

# Implementación de ROVs Subacuáticos para Muestreo Geológico y Ambiental en Balsas Mineras

Ariana Carrazana Di Lucia<sup>1</sup>, Fernando Borràs Castelló<sup>2</sup>, Sebastián Arriagada Escobar<sup>3</sup>, Enrique Gómez Rivas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MiningIDEAS, <sup>2</sup>Drones for Geology, <sup>3</sup>Universitat de Barcelona

**MiningIDEAS**

**DRONES FOR GEOLOGY**  
UNDERWATER

 **UNIVERSITAT DE  
BARCELONA**

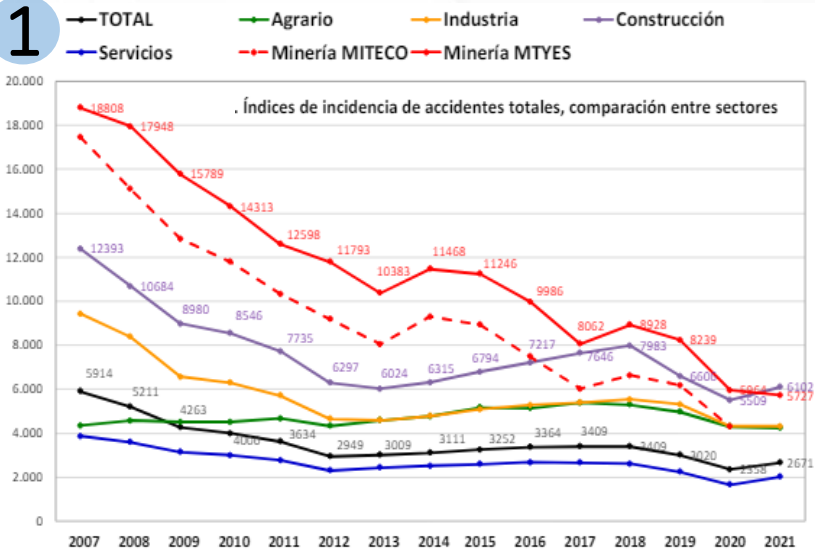
 ORGANIZADO POR:  
**InterMet**

## Contenido

- Desafíos
- Objetivos y Propósito
- Tecnología Utilizada
- Metodología
- Creación de Protocolos
- Entornos de Muestreo
- Operaciones con ROV
- Resultados para Muestras de Aguas
- Resultados para Muestras de Sedimentos
- Oportunidades
- Conclusiones
- Bibliografía y Agradecimientos

### Desafíos

1. La seguridad en minería como un factor primordial.
2. El muestreo como herramienta de control.
3. ROVs en la actualidad.



