lixiviación de Sulfuros
3. Relaves
4. Pre- concentración / Flotación de gruesos
5. Lixiviación in situ
6. Exploraciones

Valor social y ambiental

1. Aguas y Tranques
2. Impurezas
3. Electrificación
4. Fundiciones
5. Control de emisiones

Compromisos de sustentabilidad



MENOR HUELLA DE CARBONO



MENOR HUELLA HÍDRICA



ECONOMÍA CIRCULAR



NUEVOS ESTÁNDARES DEPÓSITO DE RELAVES



DESARROLLO DEL TERRITORIO CON VALOR SOCIAL



DISMINUCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO

Focos de Innovación

Estrategia de Abordaje de los ejes de innovación

- Habilitadores clave para los proyectos estructurales
- Mitigan riesgos estratégicos del negocio
- Habilitan el cumplimiento de compromisos clave de Sustentabilidad
- Resuelven problemas únicos de Codelco



Focos de Innovación

Estrategia de Abordaje de los ejes de innovación

Eje

- 1 Minería subterránea de alta complejidad
- 2 Lixiviación de Sulfuros
- 3 Solución de largo plazo de relaves
- 4 Pre-concentración, selectividad y flotación de gruesos
- 5 Lixiviación in-situ
- 6 Exploraciones

Eje

- 7 Gestión de aguas y tranques
- 8 Gestión de impurezas propias de Codelco: As
- 9 Electrificación y descarbonización
- 10 Potenciamiento Fundiciones Codelco
- 11 Control de Emisiones

1^{er} Orden: Ámbitos en que Codelco debe asumir una posición de liderazgo:

- Estructura visión de futuro y portafolios de innovación con distintas alternativas, desarrollando capacidades internas y externas
- Tracciona activamente al ecosistema de innovación
- Invierte de manera significativa y asume mayor riesgo tecnológico, dada la existencia de brechas de conocimiento

2^{do} Orden: Ámbitos relevantes pero con menos necesidad de innovación

- Se estructuran proyectos en torno a necesidades específicas
- Codelco está dispuesto a ser seguidor, comparte desafíos con la industria e incorpora innovación en TRLs más alto (incremental)

Como habilitador se ha fijado una ambiciosa aspiración para Innovación, definiéndose además de los focos, las capacidades necesarias para alcanzarla

Estado actual

- Estrategia de innovación en base a 2 criterios: valor e importancia para Codelco.
- Focos que se conectan con dos prioridades: sustentabilidad y transformación de recursos a reservas.



Aspiración 2027

- Ser líderes para ejes que habiliten valor y sea importante liderar el desarrollo (Innovación Disruptiva).
- En otros temas esperar desarrollos de terceros (seguidor), una vez maduros sean adaptados, adoptados y transferidos (innovación incremental – TRL > 7)

- Para alcanzar la aspiración a 2027 en Innovación, se definieron las capacidades que se requieren potenciar en la organización:



Desarrollo de soluciones para el negocio

- Estructuración de ejes de innovación y portafolio de innovación disruptiva
- Definición de procesos de innovación corporativos



Ecosistema interno

- Definición de **Modelo organización corporativa y divisional** alineado a los focos
- Estructuración de **instancias clave**
- **Cultura de Innovación**



Vehículos de innovación

- Definición y **alineamiento en vehículos de innovación** para cada iniciativa y etapa



CÓMO INNOVAMOS

CODELCO ha ejecutado un constante desarrollo de capacidades para la Innovación desde los años 70's



INNOVACIÓN ABIERTA

LA COLABORACIÓN Y RELACIONAMIENTO CON EL ECOSISTEMA DE INNOVACIÓN ES CLAVE PARA ABORDAR NUESTROS DESAFÍOS



Vehículos de innovación abierta claves en Codelco

INNOVACIÓN ABIERTA

1 Articulación de Desafíos Incrementales

2 Convenios para Desafíos Estratégicos

3 Colaboración entre actores de la minería

Desarrollar capacidad interna que sepa relacionarse con el medio más allá de cliente- proveedor, trabajar en conjunto desafíos y problemáticas.

Programa de convenios de desarrollo tecnológico con Universidades y Centros de Investigación de con experiencia probada.

Presencia formal de CODELCO en foros y asociaciones ad-hoc donde se discuta y trabaje con representantes de la industria en temas atinentes a la Innovación Minera.

