



# Innovación y Nuevas Perspectivas de Negocio en Minería de Menor Escala

Experiencias de Minera San Pedro

**Semana Mediana Minería**  
**2023**

¿POR QUÉ ES RELEVANTE HABLAR DE PEQUEÑA/MEDIANA MINERÍA?

## PROYECTOS DE MENOR ESCALA ESPECIALMENTE RELEVANTES PARA EL FUTURO DE LA INDUSTRIA

### ESCENARIO ACTUAL DE LA INDUSTRIA PLANTEA GRANDES DESAFÍOS

#### Industria minera enfrenta dificultades

- Agotamiento de grandes yacimientos.
- Escasez de agua y capital humano.
- Aumento de exigencias ambientales y sociales.

#### Además, la industria cuenta con una capacidad limitada para adaptarse

- Industria conservadora.
- Gran costo oportunidad de intervenir operaciones.
- Predominancia de grandes proyectos de largo plazo y poco flexibles.

### NUESTRA VISIÓN DEL FUTURO: MINERÍA DE MENOR ESCALA, EFICIENTE Y SOSTENIBLE

#### Nuestra perspectiva: minería del futuro se desarrollará en yacimientos pequeños/medianos.

- Escasez de nuevos yacimientos de gran magnitud.
- Minería de polimetálicos, probablemente en yacimientos más acotados.
- Grandes proyectos disruptivos tendrán menos posibilidades de aceptación social.

#### Operaciones pequeñas/medianas deben ser eficientes y sostenibles para ser viables.

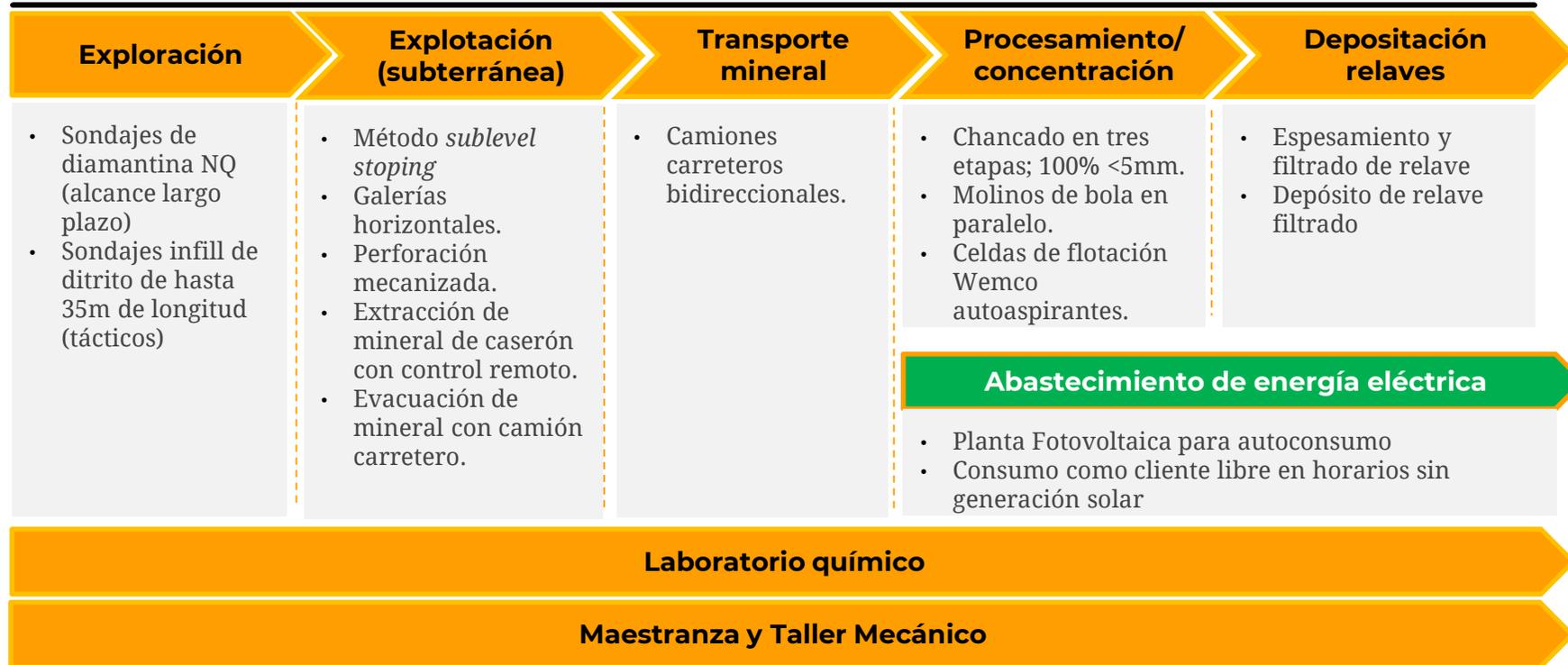
- No cuentan con grandes economías de escala.
- Menor escala permite mayor flexibilidad en incorporación de nueva tecnología.