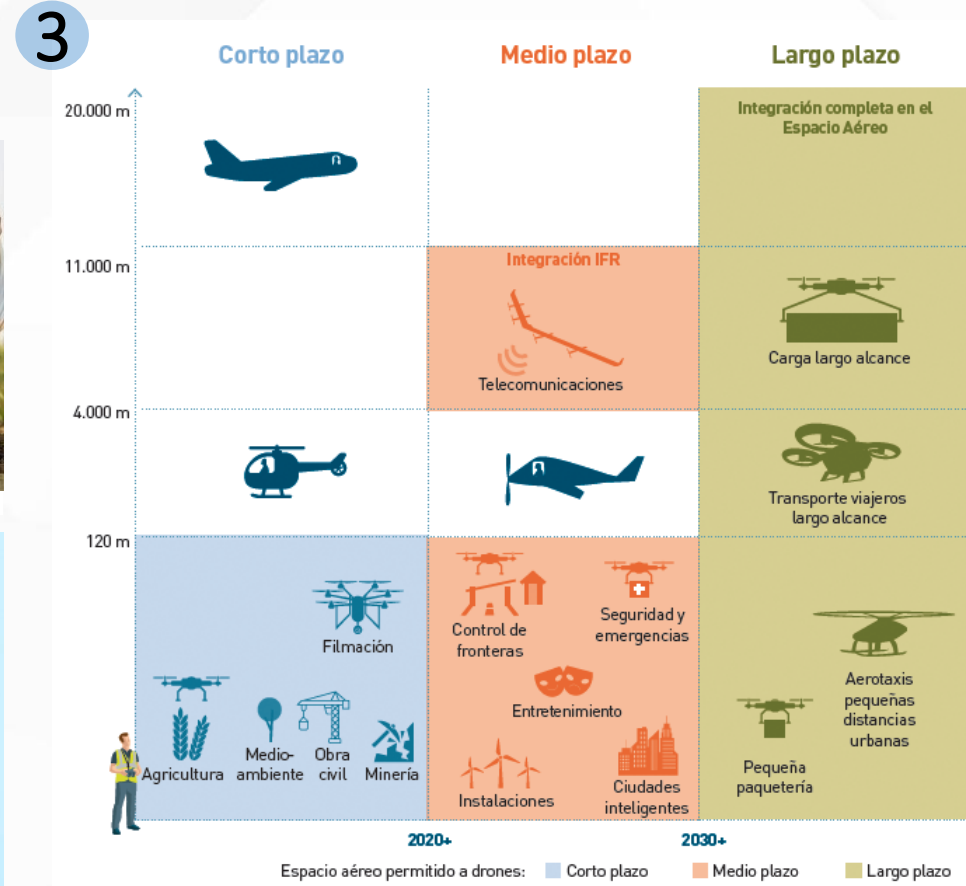
Fuente: Informe de siniestralidad minera. España. 2021.



Fuente: Tech school of engineering. España 2024.



Tomada de la web de MMC, Proveedor de fabricación de drones y tecnologías avanzadas. 2024.



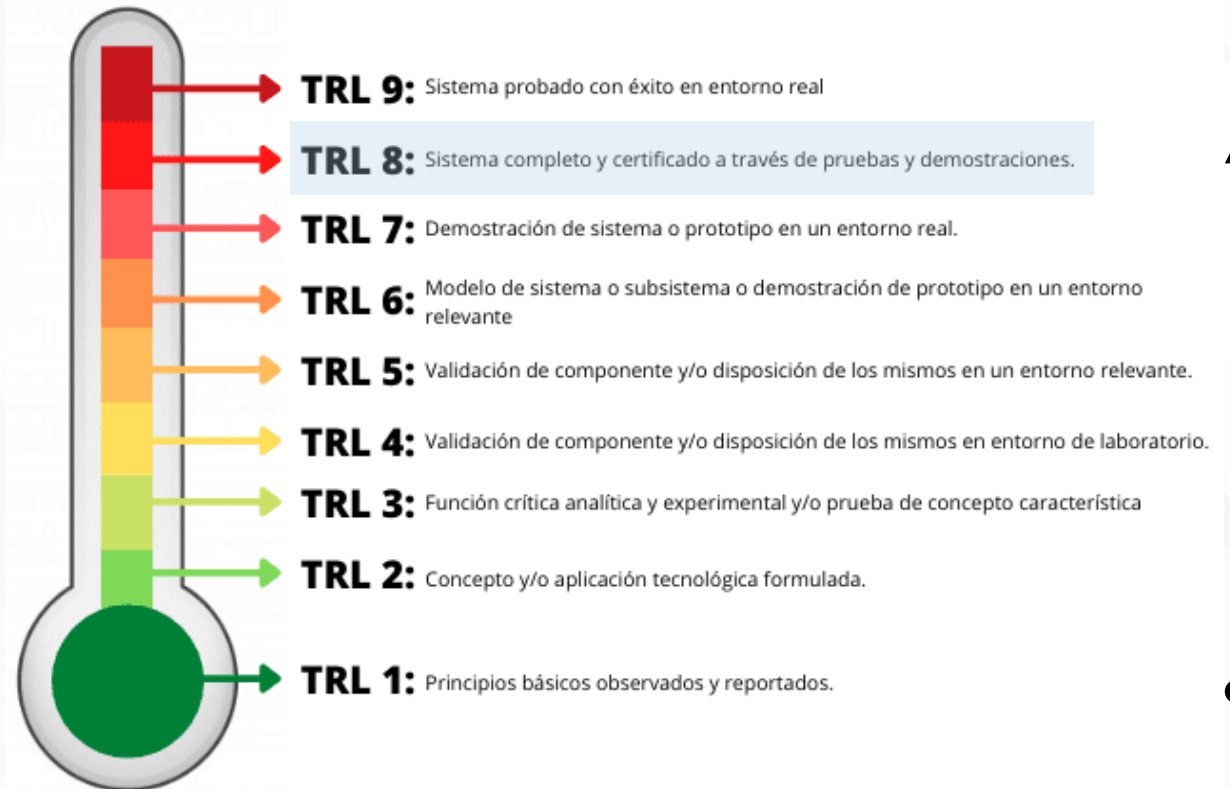
Fuente: Plan Estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España 2018-2021.

