

Hub Tecnológico-Académico para Minería y Energía

1 | Objetivo

Consolidar un Hub Tecnológico-Académico de alcance latinoamericano que articule ciencia, industria y capacidades estatales para desarrollar y transferir tecnologías avanzadas en minería y energía, con énfasis en digitalización, inteligencia artificial, economía circular y descarbonización. El Hub transformará capacidades existentes en una red nacional de innovación aplicada con impacto productivo, ambiental y territorial.

2 | Metas

- Para los años 2026 y 2027, comienzan los primeros pilotos tecnológicos en faenas reales con sensores, automatización y modelos de IA en entorno controlado. Se lanza la plataforma nacional de transferencia tecnológica, con al menos un laboratorio vivo y acuerdos de colaboración activos.
- Para el año 2028, los sistemas digitales y modelos predictivos desarrollados por el Hub alcanzan validación operativa y son adoptados por empresas piloto. El ecosistema de innovación abierta se activa con múltiples pilotos, contratos de licenciamiento y primeros emprendimientos tecnológicos en fase de escalamiento.
- Para los años 2029 y 2030, el Hub opera como red nacional integrada, con centros especializados activos en al menos tres regiones del país. Se institucionaliza la plataforma de transferencia con participación estable de universidades, centros y empresas.

3 | Métricas

- Al menos 3 faenas industriales con sistemas de automatización inteligente y monitoreo digital en tiempo real.
- Reducción de un 30% en fallas operacionales o tiempos de detención en procesos que incorporan IA predictiva.
- Creación de al menos 5 *spin-offs* tecnológicos activos con origen en el Hub.
- Un 50% de los proyectos financiados que cuenten con participación público-privada efectiva.
- Al menos 3 plantas piloto o laboratorios regionales operativos para valorización de residuos o reutilización de agua.
- Reducción de al menos 20% en intensidad energética o huella de carbono en pilotos demostrativos apoyados por el Hub.

4 | Contexto

Chile se encuentra en una posición estratégica para impulsar la transformación sostenible de los sectores minero y energético. Como principal productor mundial de cobre y segundo en litio, el país es un proveedor clave de minerales críticos que sustentan la transición energética global. Esta condición, sin embargo, contrasta con debilidades estructurales en investigación aplicada, transferencia tecnológica y vinculación efectiva entre ciencia e industria, especialmente en las áreas extractiva

y energética, donde la disociación entre conocimiento y productividad limita el desarrollo de soluciones tecnológicas con valor agregado nacional.

Pese a contar con capacidades destacadas en universidades y centros especializados, el ecosistema chileno de innovación sigue caracterizado por una alta fragmentación, bajo financiamiento (0.39% del PIB en I+D, según MINCIENCIA, 2024) y escasa colaboración público-privada sostenida. Tecnologías clave para una minería y energía del siglo XXI —como la automatización, la inteligencia artificial, la eficiencia energética y la economía circular— carecen de una estrategia articulada detrás que permita su desarrollo, pilotaje y escalamiento desde una perspectiva país. Esta brecha no solo afecta la competitividad internacional de Chile, sino que limita su capacidad para liderar la transición hacia industrias más limpias, digitales y resilientes.

Frente a este escenario, la creación de un Hub Tecnológico-Académico nacional, con proyección latinoamericana, se vuelve una necesidad estratégica. Este Hub tendría como misión articular una red de capacidades científicas, industriales y estatales en torno a desafíos tecnológicos compartidos, funcionando como núcleo de innovación aplicada para los sectores minero y energético. Su enfoque estará centrado en áreas críticas como digitalización, inteligencia operativa, transición energética y economía circular. A diferencia de iniciativas fragmentadas, el Hub se construirá con una gobernanza común, financiamiento estable, infraestructura especializada y una cartera de proyectos orientada a resolver cuellos de botella reales, con impacto productivo, ambiental y territorial.

Chile no parte desde cero. Instituciones como el *Advanced Mining Technology Center* (AMTC) y el *Solar Energy Research Center* (SERC Chile) han demostrado capacidades científicas, técnicas y de vinculación en minería y energía solar, respectivamente. No obstante, su impacto ha estado restringido por la falta de una estructura nacional que permita escalar, integrar y proyectar estas capacidades más allá de sus mandatos institucionales. Aprovechar estas plataformas como bases fundacionales del nuevo Hub permitiría acelerar su instalación, evitar duplicidades y consolidar un ecosistema nacional de innovación aplicada con anclaje territorial y vocación exportadora de conocimiento y soluciones tecnológicas.