ÁMBITOS:

- *Conexión con capacidades y experiencias de la industria.*
- *Desarrollo de proyectos colaborativos*



Espacio de colaboración y conexión con el ecosistema dónde se alojarán distintas iniciativas con el fin de promover el desarrollo tecnológico de Codelco.



PROPIEDAD INTELECTUAL

Abrimos nuestra propiedad intelectual para verla crecer y desarrollarse colaborativamente. Invitamos a terceros a usar, fabricar y comercializar esta tecnología por medio de una licencia, joint venture, o cualquier otro tipo de contrato o instrumento de transferencia.

Formato: Convocatoria 2022 cerrada, próximo lanzamiento ventanilla abierta 2023.



CONECTA

Tendemos un puente de conexión permanente para recibir tus innovaciones. Este sistema centralizado, trazable y transparente nos permite visibilizar los desarrollos tecnológicos y activar nuevas oportunidades de innovación.

Formato: Ventanilla abierta



PIENSA MINERÍA

Codelco convoca a los alumnos (as) de programas de doctorado a postular para obtener un beneficio económico de apoyo al desarrollo de investigaciones disruptivas relacionadas con los principales desafíos y focos estratégicos de innovación de la Corporación.

Formato: Concurso 2023 en proceso de evaluación de postulaciones





INNOVACIÓN DISRUPTIVA

DISTRITO NORTE

Focos: Lixiviación de Sulfuros

Lixiviación Clorurada

Contexto

- Para División Radomiro Tomic, se desarrollan dos procesos de lixiviación clorurada de sulfuros de cobre, para un escenario de 60 Mt/a, con y sin temperatura.
- Se extiende la operación actual de la planta hidrometalúrgica de DRT después del 2030 (PND 2022).
- El caso de evaluación considera la lixiviación clorurada sin temperatura, para sulfuros secundarios y bornita/calcopirita hasta el año 2042 y con temperatura para sulfuros bornita y calcopirita hasta el año 2052.

Descripción Proyecto

- Tecnología de lixiviación de sulfuros de cobre nueva en la corporación, que desafía y complementa el actual proyecto Fase II de DRT. Dentro de sus ventajas se destacan:
 - Bajo Capex
 - Asegura continuidad operacional de instalaciones existentes después del 2030.
 - Bajo consumo de agua (20% del consumo de la opción concentradora) y no genera relaves.
 - Up-side importante asociado a la incorporación de temperatura minerales bonita/calcopirita.

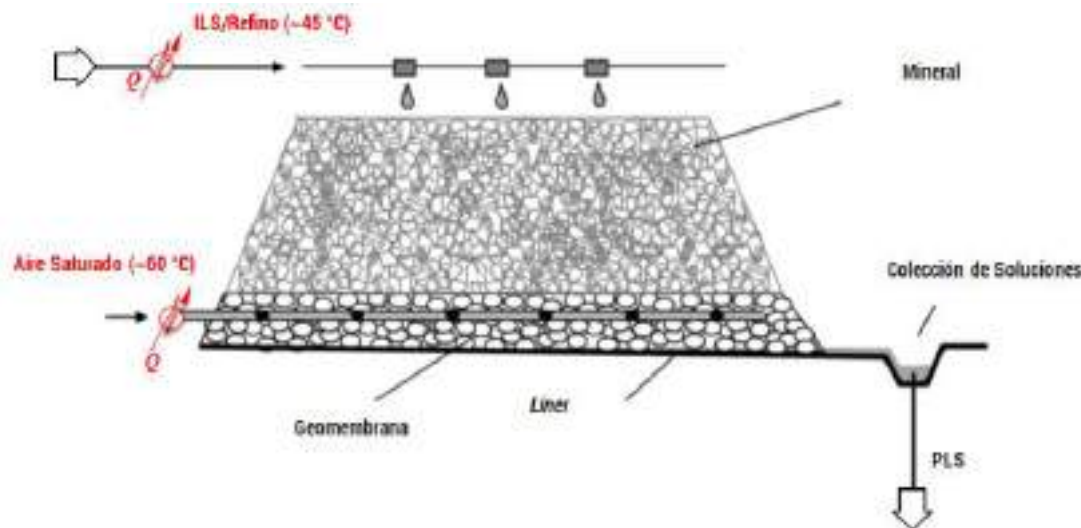
Caso Negocio

Aporte de Valor – Caso DRT:



