

# INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN SMMR:

AVANCES EN LA  
MINERÍA SOSTENIBLE



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA



School of  
Mining  
& Mineral  
Resources

# PRESENTACIÓN DE LA **ESCUELA DE MINAS Y RECURSOS MINERALES DE LA UARIZONA**

La Escuela de Minería y Recursos Minerales ("SMMR", por sus siglas en inglés) de Tucson, Arizona, EE.UU., es la más reciente extensión de la rica historia de la Universidad de Arizona en programas interdisciplinarios de éxito y educación minera de primer nivel, que se remonta a 1884.

La Universidad de Arizona ("UARizona") ha sido un líder mundial en educación minera desde su fundación, ofreciendo programas clasificados a nivel mundial en ingeniería minera y geociencias y un ecosistema completo de disciplinas mineras, con programas en geología económica, ciencias sociales y ambientales, hidrología, derecho minero global, entre otros.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

# TRANSFORMAR LA ENSEÑANZA DE LOS RECURSOS MINERALES **PARA UN MUNDO CAMBIANTE**

En un momento en que muchas universidades están cerrando programas de minería y recursos minerales, UArizona está invirtiendo en el crecimiento y la modernización de estas carreras a través de la SMMR, para continuar con el plan de estudios de minería y cumplir la cuota de talento para estos puestos de trabajo especializados.

Ubicada en el corazón de un país minero, contando con yacimientos minerales de clase mundial, minas en funcionamiento y empresas de tecnología, nuestro rico ecosistema ofrece oportunidades de asociación sin precedentes para el aprendizaje y la investigación en el mundo real. Como institución designada para servir a los hispanos y situada cerca de la frontera de Arizona con México, la UArizona se encuentra en una posición única para desarrollar la mano de obra minera y de ciencias minerales del futuro, y lo estamos haciendo ahora mismo.



# IMPULSAR LA INVESTIGACIÓN

## A TRAVÉS DE NUESTRO

# ECOSISTEMA DE INNOVACIÓN

La UArizona cuenta con docenas de disciplinas, centros, institutos, instalaciones y otros recursos para contribuir a la investigación transdisciplinaria colaborativa. Además de las disciplinas específicas de la minería, UArizona cuenta con expertos en áreas que van desde la ciencia óptica y el aprendizaje automático hasta las relaciones con los Nativos Americanos y la gestión de los recursos hídricos. Con centros de seguridad, medio ambiente, relaves y geotecnia, e incluso una mina gestionada por estudiantes.

Mediante la creación de una red mundial de expertos y asociaciones de la industria, el mundo académico, las administraciones públicas, las comunidades y las ONG, la SMMR ha desarrollado un rico ecosistema de innovación que proporciona un mayor nivel educativo a los estudiantes y soluciones innovadoras a los stakeholders y los socios.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA



# CENTROS DE **INVESTIGACIÓN**

# CENTRO DE EXCELENCIA GEOTÉCNICA

El Centro de Excelencia Geotécnica (en inglés, GCE) de la Universidad de Arizona es una organización financiada por la industria y dirigida por stakeholders, comprometida con la reducción de las diferencias que existen dentro y entre el mundo académico, la industria y otros campos de estudio.

El GCE utiliza un enfoque pragmático y colaborativo para poner en contacto a la industria con los expertos, innovar a través de la investigación orientada a resolver problemas del mundo real y llenar lagunas de conocimiento mediante la formación y el desarrollo de profesionales de la ingeniería geotécnica.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

# CENTRO DE MINERÍA AMBIENTALMENTE SOSTENIBLE

El Centro para una Minería Medioambientalmente Sostenible (CESM, por sus siglas en inglés) desarrolla iniciativas de investigación y educación que mejoran la sostenibilidad medioambiental de la minería. El CESM se rige por un Comité Asesor Técnico de profesionales de la industria y la consultoría que identifican los problemas que preocupan a las industrias de la minería de roca dura y productos derivados de la roca.

El modelo CESM enfatiza la importancia en la colaboración con socios industriales a través de cooperativas de investigación, y en la colaboración entre campus con socios académicos de diversas facultades y escuelas.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

# INSTITUTO LOWELL DE **RECURSOS MINERALES**

El Instituto Lowell de Recursos Minerales (en inglés, LIMR) debe su creación a las generosas donaciones de J. David Lowell, un geólogo explorador de fama mundial que vivió en Tucson, Arizona. A lo largo de seis décadas de carrera, Dave trabajó para 110 empresas en 26 países, localizando algunos de los mayores yacimientos minerales jamás descubiertos.

En la actualidad, el LIMR se centra en ofrecer másteres relacionados con la minería, cursos de desarrollo profesional y estudios de campo en apoyo de los programas de geología económica e ingeniería de recursos minerales de la UArizona, clasificados a nivel mundial.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA



# CENTRO DE RELAVES

Creado en 2020, en respuesta a la demanda de la industria, el Centro de Relaves tiene una doble misión: ofrecer a los miembros de la industria minera oportunidades de desarrollo profesional en la gestión de relaves y llevar a cabo investigaciones destinadas a mejorar la seguridad y minimizar el impacto medioambiental de los relaves mineros.

En colaboración conjunta entre la UArizona, la Escuela de Minas de Colorado y la Universidad Estatal de Colorado, el Centro de Relaves ofrece seis cursos certificados sobre los fundamentos de la gestión de estériles, que abarcan el ciclo de vida de los relaves desde la planificación hasta el cierre.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

# CONSORCIO DE INVESTIGACIÓN **HIPERESPECTRAL DE MINAS**

Este consorcio centrado en la industria se fundó para optimizar la tecnología hiperespectral y los sistemas de detección relacionados, específicos para las necesidades y el entorno de la minería. Lanzado en enero de 2023, entre sus socios actuales se encuentran Freeport-McMoRan, BHP, Maptek y EchoLabs, siempre dando la bienvenida a nuevos socios.