5 | Intervención

A) Digitalización y automatización de procesos

Este componente tiene como objetivo acelerar la transformación digital de los sectores minero y energético mediante el desarrollo y adopción de tecnologías habilitantes para la automatización inteligente, la toma de decisiones en tiempo real y la integración ciberfísica de procesos. El enfoque estará puesto en la creación y adaptación de soluciones tecnológicas como sensores avanzados, robótica autónoma, gemelos digitales (*digital twins*), plataformas de monitoreo remoto y redes de comunicación industrial (IoT industrial), todas ellas claves para transitar hacia operaciones más eficientes, seguras y sostenibles.

Estas herramientas permitirán optimizar procesos productivos en entornos exigentes, disminuir la exposición de trabajadores a condiciones de alto riesgo, y aumentar la eficiencia en el uso de recursos como agua, energía y materiales. Además, habilitarán una

gestión inteligente del ciclo de vida de activos, con monitoreo predictivo y respuestas automatizadas ante condiciones críticas. La meta de este componente es posicionar a Chile como referente latinoamericano en minería y energía inteligente, integrando ciencia de datos, automatización y control avanzado en sistemas operacionales de alta complejidad.

B) Inteligencia artificial y ciencia de datos aplicada

Este componente busca fortalecer las capacidades nacionales en inteligencia artificial (IA), aprendizaje automático (*machine learning*) y ciencia de datos, aplicadas a la minería y la energía. Su propósito es desarrollar soluciones avanzadas para la predicción, optimización y toma de decisiones autónoma en sistemas productivos complejos. Se impulsará la creación de modelos predictivos para fallas en equipos críticos, algoritmos de optimización energética en tiempo real, sistemas de mantenimiento predictivo basados en *big data*, y plataformas de análisis de imágenes geológicas, satelitales o multiespectrales con fines operacionales y medioambientales.

Este componente también abordará de manera explícita los desafíos asociados a la ética de la IA, la ciberseguridad industrial y la gobernanza algorítmica, garantizando un uso responsable, transparente y confiable de los sistemas de decisión automatizados. La trazabilidad de datos, la explicabilidad de los modelos y el resguardo de información sensible serán principios habilitantes en el desarrollo de estas tecnologías.

Finalmente, se fomentará la formación avanzada de talento especializado en IA aplicada a procesos industriales, mediante programas académicos, pasantías técnico-profesionales y colaboración con centros internacionales. Esto permitirá cerrar brechas de capital humano digital y proyectar a Chile como polo regional en inteligencia artificial aplicada a las industrias extractivas y energéticas.

C) Economía circular y sustentabilidad industrial

Este componente busca integrar principios de economía circular, ecoeficiencia y sostenibilidad ambiental en el diseño y operación de procesos industriales de la minería y la energía. El objetivo es transitar desde modelos lineales hacia esquemas regenerativos, que reduzcan el impacto ambiental y aumenten el valor retenido dentro del ciclo productivo. Para ello, se desarrollarán tecnologías y soluciones aplicadas para la recuperación y reutilización de aguas industriales, la valorización de residuos mineros y subproductos, la incorporación de materiales reciclados en procesos extractivos, y el diseño de productos energéticos con menor huella ambiental.

El componente promoverá investigación aplicada en herramientas como el análisis de ciclo de vida (LCA), el ecodiseño de procesos y productos, la remanufactura de componentes industriales, y el reciclaje de minerales críticos desde baterías, equipos electrónicos y relaves. Estas acciones contribuirán a consolidar una minería y energía más sostenibles y alineadas con exigencias internacionales, como las directrices de economía circular de la Unión Europea, los criterios ESG (*Environmental, Social and Governance*) y los compromisos globales de descarbonización.

El Hub actuará como plataforma articuladora de soluciones tecnológicas con impacto ambiental positivo, que equilibren productividad y responsabilidad ecológica, facilitando la

transición hacia industrias más resilientes, reputacionalmente robustas y competitivas en mercados internacionales exigentes.

D) Energía del futuro y descarbonización productiva.

Este componente se enfoca en el desarrollo, adaptación y transferencia de tecnologías limpias para la transición energética de la minería y otras industrias intensivas en carbono. Su propósito es habilitar un modelo productivo bajo en emisiones, resiliente al cambio climático y alineado con las metas de carbono neutralidad del país. Las líneas prioritarias de trabajo incluirán la integración de fuentes renovables variables como energía solar y eólica en operaciones industriales, el desarrollo de sistemas de almacenamiento energético avanzados (baterías, hidrógeno verde), y la implementación de redes eléctricas inteligentes (*smart grids*) para una gestión eficiente y flexible de la demanda.

