



# Jornadas de Robótica y Bioingeniería

## Diseñar lo inesperado: experiencias en la realización de experimentos de campo realistas en robótica para emergencias

Fernández Lozano, J.J.<sup>a, d, \*</sup>, Mandow, A.<sup>a, d</sup>, Miranda Páez, J.<sup>b, d</sup>,  
Trillo Legaz, J.<sup>c, d</sup>, Ravina Vergara, J.M.<sup>c</sup>, García Cerezo, A.J.<sup>a, d</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Málaga. C/ Dr. Ortiz Ramos, s/n, 29071 Málaga, España.

<sup>b</sup> Departamento de Psicobiología y Metodología de las Ciencias del Comportamiento, Universidad de Málaga. C/ Arquitecto Francisco Peñalosa, 3, 29071 Málaga, España.

<sup>c</sup> Cátedra de Seguridad, Emergencias y Catástrofes, Universidad de Málaga. C/ Arquitecto Francisco Peñalosa, 3, 29071 Málaga, España.

<sup>d</sup> Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería Mecatrónica y Sistemas Ciberfísicos, IMECH.UMA, Universidad de Málaga. C/ Dr. Ortiz Ramos, s/n, 29071 Málaga, España.

**Citar artículo:** Fernández Lozano, J.J., Mandow, A., Miranda Páez, J., Trillo Legaz, J., García Cerezo, A. 2023. **Diseñar lo inesperado: experiencias en la realización de experimentos de campo realistas en robótica para emergencias**. Jornadas Nacionales de Robótica y Bioingeniería 2023, 41-48. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.74896>

### Resumen

La experimentación en robótica de campo es necesaria para mejorar y validar los desarrollos, pero se encuentra con diversos retos, como la imprevisibilidad de los entornos, la falta de control sobre las condiciones de prueba y la dificultad para recopilar datos precisos. En el caso particular de la robótica aplicada a las emergencias deben abordarse además desafíos adicionales, como la necesidad de trabajar en entornos peligrosos, la coordinación con rescatistas humanos y la adaptación a las condiciones específicas de cada emergencia. Este artículo presenta la experiencia del Grupo de Investigación en Robótica y Mecatrónica y de la Universidad de Málaga en el diseño y desarrollo de experimentos realistas en robótica para emergencias. Junto con los medios disponibles, se describe la metodología de organización de ejercicios, y se resumen varios experimentos característicos.

*Palabras clave:* Robótica de campo, robótica móvil, sistemas robóticos en red, redes de sensores, redes de robots y sensores inteligentes.

### Designing the unexpected: experiences in conducting realistic field experiments in emergency robotics

#### Abstract

Experimentation in field robotics is necessary to improve and validate developments. But several challenges exist, such as the unpredictability of environments, the lack of control over test conditions, and the difficulty in collecting accurate data. In the particular case of robotics applied to emergencies, additional challenges must also be addressed, such as the need to work in hazardous environments, coordination with human rescuers, and adaptation to the specific conditions of each emergency. This paper presents the experience of the Robotics and Mechatronics Research Group and the University of Malaga in the design and development of realistic experiments in robotics for emergencies. Together with the available facilities, the methodology for the organization of exercises is described, and several characteristic experiments are summarized.

*Keywords:* Field robotics, mobile robotics, networked robotic systems, sensor networks, Networks of robots and intelligent sensors.

\*Autor para correspondencia: [jfl@uma.ess](mailto:jfl@uma.ess)

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

## 1. Introducción

En los últimos años, la robótica de campo ha ganado importancia debido a su potencial para mejorar la eficiencia y efectividad en una amplia variedad de aplicaciones. Por ejemplo, la robótica de campo ha demostrado ser especialmente valiosa en situaciones de emergencia y desastres naturales, donde los robots pueden operar en entornos peligrosos y ayudar a salvar vidas (Murphy, 2014). Además, la robótica de campo ha sido utilizada en tareas de agricultura (Fountas et al., 2020), inspección (Di Castro et al., 2018), construcción (Kramberger et al., 2022) o exploración planetaria (Azkarate et al., 2022), entre otros campos.