VAN US\$ 1.100 Millones sin temperatura
US\$ 1.900 Millones con temperatura

Cobre fino por año : 220 kt/a sin temperatura
270 kt/a con temperatura

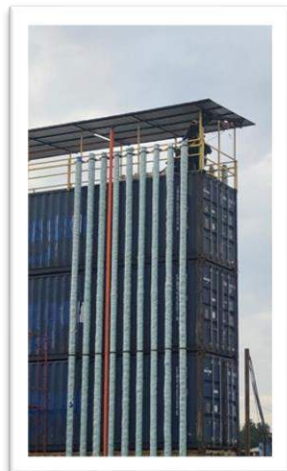


Se han logrado buenos resultados en el programa experimental, que han permitido posicionar la tecnología como retadora al caso base del proyecto RT Fase II



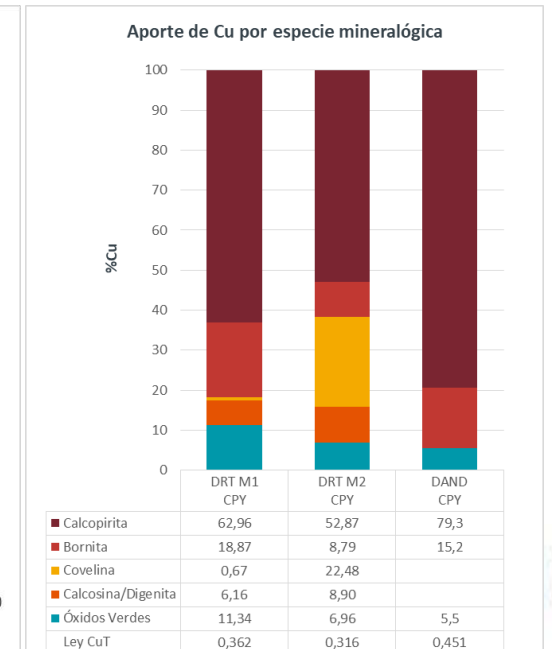
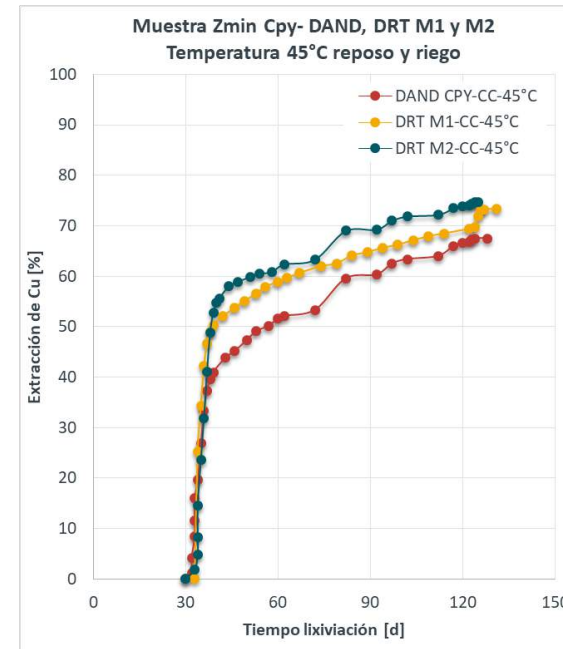
Avances

- Construcción de caso de negocio lixiviación clorurada convencional y con temperatura.
- Elaboración los criterios de diseño de diseño de la planta para estudio de pre-factibilidad actualmente en curso.
- Experimentación para definir condiciones de curado acido-salino, tiempos de reposo y temperatura.
- Ejecución de pruebas de columnas de 1m de altura y escalamiento en columnas de 10 m con distintas condiciones de temperatura.
- Pilotaje de tecnología de lixiviación clorurada con temperatura para minerales bornita/calcopiríta, en columnas de 10 m con control térmico/validación balance de temperatura.



Principales resultados

- Avance en programa experimental con minerales de RT, con buenos resultados, particularmente para sulfuros primarios con temperatura.
- Posicionamiento de la tecnología como complementaria a escenario con sólo concentradora en proyecto Fase II RT.
- Actualmente en curso estudio de pre-factibilidad para aplicar lixiviación clorurada de forma exclusiva y como casos mixtos con la concentradora.



Focos: Minería profunda

Construcción Mecanizada de túneles

Contexto

- Consiste en desarrollar, probar y validar una tunelera a nivel prototipo y escala industrial.
- El nuevo modelo está **diseñado para perforar curvas e intersecciones, va en reversa y tiene una huella de carbono mínima.** Los modelos anteriores en su mayoría solo podían perforar túneles rectos.
- Nace como una alternativa ante la necesidad de construir ~200 kms. de túneles entre producción y hundimiento para el nivel 2 y nivel 3 de PMCHS.