# CARACTERIZACIÓN OPERACIONES MSP EN TIL TIL

OPERACIÓN VERTICALMENTE INTEGRADA: MINA Y PLANTA DE CONCENTRACIÓN

Cadena de Valor – Extracción subterránea y Concentración por Flotación



# OBJETIVO: DESARROLLAR EL POTENCIAL DE UN ECOSISTEMA MINERO INTEGRAL

A

## PRODUCTOR MINERO, CIRCULAR Y FLEXIBLE



Establecer operación multi-mina, multi-planta, con producción diversificada.

Venta de áridos, complementos cementicios y para la construcción a partir de relaves y desmontes.



Crear Fondo de Inversión para el desarrollo de oportunidades en pequeña y mediana minería.



B

## PLATAFORMA INNOVACIÓN/STAKEHOLDER TECNOLÓGICO

Establecer Centro Tecnológico sinérgico con la operación minera:

- Desarrollo y pilotaje de nuevas tecnologías
- *Showroom*
- Representación de tecnologías en Chile

Generar y almacenar energías limpias

Negocios complementarios:

- Compraventa de maquinaria
- Servicios de laboratorio
- Reciclaje de neumáticos y lubricantes



MINERA SAN PEDRO  
Excelencia - Innovación - Pasión

4

C

## CENTRO DE CAPACITACIÓN EN MINERÍA Y ENERGÍA

Establecer Centro de Formación Técnica apalancando infraestructura existente

- Propuesta de valor: experiencia educativa integral
- Alcance: minería, energía, H2v
- Mina de pruebas/capacitaciones

Oportunidades de capacitación:

- Entrenamiento de personal para Grandes Mineras
- Ejemplo internacional: Norcat (Canadá)



# OBJETIVO: DESARROLLAR EL POTENCIAL DE UN ECOSISTEMA MINERO INTEGRAL

**A**

## PRODUCTOR MINERO, CIRCULAR Y FLEXIBLE

**!** Establecer operación multi-mina, multi-planta, con producción diversificada.

Venta de áridos, complementos cementicios y para la construcción a partir de relaves y desmontes.

**!** Crear Fondo de Inversión para el desarrollo de oportunidades en pequeña y mediana minería.



**B**

## PLATAFORMA INNOVACIÓN/STAKEHOLDER TECNOLÓGICO

Establecer Centro Tecnológico sinérgico con la operación minera:

- Desarrollo y pilotaje de nuevas tecnologías
- *Showroom*
- Representación de tecnologías en Chile

Generar y almacenar energías limpias

Negocios complementarios:

- Compraventa de maquinaria
- Servicios de laboratorio
- Reciclaje de neumáticos y lubricantes



MINERA SAN PEDRO  
Excelencia - Innovación - Pasión

**C**

## CENTRO DE CAPACITACIÓN EN MINERÍA Y ENERGÍA

Establecer Centro de Formación Técnica apalancando infraestructura existente

- Propuesta de valor: experiencia educativa integral
- Alcance: minería, energía, H2v
- Mina de pruebas/capacitaciones

Oportunidades de capacitación:

- Entrenamiento de personal para Grandes Mineras
- Ejemplo internacional: Norcat (Canadá)



# NUESTRA EXPERIENCIA: MINERÍA SOSTENIBLE CONTRIBUYE A DESEMPEÑO DEL NEGOCIO

## INICIATIVAS MSP EN MINERÍA SOSTENIBLE

## BENEFICIO PARA EL NEGOCIO



## BENEFICIO PARA EL MEDIOAMBIENTE



1

### PLANTA FOTOVOLTAICA DE 3MWP

- Rentabilidad atractiva dada sinergias operacionales con operación minera

- Generación de energía limpia

2

### DESHIDRATACIÓN DE RELAVES

- Menor exposición al riesgo de sequías
- Menor costo de bombeo de agua fresca
- Mayor capacidad de depositación de relave por unidad de superficie