## Objetivos

1. Establecer y validar una metodología para el muestreo con ROVs
  - Datos que lo validen
2. Identificar desafíos técnicos
  - Avances en Nivel de Madurez Tecnológica
  - Entornos variables de testeo en pruebas de campo

## Propósito

3. Contribuir al desarrollo de prácticas más eficientes, eficaces, sostenibles y seguras en la gestión de relaves mineros mediante el uso de tecnologías más avanzadas para la industria.



Fuente: AYMING España, Consultora de Innovación y Fiscalidad. 2021.

## Tecnología Utilizada

ROV subacuático: Vehículo no tripulado, operado mediante control remoto desde la superficie. Especializado en labores y navegación bajo el agua.

### ROV Modelo 'FIFISH V6 EXPERT'.

- Batería hasta 4 horas a pleno funcionamiento.
- Autonomía de inmersión hasta 350 m con umbilicales.
- Hasta 5 herramientas simultáneamente.
- Herramientas para medición, detección y muestreo.
- Velocidad de hasta 4 nudos.
- Sistemas anti colisión y de mantenimiento de posición.
- Navegación instrumental y posicionamiento submarino avanzado.
- 12,000 lúmenes de iluminación.

**Muestreo de sedimentos y agua. Posibilidad de incorporar en el futuro sensores de calidad ambiental en tiempo real**



# Metodología

El estudio presenta una metodología innovadora para el muestreo geológico y ambiental en entornos mineros utilizando ROVs (vehículo de operación remota) subacuáticos.

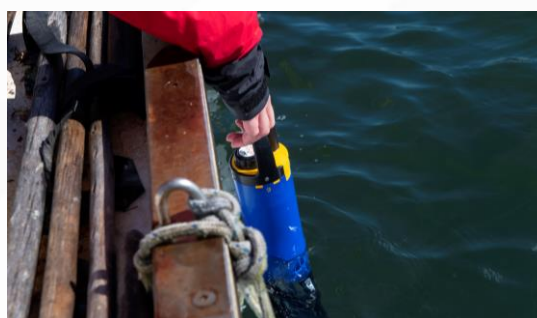
Buscamos evolucionar en la manera en que hacemos las cosas. Desde el muestreo de ríos, lagos, presas, embalses, mar, tailings y otros



Tomada de Guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes. CORFO, Chile. 2012.



Tomada de la web de SAMPLER, muestreos y análisis. 2015.



Tomada de la web de Europa Press Galicia. Calidad de Agua de Arousa mediante sondas. Convenio OPP-89. 2023.



Tomada de Manejo de la sedimentación en embalses hidroeléctricas. Morris et al. 2015.



Tomada de El Economista, programa de monitoreo de agua de CMC. México. 2022.