El laboratorio MIINERS ( siglas de Mine Imaging INfrared Emission and Raman Spectroscopy) de la Universidad de Arizona dispone de espectrómetros de imagen VNIR (0,4-1,0 micras), SWIR (1,0-2,5 micras) y MWIR (2,7-5,3 micras) y acceso a un escáner de imagen Raman, además de ASD LabSpec y FieldSpec3 con propuestas para equipamiento adicional.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

La investigación se centra en diversos temas relacionados con la minería, como la caracterización de yacimientos, la geometalurgia, la exploración, las operaciones mineras (plataformas de lixiviación, cartografía de bancos a cielo abierto) y los residuos mineros, entre otros. Se han llevado a cabo experimentos para desarrollar nuevos tipos de sensores, y se ha planificado un esfuerzo que durará varios años para desarrollar y poner a prueba nuevos sensores. En la actualidad, el centro celebra reuniones periódicas del comité de asesoramiento técnico y está preparando un simposio anual y un taller de 10 días de duración.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

# CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL SUPERFONDO

El Centro de Investigación del Superfondo de UArizona tiene una misión muy noble: hacer avanzar la ciencia y utilizar los resultados de sus investigaciones para mejorar la salud humana y el medio ambiente. Patrocinado por el Instituto Nacional de Ciencias de la Salud Medioambiental, el centro utiliza un enfoque interdisciplinario para estudiar los problemas de los residuos peligrosos en el suroeste de Estados Unidos, incluida la frontera entre Arizona y Sonora y las tierras de las Naciones Nativas.

Centrados en el arsénico y los relaves mineros, los científicos biomédicos y medioambientales del Centro del Superfondo colaboran en la investigación de riesgos, el desarrollo de estrategias de remediación y la divulgación de los resultados de la investigación entre los stakeholders del gobierno y las comunidades afectadas.

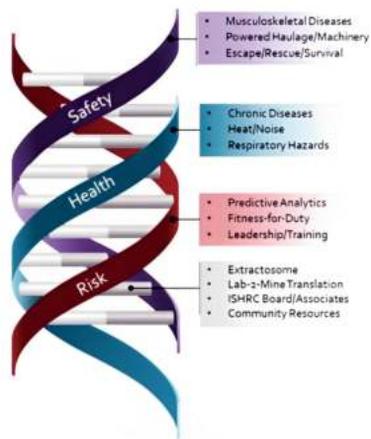


THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

# CENTRO DE EXCELENCIA DE **SEGURIDAD MINERA**

El Centro de Excelencia en Seguridad Minera (SCE, por sus siglas en inglés) de la Escuela de Minería y Recursos Minerales de UArizona es una comunidad de investigación, educación y formación de mano de obra de primer nivel que innova los métodos mineros para lograr cero lesiones, enfermedades y muertes.

El SCE utiliza análisis predictivos para abordar los retos más urgentes en materia de seguridad minera, salud y riesgos a los que se enfrenta la industria hoy en día, incluidos los problemas de seguridad, desarrollo del liderazgo, aptitud para el trabajo y salud de los mineros.



# LOGROS, CLASIFICACIONES Y DATOS DE UARIZONA

• **R1 Las mejores universidades de investigación**

• **TOP 20 Institución pública de investigación**

• **Nº 5 en financiación de la NASA**

• **\$761 millones de gasto total en investigación**

• **2.455 Investigaciones divulgadas**

• **128 Startups Lanzadas**



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

# MEJOR RANKING NACIONAL DE UNIVERSIDADES

**#2 en Geología\***

**#2 en Recursos Hídricos\***

**#9 en Ciencias Terrestres\***

**#3 en Ingeniería de Minas\*\***

\*Según U.S. News & World Report

\*\*Según QS World



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA



**PROYECTOS DE  
INVESTIGACIÓN  
FINANCIADOS POR  
EL SMMR**

# PROYECTOS DE SEGURIDAD EN MINERÍA



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

# APLICACIÓN DE RECONOCIMIENTO DE RIESGOS PARA MINAS SUBTERRÁNEAS

El objetivo de la aplicación "HUMApp" (Hazard Recognition in Underground Mines, en inglés) es mejorar la seguridad mediante la detección automática de riesgos estructurales en minas subterráneas. Para desarrollar la aplicación se creó un registro de imágenes etiquetadas como peligros en minas subterráneas, un modelo de visión por ordenador basado en ML ("Machine Learning") para identificar peligros geotécnicos y un prototipo de aplicación móvil para la predicción en tiempo real.

A día de hoy se ha logrado la recogida de datos, el etiquetado, la formación y una demo de la aplicación. Los próximos pasos son aumentar el conjunto de datos, grabar un vídeo de formación y redactar un artículo de revisión bibliográfica. La aplicación se ha presentado en las conferencias anuales de la Sociedad de Minería, Metalurgia e Ingeniería (SME) de Estados Unidos y en la convención del Instituto Canadiense de Minería, Metalurgia y Petróleo (CIM) de 2023.



# TECNOLOGÍA ASISTIDA POR CÁMARA PARA LA **SEGURIDAD EN MINAS SUBTERRÁNEAS**

En un proyecto de colaboración entre las facultades de Ingeniería Minera y Geológica e Ingeniería Civil y Arquitectónica y Mecánica de la UArizona, los investigadores del Laboratorio de Automatización de Minas y Sistemas Autónomos trataron de desarrollar un sistema de detección automática de EPP (Elementos de Protección Personal en Chile) para entornos mineros industriales y subterráneos.

El proyecto, "Tecnología Asistida por Cámara para la Seguridad en Minas Subterráneas" o CAT-UMS, utiliza una cámara normal y Machine Learning para detectar si una persona lleva casco. Los avances realizados hasta la fecha incluyen un conjunto inicial de datos etiquetados de 1.000 imágenes, software para la detección de cascos y demostraciones móviles satisfactorias del sistema con artículos complementarios. El trabajo en curso incluye la instalación de cámaras e iluminación infrarroja para realizar pruebas en nuestra mina gestionada por estudiantes, San Xavier.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

# USO DE ANÁLISIS PREDICTIVOS

PARA DETERMINAR LA  
PROGRESIÓN DE LA  
SALUD Y LA  
SEGURIDAD

## DE LOS OPERADORES

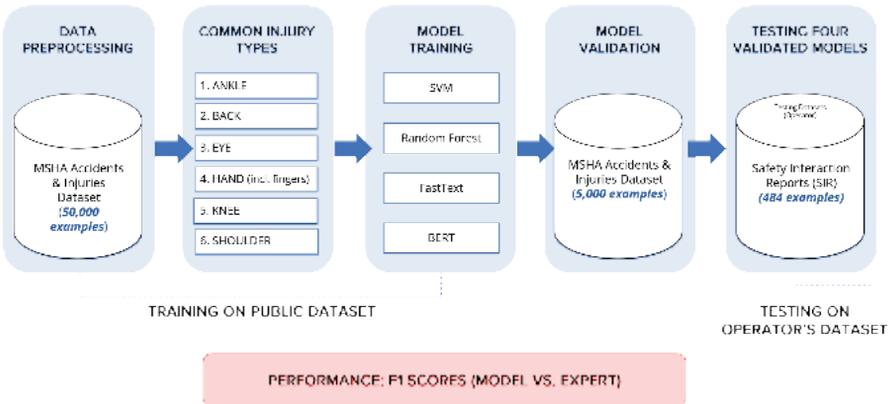
En esta colaboración entre UArizona y la Escuela de Minas de Dakota del Sur, con el apoyo de operadores mineros de la industria, los profesores Leonard D. Brown, de Salud Pública, y Hong Cui, de la Escuela de Información, dirigieron un equipo de investigación para que la industria minera pasara a utilizar indicadores predictivos (predictores de incidentes previos) en lugar de indicadores retrospectivos (accidentes ocurridos, lesiones u otros resultados negativos) para mejorar la trayectoria de salud y seguridad de los operadores mineros.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