Descripción Proyecto

- Validación Industrial del equipo mecanizado para el desarrollo de túneles denominado TBM en la construcción de las galerías del footprint de PMCHS y potencialmente de desarrollos futuros de otras Divisiones de Codelco.

Aporte de Valor

- ✓ Viabiliza las operaciones para minería profunda.
- ✓ Es un retador para la tecnología de P&T.
- ✓ Elimina la Sobre-excavación y daño de pilares
- ✓ Reducir exposición al riesgo de las labores de desarrollo (menor numero de personas)
- ✓ Posibilitar nuevos modelos de negocio en la preparación minera subterránea



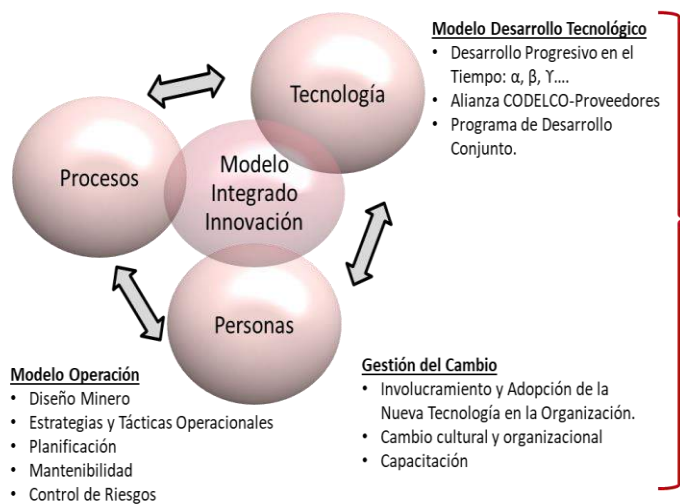
Los yacimientos más profundos requieren de nuevas tecnologías que habiliten la explotación de forma segura y competitiva



Avance

- Estudio de planificación conceptual de la prueba industrial TBM en PMCHS, evaluación de nuevos escenarios de la prueba por solicitud del Directorio.
- Evaluación de riesgos de la prueba
- Estrategia de Innovación Modelo Disruptivo.

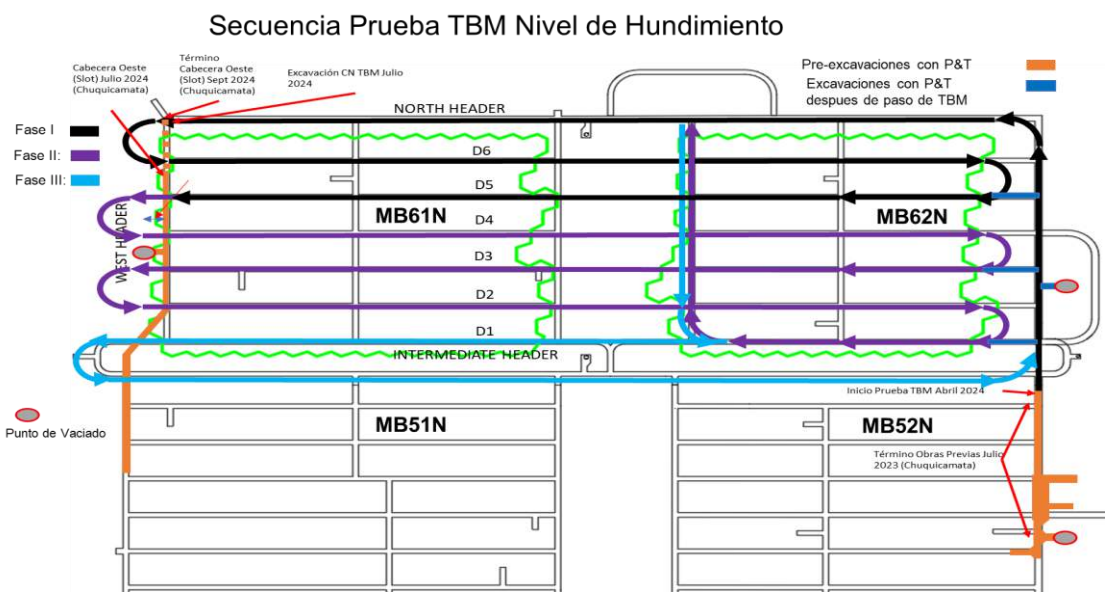
- La implantación de una tecnología de quiebre por si sola no garantiza el éxito.
- La introducción de tecnología de quiebre en los procesos requiere una reingeniería de todos los ámbitos que conforman este proceso.



