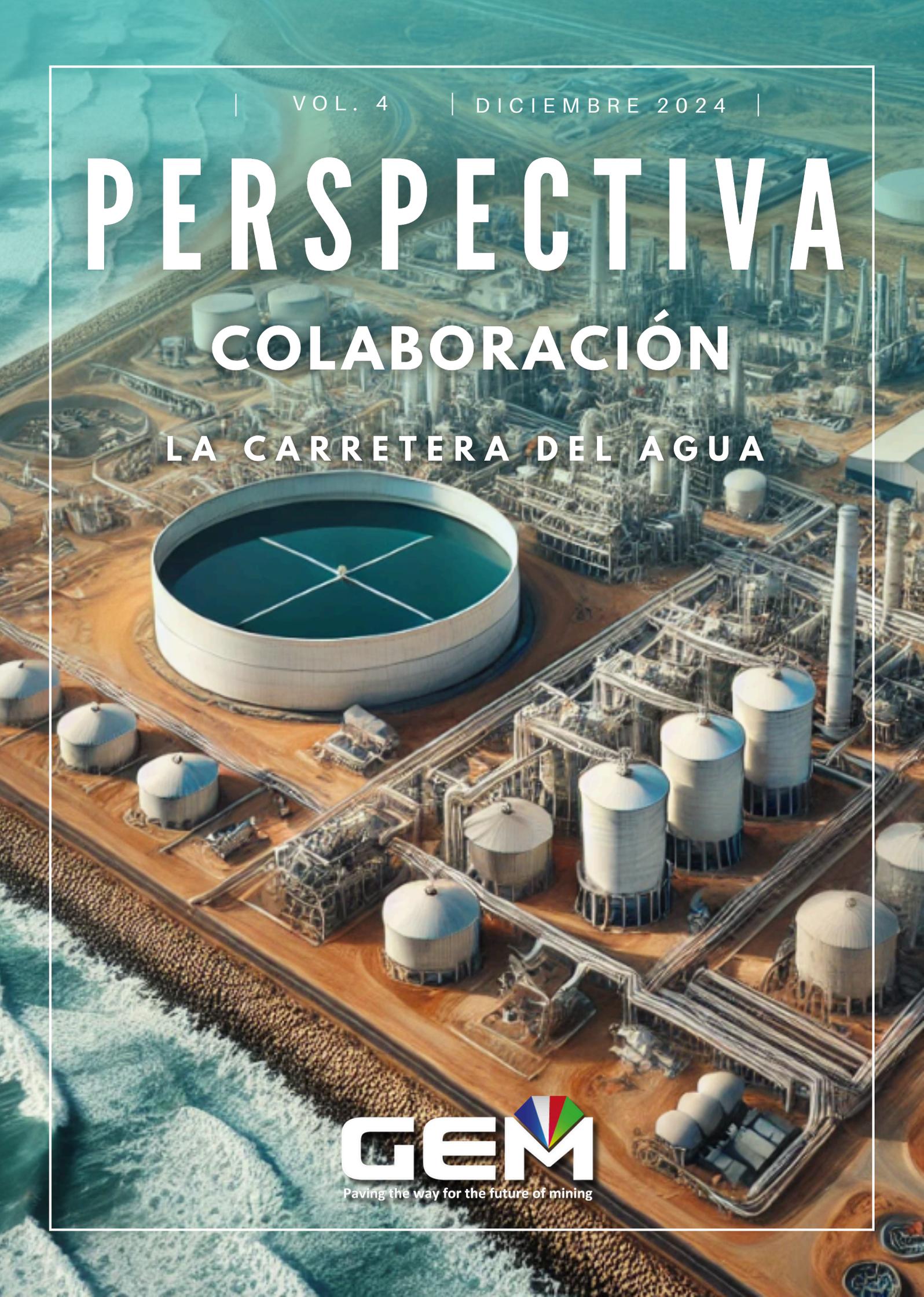


| VOL. 4 | DICIEMBRE 2024 |

PERSPECTIVA

COLABORACIÓN

LA CARRETERA DEL AGUA



GEM
Paving the way for the future of mining

ÍNDICE

Sobre GEM.....	3
Editorial.....	4
Introducción.....	5
Antecedentes.....	6
Conclusiones.....	15
Bibliografía.....	16
Contacto.....	17



SOBRE GEM

Somos una empresa de Ingeniería Industrial especializada en brindar apoyo a la industria minera en asuntos relacionados con gestión y economía. Nuestra experiencia abarca diversos campos, mientras desarrollamos las herramientas más avanzadas aplicadas en el ámbito minero. Con más de 15 años de experiencia y la exitosa implementación de más de 400 proyectos a nivel mundial, nos destacamos por nuestra sólida trayectoria y compromiso con la excelencia en el sector.

MISIÓN

Somos una empresa proveedora de productos y servicios de ingeniería industrial que permiten habilitar el camino para la minería del futuro, a la vez que maximizan el valor del negocio de nuestros clientes. En GEM estamos comprometidos a convertirnos en un faro para la industria minera mundial.

Nuestro núcleo destaca las principales áreas de servicio de GEM, las cuáles incluyen:

Análítica: Uso de herramientas analíticas avanzadas como aprendizaje automático y análisis estadístico.

Capacitación: Provisión de entrenamiento en temas complejos adaptados a casos específicos de minería.

Economía: Generación de estudios de economía mineral, análisis de mercado y análisis econométrico.

Evaluación de Riesgos: Identificación y cuantificación de riesgos con simulaciones Monte Carlo para evaluar su impacto.

Estrategia: Apoyo en la toma de decisiones estratégicas para maximizar el valor empresarial.

Optimización: Utilización de herramientas y lenguajes de programación para encontrar soluciones óptimas.

Además, la imagen central muestra el compromiso de GEM con la minería del futuro, abordando áreas como el cambio climático, la colaboración, la evaluación del impacto social, la naturaleza, la minería submarina y la lixiviación in-situ.