Este proyecto empleó el Machine Learning para utilizar mejor los informes de seguridad con el fin de inferir posibles incidentes y mejorar la gestión de riesgos en las instalaciones mineras. Los datos se obtuvieron a partir del conjunto de datos públicos Accidents & Injuries de la Mine Safety & Health Administration y se clasificaron en clases de lesiones comunes en la minería y otras industrias. Los modelos se validaron y probaron con cientos de informes de Interacción de Seguridad notificados por los operadores.

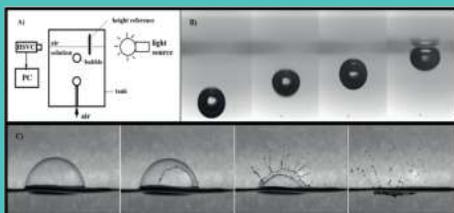
El desarrollo en curso aumentará la solidez de los algoritmos y bases de datos, mejorará el dashboard alojado en la web y permitirá su ampliación y despliegue en un entorno de producción. Está previsto organizar un curso y un taller de analítica de datos como ofertas de desarrollo profesional, que ayudarán a promover un enfoque preventivo frente al reactivo en la seguridad de los trabajadores mineros.



# SUPRESOR DE NIEBLA ÁCIDA PARA ELECTROOBTENCIÓN DE COBRE

Desarrollado por el Departamento de Ingeniería Minera y Geológica con el apoyo de Freeport McMoRan, el objetivo de este proyecto de investigación era estudiar el impacto de las condiciones de trabajo en las burbujas de O<sub>2</sub> producidas en la solución de electroobtención de cobre, con el fin de mitigar la producción de niebla ácida.

La niebla ácida se produce en las minas cuando las burbujas de oxígeno de la solución de electroobtención de cobre suben y estallan en la superficie, liberando al aire niebla acidificada que puede provocar graves problemas de salud y corrosión. Se instaló un sistema de cámaras de vídeo de alta velocidad para captar y estudiar el estallido de las burbujas en la superficie aire/líquido. La solución ácida se calificó por el número de gotas relacionadas con el tamaño de las burbujas, la viscosidad, la densidad y la tensión superficial. Este estudio aclaró con éxito el proceso de formación de la niebla, permitiendo métodos de supresión más exitosos y una metodología de capacitación mejorada.



**Sistema de cámara de video de alta velocidad (HSVC) para estudiar el estallido de burbujas en la superficie del aire/líquido**



# GLICOLÍPIDOS BIOINSPIRADOS COMO AGENTES MITIGADORES DEL POLVO MINERO

En esta asociación entre la industria y el mundo académico, profesores de los Departamentos de Ciencias Medioambientales y Ciencia e Ingeniería de Materiales investigaron formas de suprimir el polvo que contribuye a la contaminación atmosférica en las minas. La contaminación atmosférica es una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en el mundo. Dado que el 12% del impacto sanitario mundial relacionado con las partículas se atribuye a la industria minera, por lo que los métodos eficaces de mitigación del polvo tienen un gran valor.

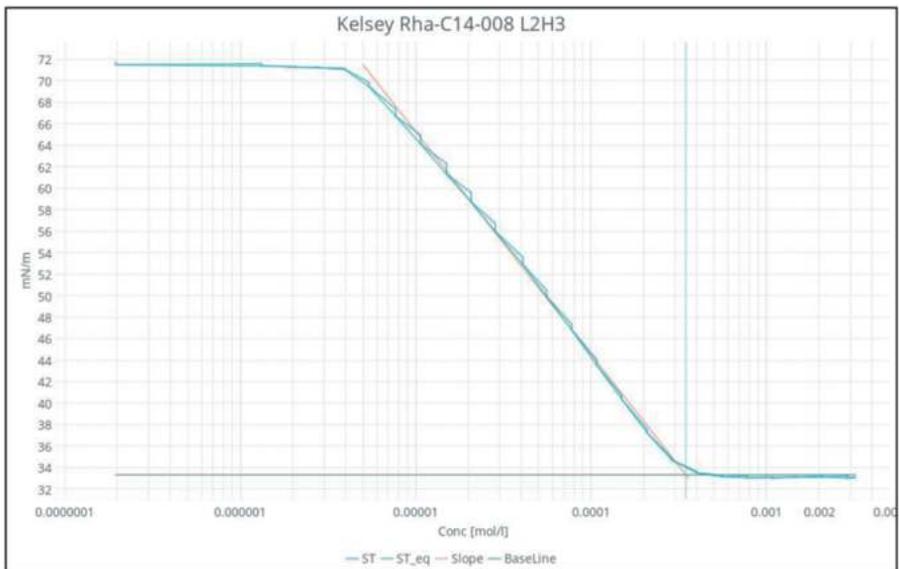
**Table 1.** Results of wind erosion test against tailings dust treated with glycolipids, and commercial product with water as control

AQI*	Glycolipids	Sugar	Tail	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
1	Rhamnolipid C10	rhamnose	C10	182.0 ± 25.8	92.9 ± 26.8
2	Rhamnolipid C14	rhamnose	C14	81.8 ± 51.3	27.9 ± 17.5
3	Rhamnolipid C18	rhamnose	C18	45.1 ± 15.2	20.1 ± 7.8
4	Xylolipid C10	xylose	C10	97.1 ± 26.3	38.7 ± 7.6
5	Xylolipid C14	xylose	C14	61.6 ± 3.4	21.5 ± 0.8
6	Xylolipid C18	xylose	C18	19.0 ± 0.1	6.2 ± 0.4
7	Rhamnolipid C10C10	rhamnose	C10C10	16.9 ± 2.7	6.5 ± 0.8
8	Rhamnolipid C12C12	rhamnose	C12C12	16.5 ± 1.2	5.5 ± 0.1
9	Rhamnolipid C14C14	rhamnose	C14C14	17.2 ± 0.6	6.6 ± 0.6
10	Xylolipid C14C14	xylose	C14C14	195.5 ± 38.9	79.8 ± 23.3
11	Melibiose-1-oxy-C10	melibiose	C10	38.7 ± 13.4	15.8 ± 4.1
12	Cellobiose-2-oxy-C10	cellobiose	C10	71.6 ± 10.4	31.7 ± 2.83
13	Cellobiose-2-oxy-C12	cellobiose	C12	22.0 ± 5.3	8.6 ± 1.56
14	Bio-diRha	dirhamnose	C10C10	69.8 ± 6.6	28.1 ± 2.5
15	EnviroTech-II	-	-	478.7 ± 145.4	207.5 ± 74.6
16	Water	-	-	702.7 ± 229.5	273.9 ± 64.0