- Reducción drástica en consumo de agua
- Mayor estabilidad del depósito
- Menor intervención de superficie
- Minimización de infiltraciones

3

### USO DE RELAVES Y DESMONTES EN CONSTRUCCIÓN

- Transformación de un pasivo en un activo
- “Capacidad infinita” de depositación de relave

- Reducción de emisiones por evitar extracción y conminución de áridos
- Menor afectación de suelos

4

### RECICLAJE DE EQUIPOS MINEROS

- Equipos al ~15% del valor nuevo con confiabilidad suficientemente buena
- Disminuye monto de inversión del proyecto

- Reutilización de recursos, evitando fabricación de nuevos equipos
- Disminución de huella de carbono del proyecto minero

5

### USO DE AGUAS SERVIDAS TRATADAS

- Utilización de recurso económico, sin uso alternativo

- No utilización de aguas subterráneas limpias en proceso minero



1

PLANTA FOTOVOLTAICA DE 3MWp

A

## PROYECTO DE AUTOCONSUMO CON TIR DE ~15%

APALANCAMIENTO EN INFRAESTRUCTURA, SINERGIAS OPERATIVAS Y DE NEGOCIO

### FUNDAMENTOS DEL PROYECTO:

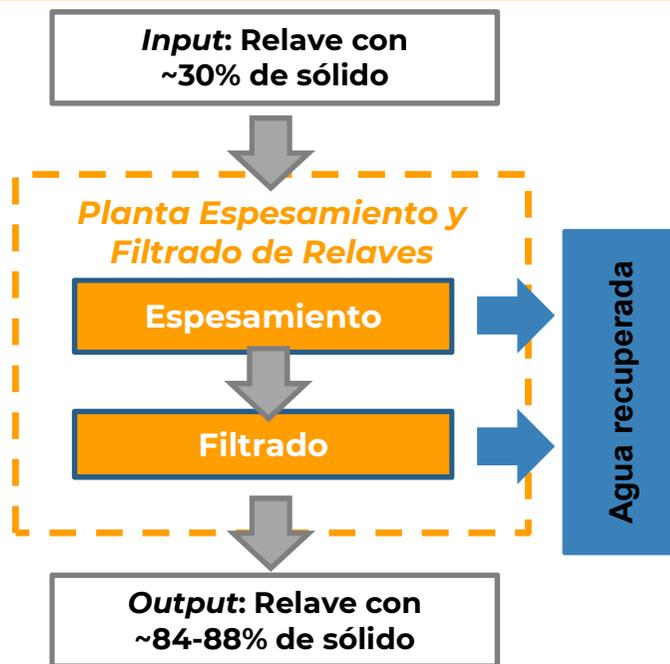
- ✓ **RECURSOS E INFRAESTRUCTURA EXISTENTE:**
  - Radiación solar atractiva en Til Til
  - Bajo costo oportunidad de terrenos disponibles.
  - Infraestructura existente de accesos y transmisión.
- ✓ **VENTAJAS EN CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN:**
  - Maquinaria y experiencia de MSP para realizar movimiento de tierra y obras civiles.
  - Logística existente de soporte y de seguridad.
- ✓ **SINERGIAS DE NEGOCIOS:**
  - Consumo de energía de la Planta minera a metros de la generación; se evita pago de peajes de líneas de transmisión.
  - Modelo PMGD.
  - Se accede al mercado de *trading* de energía como generador.



## 2 DESHIDRATACIÓN DE RELAVES

# A PLANTA DE FILTRADO PERMITE RECUPERAR ~90% DEL AGUA UTILIZADA EN EL PROCESO MINERO (I)

Extracción de agua desde relave se realiza en dos etapas: espesamiento y filtrado