Promesa de valor
Traccionar al Mercado (driver)

Principales Hitos

- Binding agreement** firmado con **KOMATSU** en 2019.
- Definición de Go No Go -contrato a firme de la prueba de validación industrial- en dos meses más sobre la base del estudio de planificación y negociación cerrándose con KOMATSU



Focos: Descarbonización

Descarbonización en minas Subterráneas y Rajo



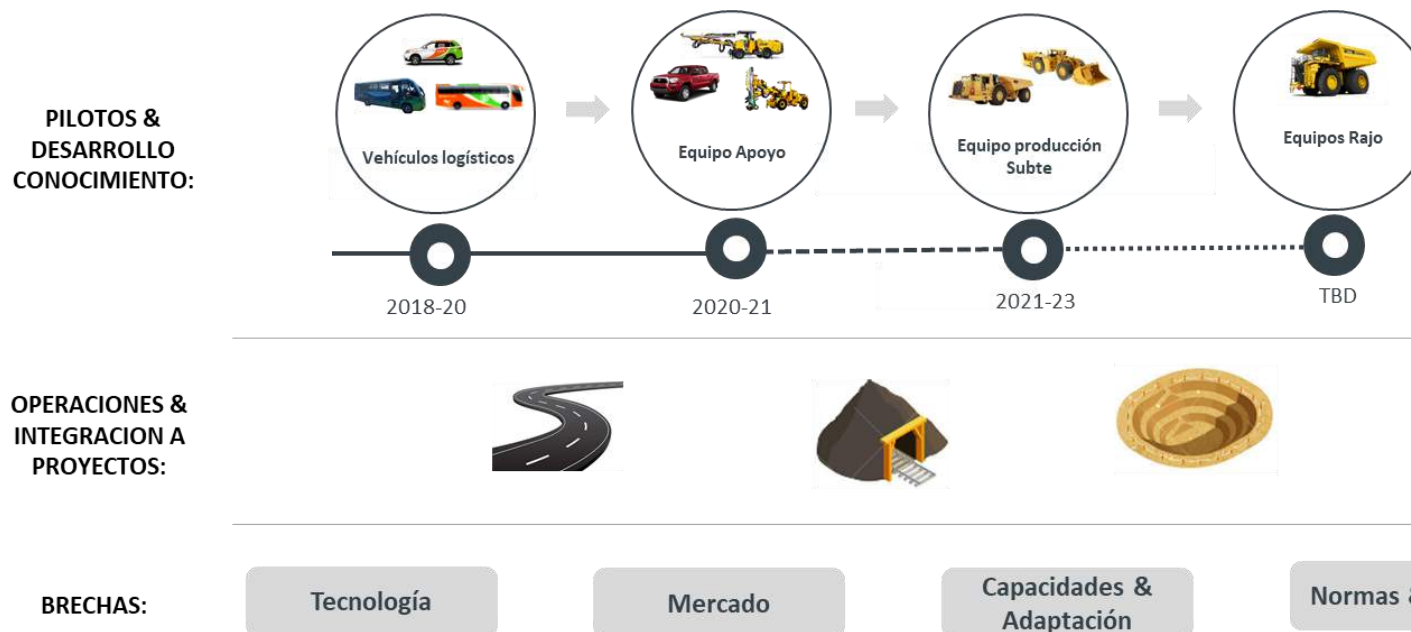
Contexto

- CODELCO se comprometió a metas de **reducción de emisiones al 2030**. Estas metas apuntan a la transición energética de flotas, considerando:
 - Minería subterránea 100% eléctrica al 2030.
 - Reducción 10% emisiones en CAEX y desarrollo de capacidades de Hidrógeno verde.
- Al 2050 CODELCO se comprometió a ser carbono neutral.**

Descripción Proyecto

- Programa enfocado en brechas de implementación: (1) Tecnología (2) Mercado (3) Capacidades & Adaptación y (4) Normativas y Riesgos.
- Trabajo liderado por innovación, desarrollado en mesas corporativas (Rajo y Subte) multidisciplinarias y coordinado con Divisiones.
- Tiene objetivo de capturar valor temprano de la electromovilidad y tecnologías limpias aplicadas a nuestras flotas.

Enfoque en cierre de brechas y maximización de valor temprano.



