

# nme

Nueva Minería y Energía



## MINERÍA EN CHILE: DESTINO DE INVERSIÓN



## MINERÍA Y RECURSOS ESPACIALES: NUEVO CAMPO DE ACCIÓN

**Chile ha comenzado en forma incipiente el desarrollo tecnológico para el progreso de los recursos espaciales. Esta tendencia marca la pauta del camino a seguir y las oportunidades que esta nueva dimensión de la minería ofrece a las próximas generaciones de profesionales e investigadores.** *Por Marco Muñoz, presidente de la Comisión de Recursos Espaciales del IIMCh.*

**D**urante el mes de octubre de 2024, Chile adhirió al acuerdo Artemisa, liderado por la NASA, que busca consolidar la exploración y utilización pacífica del espacio, con futuras misiones a Marte y presencia de largo plazo en la Luna.

El programa Artemisa es una iniciativa que tiene como objetivo principal retornar a los seres humanos a la Luna y establecer una presencia sostenible en ella. Además, Artemisa contempla la construcción de una estación espacial en órbita lunar que permitirá llegar a Marte. La importancia que tiene para Chile sumarse a esta

iniciativa es que nuestro país podrá ser parte del diseño del proyecto y conocer su tecnología de punta, fortaleciendo sus capacidades científicas. Contribuirá además con su conocimiento en astrobiología, geología y minería en condiciones extremas, posicionándose como un actor relevante en la exploración espacial.

Por tal motivo, el Instituto de Ingenieros de Minas de Chile (IIMCh), conformó la Comisión de Recursos Espaciales y designó como presidente al ingeniero civil de minas, Marco Muñoz Morales, iniciando sus actividades con la colaboración de cuatro socios: Alexander Sutulov, Luis

## MINING AND SPACE RESOURCES: A NEW FRONTIER

Chile has initiated preliminary technological advancements to foster the development of space resources. This trend sets a precedent for future directions and highlights the opportunities that this emerging dimension of mining presents for upcoming generations of professionals and researchers.

By Marco Muñoz, President of the Space Resources Commission of the IIMCh.

In **October 2024, Chile joined the Artemis Accords**, spearheaded by NASA, which aim to consolidate peaceful exploration and utilization of space, with planned missions to Mars and a long-term presence on the Moon. The Artemis program seeks to return humans to the lunar surface and establish a sustainable presence, including the construction of a lunar-orbiting space station to facilitate Mars exploration. Chile's participation in this initiative is significant, enabling the nation to contribute to project design, access cutting-edge technology, and enhance its scientific capabilities. Leveraging expertise in astrobiology, geology, and extreme-condition mining, Chile is poised to become a key player in space exploration.

To this end, the Institute of Mining Engineers of Chile (IIMCh) established the **Space Resources Commission**, appointing **Marco Muñoz Morales**, a mining civil engineer, as its president. The commission commenced activities with contributions from four collaborators: **Alexander Sutulov, Lui Cortés, Javier Arrisueño, and Gonzalo Montes**. This collegiate team aims to advance various facets of the space resources discipline.

The Space Resources Commission's primary objective is to leverage mining expertise for the development of space resources in future lunar and Martian missions. Emphasis is placed on research and development (R&D) of technologies for innovative mining prospecting, including dry mining techniques, artificial intelligence, and satellite technologies for exploration, among other areas.

Cortés, Javier Arrisueño y Gonzalo Montes, quienes se integraron a esta comisión con el objeto de conformar un equipo colegiado y cuyo trabajo sea un aporte en los diferentes aspectos y tópicos que conforman la disciplina de recursos espaciales.

La función de la Comisión de Recursos Espaciales es poner en el centro al conocimiento minero para el desarrollo de recursos espaciales, en las futuras misiones a la Luna y/o Marte. En especial, el estudio de I+D vinculado con el desarrollo de tecnologías para prospectar minería de una nueva forma, con foco en promover nuevas investigaciones acerca del desarrollo minero en el espacio, como por ejemplo la minería seca, la utilización de inteligencia artificial y tecnología satelitales para la exploración, entre otras áreas.