\*Note: EPA AQI categories are based on the results of PM<sub>2.5</sub>, more hazardous to human health than PM<sub>10</sub>. The green, yellow, orange, red, purple, and dark red indicate AQI levels of "good", "moderate", "unhealthy for sensitive groups", "unhealthy", "very unhealthy" and "hazardous", respectively.

Los glicolípidos son tensioactivos de base biológica, no tóxicos, renovables y biodegradables, que han demostrado su eficacia en la supresión de polvos fugitivos en operaciones mineras. En este proyecto se analizaron un total de 19 glicolípidos; se identificaron las tendencias de estructura/función y las características de los surfactantes, lo que permitió desarrollar una clasificación de eficacia para cada combinación de glicolípidos mediante pruebas de erosión eólica contra los relaves.

Los próximos pasos de esta investigación incluyen una prueba de campo de 3 años y un ensayo de supresión de polvo en suelos agrícolas patrocinado por una subvención del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).



# SEPARACIÓN Y RECUPERACIÓN DE METALES CRÍTICOS **PARA LA ENERGÍA A PARTIR DE FUENTES ACUOSAS**

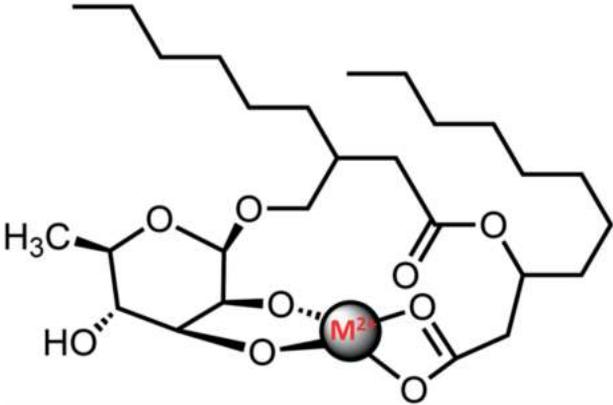
Un equipo multidisciplinar de investigadores universitarios de los Departamentos de Ciencias Medioambientales y Ciencia e Ingeniería de los Materiales, en colaboración con múltiples socios industriales, unió sus fuerzas para desarrollar nuevos métodos de separación y recuperación de metales de fuentes acuosas. La atención se centró en los metales críticos para la energía, elementos poco comunes, los metales del grupo del platino y otros metales como el uranio y el cobre.

Los resultados de esta investigación incluyen una patente provisional, un artículo publicado y valiosas oportunidades de formación para estudiantes universitarios y de posgrado. Rio Tinto Corporation ha concedido una subvención para el desarrollo de esta tecnología, que se prevé comercializar en los próximos 8-10 años.

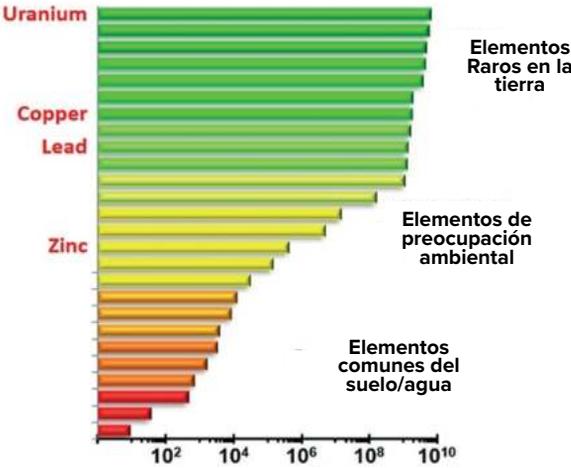


THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

Los resultados de esta investigación incluyen una patente provisional, un artículo publicado y valiosas oportunidades de formación para estudiantes universitarios y de posgrado. Rio Tinto Corporation ha concedido una subvención para el desarrollo de esta tecnología, que se prevé comercializar en los próximos 8-10 años.