EDITORIAL

En la actualidad, la industria minera enfrenta desafíos cada vez más complejos, desde el agotamiento de los recursos minerales de alta ley hasta la presión por minimizar el impacto ambiental y social de sus operaciones. La producción de minerales para sustentar a una economía que requiere bajos niveles de emisión de contaminantes añade una capa adicional de exigencias. Sin embargo, estas dificultades también representan una oportunidad única para innovar en el modelo de negocio minero, lo que podría generar ahorros significativos en los costos de adaptación a las normativas.

Es ante el nuevo marco de exigencias que la colaboración en la industria minera surge como una necesidad fundamental para afrontar estos retos de forma efectiva. Desde la innovación tecnológica y el desarrollo de prácticas sostenibles, hasta el cumplimiento de estándares internacionales y la obtención de licencias sociales para operar, trabajar en conjunto permite compartir conocimientos, reducir costos y acelerar los procesos necesarios para alcanzar los objetivos comunes de sostenibilidad y rentabilidad. La colaboración puede ser beneficiosa a lo largo de toda la cadena de valor en la minería, desde la mitigación de riesgos asociados con la exploración de nuevos yacimientos, hasta la mejora de la eficiencia en la gestión de recursos, lo que facilita la reducción del impacto ambiental.

En el presente Perspectiva, mostramos ejemplos de alianzas en la industria minera que han logrado avances importantes en innovación y sostenibilidad, así como también desarrollamos un ejemplo práctico para cuantificar los beneficios económicos de la colaboración en minería, en específico, en la construcción de plantas desaladoras de agua de mar. Estos casos nos demuestran que la colaboración es el camino a seguir para enfrentar los desafíos del siglo XXI, desde el acceso a nuevos mercados hasta la implementación de prácticas de minería responsable.



En GEM, estamos comprometidos con pavimentar el camino hacia la minería del futuro. Creemos que la colaboración es fundamental para resolver los desafíos de la minería en cuanto al uso de recursos naturales, especialmente en lo relativo al consumo de agua.

Por ello, estamos desarrollando las capacidades necesarias para apoyar a la industria a concretar sustentablemente este desafío, en lo económico, ambiental y social.

INTRODUCCIÓN

Existen innumerables iniciativas que buscan recalcar la importancia y potencialidad de la industria para promover encadenamientos productivos virtuosos, que permitan agregar valor a la matriz productiva y exportadora chilena de una manera más tecnologicada. Además, hay varios estudios que abarcan los diferentes métodos para fomentar la industria minera de forma más sustentable y competitiva (Cabrera, 2023).

Entre la infinidad de materias, se encuentran los *clusters* y los elementos de políticas públicas que pueden fomentar el desarrollo de la industria minera. En este sentido, el término *cluster* más citado es: **concentraciones geográficas de empresas interconectadas, proveedores especializados, prestadores de servicios, empresas de sectores relacionados e instituciones asociadas (por ejemplo, universidades, organismos de normalización y asociaciones comerciales) en campos concretos que compiten, pero también colaboran** (Porter, 1998).

La proximidad geográfica en los *clusters* facilita la difusión del conocimiento y favorece el desarrollo tecnológico, impulsando una industria virtuosa, que genera crecimiento y beneficios económicos, no solamente dentro del sector privado sino también en el público (Cabrera, 2023).

La colaboración en la minería se refiere a la cooperación y asociación entre diferentes actores involucrados de la industria minera con el objetivo de alcanzar beneficios mutuos y promover la sostenibilidad del sector. Estos actores pueden incluir empresas mineras, gobiernos, comunidades locales y organizaciones no gubernamentales (ONGs). La colaboración en minería puede manifestarse en diversas formas, tales como proyectos conjuntos, alianzas estratégicas, iniciativas comunitarias y programas de desarrollo sostenible (ICMM, 2024).

La minería en Chile juega un papel clave en el crecimiento económico regional y en la transición hacia energías más limpias a nivel global. El desarrollo sostenible del país depende de que el sector minero optimice su competitividad a través de la adopción de procesos más respetuosos con el medio ambiente, que además fomenten el progreso de las comunidades locales (Gobierno Regional Antofagasta & CORE, 2024).



ANTECEDENTES

Antofagasta es la principal región minera de Chile, y se proyecta que seguirá liderando la producción de cobre, con un aporte esperado del 51,6% de la producción nacional hacia 2034. Además, se espera que la región contribuya con un 17,6% de su oferta productiva total en cobre fino, equivalente a 583 mil toneladas en ese mismo año (Cochilco, 2023). Ocupa el segundo lugar en la producción de litio, lo que le otorga una relevancia estratégica tanto para la transición hacia energías limpias como para su propio desarrollo económico (OCDE, 2023). En 2022 su producción en la región fue superior a las 200 [kt LCE]. El sector minero de la región ha sido clave en el impulso del crecimiento económico, representando el 72% del PIB regional y el 39,4% de las exportaciones totales del país. El PIB per cápita de la región es el más alto del país y casi duplica la media de las 50 regiones mineras de la OCDE (OCDE, 2023). La región cuenta con empresas mineras de nivel internacional, una extensa red de proveedores y un ecosistema productivo organizado dentro de la entidad *Cluster* Minero (Gobierno Regional Antofagasta & CORE, 2024).

El año 2009 la CORFO (Corporación de Fomento de la Producción) creó el Programa *Cluster* Minero en Antofagasta, de los primeros esfuerzos formales para crear una red de colaboración, por lo que esta región se convirtió en el epicentro de esta iniciativa (CORFO, 2019).

En 2016 comenzó el Programa Estratégico Regional (PER) *Cluster* Minero de Antofagasta, conformada por un directorio como una entidad sin fines de lucro que buscó potenciar la construcción de valor social y la sostenibilidad desde el entorno más directo de las operaciones (CORFO, 2020).