### RECURSOS ESPACIALES Y USOS

La idea de utilizar recursos en el espacio para apoyar a los seres humanos en la exploración y asentamiento o para el desarrollo económico y la obtención de beneficios más allá de la superficie de la Tierra, ha sido propuesta y discutida durante décadas.

Trabajar en el desarrollo de un método para extraer oxígeno del suelo lunar (regolito) comenzó incluso antes de que los humanos pisaran la Luna por primera vez. El uso de los recursos espaciales, comúnmente conocidos como utilización de recursos in situ (ISRU), implica los procesos y operaciones para aprovechar y utilizar recursos en el espacio (tanto naturales como desechados) y crear productos para su uso posterior. Los recursos espaciales potenciales incluyen agua y viento solar implantado; elementos volátiles (hidrógeno, helio, carbono, nitrógeno, etc.), grandes cantidades de metales y minerales en suelos extraterrestres, constituyentes atmosféricos, energía solar ilimitada en regiones de luz permanente y la oscuridad, el vacío y la gravedad

del espacio mismo, la basura y los desechos de la tripulación humana, actividades y equipamiento desechado que ha cumplido su propósito principal.

El ISRU cubre una amplia variedad de conceptos, disciplinas técnicas, tecnologías y procesos. Al considerar todos los aspectos de ISRU, se distinguen cinco áreas principales que son relevantes para la exploración espacial humana y la comercialización del espacio:

- Caracterización y mapeo de recursos.
- Consumibles in situ y producción.
- Ingeniería civil y construcción.
- Producción y almacenamiento de energía in situ.
- Fabricación in situ.

### ISRU Y MINERÍA TERRESTRE

Hay cuatro áreas en las que el desarrollo y la utilización de los recursos espaciales es altamente sinérgico con las necesidades terrestres: producción de alimentos y agua; minería; construcción y energía.

Tanto para la minería espacial como para la terrestre, el primer paso es la prospección; primero a nivel global y luego a nivel local para encontrar y caracterizar (físicamente, minerales y volátiles) los recursos que existen, así como el terreno y el contexto geológico en el que se encuentra el recurso. Una vez que el recurso ha sido suficientemente caracterizado y mapeado, se puede comenzar la minería y el procesamiento de recursos. Al igual que con la minería terrestre, se realizan operaciones piloto y de viabilidad a escala menor para verificar que el recurso se pueda extraer, lograr los objetivos de rendimiento y mantenimiento y que el producto cumple con las expectativas de calidad.

En los últimos años la NASA se ha centrado en desarrollar e implementar un programa sostenible de exploración espacial humana



Foto: IIMCh

■ Marco Muñoz,  
presidente de la Comisión de Recursos  
Espaciales del IIMCh.

■ **“Tanto para la minería espacial como para la terrestre, el primer paso es la prospección; primero a nivel global y luego a nivel local para encontrar y caracterizar (físicamente, minerales y volátiles) los recursos que existen, así como el terreno y el contexto geológico en el que se encuentra el recurso”, advierte Marco Muñoz, presidente de la Comisión de Recursos Espaciales del IIMCh.**

## SPACE RESOURCES AND THEIR APPLICATIONS

The concept of utilizing space resources to support human exploration, settlement, or economic development beyond Earth's surface has been discussed for decades. Efforts to develop methods for extracting oxygen from lunar regolith predate the first human Moon landing. In-situ resource utilization (ISRU) encompasses processes and operations to harness and utilize both natural and discarded resources in space to produce usable products. Potential space resources include water and implanted solar wind; volatile elements (hydrogen, helium, carbon, nitrogen, etc.); abundant metals and minerals in extraterrestrial soils; atmospheric constituents; unlimited solar energy in permanently lit regions; and the vacuum, darkness, and microgravity of space. Additionally, waste, crew byproducts, and decommissioned equipment are considered resources.