**Complejo ramnolípido-metal**



**FUERZA DE ENLACE**



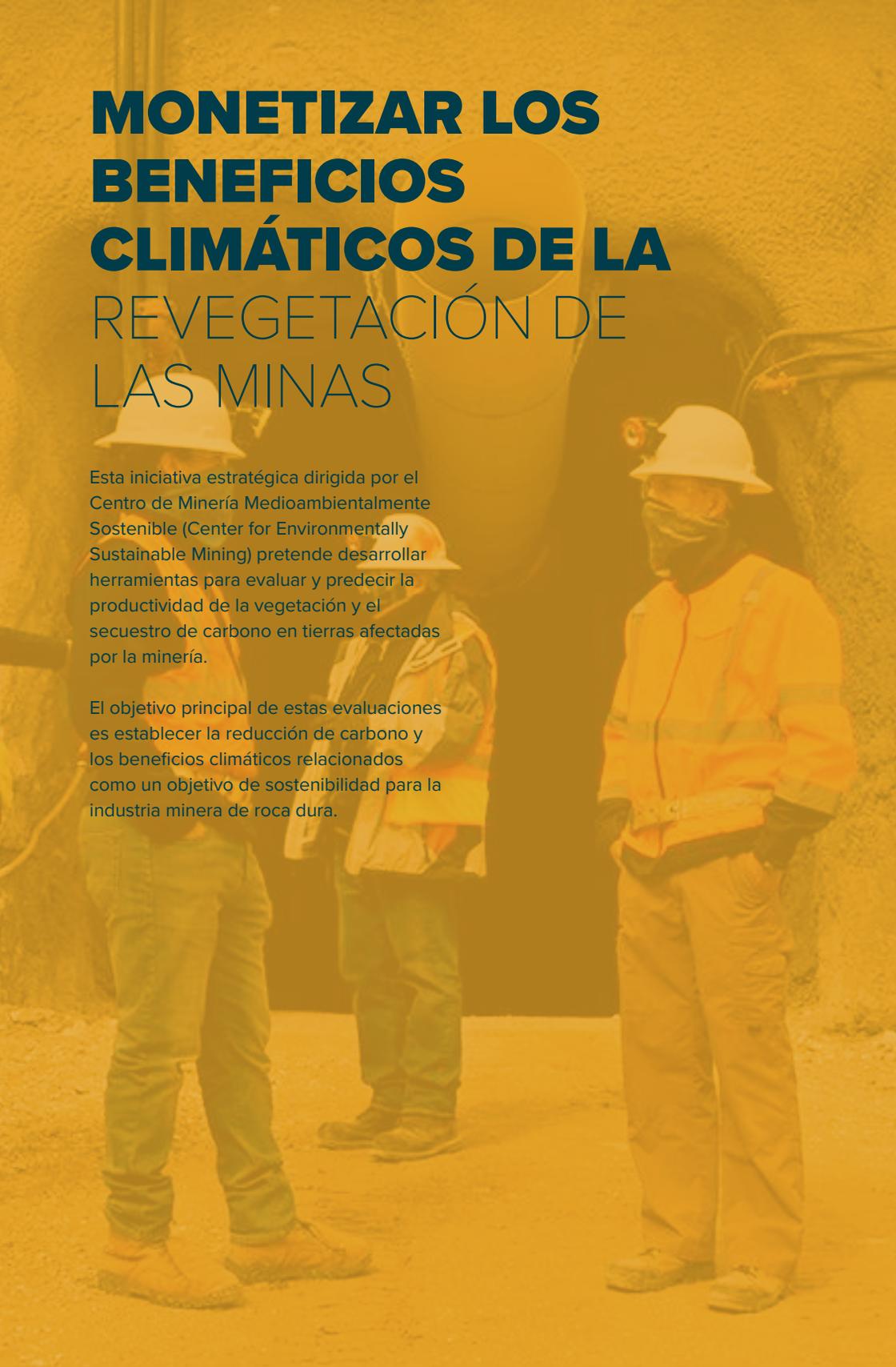


PROYECTOS DE  
**MEDIO  
AMBIENTE Y  
SOSTENIBILIDAD**

# MONETIZAR LOS BENEFICIOS CLIMÁTICOS DE LA REVEGETACIÓN DE LAS MINAS

Esta iniciativa estratégica dirigida por el Centro de Minería Medioambientalmente Sostenible (Center for Environmentally Sustainable Mining) pretende desarrollar herramientas para evaluar y predecir la productividad de la vegetación y el secuestro de carbono en tierras afectadas por la minería.

El objetivo principal de estas evaluaciones es establecer la reducción de carbono y los beneficios climáticos relacionados como un objetivo de sostenibilidad para la industria minera de roca dura.



En la primavera de 2023 se establecieron diez parcelas de muestreo en el Laboratorio Minero de San Xavier de UArizona. Se ha completado la fase 1 del proyecto, que consistió en realizar mediciones y cartografiar los arbustos y la vegetación mediante observaciones de campo y mediante sensores remotos terrestres y aéreos. Se obtuvieron muestras de suelo y densidad de la madera y se realizaron escaneos LiDAR terrestres de las parcelas.

La fase 2 (otoño de 2023) incluye la validación independiente por parte de los socios y la identificación de los parámetros clave que impulsan el secuestro de carbono. La fase 3 (primavera de 2024) consiste en aplicar modelos estadísticos y/o basados en procesos para predecir la productividad de la vegetación y el sumidero de carbono.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

# CARBONATACIÓN MINERAL ACCELERADA PARA EL TRATAMIENTO DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINAS, **LA ESTABILIZACIÓN DE RESIDUOS MINEROS Y EL SECUESTRO DE DIÓXIDO DE CARBONO**

**PI:** Lianyang Zhang, catedrático de Ingeniería Civil y Arquitectónica y Mecánica; Hamid Vashaghian, Asistente Estudiante de Posgrado.

**COLABORADORES:** ASARCO y Freeport

Este proyecto tiene dos objetivos fundamentales: comprender mejor el uso de la carbonatación mineral acelerada para tratar el drenaje ácido de las minas y estabilizar los relaves mineros al mismo tiempo que se secuestra el dióxido de carbono; y generar datos preliminares para preparar propuestas competitivas que garanticen una futura financiación.

Los avances realizados hasta la fecha incluyen la identificación de relaves mineros, la preparación e identificación de Drenajes Ácidos de Minas (AMD, por sus siglas en inglés), el desarrollo de equipos para la realización de pruebas y el inicio de un experimento de carbonatación MT. La investigación futura incluye el seguimiento del progreso de la carbonatación MT, la recogida y análisis de muestras y el análisis continuo de los datos.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

# MEDICIÓN Y MODELIZACIÓN DE LA DIAGÉNESIS DE RELAVES SULFUROSOS EN EXPERIMENTACIÓN CONTROLADA: IMPLICACIONES PARA LA REMEDIACIÓN DE RESIDUOS MINEROS

**PI:** Jon Chorover, Catedrático y Director del Departamento de Ciencias Medioambientales; Co-PI(s): Bo Guo, Catedrático Adjunto del Departamento de Hidrología y Ciencias Atmosféricas; Mark Brusseau, Catedrático; Rob Root, Catedrático de Investigación Adjunto del Departamento de Ciencias Medioambientales.

