

Sistema robótico multi-agente (MARS) con técnicas de inteligencia artificial para exploración en entornos no estructurados

Andrés de la Rosa García^{1*}, David Luviano Cruz², Francesco José García Luna³

Resumen

La robótica cooperativa y sistemas multiagente se han consolidado como un área activa en el desarrollo de tecnologías autónomas, especialmente para la exploración de entornos no estructurados donde las condiciones suelen ser inciertas o de alto riesgo para el ser humano. Este trabajo presenta una revisión sistemática de literatura reciente sobre sistemas multi-robot aplicada a exploración autónoma, siguiendo la metodología PRISMA para la identificación y análisis de publicaciones científicas entre 2020 y 2025. El estudio identifica las principales líneas de investigación actuales, con un enfoque en la coordinación descentralizada, la asignación dinámica de tareas y el uso de aprendizaje profundo multiagente para la toma de decisiones adaptativa. De igual manera, se analizan los avances en técnicas de mapeo como SLAM y LiDAR, y la integración de estrategias de ahorro energético. Los resultados muestran una tendencia creciente hacia arquitecturas distribuidas y modelos híbridos que combinan robots terrestres, aéreos y subterráneos bajo esquemas de cooperación autónoma. Los desafíos persistentes se concentran en la escalabilidad, la comunicación resiliente y la robustez ante la incertidumbre del entorno. En conjunto, esta revisión proporciona una visión actualizada del estado del arte y destaca la transición del enfoque teórico hacia implementaciones prácticas en escenarios complejos del mundo real.

Palabras Clave

Exploración autónoma – Robótica – Multi-agentes – Robótica cooperativa

^{1,2,3}Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.

***Autor de correspondencia:** al263146@alumnos.uacj.mx

Programa académico

Doctorado en Tecnología

Fecha de presentación

20 y 27 de noviembre de 2025

Financiamiento

SECIHTI (CVU 1313470)

Institución responsable del estudio

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Eventos académicos

10.º Coloquio de Posgrados del IIT, 1.º Congreso Internacional de las Fronteras de las Ingenierías

Conflicto de interés

Sin conflicto de interés declarado

Referencias

1. Konieczna-Fuławka, M., Szumny, M., Fuławka, K., Jaśkiewicz-Proć, I., Pactwa, K., Kozłowska-Woszczycka, A., Joutsenvaara, J., & Aro, P. (2023b). Challenges Related to the Transformation of Post-Mining Underground Workings into Underground Laboratories. *Sustainability*, 15(13), 10274. <https://doi.org/10.3390/su151310274>
2. *South Africa: Abandoned coal mines risk safety, rights.* (2022, 5 julio). Human Rights Watch. <https://www.hrw.org/news/2022/07/05/south-africa-abandoned-coal-mines-risk-safety-rights>.
3. Zimmer, D. M. (2025, 25 marzo). *Route 80 sinkholes put a spotlight on New Jersey's 588 abandoned mines.* North Jersey Media Group. <https://www.northjersey.com/story/news/new-jersey/2025/03/25/route-80-sinkholes-spotlight-njs-588-abandoned-mines/82641086007/>
4. Stocks, C. (2025, 13 agosto). *Using abandoned coal mines for underground pumped storage.* NS Energy. <https://www.nsenergybusiness.com/analysis/repurposing-abandoned-coal-mines-for-underground-pumped-storage-development/>

CITACIÓN: De la Rosa García, A., Luviano Cruz, D., & García Luna, F.J. (2026). Sistema robótico multi-agente (MARS) con técnicas de inteligencia artificial para exploración en entornos no estructurados [Fronteras de la Ingeniería y Transformación Tecnológica]. *Memorias Científicas y Tecnológicas*, 5(1), 101-102.

Sistema Robótico Multi-Agente (MARS) con Técnicas de Inteligencia Artificial para Exploración en Entornos No Estructurados

M.T. Andrés de la Rosa García, Dr. David Luviano Cruz, Dr. Francesco García Luna

Doctorado en Tecnología

Resumen

La investigación aborda el desarrollo de un sistema robótico multi-agente para la inspección de entornos no estructurados, como minas subterráneas no operacionales. Mediante el uso combinado de un dron (VANT) y un robot terrestre (UGV), se busca generar mapas tridimensionales y realizar exploraciones seguras en condiciones extremas. La propuesta integra técnicas de inteligencia artificial, SLAM y comunicación cooperativa bajo el framework ROS2, validándose inicialmente en entornos simulados con Gazebo.

Introducción

Las minas subterráneas no operacionales presentan un alto potencial de reutilización [1], pero su inspección implica riesgos debido a condiciones extremas, acceso limitado y posibles colapsos [2, 3]. Actualmente, no existen sistemas autónomos capaces de realizar evaluaciones seguras y eficientes en estos entornos.