ISRU spans a broad range of concepts, technical disciplines, technologies, and processes. Five key areas are critical for human space exploration and space commercialization:

- Resource characterization and mapping
- In-situ consumable production
- Civil engineering and construction
- In-situ energy production and storage
- In-situ manufacturing

## ISRU AND TERRESTRIAL MINING

The development and utilization of space resources share strong synergies with terrestrial needs in four key areas: food and water production, mining, construction, and energy. For both space and terrestrial mining, the initial step is prospection—first globally, then locally—to identify and characterize resources (physically, mineralogically, and in terms of volatiles), alongside their geological and terrain context. Following adequate characterization and mapping, mining and resource processing can commence. Similar to terrestrial practices, pilot and feasibility operations are conducted at smaller scales to verify resource extractability, performance, maintenance objectives, and product quality.

In recent years, NASA has prioritized a sustainable human space exploration program, with the ultimate goal of human exploration of Mars' surface.

*“For both space and terrestrial mining, the first step is prospection—initially global, then local—to identify and characterize resources (physically, mineralogically, and in terms of volatiles), as well as their terrain and geological context,”* notes Marco Muñoz, President of the Space Resources Commission of the IIMCh.

con el objetivo final de explorar la superficie de Marte con humanos.

### DESAFÍOS DE LA MINERÍA TERRESTRE

Al considerar la implementación de la utilización de recursos espaciales en planes para la exploración humana del espacio, existen tres desafíos principales: desafíos de los recursos espaciales; desafíos técnicos de la ISRU y desafíos de operación e integración.

Si bien la NASA ha enviado sondas robóticas a la Luna, Marte y asteroides, y los astronautas han traído muestras de la Luna, aún existen desafíos significativos asociados con el uso de recursos espaciales. Al igual que en la minería terrestre, se requerirá prospección robótica y humana. Dado que la extracción y el procesamiento de recursos en el espacio nunca se ha demostrado, existen desafíos técnicos que deben superarse. Para lograr todos los beneficios de la extracción y el uso de los recursos espaciales, las operaciones ISRU deben realizarse en entornos severos (radiación, polvo abrasivo y condiciones de baja o micro gravedad), y otros sistemas deben diseñarse para aceptar productos de las operaciones ISRU.

### SEMINARIO DE EXPLORACIÓN

El 21 y 22 de abril se realizará en Santiago el seminario Resources Lunar 2025, en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile (FCFM). Este evento tiene un carácter fundacional, ya que es primera vez que se realiza en nuestro país, y cuenta con el patrocinio de las embajadas de Australia, Canadá y República de Corea, del IIMCh, la Asociación Chilena del Espacio, el Centro de Investigación Europeo de Recursos Espaciales, con la colaboración del Departamento de Minas de la Universidad de Chile y la FCFM, junto con el auspicio de la empresa Godeluis, del grupo SK.

Las temáticas a tratar son: la visión de algunas agencias espaciales y de empresas mineras de las tecnologías espaciales; el desarrollo de tecnologías para los recursos mineros y espaciales e IA y los aspectos ambientales del desarrollo de los recursos espaciales.

Los organizadores del evento son el Centro de Recursos Espaciales del Colorado School of Mines, Space RS de Luxemburgo, RedMinera y Atelier Alexander Sutulov de Chile. Mayor información en [www.resourceslunar.com](http://www.resourceslunar.com)

Foto: IIMCh



Participación en el Workshop de Recursos Espaciales, en São José dos Campos, Brasil, celebrado en noviembre de 2024.

### MINERÍA ESPACIAL Y TERRESTRE

Aunque pueden parecer mundos aparte, el hecho de que ambas tengan desafíos comunes significa que ambas pueden tener intereses y soluciones comunes.

La lista a continuación no pretende ser exhaustiva, sino destacar algunas de las áreas de interés común más obvias entre la minería espacial y terrestre, para que las discusiones posteriores puedan profundizar y ampliar la lista.

- Operaciones remotas/autónomas.
  - Energía "verde" regenerativa.
  - Mitigación del polvo/operación en entornos severos.
  - Alta confiabilidad/alto rendimiento.
- Chile ha comenzado en forma incipiente el desarrollo tecnológico para el progreso de los recursos espaciales. Esta tendencia marca la pauta del camino a seguir y las oportunidades que esta nueva dimensión de la minería ofrece a las próximas generaciones de profesionales e investigadores.

\* Artículo elaborado de manera exclusiva para Revista Nueva Minería y Energía por Marco Muñoz, presidente de la Comisión de Recursos Espaciales del IIMCh.