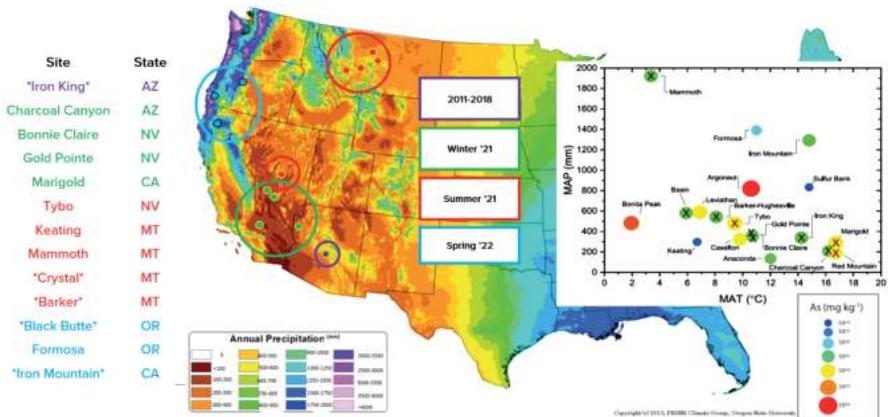
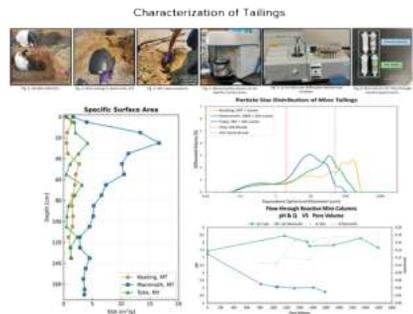
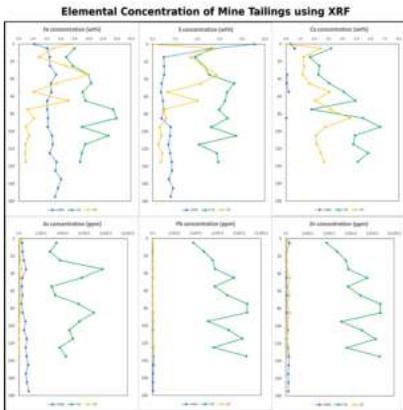
**COLABORADORES:** Charlie Alpers, USGS (United States Geological Survey); Roger Hooperheide, USEPA (United States Environmental Protection Agency) Region 8; Jennifer Crawford, USEPA Region 10; Barbara Neilson, Freeport McMoRan; Bryce Romig, Freeport McMoRan; Bryan Moravec, BHP; Anne Christopher, EPA Region 10; Jeffrey Dhont, EPA Region 9; Yolanda Sanchez, EPA Region 9; Dante Rodriguez, EPA Region 9; Jeff Collins Nevada, DEP; Nick Peterson, BP; Brian Milton, EPA 9.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

En este proyecto de investigación de tres años, la estudiante de doctorado Xenia De Gracia está realizando experimentos en columna en múltiples yacimientos para medir, en tiempo real, las reacciones químicas que controlan la meteorización de los relaves mineros.

Los resultados previstos son la elaboración de un modelo de transporte reactivo de las reacciones de meteorización que tienen lugar en los relaves mineros y que afectan a la movilidad de los metales, así como el modo en que las condiciones ambientales del yacimiento les afectan tras 50 a 100 años de exposición.



THE UNIVERSITY OF ARIZONA

# REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS MINEROS INNOVACIÓN ESTRATÉGICA DEL CESM: IDENTIFICACIÓN DE PLANTAS HIPERACUMULADORAS DE METALES COMO SISTEMAS POLIMETÁLICOS PARA ECOCATÁLISIS

**PI:** Alicja Babst-Kostecka,  
Departamento de Ciencia Ambiental  
(ENVS) & CESM. Co-IP: Julie Neilson,  
ENVS & Centro de Minería  
Sustentable Ambiental (CESM)

**COLABORADORES:** Equipo de  
Activos Heredados De Cobre BHP;  
Raina Maier, Centro de Investigación  
del Superfondo; Tomasz Włodarczyk,  
Estudiante de Doctorado ENVS; Owyn  
Stokes, estudiante de pregrado.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

En esta iniciativa estratégica de SMMR, una extensión de la colaboración entre CESM y BHP para estudiar la diversidad de plantas en su antiguo sitio de relaves mineros en AZ, el equipo se enfoca en la caracterización de especies de plantas nativas resistentes y autosuficientes que han persistido en los terrenos recuperados. sitio durante los últimos 70 años.

Esta información se utilizará para informar las mezclas de semillas para futuros esfuerzos de recuperación e impulsará la base científica de la revegetación para desarrollar soluciones eficientes y adaptadas al sitio para tierras afectadas por metales en todo el suroeste de los Estados Unidos.



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

# UN ENFOQUE DEL RECICLADO DE RESIDUOS MINEROS BASADO EN EL MACHINE LEARNING

## PARA DESARROLLAR MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLES

**PI:** Hee-Jeong Kim, Ingeniería Civil y  
Arquitectónica y Mecánica.

**Co-PI(s):** Angelina Anani, Ingeniería  
Minera y Geológica

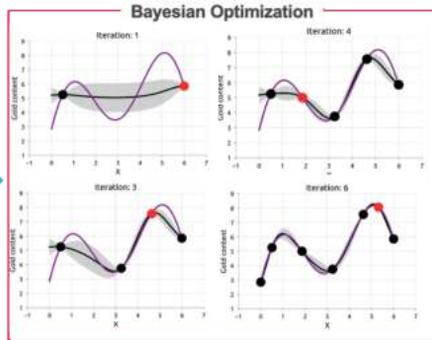
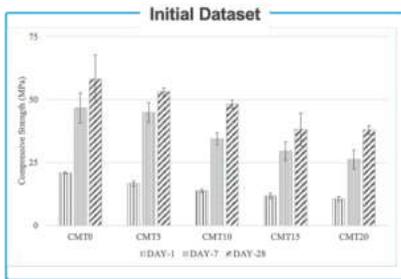


THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

El objetivo de este proyecto de investigación es maximizar la utilización de residuos de minas de cobre como materiales cementantes suplementarios (SCM, por sus siglas en inglés) o agregados para lograr la sostenibilidad mediante el uso de un enfoque basado en el aprendizaje automático para comprender la relación entre sus propiedades químicas y físicas. Los datos de este ensayo servirán como resultados preliminares para otras propuestas de financiación.

Las actividades de investigación incluyen la recogida de datos de residuos mineros y XRF, XRD para los relaves mineros, la fabricación de hormigón y la medición de las propiedades mecánicas, y la aplicación del enfoque basado en el aprendizaje automático. Los principales resultados de este esfuerzo serán la determinación del efecto de los relaves de cobre en la resistencia a la compresión del hormigón a diferentes tiempos de curado, y la determinación del efecto de la escoria de cobre en la resistencia a la compresión del hormigón a diferentes tiempos de curado.

### NEXT STEPS: ACTIVE LEARNING OF OPTIMAL MIXTURE AND CURING TIME



**Optimal mixture design**

#### Active learning workflow

1. Fit ML model to **current dataset**
2. Use ML model to suggest most promising mixtures
3. Get new data following ML suggestions
4. Update ML model and get improved suggestions
5. Obtain optimal **mixture design**





# CONVERTIR LAS MEDIDAS DE SOSTENIBILIDAD EN DECISIONES DE INGENIERÍA: **EXPLORANDO ESTRATEGIAS PARA EL USO SOSTENIBLE DE MATERIALES EN EL DISEÑO Y LA FABRICACIÓN**

**PARTICIPANTES:** Dra. Hannah Budinoff, Catedrática Adjunta de Ingeniería Industrial y de Sistemas; Hongyue Jin, Catedrático Adjunto de Ingeniería Industrial y de Sistemas; David Manford, Estudiante de PhD.