Actualmente en Chile la colaboración no es un foco central en el sector minero, lo que puede influir en la competitividad del país. La competitividad en la minería está vinculada con la capacidad de innovar, optimizar procesos, reducir costos y cada vez más, con el cumplimiento de normativas ambientales. Chile enfrenta desafíos por factores como la escasez de agua, el aumento de los costos energéticos y las exigencias de sostenibilidad, presionando a la industria minera. Los países que fomentan la colaboración y la adopción de tecnologías avanzadas como Australia, han logrado mantener y aumentar su competitividad en el mercado global, formando *clusters* mineros y alianzas público-privadas que aceleran la adopción de tecnologías sostenibles, como el uso de hidrógeno verde y sistemas avanzados de automatización.

La industria minera del país se presenta como un escenario propicio para la colaboración estratégica debido al fuerte *cluster* que posee. La política de *cluster* en minería es una herramienta de gestión clave para resolver fallas del mercado, levantar y apalancar recursos, acceder a nuevos mercados y conectarse con compañías de mayor tamaño.

La iniciativa más reciente es el impulso del Gobierno Regional y el Consejo Regional de Antofagasta, en la creación de la Estrategia Minera Regional (EMRA 2030-2050) para asegurar que todas las iniciativas y actividades mineras se alineen con los objetivos más amplios de desarrollo sostenible y planificación territorial.

La EMRA propone alcanzar un mayor bienestar para la región construido sobre la base de un sector minero competitivo y ambientalmente responsable. Se construyó sobre la base de las principales evaluaciones y recomendaciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), contenidas en el "Estudio de Caso de Regiones y Ciudades mineras de la OCDE: Región de Antofagasta, Chile" (2023). La implementación de esta estrategia espera garantizar una mayor participación de las comunidades y de los pueblos indígenas en la gobernanza de los recursos minerales de la región.

De las estrategias a corto plazo (2023-2030) se incluye: "mejorar la colaboración entre la gran, mediana y pequeña minería". En cambio, una estrategia para mediano y largo plazo (2023-2050) es: "facilitar la colaboración entre las compañías mineras, el sector público en materia de logística e infraestructura, con énfasis en la conectividad vial y de telecomunicaciones, suministro de agua potable y electricidad en toda la región" (Gobierno Regional Antofagasta & CORE, 2024).

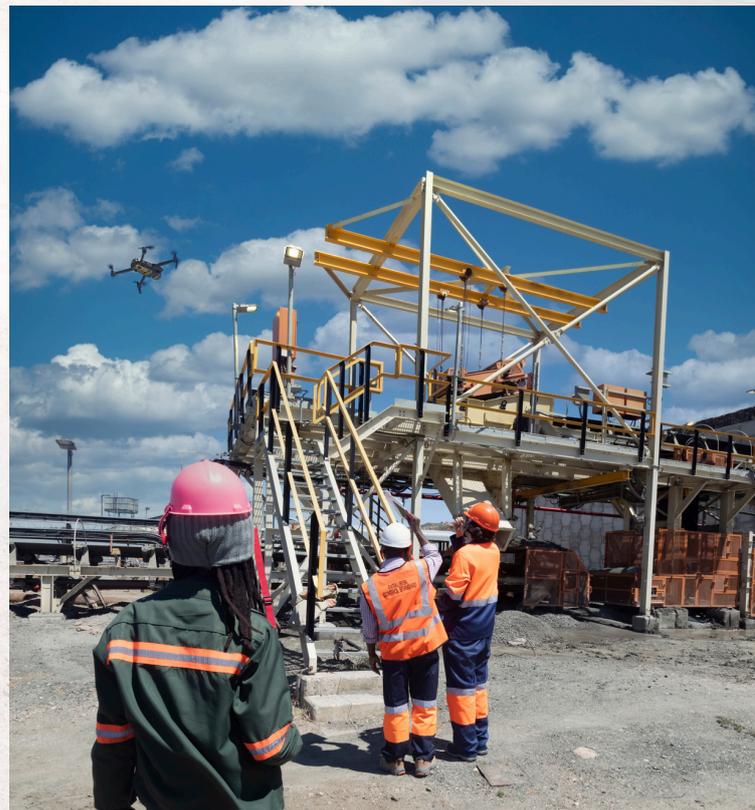


FIGURA 1 ANÁLISIS FODA



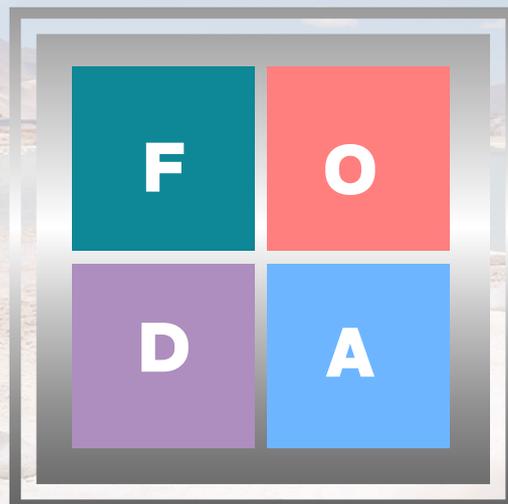
FORTALEZAS

- Reducir costos de infraestructura es crucial en áreas como caminos, procesamiento, comunicaciones, capacitaciones, agua, energía, proyectos conjuntos, puertos, transporte, logística y seguros.
- La colaboración entre empresas mineras en gestión de residuos, energía, I+D, emisiones, proveedores y planes sociales optimizaría recursos, mejoraría la eficiencia operativa y reduciría costos.
- La colaboración entre empleados corporativos permite compartir información entre sí y trabajar juntos en proyectos o realizarlos en conjunto.
- La colaboración permite ampliar capacidades, generar nuevas ideas, agregar aptitudes, aportar valor, mantener la competitividad y adelantarse en sectores emergentes.
- Existe la oportunidad de internacionalizar las empresas nacionales a través de proyectos en el extranjero, buscando complementar recursos, expandir mercados, investigar, diversificar riesgos, fortalecer la marca y compartir conocimientos.