Imagen propia: nuestra forma de trabajar. 2024.



ROVs tomados de catálogo online QYSEA. 2024



### Entornos de Muestreo

Se realizaron muestreos en tres escenarios mineros distintos; una balsa de una cantera de rocas industriales, un antiguo open pit inundado de una mina de cobre y un embalse de agua recuperada de una mina activa de wolframio.

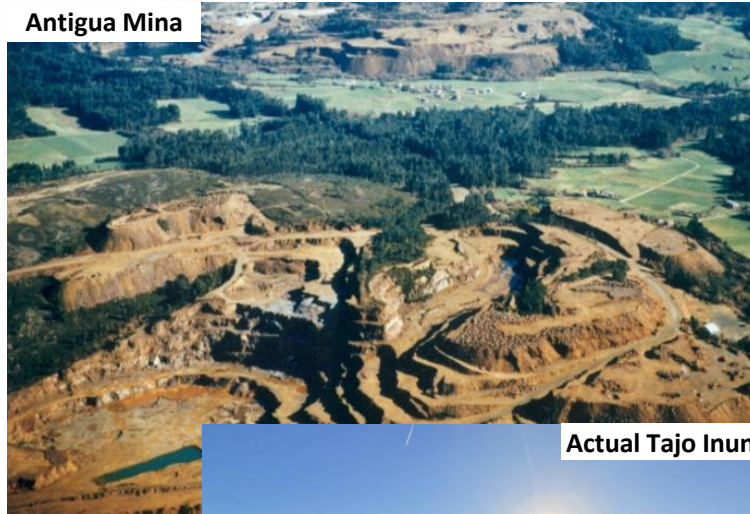
Cantera



Balsa Corte



Antigua Mina



Actual Tajo Inundado



Mina Activa



Embalse Agua Proceso



# Operaciones con ROV

El ROV operó con éxito en escenarios diferentes (embalse, tajo, ríos y mar) destacando su versatilidad y capacidad para adaptarse a diversas condiciones de muestreo, incluidas áreas muy poco accesibles para las personas.