**2** DESHIDRATACIÓN DE RELAVES

**A** PLANTA DE FILTRADO PERMITE RECUPERAR ~90% DEL AGUA UTILIZADA EN EL PROCESO MINERO (II)

**Input: Relave con ~30% de sólido**



**Output: Relave con ~84-88% de sólido**



**2** DESHIDRATACIÓN DE RELAVES

**A** PLANTA DE FILTRADO PERMITE RECUPERAR ~90% DEL AGUA UTILIZADA EN EL PROCESO MINERO (III)



**Output: Relave con ~84-88% de sólido**



2

DESHIDRATACIÓN DE RELAVES

A

## PLANTA DE FILTRADO PERMITE RECUPERAR ~90% DEL AGUA UTILIZADA EN EL PROCESO MINERO (IV)



MINERA SAN PEDRO  
Excelencia - Innovación - Pasión

11



## USO DEL RELAVE DE MSP COMO COMPLEMENTO DE HORMIGONES YA VALIDADO

EXISTE LÓGICA TÉCNICA, AMBIENTAL Y LOGÍSTICA PARA UTILIZAR SUBPRODUCTOS EN CONSTRUCCIÓN

### Estudio conjunto de Ingeniería PUC y MSP desde 2016

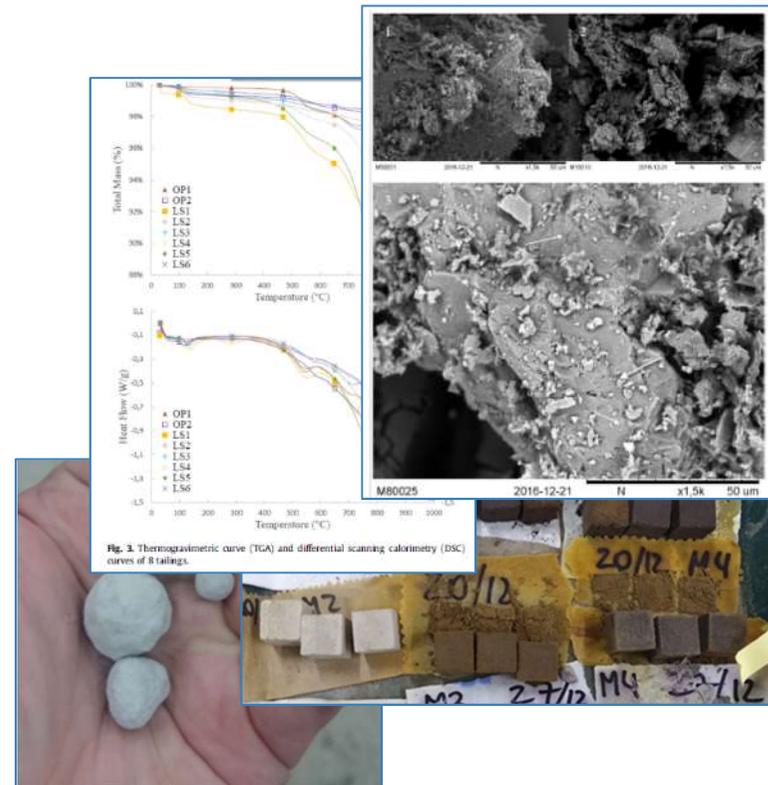
- Evaluación de propiedades cementicias y complemento de cemento de relave de MSP.

### Algunas aplicaciones/resultados de los estudios:

- Reemplazo de áridos en cemento.
- Con tratamientos térmicos y mecánicos se activó capacidad cementicia y se pudo reemplazar hasta 40% del cemento en hormigones estructurales.
- Con procesos químicos se aglomeró relaves, obteniendo áridos artificiales para la construcción.

### Desmontes y relave de MSP con potencial real de utilizarse en construcción

- Relave MSP certificado por Cesmec como Residuo No Peligroso según decreto 148 Minsal
- Materiales cercanos a grandes centros de demanda.



4

RECICLAJE DE EQUIPOS MINEROS

A

## REPARACIÓN DE EQUIPOS MINEROS PERMITE ACCESO A MAQUINARIA SOFISTICADA (I)



MINERA SAN PEDRO  
Excelencia - Innovación - Pasión

4

RECICLAJE DE EQUIPOS MINEROS

A

## REPARACIÓN DE EQUIPOS MINEROS PERMITE ACCESO A MAQUINARIA SOFISTICADA (II)



MINERA SAN PEDRO  
Excelencia - Innovación - Pasión  
14



4 RECICLAJE DE EQUIPOS MINEROS

A REPARACIÓN DE EQUIPOS MINEROS PERMITE ACCESO A MAQUINARIA SOFISTICADA (III)



## DESEMPEÑO DEL AGUA TRATADA EN EL PROCESO DE FLOTACIÓN HA SIDO SATISFACTORIO

### *Operación del proceso de flotación de minerales con agua tratada (ex agua servida).*

- Motivación: severa sequía en Til Til.
- Cantidad de agua tratada disponible es suficiente para aumentar ~10x la operación.
- Entendemos que somos una de pocas mineras en Chile que opera con aguas tratadas.