OPORTUNIDADES

- El *cluster* minero es una fortaleza clave que permite la concentración de empresas relacionadas en una misma área geográfica.
- Chile es el mayor productor de cobre a nivel mundial con más de 5 millones de toneladas anuales.
- La minería en Chile contribuye con cerca del 15% del PIB y representa aproximadamente el 60% de las exportaciones del país.
- Algunas regiones, como Antofagasta, dependen fuertemente de la minería y funcionan prácticamente como *clusters* mineros.
- Santiago se ha consolidado como la ciudad con más start-ups mineras a nivel mundial.
- En Chile operan más de 8.000 empresas proveedoras de servicios para la minería.
- Chile tiene la mayor cantidad de recursos clave para la electromovilidad y se proyectan inversiones por más de 100.000 [MUS\$] en el sector minero.



DEBILIDADES

- El riesgo de confundir la colaboración genuina con prácticas anticompetitivas, como la colusión o formación de un "cartel", puede afectar la confianza entre empresas y con las comunidades locales, dificultando los esfuerzos colaborativos y la creación de valor compartido, además de comprometer la licencia social para operar.
- Sin una estrategia de comunicación adecuada, la colaboración puede malinterpretarse como colusión, desviando el enfoque de satisfacer a los grupos de interés. La colusión implica acuerdos entre competidores para fijar precios, limitar producción, dividir mercados o afectar licitaciones, y conlleva penas de prisión de 3 a 10 años, además de inhabilitación para ejercer cargos de dirección o gerencia (BCN, 2021).



AMENAZAS

- La arraigada cultura de industrias independientes puede obstaculizar la plena integración.
- La falta de comunicación y confianza entre las empresas dificulta el intercambio de información, conocimientos y experiencias, limitando la productividad, innovación y competitividad del sector.
- La resistencia al cambio y a la adaptación a nuevas tecnologías y tendencias impide aprovechar las oportunidades de crecimiento.
- La baja participación en redes y alianzas estratégicas con actores del ecosistema minero limita el acceso a recursos, financiamiento, asesoría y apoyo.

Fuente: GEM elaboración propia

En Australia, se han desarrollado estrategias que fomentan la innovación, la competitividad y la sostenibilidad en el sector minero, promoviendo la colaboración entre diversos actores y buscando aprovechar las oportunidades emergentes. Las empresas mineras australianas comienzan a internacionalizarse en los noventa manteniendo los proveedores locales, lo que permitió que los Servicios Tecnológicos Mineros (hoy METS) llegaran a otros países. Además, la diversidad mineral del país fomentó la innovación y el intercambio de información al enfrentar distintos desafíos en diversos tipos de minería. Había necesidad de afrontar periodos posteriores a los “super ciclos” (Cabrera, 2023).

Australia tiene colaboraciones público-privadas como por ejemplo CRC y CSIRO, que son centros de I+D promovidos por el Estado, los cuales poseen un apoyo generalmente económico por parte de las mineras para solucionar los problemas de la industria. AUSTMINE y AUSTRADE son programas privados con apoyo público que fomentan y promueven las METS tanto local como internacionalmente. Además, realizan programas, licitaciones y concursos para facilitar la vinculación y la relación entre minera-proveedor (Cabrera, 2023).

Las tres principales consecuencias del crecimiento de los METS australianos y el fortalecimiento del *cluster* es que cerca de 1.500 empresas tienen ganancias totales de 90.000 [US\$] en el 2012. Un 66% de las empresas de METS exportan al extranjero (2015), de las cuales más de un 47% exporta más de un 10% de sus ventas (2012). El 78% de los proveedores de las METS son nacionales y el 79% tiene actividades fuera del sector minero (Hernández, 2015).

Chile, a diferencia de Australia, se encuentra en una fase más temprana en el desarrollo de su ecosistema pese a haber avanzado en los últimos años hacia su consolidación. Sus objetivos se han centrado principalmente en el largo plazo, orientados a abordar futuros de la industria minera (Labó, 2022).

Se han aplicado diversas estrategias, políticas y programas para el desarrollo de la industria minera. La recopilación podría remontarse a la creación de ENAMI en 1960 o el Servicio Nacional de Geología en 1970, sin embargo, entre las más recientes y con un objeto de mayor desarrollo tecnológico, se puede mencionar por ejemplo cuando Codelco y BHP Billiton establecieron en 2010 el PPCM (Programa Proveedores de Clase Mundial) al que se sumó Antofagasta Minerals en 2014.

El objetivo de este programa pensado a largo plazo que tenía a Australia como ejemplo, fue contribuir al desarrollo regional, a la creación de empleo, innovación tecnológica en el país, y la diversificación exportadora, aprovechando los desafíos del sector minero. En la práctica, las empresas mineras más grandes lanzaban desafíos de la industria que requerían soluciones tecnológicas por parte de los proveedores, con el objetivo que estos se convirtieran posteriormente en proveedores que compitieran en los mercados internacionales, y de esta manera, se diversificara la matriz exportadora y además con mayor valor agregado.



Las predicciones efectuadas respecto del éxito del PPCM proyectaban que hacia el año 2035 habría 250 empresas proveedoras cuyo nivel de exportaciones alcanzaría US\$4.000 millones anuales (Fundación Chile, 2016).