Embalse



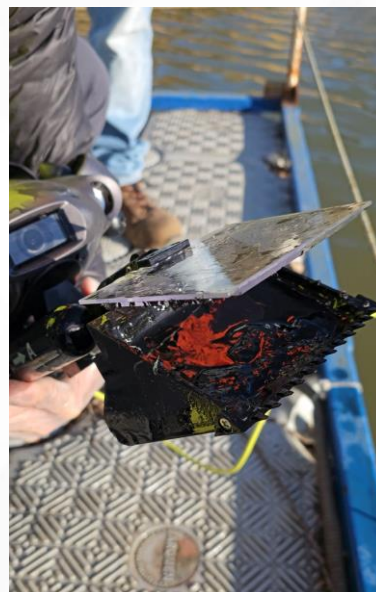
Tajo



### Tomas de Muestras Manuales y con ROV



### Diferentes Ambientes



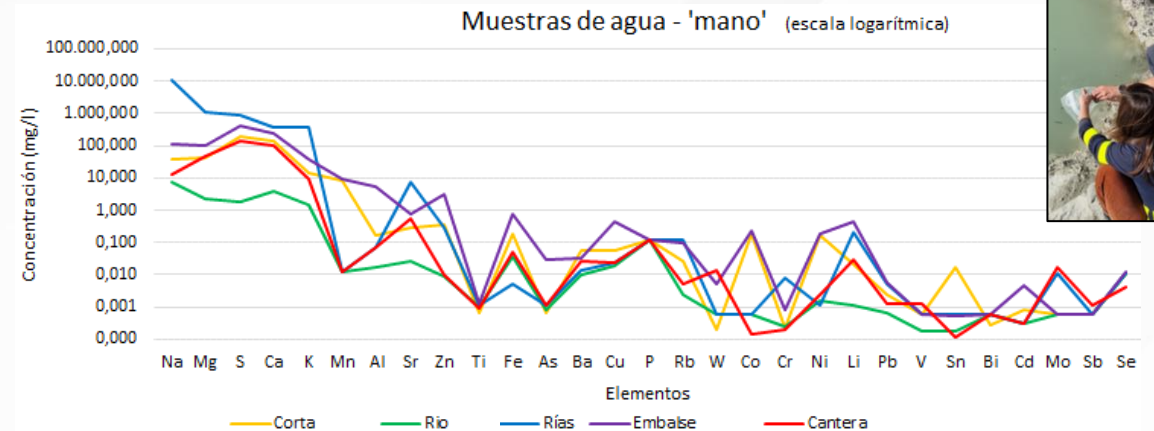
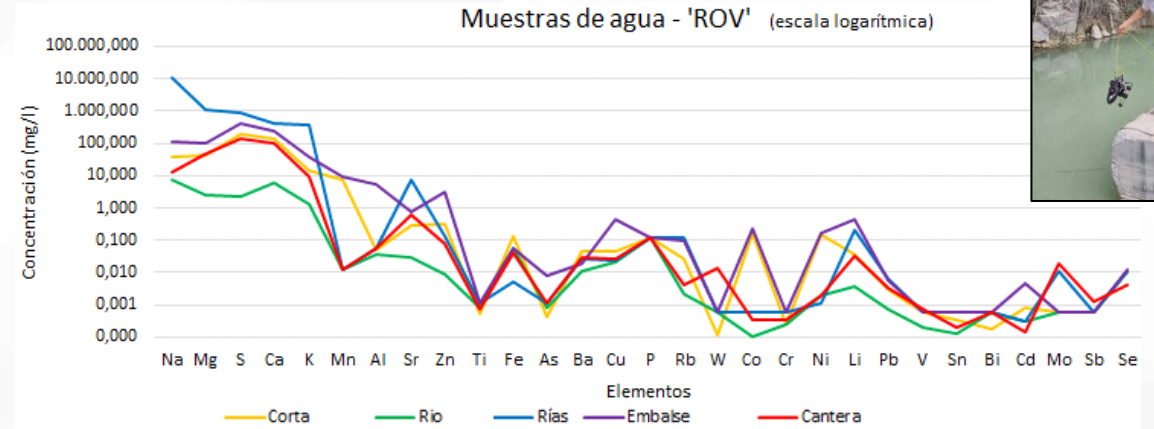
# Resultados con Aguas

Las ventajas del uso del ROV incluyen mayor representatividad de las muestras, mayor seguridad al reducir el acceso humano a los depósitos, y estandarización del método, generando un protocolo eficiente y consistente.

- Análisis in situ de pH, Conductividad, ORP y Temperatura
- Análisis de TOC y DIC
- Análisis de Flúor
- Análisis de Aniones por Cromatografía
- Análisis Geoquímico Elemental por ICP-OES e ICP-MS