### *Uso de agua tratada en flotación presenta problemas menores versus agua fresca.*

- Excepcionalmente el agua tratada presenta concentraciones de algunos químicos que perjudican la flotación.
- Es posible atenuar los efectos negativos gestionando las concentraciones en los estanques.



# OBJETIVO: DESARROLLAR EL POTENCIAL DE UN ECOSISTEMA MINERO INTEGRAL

**A** **PRODUCTOR MINERO, CIRCULAR Y FLEXIBLE**

! Establecer operación multi-mina, multi-planta, con producción diversificada.

Venta de áridos, complementos cementicios y para la construcción a partir de relaves y desmontes.

! Crear Fondo de Inversión para el desarrollo de oportunidades en pequeña y mediana minería.



**B** **PLATAFORMA INNOVACIÓN/STAKEHOLDER TECNOLÓGICO**

**Establecer Centro Tecnológico sinérgico con la operación minera:**

- Desarrollo y pilotaje de nuevas tecnologías
- *Showroom*
- Representación de tecnologías en Chile

**Generar y almacenar energías limpias**

**Negocios complementarios:**

- Compraventa de maquinaria
- Servicios de laboratorio
- Reciclaje de neumáticos y lubricantes



MINERA SAN PEDRO  
Excelencia - Innovación - Pasión

**C** **CENTRO DE CAPACITACIÓN EN MINERÍA Y ENERGÍA**

Establecer Centro de Formación Técnica apalancando infraestructura existente

- Propuesta de valor: experiencia educativa integral
- Alcance: minería, energía, H2v
- Mina de pruebas/capacitaciones

**Oportunidades de capacitación:**

- Entrenamiento de personal para Grandes Mineras
- Ejemplo internacional: Norcat (Canadá)





# ESTAMOS IMPLEMENTANDO CAPACIDADES DE PILOTAJE Y *SHOWROOM* DE TECNOLOGÍAS DE H2

## SEC autoriza construcción de planta de H2V en Til Til

La Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) autorizó el 25 de noviembre la construcción de la planta piloto de hidrógeno verde (H2V) en Minera San Pedro, ubicada en Til Til, Región Metropolitana, y que estará operativa en 2023.

Esta plataforma de H2V destinada exclusivamente a proveer energía limpia al campamento minero de Minera San Pedro, será además una infraestructura habilitante permanente para el pilotaje y *showroom* de nuevas tecnologías en toda la cadena de valor de hidrógeno en operaciones mineras.

El desarrollo tiene alcance a toda la cadena de valor del hidrógeno como combustible en minería, ya que



las instalaciones de energía eléctrica verde (de generación, almacenamiento, consumo de este

A diciembre de 2023, las instalaciones de hidrógeno tenían

La planta será escucha de tecnologías pruebas de *blending* de combustibles, sistemas de almacenamiento y también capacidad de operación y mantenimiento de hidrógeno, entre

En su diseño inicial, la planta generará energía nominal de 720 litros de combustible al día, y así reducirá el consumo de diésel en 2 toneladas de diésel

La alianza del CNP-Minera San Pedro contempla un *roadmap* tecnológico de introducción de hidrógeno en la operación minera, iniciando la migración desde diésel a H2 en equipos estacionarios de baja potencia, hasta su utilización en maquinaria móvil con mayores requerimientos de potencia, principalmente usados en la mina subterránea.

## Planta piloto de hidrógeno verde

### Primer lugar de la Aceleradora de H2V

CENTRO NACIONAL  
DE PILOTAJE  
DE TECNOLOGÍAS  
PARA LA MINERÍA

La planta piloto de H2V en operaciones mineras, presentado por la alianza del CNP - Minera San Pedro, ganó el primer lugar de la "Aceleradora de Hidrógeno Verde", certamen convocado por la Agencia de Sostenibilidad Energética (AgenciaSE) del Ministerio de Energía y que se dio a conocer en enero.