Se ha planificado un plan de piloto de equipos de soporte y producción, que se vayan incorporando paulatinamente a las operaciones.



Aporte de Valor

Aporte de valor debe ser analizado caso a caso, donde los drivers son:

Reducción de costos

- Menor costo energía 60-80%
- Costo mantención ~ 30%
- **CAPEX y OPEX ventilación menor ~ 0%-30%

Sustentabilidad y Salud Ocupacional

- Reducción de emisiones GEI ~ 60% - 100%
- Reducción de calor emitido por equipos.
- Reducción impacto acústico y vibraciones
- Eliminación material particulado de diésel (DPM)

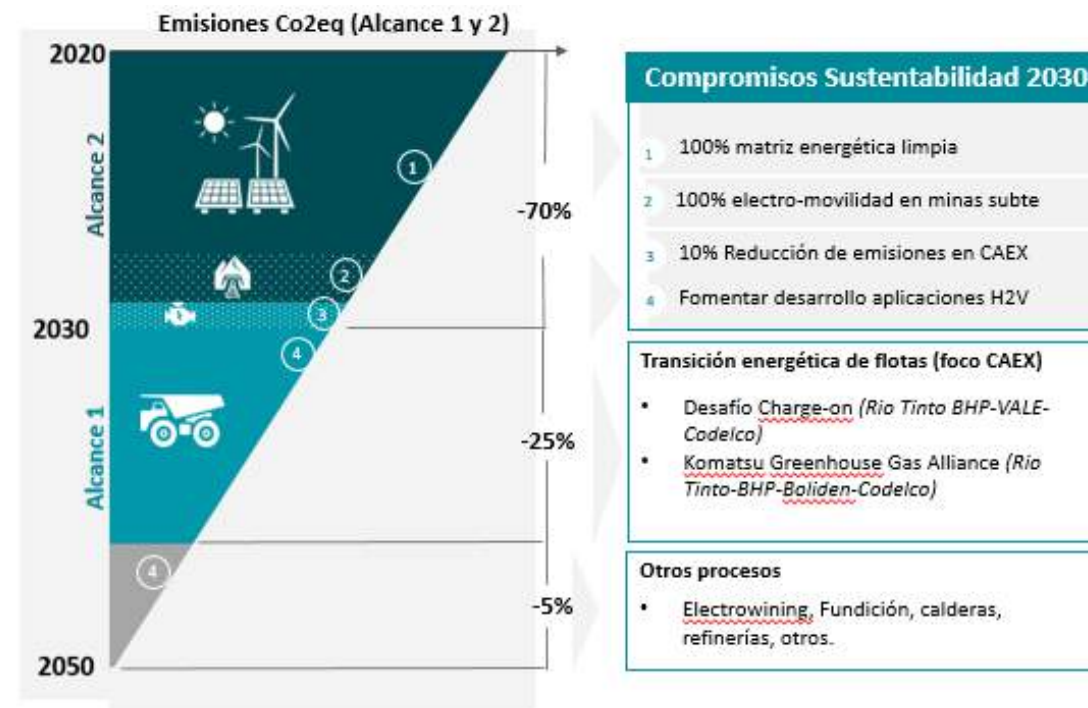
**Aplica solo a minería subterránea

Potencial esperado operación subterránea:

- Costo en energía 60%-70% menor.
- Reducción de 30% costos mantenimiento.
- Reducción CAPEX / OPEX de 0 a 10%.

Principales resultados e hitos relevantes

- Se adjudicó flota de app 300 buses eléctricos repartido en divisiones.
- +100 buses serán fabricados en Chile, en la ciudad de Rancagua.
- Se validó primer equipo minero eléctrico (Mixer PMCHS) y está **piloteando el primer piloto de LHD** 100% eléctrico.
- Se está realizando **estudio de electrificación de rajos** con opciones de power trains, trolley, baterías y H2FC.
- Proyectos colaborativos de desarrollo. GHG Alliance con Komatsu y Charge on Challenge.