Los principales objetivos de este proyecto de investigación financiado por el SMMR son estudiar cómo afecta el impacto ambiental a la toma de decisiones de los ingenieros durante el diseño de una mina y poner a prueba un estudio de toma de decisiones de ingeniería para la fabricación de aditivos. Los avances realizados hasta la fecha incluyen la puesta en marcha de una base de datos de evaluación del ciclo de vida para calcular métricas de sostenibilidad para la fabricación de filamento fundido (FFF), el desarrollo de modelos predictivos para predecir el uso de materiales y energía durante el procesamiento de FFF, y el desarrollo de una herramienta Cura para integrar métricas de sostenibilidad en la preparación de la fabricación.

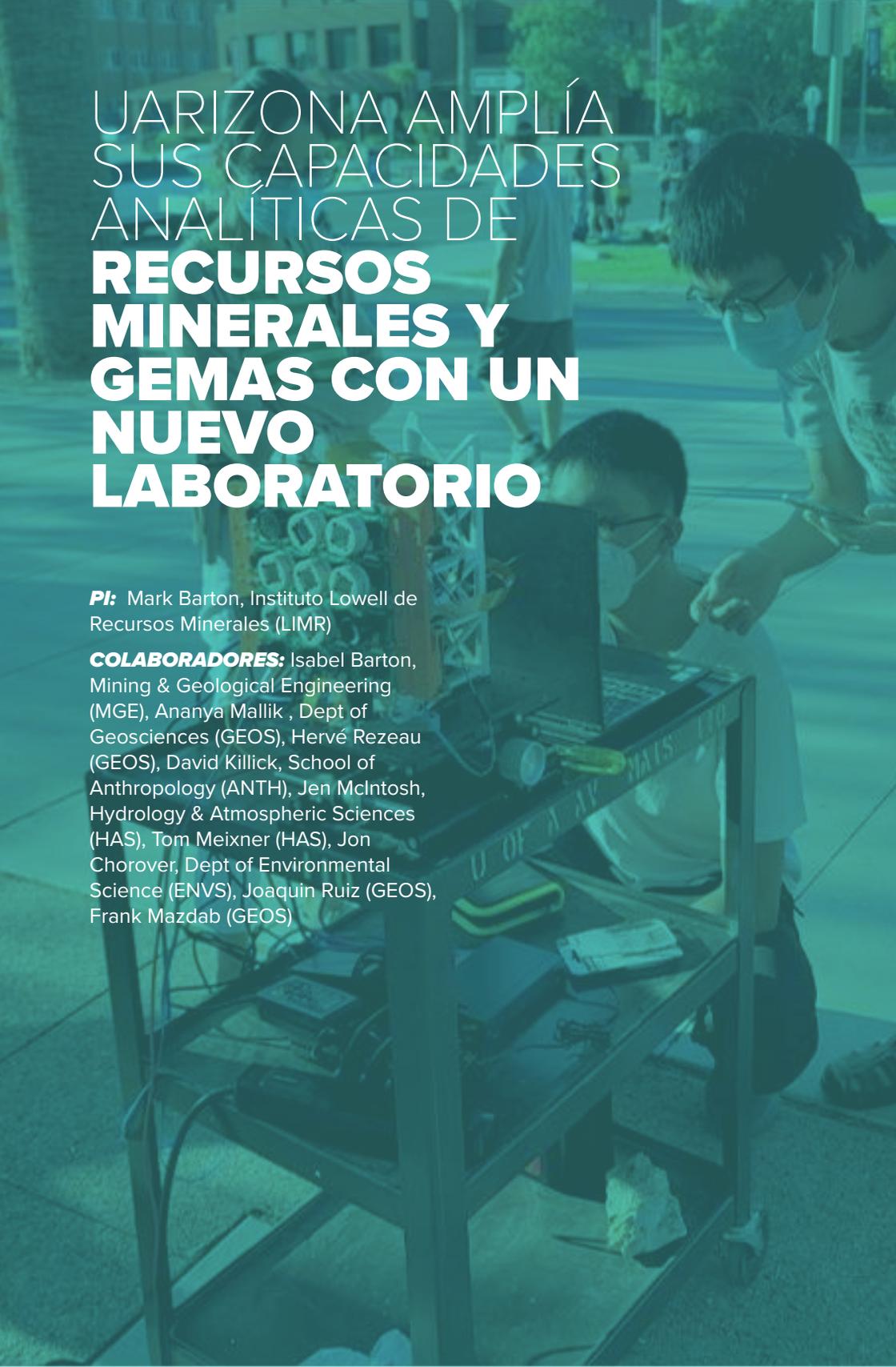


# **PROYECTOS DE TIIFICACIÓN Y RECURSOS**

# UARIZONA AMPLÍA SUS CAPACIDADES ANALÍTICAS DE **RECURSOS MINERALES Y GEMAS CON UN NUEVO LABORATORIO**

**PI:** Mark Barton, Instituto Lowell de Recursos Minerales (LIMR)

**COLABORADORES:** Isabel Barton, Mining & Geological Engineering (MGE), Ananya Mallik, Dept of Geosciences (GEOS), Hervé Rezeau (GEOS), David Killick, School of Anthropology (ANTH), Jen McIntosh, Hydrology & Atmospheric Sciences (HAS), Tom Meixner (HAS), Jon Chorover, Dept of Environmental Science (ENVS), Joaquin Ruiz (GEOS), Frank Mazdab (GEOS)





El objetivo de esta subvención es mejorar las capacidades analíticas de la ciencia de los minerales y las gemas de UArizona mediante el desarrollo de un laboratorio interdisciplinar y nuevas técnicas analíticas posibles gracias a los nuevos equipos. El desarrollo de la "Instalación de Tipificación de Minerales" (Mineral Characterization Facility) conjunta incluye un nuevo láser de femtosegundos, el primero de su clase para aplicaciones de minerales en Estados Unidos.

Otras adquisiciones incluyen un Nu Plasma ICP-MC-MS, un renovado Gould-Simpson 114 con dos láseres, además de tres ICP-MS con diferentes capacidades, y un nuevo microscopio Micro Raman. El laboratorio se ha renovado completamente y se ha utilizado para varios proyectos del SMMR y otras investigaciones patrocinadas, y ha constituido la base de más de 2 millones de dólares en nuevas propuestas a la industria y solicitudes de subvenciones a la Fundación Nacional de Ciencias (NSF, por sus siglas en inglés).