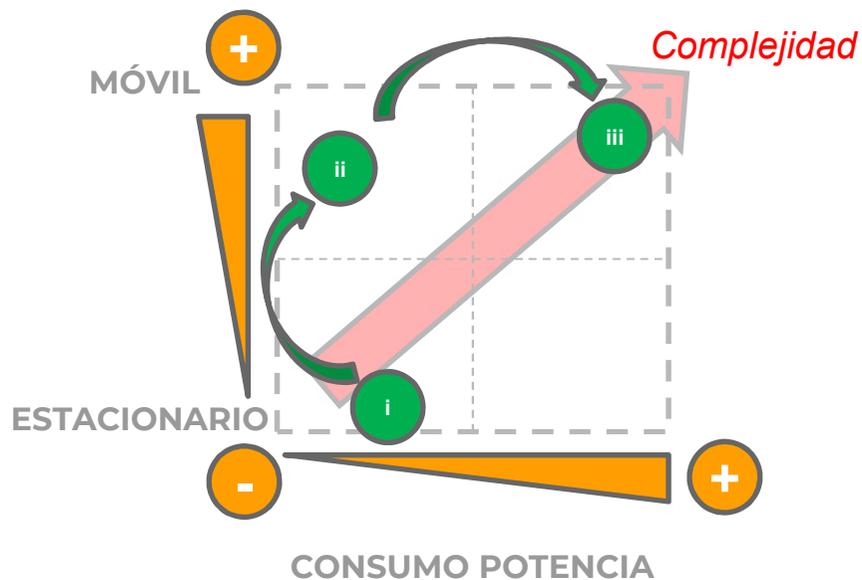
“ Además del abastecimiento de energía limpia para nuestro campamento minero, el objetivo es introducir el H2V de forma progresiva en los procesos, optimizando la operación y reduciendo nuestra huella de carbono ”.

Andrés Guerrero, gerente general de Minera San Pedro.



# ROADMAP DE USO DE HIDRÓGENO EN MINERÍA: DESDE METAS MÁS SENCILLAS A DESAFIANTES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE KITS DE MIGRACIÓN DE DIESEL A FUEL CELL PARA MAQUINARIA MINERA



# TAMBIÉN DESARROLLANDO MODELOS DE NEGOCIO A PARTIR DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

## PLATAFORMA DE IIOT HABILITA LA PRUEBA DE NUEVOS SENSORES, SOLUCIONES DE OPTIMIZACIÓN E INTEROPERABILIDAD

### Sistema de monitoreo IIot



En el primer trimestre de 2022 se puso en marcha un sistema de capacidades informáticas del tipo Internet Industrial de las Cosas (IIoT, por sus siglas en inglés) en la planta de Minera San Pedro, ubicada en Til Til, Región Metropolitana.

Esta infraestructura permite monitorear de forma centralizada los procesos metalúrgicos de Minera San Pedro, cuenta con un sistema de visualización propio, que se complementa con el Centro de Monitoreo Remoto, ubicado en dependencias de la UC en Santiago, para apoyar la evaluación de diversas pruebas piloto de nuevas tecnologías del CNP.



**La infraestructura tipo IIot, disponible para pilotajes del CNP, es operada desde 2022 por Minera San Pedro y la Pontificia Universidad Católica de Chile.**

El sistema informático de proceso, desarrollado por el equipo de la UC, utiliza tecnología de punta con sistemas *open source*, que permiten digitalizar y tener en línea toda la información que se recopile de la planta de Minera San Pedro.

El Centro de Monitoreo en Santiago está diseñado para aceptar nuevas señales de tecnologías con distintos grados de madurez, provenientes de desarrolladores y como sala de venta para los proveedores tecnológicos. Además, es posible replicar el sistema remoto en otras plantas y avanzar hacia una minería digital 4.0.

## NUEVA TECNOLOGÍA SX DE ALTO VALOR AGREGADO: PILOTAJE Y MAQUILA

### Planta piloto modular de lixiviación

En 2022 avanzamos en la puesta en marcha y consolidación de la planta modular SX en Minera San Pedro, ubicada en la comuna de Til-Til, Región Metropolitana. La infraestructura instalada permite pruebas de comisionamiento de la minera.

La planta piloto cumple con los principales estándares de la gran minería, pudiendo adaptarse a la mayoría de las plantas instaladas en Chile. Considera la etapa de extracción por solventes (SX), para probar nuevas configuraciones de tecnologías o nuevos reactivos de extracción para cobre, cobalto, litio, renio y molibdeno. Su alta flexibilidad permite el desarrollo de diversos ensayos de pilotajes y estudios experimentales que se requieren para validar y escalar las tecnologías desde el laboratorio.