Este proyecto propone una solución basada en un sistema robótico multi-agente compuesto por un dron (VANT) y un robot terrestre (UGV), que colaboran para mapear y explorar áreas peligrosas. Mediante el uso de inteligencia artificial, técnicas de SLAM y comunicación cooperativa en ROS2, se busca optimizar la cobertura, reducir el riesgo humano y generar información precisa para la toma de decisiones sobre la reutilización de espacios subterráneos.

Objetivos

Objetivo general:

Desarrollar un sistema robótico multi-agente con técnicas de inteligencia artificial para la inspección de entornos no estructurados.

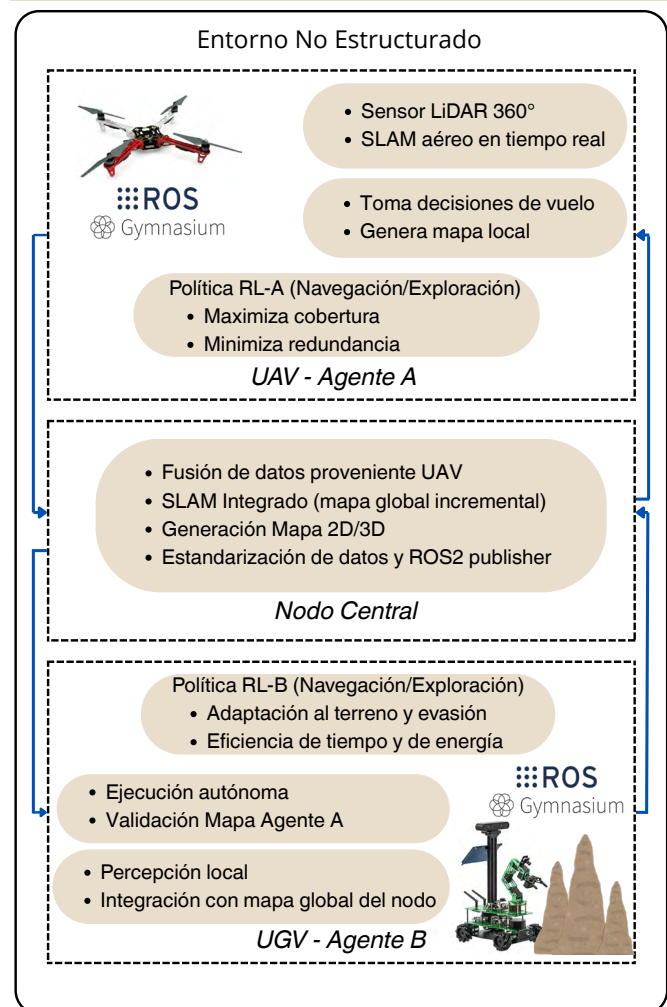
Objetivos específicos:

- Implementar un entorno de simulación en Gazebo para validar algoritmos de navegación.
- Identificar VANT y UGV adecuados para exploración autónoma.
- Generar mapas 3D mediante VSLAM.
- Desarrollar algoritmos de comunicación y navegación en ROS2.
- Establecer cooperación efectiva entre agentes robóticos.
- Evaluar la eficiencia de la comunicación y navegación.

Resultados Esperados

- Validación funcional del sistema en simulaciones.
- Mapeo 3D preciso mediante sensores LiDAR y algoritmos SLAM.
- Comunicación estable y cooperación efectiva entre el VANT y el UGV.
- Reducción significativa del riesgo humano durante inspecciones.
- Base para futuras implementaciones físicas y aplicaciones en minería, rescate y reutilización de espacios subterráneos.

Metodología



Conclusión

La propuesta robótica con inspección autónoma en entornos peligrosos, combina simulación, inteligencia artificial y cooperación multi-agente. El enfoque modular lo hace viable, escalable y adaptable a distintos escenarios, contribuyendo al desarrollo de sistemas autónomos más seguros y eficientes.

Referencias:

1. Konieczna-Fulawka, M., Szumny, M., Fulawka, K., Jaśkiewicz-Proć, I., Pactwa, K., Kozłowska-Woszczycka, A., Joutsenvaara, J., & Aro, P. (2023b). Challenges Related to the Transformation of Post-Mining Underground Workings into Underground Laboratories. Sustainability, 15(13), 10274. <https://doi.org/10.3390/su151310274>
2. South Africa: Abandoned coal mines risk safety, rights. (2022, 5 julio). Human Rights Watch. <https://www.hrw.org/news/2022/07/05/south-africa-abandoned-coal-mines-risk-safety-rights>
3. Stocks, C. (2025, 13 agosto). Using abandoned coal mines for underground pumped storage. NS Energy. <https://www.nsenerybusiness.com/analysis/repurposing-abandoned-coal-mines-for-underground-pumped-storage-development/>



**COLOQUIO DE
POSGRADOS IIT**
18 AL 21 DE NOVIEMBRE

UACJ INSPIRA EL FUTURO

IIT

Ciencia y Tecnología