Sin embargo, el año 2017 el programa fue reemplazado por la “Plataforma de Innovación Abierta” y su término fue según el presidente de la Fundación Chile en esa fecha, Patricio Meller, ya que el número de empresas potencialmente innovadoras, correspondían sólo al 3% del total. Por otra parte, dijo que fue una falla pensar que innovar era equivalente a exportar, teniendo el 30% del cobre mundial en Chile y pudiendo conquistar el mercado local (Minería Chilena, 2017). La experiencia durante años en la Unión Europea como en Norteamérica indican que el desarrollo de *clusters* se vincula con niveles más altos de prosperidad. Esto se refleja, por ejemplo, en un mayor PIB, salarios promedio más altos, crecimiento del empleo y un incremento en el desarrollo de patentes (Europe INNOVA y PRO INNO Europe, 2008; Porter, 2003) (Labó, 2022).



Proyecto Nueva Unión

Uno de los casos emblemáticos de colaboración en Chile es el del proyecto Nueva Unión, que surge de la fusión de Minera el Morro (GoldCorp) y Minera La Fortuna (Teck), ubicados en la provincia de Huasco, Región de Atacama. Es uno de los proyectos de cobre, oro y molibdeno sin desarrollar más grandes en América y el proyecto aurífero más grande de Chile. Se espera que en sus primeros 10 años produzca 190 mil toneladas de cobre y 315 mil onzas de oro. El propósito es extraer los minerales de cobre y oro de Minera La Fortuna (ubicada a 4.000 [msnm], comuna de Alto del Carmen) y las de cobre y molibdeno de Minera Relincho (a 2.000 [msnm], comuna de Vallenar) colaborando entre ellos, al transportar el mineral desde El Morro y procesarlo en la planta concentradora de Teck (Ej Atlas, 2022).

Estudio de plantas de agua de mar

Chile es un país rico en agua al comparar la disponibilidad per cápita nacional con el promedio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). No obstante, diversos factores climáticos, normativos y de gestión generan desafíos en ciertos sectores. Un claro ejemplo es la zona centro-norte, que enfrenta una grave crisis hídrica (OCDE, 2018). Este problema afecta de manera desproporcionada a los grupos en situación de pobreza y a las zonas rurales, donde la infraestructura hídrica es más deficiente (PUC, 2019) (Naciones Unidas Chile, 2021).

Ante este escenario, el presente estudio realizado por GEM explora proyectos de colaboración centrados en el desarrollo de plantas de aguamar bajo un modelo de *cluster*, con el objetivo de optimizar el uso de acueductos en estas plantas y contribuir a la sostenibilidad hídrica del país.

A nivel de impacto ambiental, se destaca la disminución en infraestructura requerida para la alimentación a las operaciones mineras. Con colaboración, se podría reducir en hasta un 41% el largo total de acueductos construidos, utilizando un tercio de las plantas desaladoras que se construirían sin colaboración. Esto significa una alteración de un 41% menos en el ecosistema (bosque y desierto). La mayor parte de los acuíferos se encuentran sobre explotados en Chile debido a la inexistencia de modelos hidrogeológicos operacionales que ayuden a racionalizar la gestión de las aguas subterráneas (Apey et al., 2017). Los impactos ambientales más relevantes de las plantas desaladoras están vinculados con las emisiones de CO₂ y el efecto de la salmuera sobre las características físico-químicas de los ecosistemas receptores, especialmente el incremento de la salinidad y temperatura. Asimismo, la captación de agua marina para la desalación también implica la succión de organismos planctónicos, huevos de peces, larvas, entre otros, que resultan dañados o eliminados al atravesar el sistema de aspiración (BCN, 2021).

La colaboración en la construcción de una planta desaladora es importante desde un punto de vista estratégico, ya que no solo ayuda a disminuir costos operacionales, sino que también genera beneficios a nivel ambiental y de sostenibilidad. Además, la colaboración permite el cumplimiento más eficiente de normativas ambientales y promueve la innovación en tecnologías de mitigación de impactos, lo que contribuye a mejorar la viabilidad económica y ambiental del proyecto a largo plazo.

De acuerdo a la normativa ambiental aplicable en torno a la construcción de plantas desaladoras se debe tener en cuenta las medidas de mitigación, reparación y compensación. El plan deberá contener para cada fase del proyecto o actividad la indicación del componente ambiental; el impacto ambiental asociado; el tipo de medida; nombre, objetivo, descripción y justificación de la medida correspondiente, considerando la adaptación al cambio climático; lugar, forma y oportunidad de implementación; y el indicador de cumplimiento (BCN, 2023).

1. Explicación del Modelo de Clusters en estudio de plantas de agua de mar

Para explicar este modelo con sus supuestos, en las bases se consideraron todas las plantas y minas de cobre que actualmente se encuentran en operación. En cambio, se excluyeron del modelo aquellas operaciones que poseen plantas de aguamar construidas y sin un proyecto de expansión.

Se obtuvo, por lo tanto, una base con 41 operaciones de cobre y se consideraron potenciales plantas desaladoras donde podría o no haber colaboración. Por lo tanto, se asumió que cada proyecto necesitaría de una desaladora o planta de agua dando un total de 39 desaladoras, considerando que actualmente hay tres proyectos que están evaluando compartir una planta de agua de mar. Es importante destacar que, actualmente solo existen 8 de los 39 proyectos en carpeta de acuerdo con lo reportado por Cochilco en 2024. Cabe destacar que en este estudio se consideraron, para efectos de simplificación, líneas rectas para calcular las distancias entre la planta de succión en el mar y la operación y no consideró la factibilidad de permisos ambientales.

De acuerdo con la estimación de consumo de agua, para las operaciones de cobre que poseen un proyecto de agua de mar en carpeta, se asumió que la capacidad de estos proyectos corresponde al consumo total de la operación.

Para las otras operaciones, se estimó el consumo de agua a partir de "Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2018-2029" (Comisión Chilena del Cobre, 2018). Se asume que una operación de concentrado de cobre consume 80,42 [m³/t], mientras que una operación de lixiviación consume 41,63 [m³/t].