Asimismo, el componente promoverá soluciones para la electrificación de maquinaria pesada, el uso de combustibles verdes (como *e-fuels* o amoníaco verde), y tecnologías de recuperación energética desde residuos industriales o térmicos, particularmente relevantes para faenas aisladas o de difícil conexión a redes. También se impulsarán sistemas híbridos de energía para zonas remotas, combinando fuentes renovables, almacenamiento y control digital, como alternativa sustentable a la generación diésel.

El objetivo final es avanzar hacia una producción climáticamente neutra, con una matriz energética más limpia, estable y descentralizada, que reduzca la huella ambiental del sector y permita a Chile liderar regionalmente la transición energética aplicada a contextos industriales reales.

E) Plataforma de Transferencia Tecnológica e Innovación Abierta

Este componente, de carácter transversal, tiene como objetivo acelerar la transferencia tecnológica desde el conocimiento generado en universidades y centros de investigación hacia soluciones concretas implementadas en la industria minera y energética. Para ello, se desarrollará una plataforma nacional especializada en articulación público-privada, con mecanismos efectivos de licenciamiento, propiedad intelectual compartida, escalamiento industrial, formación de *spin-offs* y emprendimientos tecnológicos.

La plataforma fomentará modelos de innovación abierta, como laboratorios vivos (*living labs*) con empresas, pilotos en condiciones reales de operación, y espacios de co-creación tecnológica entre investigadores, proveedores, startups y usuarios finales. También, se promoverán rondas de innovación orientadas a resolver desafíos tecnológicos prioritarios para el país, así como redes de mentores y validadores técnicos que faciliten la adopción industrial de nuevas soluciones.

Adicionalmente, este componente impulsará instrumentos de financiamiento compartido, sistemas de co-inversión entre Estado e industria, marcos contractuales flexibles, y acuerdos de colaboración que reduzcan las barreras jurídicas, culturales o institucionales que hoy dificultan la adopción tecnológica en sectores industriales tradicionales. El objetivo es transformar el conocimiento en impacto productivo, reduciendo el ciclo entre investigación, validación, adopción y expansión comercial de tecnologías de alto valor estratégico.

6 | Resultados e impacto esperado

Entre 2026 y 2027, se establecen las bases institucionales y operativas del Hub. Comienzan los primeros pilotos tecnológicos en faenas reales con sensores, automatización y modelos de IA en entorno controlado. Se lanza la plataforma nacional de transferencia tecnológica, con al menos un laboratorio vivo y acuerdos de colaboración activos. Se definen instrumentos de financiamiento conjunto y marcos de gobernanza. Se inicia formación de talento especializado y diagnóstico de necesidades en economía circular y descarbonización industrial.

Durante el año 2028, los sistemas digitales y modelos predictivos desarrollados por el Hub alcanzan validación operativa y son adoptados por empresas piloto. Se integran nuevas tecnologías en al menos tres procesos productivos distintos. Inicia el escalamiento territorial con plantas piloto de recuperación y remanufactura, y se ejecutan proyectos híbridos de energía en zonas aisladas. El ecosistema de innovación abierta se activa con múltiples pilotos, contratos de licenciamiento y primeros emprendimientos tecnológicos en fase de escalamiento.

Entre 2029 y 2030, el Hub opera como red nacional integrada, con centros especializados activos en al menos tres regiones del país. Se institucionaliza la plataforma de transferencia con participación estable de universidades, centros y empresas. Tecnologías desarrolladas por el Hub son adoptadas en procesos industriales críticos, incluyendo IA, automatización, economía circular y almacenamiento energético. Al menos cinco *spin-offs* o soluciones licenciadas escalan comercialmente. Chile es reconocido como referente regional en innovación tecnológica aplicada a minería y energía sostenible.

7 | Desafíos

Aunque Chile cuenta con capacidades científicas y académicas de alta calidad en minería, energía y medio ambiente, estas permanecen fragmentadas, sin una estrategia nacional que articule la investigación aplicada con las necesidades tecnológicas de los sectores productivos. El país invierte menos del 0.4% de su PIB en I+D, muy por debajo del promedio de la OCDE, y carece de mecanismos institucionalizados de transferencia tecnológica, licenciamiento de innovaciones y escalamiento de soluciones desde universidades hacia empresas o servicios públicos. La desconexión entre ciencia e industria limita la generación de tecnologías propias en áreas estratégicas como automatización de faenas, eficiencia energética, remanufactura de minerales críticos o monitoreo ambiental avanzado, profundizando la dependencia tecnológica externa y reduciendo la competitividad de Chile en la transición energética global.