## **CHALLENGES IN TERRESTRIAL MINING**

Implementing ISRU in human space exploration plans presents three primary challenges: space resource challenges, ISRU technical challenges, and operational and integration challenges. Despite NASA's robotic probes to the Moon, Mars, and asteroids, and astronaut-collected lunar samples, significant obstacles remain in utilizing space resources. Analogous to terrestrial mining, both robotic and human prospection will be necessary. As resource extraction and processing in space remain untested, technical barriers must be overcome. To fully realize ISRU benefits, operations must function in harsh environments (radiation, abrasive dust, low or microgravity), and other systems must be designed to integrate ISRU products.

## **SPACE AND TERRESTRIAL MINING**

Though seemingly distinct, space and terrestrial mining share common challenges, fostering mutual interests and solutions. The following list highlights key areas of overlap, intended as a starting point for deeper exploration:

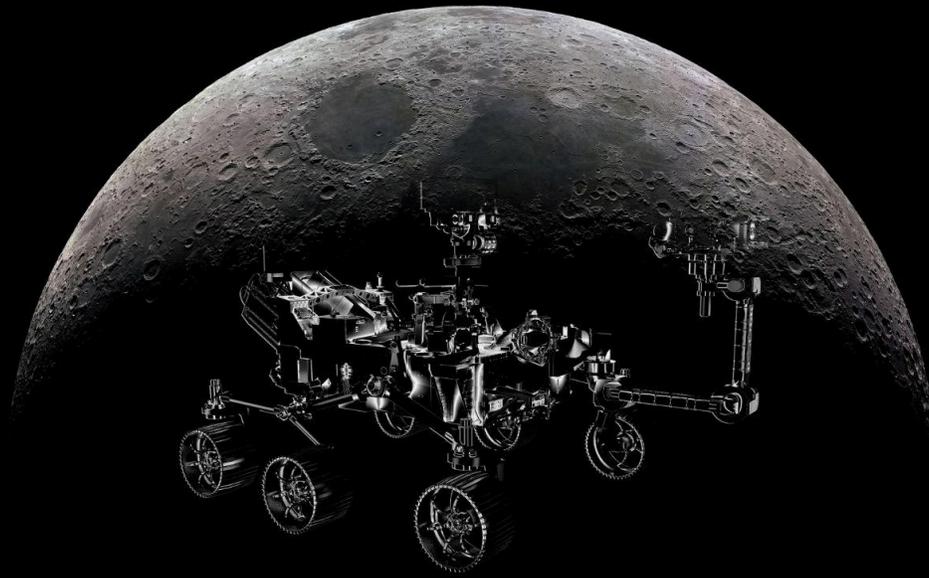
- Remote/autonomous operations
- Regenerative “green” energy
- Dust mitigation and operations in harsh environments
- High reliability and performance

Chile's nascent technological advancements in space resources signal a trajectory for progress and the opportunities this new mining frontier offers to future professionals and researchers.

“For both space and terrestrial mining, the first step is prospection—initially global, then local—to identify and characterize resources (physically, mineralogically, and in terms of volatiles), as well as their terrain and geological context,” notes Marco Muñoz, President of the Space Resources Commission of the IIMCh.

# resources LUNARIS 2025

where earth meets space



## THE FUTURE IS NOW

### EXPLORATION SEMINAR

On April 21–22, 2025, Santiago will host the *Resources LunarIS 2025* seminar at the Faculty of Physical and Mathematical Sciences of the University of Chile (FCFM). This inaugural event, the first of its kind in Chile, is supported by the embassies of Australia, Canada, and South Korea, the IIMCh, the Chilean Space Association, the European Space Resources Research Center, the University of Chile's Mining Department, the FCFM, and Godelius (SK Group). Topics include perspectives from space agencies and mining companies on space technologies, technology development for mining and space resources, artificial intelligence, and environmental considerations in space resource development. Organized by the **Colorado School of Mines Space Resources Center**, **Luxembourg's SpaceRS**, **RedMinera**, and Chile's **Atelier Alexander Sutulov**, further details are available at [resourceslunaris.com](https://resourceslunaris.com).