Además de los múltiples ICP-MS, LA, Raman y diversos microscopios petrográficos, el laboratorio cuenta con SEM-EDS-CL, VNIR-SWIR, etapas de inclusión de fluidos y equipos relacionados. Los próximos pasos de este proyecto incluyen el desarrollo constante de técnicas y múltiples proyectos en curso.

# LABORATORIO MINERS: IMAGEN ESPECTRAL ACTIVA

**PI:** Dean Riley e Isabel Barton  
(Ingeniería Minera y Geológica)

**CO-PI:** Dave Brady (Ciencias Ópticas  
e Ingeniería)

Los sensores multiespectrales e hiperespectrales son caros de desplegar y su uso está restringido a condiciones solares óptimas. Este proyecto propone una solución de imagen activa de bajo coste adaptada a la tipificación de materiales (TRL - 0).

Iniciado en septiembre de 2022, se han realizado pruebas sobre la selección inicial de la fuente activa y los requisitos iniciales de la cámara. Los principales resultados están en curso, incluido el desarrollo de una cámara multiespectral configurable. Los primeros datos se aprovecharon para obtener financiación adicional de un premio TRIF.

Los próximos pasos son definir los requisitos de emisión de la fuente activa y los requisitos de sensibilidad de la cámara activa, realizar pruebas con generadores de imágenes hiperespectrales de laboratorio y redactar y presentar la(s) patente(s).



# GEOCRONOLOGÍA DE PEGMATITAS QUE CONTIENEN MINERAL DE HIERRO

**PI:** Calvin Mako (Estudio Geológico de Arizona)

**COLABORADORES:** Carson Richardson (AZGS)

Las pegmatitas están siendo exploradas actualmente en Arizona como fuentes potenciales de Elementos Raros de la Tierra (REE, por sus siglas en inglés), Li y otros elementos críticos. La edad y génesis de un gran cinturón de pegmatitas en Arizona es poco conocida. El objetivo de este proyecto es determinar la(s) edad(es) de estas pegmatitas para ayudar en la exploración y comprender mejor su origen.

Los principales resultados de este proyecto son el análisis de la edad y la configuración tectónica del cinturón de pegmatitas de Arizona, y la comprensión de si las pegmatitas de Arizona tienen un estilo genético común o afinidad geoquímica. Además, tratamos de entender cómo las pegmatitas de Arizona se relacionan con los recursos conocidos fuera de Arizona. La respuesta a estas preguntas afectará ampliamente las estrategias de exploración de pegmatitas.

Se ha completado la recogida de muestras y la separación de minerales, y están en curso la obtención de imágenes y la identificación. Se están realizando análisis geoquímicos y de datos, y está prevista su publicación y la realización de nuevos trabajos.

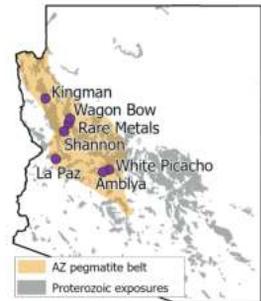


Figure 1: Map of Arizona with known Proterozoic exposures and the Arizona pegmatite belt. The locations of pegmatites that are part of the Arizona pegmatite belt are shown.

# NUEVAS FUENTES DE MINERALES CRÍTICOS DE **YACIMIENTOS DE PÓRFIDOS DE COBRE**

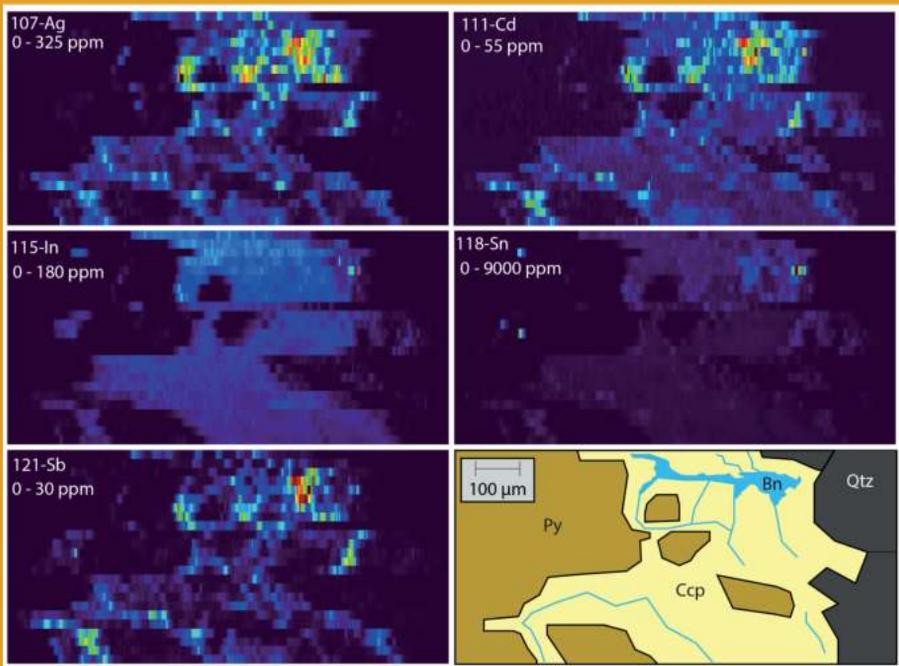
**PI:** Mark Barton (GEOS/LIMR).

**CO-PIS:** Isabel Barton (MGE), Frank  
Mazdab (GEOS), Jason Kirk (GEOS)

**COLABORADORES:**

Freeport-McMoRan, Asarco, South32,  
Hudbay, AZGS

La minería de pórfidos de cobre mueve enormes masas de muchos minerales críticos que no se recuperan. Este estudio piloto examina ese potencial, principalmente desde una perspectiva geológica y geometalúrgica. Todos los objetivos clave se han completado con éxito: desarrollar y demostrar la capacidad de hacer análisis de elementos críticos en una variedad de minerales relacionados con el pórfido de cobre y el entorno de los materiales; ampliar las colaboraciones para trabajar en ejemplos clave en el suroeste de Estados Unidos; y desarrollar una propuesta de la Fundación Nacional de Ciencias (NSF, por sus siglas en inglés), que presentamos el 14 de abril de 2023 a la iniciativa "Minerales Críticos" de la Dirección de Geociencias.



Mapas de LA-ICPMS (del nuevo Centro de Caracterización de Minerales) de elementos críticos en sulfuros de un PCD de Arizona



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA



THE UNIVERSITY  
OF ARIZONA