Focos: Gestión de impurezas propias de Codelco

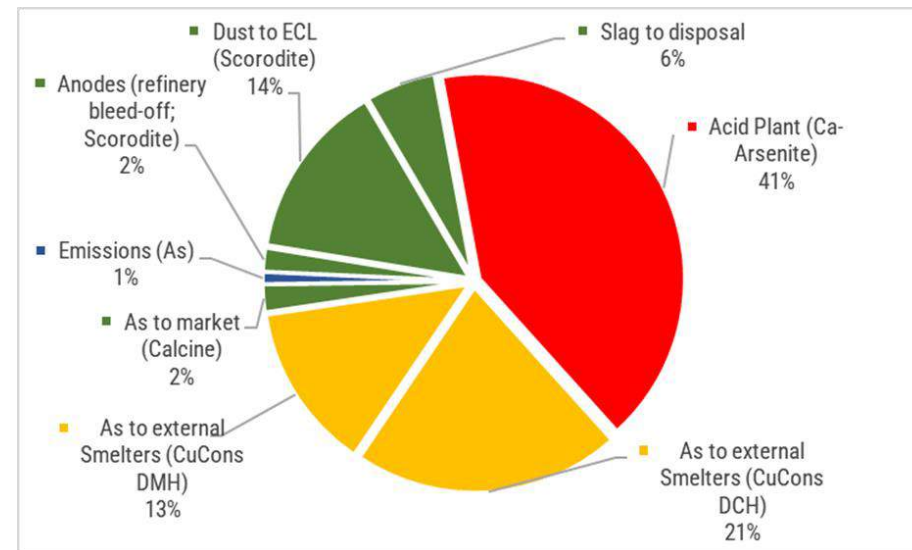
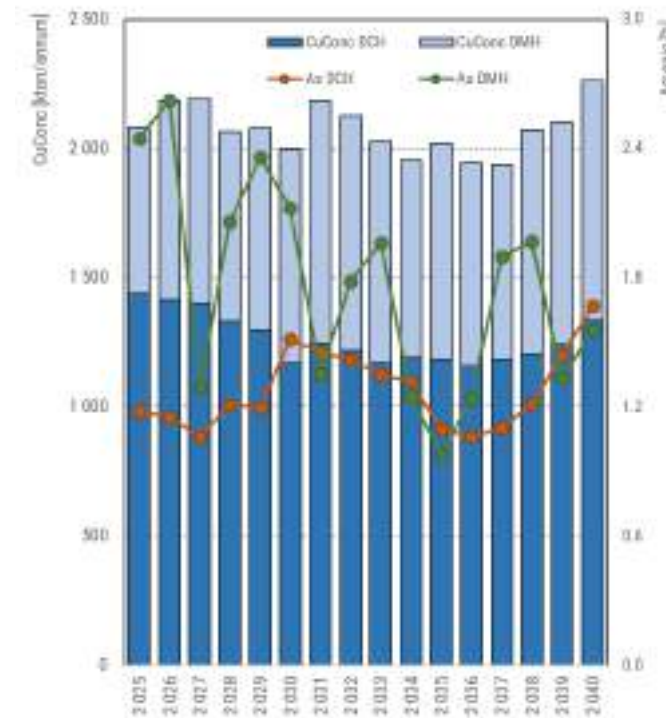
Manejo y disposición segura de arsénico

Contexto

- El límite de arsénico para **concentrados limpios es inferior al 0,2 % de As**; sin embargo, se proyecta a largo plazo que este valor disminuya 0.1% As. Para niveles más altos de arsénico, existen penalidades comerciales para el tratamiento.
- Codelco proyecta para los años 2025 a 2040 una generación del orden de **2.000.000 de toneladas anuales de concentrados complejos (DCH+DMH)**, que supera la capacidad instalada de tratamiento,
- 500.000 ton/año CuConc (As: 1,2 - 1,6%) de Chuquicamata y 230.000 ton/año CuConc (As: 1,0 - 2,5%) de Ministro Hales se **planea tratar en fundiciones externas**.