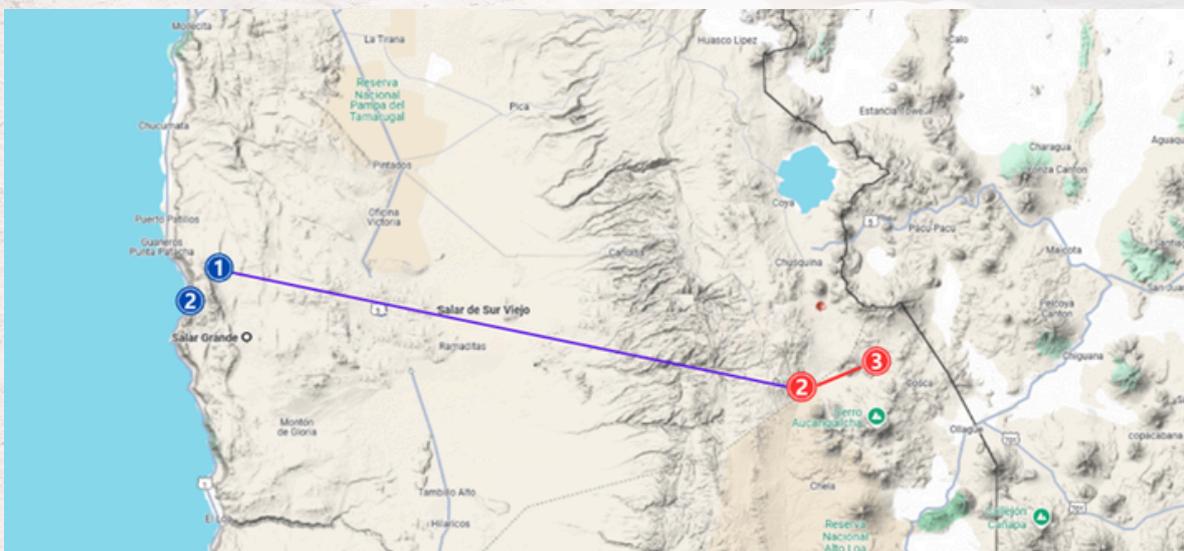
Para el modelo de clusters, se formuló un problema de optimización con variables y parámetros que permitieron calcular el costo total del sistema, así como la capacidad requerida para cada planta desaladora.

2. Metodología de resolución

El modelo numérico desarrollado por GEM optimizó el costo total de inversión producto de instalación de plantas desaladoras. Para este efecto, se consideró tanto la capacidad de las plantas como el largo total de acueductos necesarios a construir para suplir el consumo de las operaciones mineras. Dentro de la optimización, las variables a modificar corresponden a binarias de activación que indican si es necesario construir o no un ducto entre distintas entidades.

Así, se consideraron dos tipos de variables de control: relación desaladora-minera, relación minera-minera. Esta relación se refiere a la vinculación directa entre infraestructuras mediante acueductos. La primera relación corresponde a la alimentación directa de una planta desaladora y la segunda relación representa el flujo de agua de una minera hacia otra minera, lo que dentro del modelo se representa como un acto de colaboración.

FIGURA 3 MAPA QUE INCLUYE LOS DOS TIPOS DE VARIABLES



Fuente: GEM elaboración propia

La **Figura 3** muestra en azul las plantas desaladoras y en rojo las operaciones mineras. Estas dos mineras están muy cerca de la cordillera, pero el agua de desaladoras se extrae de la costa. Si cada minera por separado construyera una planta desaladora, habría dos acueductos que cruzan todo Chile. En cambio, si colaboraran, el agua iría de una planta de aguamar a una de las minas y desde ahí mediante un acueducto llevaría el agua a la otra.

A través del seguimiento que se hizo, el modelo calculó los costos en base al largo de los ductos y al consumo de agua de la planta y con eso se calculó cual es la inversión necesaria. Luego, el modelo comparó un escenario sin colaboración con un escenario con colaboración. Hablando en términos más matemáticos, el modelo minimizó el costo total de inversión para el país a nivel de las 41 operaciones de cobre que considera.

El modelo consideró esta optimización bajo ciertas restricciones. Las restricciones en particular tienen que ver con que una operación minera solo puede alimentar a otra operación si está recibiendo agua. Por otra parte, y la más importante, es que cada operación minera debe ser alimentada solo por una planta de agua de mar. Esto quiere decir, que, si una operación necesita mil litros de agua, no se va a permitir que haya dos plantas diferentes de 500 litros que en conjunto lleven el agua necesaria a la minera. El modelo limita este caso porque no es rentable. De 10 operaciones mineras, puede haber 5 plantas desaladoras. **Una planta desaladora puede abastecer a varias minas, pero una mina no puede ser abastecida por varias plantas desaladoras.**

Aunque existe una economía de escala que permite mayores beneficios para las comunidades al generar menos impacto con menos plantas, las operaciones más grandes pueden enfrentar mayores dificultades para obtener permisos ambientales. Sin embargo, esto ha ocurrido en casos particulares y, según la amplia experiencia minera, no suele ser un problema significativo. En la práctica, este supuesto no tiene consecuencias relevantes.

Además, se incorporaron restricciones técnicas para asegurar el cumplimiento del modelo, como la verificación del recorrido del agua para calcular costos y distancias, así como la longitud de los acueductos para evaluar el estado del modelo.

3. Resultados de *clusters*

El resultado del modelo de *clusters* permite demostrar que la colaboración disminuye el Valor Actual de Costos (VAC) en un 14% (2.856 [MUS\$]), considerando las 41 operaciones mineras del estudio. **Se estaría ahorrando un 19% de los costos de inversión y en un 7% los costos de operación.**

Se llegó al resultado de que, si se genera colaboración, entre las regiones de Coquimbo y de O'Higgins se podría producir lo que se llama **"la carretera del agua"**. Desde la región de Valparaíso, el agua podría ir hasta Rancagua, con una planta de agua de mar que alimentaría a 11 operaciones mineras. El modelo demuestra que es viable y que con la carretera del agua se podría conseguir un ahorro del 24% de los costos en las regiones donde toma lugar la carretera.