Como cualquier tipo de desarrollo en robótica, en el caso de la robótica de campo es necesario llevar a cabo experimentos realistas para obtener información precisa del comportamiento del robot y de las necesidades del usuario o la misión a la que va destinado. E igualmente, es necesario validar el sistema. Sin embargo, la experimentación en robótica de campo presenta numerosos desafíos y dificultades, como la imprevisibilidad de los entornos, la falta de control sobre las condiciones de prueba y la dificultad para recopilar datos precisos. Además, en el caso particular de la robótica aplicada a las emergencias y desastres deben abordarse desafíos adicionales, como la necesidad de trabajar en entornos altamente peligrosos e impredecibles, la coordinación con los rescatistas humanos y la adaptación a las necesidades específicas de cada situación de emergencia.

Esta dificultad en la experimentación en robótica de campo es común a todos los Grupos que trabajan en esta línea. El Grupo de Robótica y Mecatrónica de la Universidad de Málaga ha trabajado desde hace más de 30 años en el diseño y desarrollo de plataformas robóticas, muchas de ellas desde cero, para trabajar en entornos no estructurados. Estos incluyen desde plataformas pequeñas de unos 100 gramos hasta plataformas de más de 1000 kg, como Cuadriga, Rambler o la plataforma anfibia Rover J8. La depuración y la validación de todos los desarrollos ha implicado la experimentación con los desafíos ya mencionados, complicando y ralentizando un proceso ya de por sí difícil.

También en la Universidad de Málaga, la Cátedra de Seguridad, Emergencias y Catástrofes (SEC) se dedica desde 2006 a la investigación, la formación, la gestión y transferencia del conocimiento en aspectos relacionados con las situaciones de emergencias y catástrofes, con especial énfasis en los aspectos tecnológicos, psicosociales y de la salud. En este campo, la experimentación, y aun la formación, en condiciones realistas es igualmente un problema complejo, que se enfrenta a retos parecidos a los ya descritos para la robótica. Fruto de la colaboración entre el Grupo de Robótica y Mecatrónica y la Cátedra SEC surge el proyecto de crear una estructura que diera soporte y facilitara la experimentación en condiciones realistas en el ámbito de la seguridad, las emergencias y las catástrofes. El resultado es el Laboratorio y Área de Experimentación en Nuevas Tecnologías para la Intervención en Emergencias y Catástrofes (LAENTIEC).

Este artículo presenta las infraestructuras de LAENTIEC, y la experiencia del Grupo de Robótica y Mecatrónica y la Cátedra SEC en el diseño y realización de experimentos realistas en robótica de campo, particularmente en

colaboración con otras entidades, como Fuerzas Armadas, Cuerpos de Bomberos, empresas y otros Grupos de Investigación. La estructura del artículo es la siguiente: tras esta introducción, se describen los medios con los que cuenta LAENTIEC. A continuación, se presenta la metodología de diseño y preparación de experimentos. El siguiente apartado describe varios experimentos de diversa tipología. Finalmente, el artículo se cierra con las conclusiones.

## 2. El Laboratorio y Área de Experimentación en Nuevas Tecnologías para la Intervención en Emergencias y Catástrofes (LAENTIEC)

Las actividades del Grupo de Robótica y Mecatrónica y de la Cátedra SEC, pero también de otros Grupos de la Universidad de Málaga cuyas actividades están relacionadas con la seguridad y las emergencias, mostraron el interés de organizar un Laboratorio en el que todas las partes puedan tener la oportunidad de colaborar y compartir sus experiencias. Este Laboratorio es LAENTIEC, creado a principios de 2020. Estos Grupos, así como las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales en el área de protección civil, seguridad y emergencias, generalmente necesitan validar los resultados de su I+D. LAENTIEC se creó para ofrecer un ambiente controlado y el monitoreo adecuado para estos fines. De esta forma, la Universidad de Málaga ha destinado 90.000 m<sup>2</sup> de terreno para la realización de experimentos, considerando diferentes escenarios al aire libre en entornos naturales y urbanos (Figura 1a). Asimismo, LAENTIEC cuenta con una nave taller que se encuentra próxima al Área de Experimentación (Figura 1b).



a)



b)

Figura 1: Las instalaciones de LAENTIEC: a) nave taller; b) una vista aérea de una parte del área de experimentación.