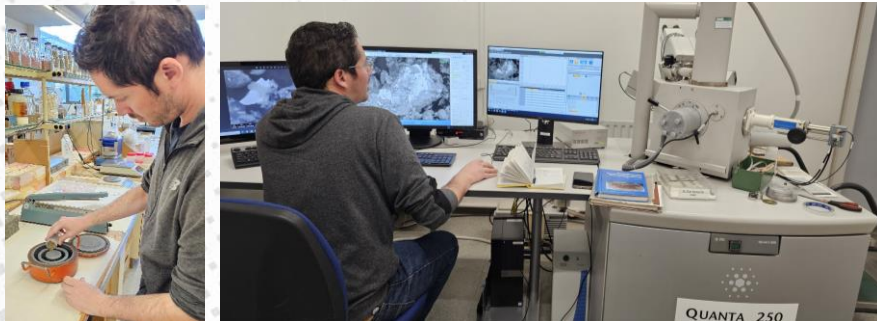
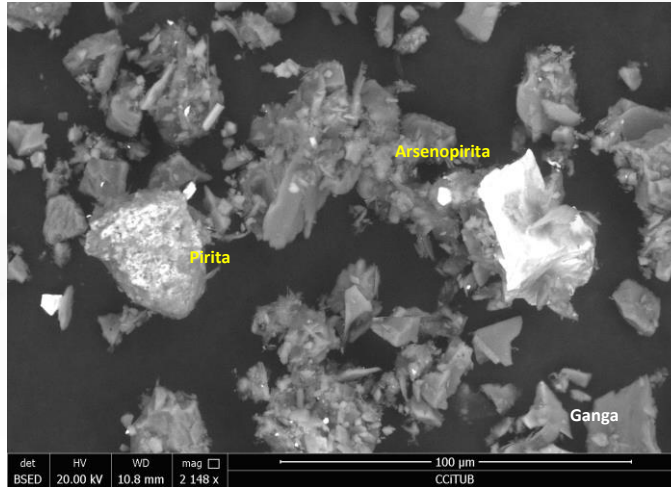
Imágenes propias. 2024.



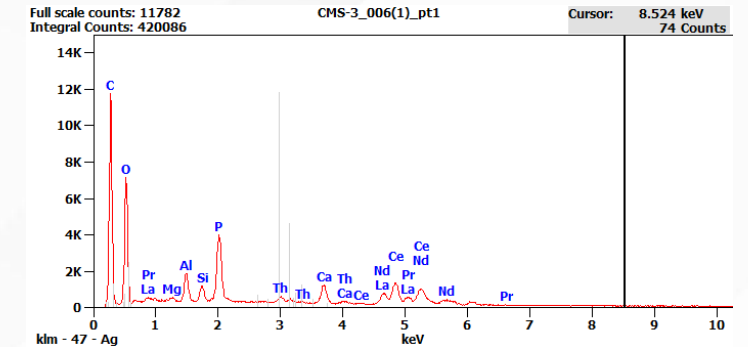
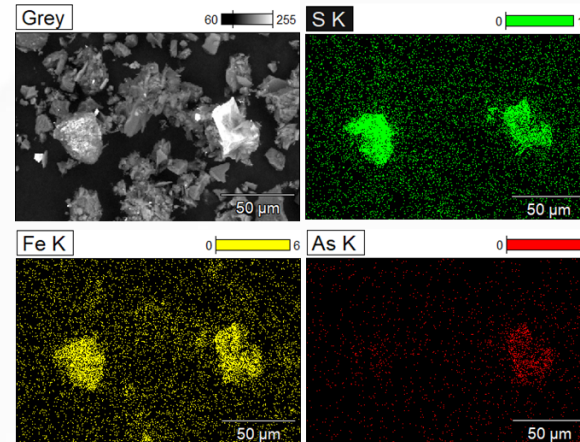
# Resultados en sedimentos

El ROV demostró ser eficaz y fiable, recolectando muestras de sedimentos con resultados precisos y coherentes con la geología y mineralogía de las zonas estudiadas.

- Análisis de Granulometría Laser
- Análisis de DRX
- Análisis de SEM-EDS
- Análisis de ICP-MS y Au-AA23



Imágenes propias. 2024.



Weight %

	C	O	Mg	Al	Si	P	Ca	La	Ce	Pr	Nd	Th
CMS-3_006(1)_pt1	30.56	35.50	0.51	2.43	1.24	5.43	2.24	4.18	10.93	1.15	3.70	2.14