Los beneficios económicos, se producen por la disminución en la construcción de ductos de plantas, generando también un menor impacto ambiental y social. En cambio, no genera ahorros en el agua ya que la cantidad que se necesita se mantiene constante.



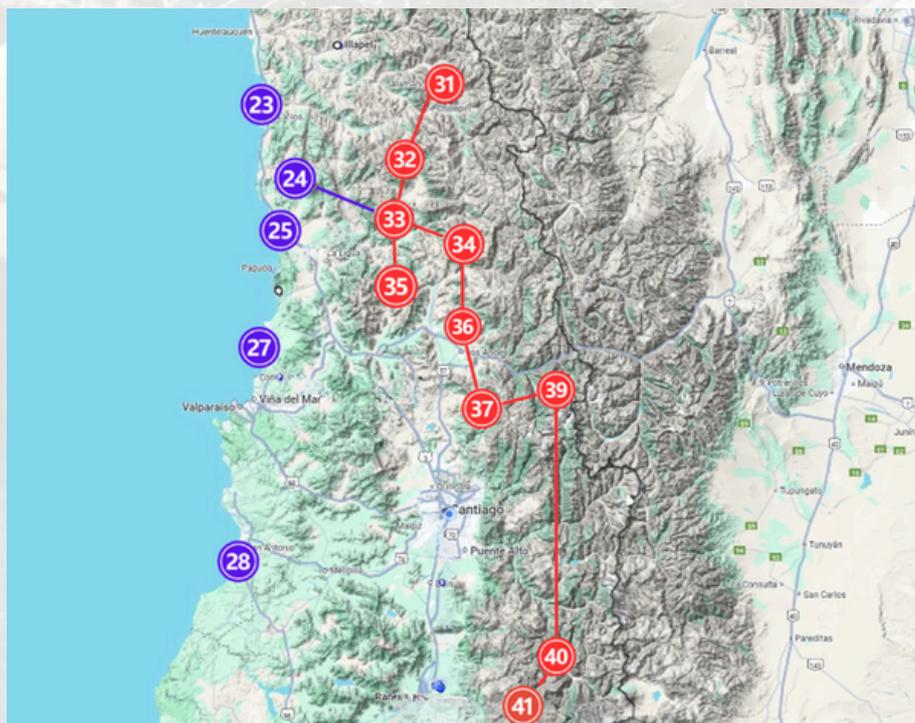
TABLE 1 CON MODELO KPI

MINA / PLANTA	CONSUMO [L/s]	CAPEX [MUS\$]	OPEX [US\$/m3]
31 Los Pelambres	765	523	2,29
32 Las Cenizas	20	98	1,52
33 La Patagua	5	56	1,36
34 Cerro Negro	35	117	1,66
35 El Soldado	108	107	1,45
36 Chagres	268	217	1,39
37 Las Tortolas	625	444	1,49
38 Los Bronces	735	566	2,32
39 Los Bronces	451	436	2,47
40 El Teniente	1.173	771	1,83
41 Valle Central	38	215	1,47
Caso base	4.223	3.522	1,97
Colaboración	4.223	2.666	1,74
Diferencia	0	856	0,23

✓ VAC sin colaboración: **6.101 [MUS\$]**
 ✓ VAC con colaboración: **4.943 [MUS\$]**
 ✓ Ahorro de **1.158 [MUS\$]**
 ✓ **19%** del caso sin colaboración

En la presente **tabla** se evidencia que, es más conveniente económicamente realizar un gran proyecto de agua de mar en lugar de que cada una de las 11 operaciones mineras realice su proyecto por separado. Esta integración permite alcanzar un ahorro en el Valor Actualizado Neto (VAN) de 1.158 [MUS\$], lo que representa una reducción del 19% en comparación con el caso base.

FIGURA 4 CLUSTER, LA CARRETERA DEL AGUA: COLABORACIÓN ENTRE 11 OPERACIONES PERMITE UN AHORRO DEL 19% DEL COSTO TOTAL A NIVEL NACIONAL (1.158 [MUS\$])



Fuente: GEM elaboración propia

CONCLUSIÓN

En el contexto de la creciente necesidad de optimizar el uso de los recursos hídricos en Chile, la colaboración entre empresas emerge como una estrategia clave para alcanzar una mayor sostenibilidad y competitividad en el sector minero. Este estudio demuestra que la cooperación entre 11 operaciones mineras puede generar sinergias que no solo optimizan la gestión del agua, sino que también permiten ahorros económicos significativos y la implementación de soluciones más eficientes. La creación de *clusters* productivos, que facilitan la transferencia de conocimientos y tecnologías, refuerza la importancia de las alianzas estratégicas en la industria minera chilena.

La colaboración entre los distintos actores, tal como lo sugieren estudios previos y el análisis presentado aquí, tiene el potencial de impulsar el desarrollo de la industria, promover la sostenibilidad, y contribuir al crecimiento económico del país. Al trabajar conjuntamente, el sector privado, las instituciones públicas y las comunidades pueden consolidar una minería más competitiva, tecnológica y respetuosa con el medio ambiente, beneficiando tanto a los actores involucrados como al país en su conjunto.

Esta colaboración, entonces, no solo es una oportunidad para mejorar la eficiencia en la gestión de recursos como el agua, sino también una vía para consolidar la posición de Chile como un referente global en minería sustentable. La implementación de estos proyectos colaborativos fortalecerá la capacidad del país para adaptarse a los desafíos del futuro, fomentando un crecimiento equilibrado y más equitativo que incorpore a todos los sectores de la sociedad.