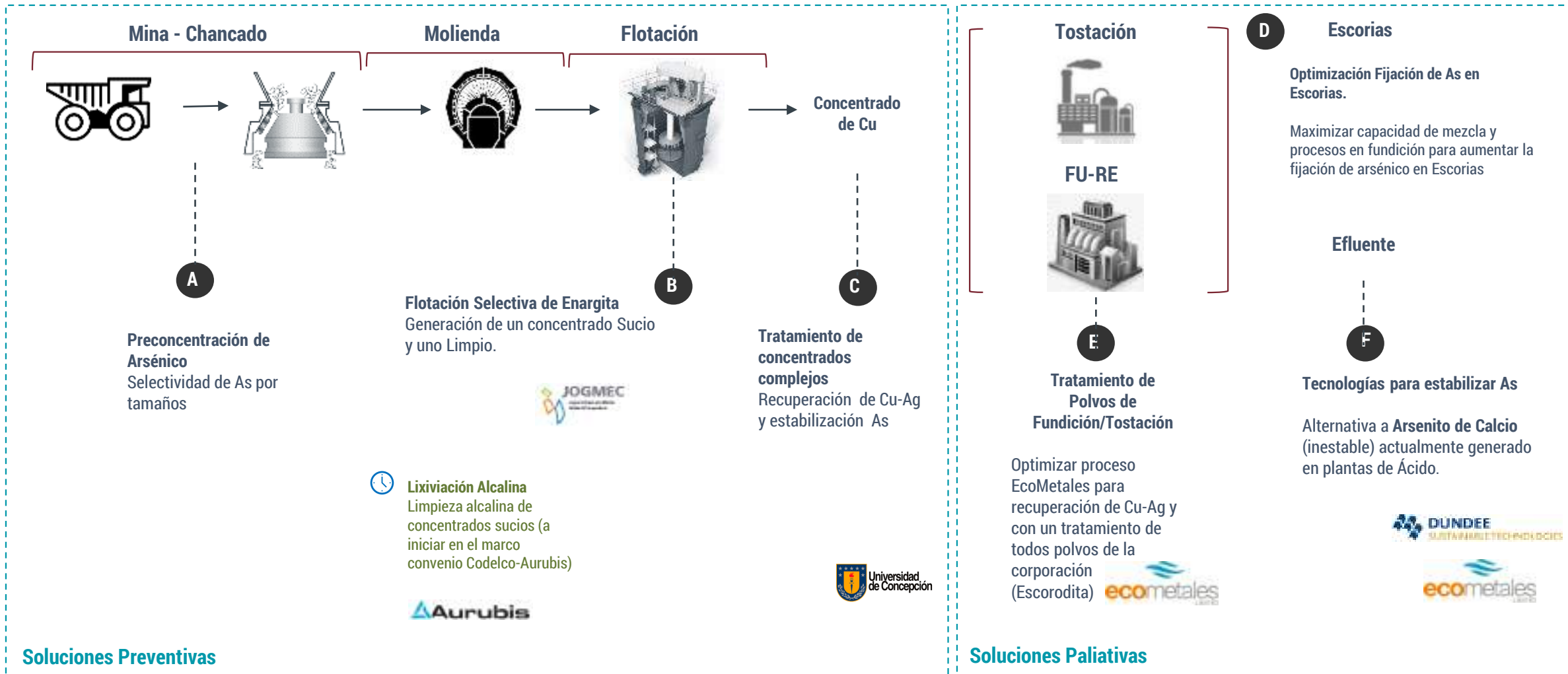
Desafíos

- En el distrito norte se generan entre **30.000 y 35.000 de arsénico al año** en las Divisiones Chuquicamata y Ministro Hales
- Menos del **20% del arsénico generado se estabiliza como no peligroso** (como escorodita o escorias)
- Si bien la disposición de arsénico como arsenito de calcio (40% del As) es actualmente aceptada en Chile, se espera que **no sea viable en el largo plazo**.
- La práctica actual de tratamiento de concentrados con alto contenido de arsénico en fundición externa también podría ser considerada como **vulnerabilidad comercial** para Codelco



Números referenciales

Se han logrado seleccionar tecnologías y procesos con potencial tecnológico (TRL´s > 6) de implementarse en operaciones de CODELCO



Comentarios Finales

...a título personal

- El mundo requiere la producción de **Cobre**, porque es un elemento esencial para combatir el **cambio climático**.
- Se requiere **mas y mejor minería**, donde la **innovación**, la **tecnología** y la **investigación** se constituyen en **pilares claves** para transitar hacia una industria con **cuidado al medioambiente**, mas **eficiente** y en **armonía** con los territorios, las comunidades y el país.
- La innovación con base tecnológica, permitirá habilitar el **encadenamiento virtuoso** entre la academia, los proveedores y la industria en la medida que las compañías mineras transmitan de manera adecuada y sistemática sus necesidades.
- El esfuerzo de **innovación** debe estar en **coherencia** con aquellas que maximizan el **valor del negocio minero** y habiliten el cumplimiento de compromisos claves de **sustentabilidad**. Lo que establece entonces la **dirección**, la **magnitud** y la **trayectoria** de nuestras actividades.
- Para ello tenemos que asegurar una **participación activa** con el ecosistema de innovación– nacional e internacional –, con la capacidad y flexibilidad de **traccionar**, **colaborar** y **seguir** al ecosistema.



MUCHAS GRACIAS

WWW.CODELCO.CL



Información Confidencial
Confidential Information