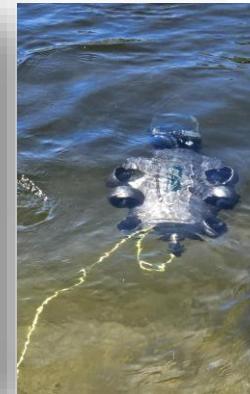
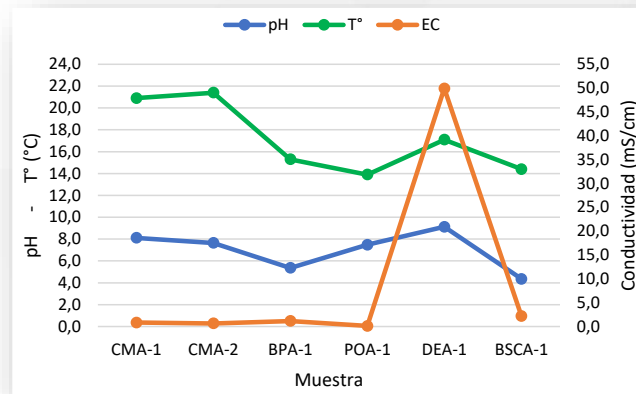
# Oportunidades

Este trabajo representa un avance significativo en la aplicación de tecnologías avanzadas en la industria minera, estableciendo un modelo robusto y validado para futuros estudios de muestreo en ambientes mineros.

- Generación y ajuste del protocolo por zona de muestreo.
- Condiciones de trabajo para el ROV.
- Otras aplicaciones en nuestra industria y en entornos industriales asociados a la actividad minera.



¿Hacia dónde vamos?



pH más ácidos  
IoT  
Real time

## Otras aplicaciones para minería e infraestructura relacionada

- Exploración subacuática.
- Fotogrametría subacuática (útil para puntos de interés)
- Monitoreo de seguridad.
- Muestreo de parámetros ambientales (pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto entre otros).
- Inspección y detección de anomalías estructurales.



## Conclusiones

- Los resultados obtenidos respaldan la efectividad del ROV como una herramienta confiable para investigaciones geológicas, metalúrgicas y ambientales, ofreciendo datos precisos y seguros para la toma de decisiones que apoyen la gestión de los relaves.
- Los resultados confirmaron la validez y precisión de los datos obtenidos con el ROV y fueron consistentes con resultados esperados y comparables con muestreos convencionales previos, realizados por las empresas.
- El uso de vehículos operados de forma remota, para monitorear los relaves mineros ofrece mejoras significativas en estabilidad, uso del agua, seguridad, intensidad energética, huella de carbono, impacto ambiental y costos, en comparación con las tecnologías existentes.
- Los ROVs proporcionan una maniobrabilidad mejorada y un control preciso, minimizando accidentes, derrames y fallos estructurales, asegurando operaciones más seguras y estables.
- También optimizan el uso del agua al proporcionar datos en tiempo real sobre la calidad del agua y los niveles de sedimentación, lo que permite prácticas eficientes de conservación del agua y fomenta la recuperación, reutilización y gestión sostenible del agua.