Tiene una capacidad de 300 litro/horas, con cinco módulos que permiten tener diez etapas, configurables y flexibles de mezcladores-decantadores, instalados en contracorriente entre ellos, con dos estanques.

**La planta móvil SX es parte de la infraestructura disponible para pilotajes o pruebas intermedias de tecnologías en proceso de desarrollo.**



# OBJETIVO: DESARROLLAR EL POTENCIAL DE UN ECOSISTEMA MINERO INTEGRAL

A

## PRODUCTOR MINERO, CIRCULAR Y FLEXIBLE



Establecer operación multi-mina, multi-planta, con producción diversificada.

Venta de áridos, complementos cementicios y para la construcción a partir de relaves y desmontes.



Crear Fondo de Inversión para el desarrollo de oportunidades en pequeña y mediana minería.



B

## PLATAFORMA INNOVACIÓN/STAKEHOLDER TECNOLÓGICO

Establecer Centro Tecnológico sinérgico con la operación minera:

- Desarrollo y pilotaje de nuevas tecnologías
- *Showroom*
- Representación de tecnologías en Chile

Generar y almacenar energías limpias

Negocios complementarios:

- Compraventa de maquinaria
- Servicios de laboratorio
- Reciclaje de neumáticos y lubricantes



MINERA SAN PEDRO  
Excelencia - Innovación - Pasión

21

C

## CENTRO DE CAPACITACIÓN EN MINERÍA Y ENERGÍA

Establecer Centro de Formación Técnica apalancando infraestructura existente

- Propuesta de valor: experiencia educativa integral
- Alcance: minería, energía, H2v
- Mina de pruebas/capacitaciones

Oportunidades de capacitación:

- Entrenamiento de personal para Grandes Mineras
- Ejemplo internacional: Norcat (Canadá)



# INDUSTRIA DEBE REACCIONAR ANTE BRECHA GRAVE EN CAPACITACIÓN

## PROBLEMA

BRECHA DE DESARROLLO HUMANO EN EL PAÍS  
PRESENTA UN GRAN DESAFÍO A LA MINERÍA

**En general, en el país enfrentamos déficit en formación escolar y desarrollo de habilidades básicas**

- Brecha en comprensión de lectura y matemáticas, entre otros.
- Efecto pandemia ha influido significativamente en desarrollo de habilidades sociales y trabajo en equipo de nuevas generaciones.
- Ausentismo escolar y en la educación superior.

**Además, existe incentivos económicos perversos en educación y tendencias culturales desfavorables**

- Rentabilidad: muchos estudiantes y predominancia de enseñanza en sala de clases, de bajo costo versus experiencia real y de terreno.
- Clientilismo, incluyendo conducta de padres y estudiantes.

**En particular, la productividad en minería es insuficiente comparado con referentes a nivel mundial**

- Ej: ¿cómo se compara la productividad de un operador de maquinaria en Chile versus Suecia?

## CONTRIBUCIÓN A SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

EXPERIENCIA EDUCATIVA INTEGRAL  
EN CONTEXTO REAL Y CON FOCO EN EFECTIVIDAD

**Apalancar infraestructura y capacidades existentes en MSP**

- Infraestructura minera y de energía cercana a grandes centros urbanos del país.
- Vínculo de MSP con instituciones de educación.
- Ejemplo: disponibilidad de minas para habilitarlas exclusivamente como mina de pilotajes y capacitación.

**Prototipo de experiencia educativa: internado para estudiantes/trainees contratados por gran o mediana minería**

- Experiencia real y práctica de aprendizaje.
- Enseñanza alineada con las necesidades del mandante/industria.
- Graduados capacitados continuarían contratados y prosiguen su proceso de formación en las operaciones definitivas.

**Otros formatos de cursos y enseñanza:**

- Capacitación a consultoras y empresas.
- Capacitación en operación y mantenimiento asociada a adopción de nuevas tecnologías.
- Instancia de vínculo entre distintas instituciones (empresas, universidades, centros de investigación).

**LA INDUSTRIA DEBE ACTUAR, PROBABLEMENTE LAS SOLUCIONES NO VENDRÁN SINO DESDE LA MISMA INDUSTRIA**



GRACIAS

## Contacto

[aguerrero@minerasanpedro.cl](mailto:aguerrero@minerasanpedro.cl)