Además, no existe hoy una gobernanza consolidada para coordinar centros de investigación, hubs tecnológicos, empresas proveedoras, usuarios industriales y servicios públicos bajo desafíos compartidos de innovación en minería y energía. La falta de infraestructura especializada para pruebas de tecnologías (laboratorios de prototipado, *living labs industriales*) y la escasez de instrumentos de financiamiento para proyectos de alto riesgo tecnológico frenan la posibilidad de crear un ecosistema robusto de innovación aplicada. En un mundo que avanza hacia cadenas de suministro inteligentes, minería automatizada y producción energética descarbonizada, Chile arriesga quedar rezagado si no construye una base tecnológica propia que acompañe sus ventajas comparativas naturales en minerales y energías limpias.

Un referente relevante en el ecosistema nacional es el Instituto de Tecnologías Limpias (ITL), impulsado por CORFO y con base en la Región de Antofagasta, cuya misión es desarrollar investigación y transferencia tecnológica en minería sustentable, impulso al hidrógeno verde, energía solar y procesos químicos limpios, con énfasis en el aprovechamiento del litio y otros minerales críticos para la transición energética. La existencia del ITL representa una oportunidad de sinergia significativa para el Hub Tecnológico-Académico propuesto, en tanto ambas iniciativas buscan fortalecer la innovación aplicada y la sostenibilidad en minería y energía. Sin embargo, lejos de duplicar esfuerzos, el Hub se propone como una arquitectura de alcance nacional y latinoamericano, articulando y expandiendo las capacidades del ITL a través de la integración de temas como automatización avanzada, inteligencia artificial, digitalización, economía circular más allá del litio e integración operativa de soluciones en entornos mineros/energéticos diversos, además de la creación de una plataforma nacional de transferencia tecnológica y el desarrollo de pilotos regionales distribuidos. Así, ambas iniciativas pueden complementarse mutuamente: el ITL aportando su especialización y masa crítica en tecnologías limpias, mientras que el Hub facilita la coordinación, escalamiento y transferencia sistemática de innovaciones hacia una red nacional multisectorial, evitando la fragmentación y potenciando el liderazgo tecnológico de Chile a nivel regional.

8 | Proyecciones

La creación de un Hub Tecnológico-Académico para Minería y Energía representa una oportunidad estratégica para transformar el modelo productivo chileno, desde la extracción de recursos hacia la generación y exportación de conocimiento aplicado. En un contexto de acelerada transición energética global y creciente exigencia ambiental, el desarrollo de capacidades tecnológicas propias es fundamental para mantener la competitividad del país, mejorar su soberanía tecnológica y reducir su dependencia de soluciones importadas.

El Hub no se concibe como una iniciativa aislada, sino como una arquitectura nacional integrada, capaz de articular ciencia, industria y Estado en torno a desafíos reales de productividad, sostenibilidad y digitalización. Sus cinco componentes –automatización, inteligencia artificial, economía circular, descarbonización y transferencia tecnológica– actúan de forma sinérgica para generar soluciones concretas, escalables y alineadas con los más altos estándares internacionales.

Con una hoja de ruta gradual hacia 2030, metas medibles, talento especializado en formación y una plataforma de colaboración público-privada, el Hub tiene la capacidad de consolidar a Chile como referente latinoamericano en tecnologías aplicadas a minería y energía sustentable. Más que un programa de investigación, este instrumento busca cimentar una nueva etapa de desarrollo para el país: una etapa donde el valor no se extrae, sino que se diseña, se prueba, se valida y se exporta.

Bibliografía

SERC Chile. Disponible en: <https://www.sercchile.cl/>

Advanced Mining Technology Center. AMTC. Disponible en: <https://www.amtc.cl/>

MINCIENCIA, *Encuesta 2022 de I+D del MinCiencia y el INE: Gasto total en I+D sube de 0,36 a 0,39% del PIB*. <https://minciencia.gob.cl/noticias/encuesta-2022-de-id-del-minciencia-y-el-ine-gasto-total-en-id-subde-036-a-039-del-pib/>

OCDE, 2016. Revisiones de desempeño ambiental. Chile. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/81773534-351c-4e0d-81b1-36f4543714c8/content>