Mar



Río

## Bibliografía

- APHA-AWWA-WPCF (1992). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Editorial Díaz de Santos. ISBN 84-7978-031-2
- Bolaños, D., Romero, N., Macías-García, F., Nieto, C., Pérez, C., Verde, R., Macias, F. (2014). Recuperación de la Mina de Touro con aplicación de tecnosoles y humedales reactivos. DOI: 10.13140/RG.2.1.2469.0727
- Cupp, A., Fritts, A., Brey, M., Woodley, C., Smith, D., Cornish, M., McGovern, A., Simmonds, R. and Jackson, N. (2023), Application of the Technology Readiness Levels Framework to Natural Resource Management Tools. Fisheries, 48: 474-479. DOI 10.1002/fsh.10982
- European Space Agency 'ESA'. (2008). Technology readiness levels handbook for space applications. TEC-SHS/5551/MG/ap
- IGME (1975). Memoria y Mapa Geológico de España, Hoja nº 392 (Sabadell). Serie: MAGNA 50. 1:50.000. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- IGME (1978). Memoria y Mapa Geológico de España, Hoja nº 95 (El Pino). Serie: MAGNA 50. 1:50.000. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- IGME (1981). Memoria y Mapa Geológico de España, Hoja nº 120 (Padrón). Serie: MAGNA 50. 1:50.000. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- IGME (1982). Memoria y Mapa Geológico de España, Hoja nº 152 (Villagarcía de Arosa). Serie: MAGNA 50. 1:50.000. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- IGME (2000). Memoria y Mapa Geológico de España, Hoja nº 449 (Vilvestre). Serie: MAGNA 50. 1:50.000. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Kwasnitschka, T., Hansteen, T., Devey, C., Kutterolf, S. (2013). Doing fieldwork on the seafloor: Photogrammetric techniques to yield 3D visual models from ROV video. Computers & Geosciences. Volume 52. DOI: 10.1016/j.cageo.2012.10.008
- Lim A., Huvenne, V., Vertino, A., Spezzaferri, S., Wheeler, A. (2018). New insights on coral mound development from groundtruthed high-resolution ROV-mounted multibeam imaging. Marine Geology. Volume 403. DOI: 10.1016/j.margeo.2018.06.006
- Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. España (2023). Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro. BOE núm. 9, de 11 de enero de 2023.
- Monroy M., Virgüez J., Martínez J., Santamaria N., Pardo C., Prieto A., Junco E., Munevar, D., Corredor B. (2019). Medición in situ de cualidades del agua para diseño de dispositivo. DOI 10.55411/26652544.17
- Oms, O.; Climent, F. y González, M. (Editores) (2016). Excursiones geológicas por la Cataluña Central. Monografía tècnica 6. ICGC.
- Guevara, E., Olasso, R., Hontanaya, C., Moreno, M. (2023). Calidad del agua de consumo en España 2022. Madrid: Ministerio de Sanidad.
- Macías, F., Nieto, C. (2012). Didáctica de la mina de Touro: procesos de recuperación de suelos y aguas hiperácidas de minas de sulfuros metálicos mediante la valorización biogeoquímica de residuos. Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología. ISSN: 0214-7807
- Mármoles Moratonas (2014). Catálogo y Análisis técnico Moon Grey. <https://www.marmoles-moratonas.com/es/calizas/moon-grey/>

## Agradecimientos



### Equipo de trabajo



**Dra. Ariana Carrazana Di Lucia**

*Departamento de Mineralogía, Petrología y Geología Aplicada. UB*

[ariana.carrazana@ub.edu](mailto:ariana.carrazana@ub.edu)

CEO MiningIDEAS

[acarrazana@miningideas.com](mailto:acarrazana@miningideas.com)



**MiningIDEAS**



**MSc. Fernando Borràs Castelló**

*CEO Drones for Geology*

[fernando@drones4geology.com](mailto:fernando@drones4geology.com)



**MSc. Sebastián Arriagada Escobar**

*Departamento de Mineralogía, Petrología y Geología Aplicada. UB*

[sarriaes35@alumnes.ub.edu](mailto:sarriaes35@alumnes.ub.edu)



**Dr. Enrique Gómez Rivas**

*Departamento de Mineralogía, Petrología y Geología Aplicada. UB*

[e.gomez-rivas@ub.edu](mailto:e.gomez-rivas@ub.edu)





**RELAVES Y AGUAS 2024**

I CONGRESO INTERNACIONAL DE RELAVES Y AGUAS

# Implementación de ROVs Subacuáticos para Muestreo Geológico y Ambiental en Balsas Mineras

Ariana Carrazana Di Lucia<sup>1</sup>, Fernando Borràs Castelló<sup>2</sup>, Sebastián Arriagada Escobar<sup>3</sup>, Enrique Gómez Rivas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MiningiDEAS, <sup>2</sup>Drones for Geology, <sup>3</sup>Universitat de Barcelona

**MiningiDEAS**

**DRONES FOR GEOLOGY**  
UNDERWATER



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA



ORGANIZADO POR:

**InterMet**