Este estudio manifiesta la importancia de fomentar la colaboración entre empresas para optimizar recursos y avanzar hacia una minería del futuro. Queda claro que, en un contexto global donde otros países ya están adoptando tecnologías avanzadas y prácticas más sostenibles, Chile no puede quedarse atrás. Impulsar alianzas estratégicas e innovación es esencial para mantener la competitividad y asegurar que la industria minera siga siendo un pilar del desarrollo económico del país en los próximos años.



BIBLIOGRAFÍA

Apey, A., Ramírez, E., Gumucio, A., & Amunátegui, R. (2017). Agricultura chilena, reflexiones y desafíos al 2030, (1ra ed., pp. 147-178). ODEPA.

BCN. (2021). Colusión de Empresas. Disponible en: <https://www.bcn.cl/portal/leyfacil/recurso/colusion-de-empresas>.

BCN. (2021). Principales usos del agua desalada a nivel global y estrategias de mitigación de impactos ambientales del proceso de desalinización. Disponible en: [obtienearchivo \(bcn.cl\)](https://www.bcn.cl/portal/obtienearchivo)

BCN. (2024). Decreto 30 - MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Disponible en: [Ley Chile - Decreto 30 01-FEB-2024 MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE - Biblioteca del Congreso Nacional \(bcn.cl\)](https://www.bcn.cl/portal/leyfacil/recurso/decreto-30-01-feb-2024-ministerio-del-medio-ambiente)

Cabrera, F. (2023). ClustersMineros en Australia y Chile. Disponible en: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/34387/1/Informe_BCN_Clusters_productivos_en_la_mineria_Australia_y_Chile_FINAL.pdf.

Cochilco. (2024). Inversión en la Minería Chilena: Cartera de Proyectos.

COCHILCO. (2024), Proyección de la producción esperada de cobre 2023-2034. Disponible en: https://www.cochilco.cl/Proyeccion_produccion_cobre_2023_2034_vfinal2.pdf.

CORFO. (2019). Alianzas público privada, para el desarrollo servicios especializados en torno al negocio minero. Disponible en: https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/cluster_minero_antofagasta_corfo_0.pdf.

CORFO. (2020). De programa CORFO a Corporación: la nueva ruta del Clúster Minero de la Región de Antofagasta. Disponible en: https://www.corfo.cl/sites/cpp/sala_de_prensa/regional/27_10_2020_nueva_ruta_del_cluster_minero_en_antofagasta.

EjAtlas. (2022). Proyecto Nueva Unión en Vallenar, Chile. Disponible en: [EjAtlas](https://www.ejatlascorfo.cl)

Fundación Chile. (2016). Disponible en: (Fundación Chile; Roadmap Tecnológico 2015-2035, 2016) [az3514.pdf \(mecon.gob.ar\)](https://www.fundacionchile.cl/asset-upload/az3514.pdf).

Gobierno Regional Antofagasta, CORE. (2024) Estrategia Minera para el Bienestar de la Región de Antofagasta EMRA 2023-2050. Disponible en: <https://www.estrategiamineraantofagasta.cl/web/wp-content/uploads/2024/03/Documento-EMRA.pdf>.

Hernández, B. (2015). Mapeo de los Encadenamientos Productivos del Clúster Minero Australiano y Chileno. Universidad de Chile. Santiago

ICMM. (2024). Mining Principles. Disponible en: <https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/mining-principles/mining-principles.pdf?cb=83767>.

Labó, R. (2022) Gobernanza de los clústeres mineros los casos de Australia, Chile y Perú. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f1068bd4-a88c-43d0-96b0-0ec6e71dba1c/content>.

Minería Chilena. (2017). En Perspectiva, el programa de Proveedores de Clase Mundial se ve hoy bastante restringido". Disponible en: "En perspectiva, el programa de Proveedores de Clase Mundial se ve hoy bastante restringido" (mch.cl)

Naciones Unidas Chile. (2021). Escasez Hídrica en Chile: Desafíos Pendientes. Disponible en: https://chile.un.org/sites/default/files/2021-03/PB%20Recursos%20H%C3%ADricos_FINAL_17%20de%20marzo.pdf.

OCDE. (2023), Mining Regions and Cities in the Region of Antofagasta, Chile: Towards a Regional Mining Strategy, OECD Rural Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/336e2d2f-en>.

OCDE. (s.f.), Nominal Gross Domestic Product (GDP). Disponible en: <https://www.OECD.org/en/data/indicators/nominal-gross-domestic-product-gdp.html?OECDcontrol-d7f68dbeee-var3=2021>.

Porter, M. E. (1998). Clusters. Innovation, and Competitiveness: New Findings and Implications for Policy.



AUTORES



PABLO FAÚNDEZ
Ingeniero Especialista
pmfaundez@gem-mc.com



THOMAS MOLLER
Ingeniero Analista
tmoller@gem-mc.com

EDICIÓN

MERY-ANN GIESE
Jefa de Administración y
Marketing
magiese@gem-mc.com

JAVIERA ALEMPARTE
Encargada de Prensa y Comunicaciones
jalemparte@gem-mc.com

CONTACTO



FELIPE GUZMÁN
Chief Financial and Business
Development Officer
fguzman@gem-mc.com



ALINA KARPUNINA
Senior Business
Development Analyst
akarpunina@gem-mc.com



SEBASTIÁN FAÚNDEZ
Senior Business
Development Analyst
sfaundez@gem-mc.com

Chile: Las Condes 12.461,
torre 3, oficinas 805-806,
Las Condes, Santiago

Singapur: 1 Raffles Place #40-02 One
Raffles Place Singapore (048616)

<https://www.gem-mining-consulting.com>



Cualquier distribución, copia, duplicación, reproducción o venta no autorizada (total o parcial) del contenido de este documento, ya sea para uso personal o comercial, constituirá una infracción de derechos de autor. Cualquier forma de reproducción total o parcial de su contenido está estrictamente prohibida a menos que se solicite autorización expresa.