LAENTIEC está ubicado en la ampliación del Campus de Teatinos de la Universidad de Málaga (UMA), junto al edificio de la Escuela de Ingenierías Industriales (EII). El terreno tiene una orografía muy interesante, con diferentes niveles, firmes y rampas. También cuenta con un cauce de río seco y un falso túnel doble de unos 120 metros de longitud, para pruebas en condiciones de denegación de GPS. También se dispone de acceso a una laguna artificial de 8.000 m<sup>2</sup>, y en un futuro se espera incluir otros dos edificios para pruebas de exterior e interior en un entorno urbano. Este sitio es un área ideal para probar experimentos en ambientes no estructurados, con terrenos de diferentes dificultades de acceso. Esta zona es también el lugar de ejercicio de las Jornadas Anuales de Seguridad, Emergencias y Catástrofes de la Universidad de Málaga. En estos ejercicios participa el Consorcio de Bomberos de la Diputación de Málaga, Protección Civil, Cruz Roja, Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado, Fuerzas Armadas Españolas y otras organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. Los ejercicios anuales, que consisten en simulaciones a gran escala de desastres naturales y provocados por el ser humano, son un marco excepcional para probar nuevas tecnologías al servicio de los intervinientes y las víctimas.

El proyecto LAENTIEC incluye una infraestructura de comunicaciones y seguridad (WIMAX 5 GHz con conexión WiFi Exterior 2.4Ghz, una red con 10 cámaras PTZ para cobertura de área y 10 cámaras bullet para vigilancia perimetral). También se puede trabajar con tecnología 5G. Además, el despliegue de una red básica de sensores inalámbricos sobre tecnología LoRaWAN (sensores ambientales, meteorológicos, de gases, de radiación, etc.) permite monitorizar el entorno de forma remota y dar cobertura de comunicaciones y seguridad perimetral e interior a la totalidad de las 9 ha de extensión en terreno natural, así como a otras 9 ha del entorno urbanizado en el entorno de la Escuela de Ingenierías Industriales.

Por último, la nave taller cuenta con diferentes áreas. Junto con una zona de almacenamiento (Figura 2a), se cuenta con una zona de laboratorio (Figura 2b) que permite, entre otros usos, establecer un puesto de control base (PCB) desde el que se controlan remotamente los experimentos. Este PCB tiene sentido por sí mismo en la realización de experimentos y simulacros del tipo *table-top* (Figura 2c), pero también dentro de experimentos de robótica de emergencias (Sánchez-Montero et al., 2023).

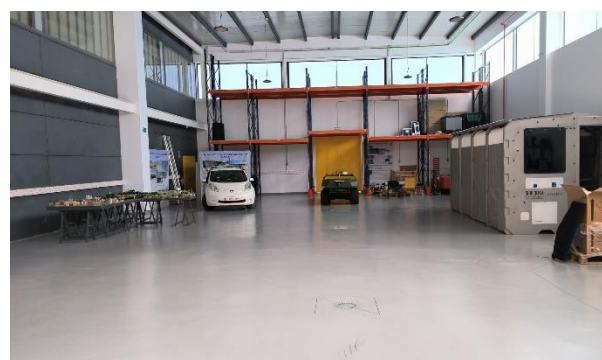
### 3. Diseño de experimentos

#### 3.1. Escenarios

Una de las grandes ventajas de LAENTIEC es la posibilidad de diseñar escenarios específicos de acuerdo con las necesidades de los experimentos. El diseño de escenarios se realiza con la colaboración de bomberos expertos en la materia. Los escenarios no solamente deben cumplir con lo que demande el experimento, sino que también debe ser seguro para quienes desarrollen los experimentos, y para los colaboradores que puedan participar, con especial atención a quienes interpretan el papel de víctima. Con frecuencia este papel puede requerir comportamientos de shock, ansiedad,



a)



b)



c)

Figura 2: Nave taller: a) zona de almacén; b) laboratorio; c) puesto de control para un ejercicio tipo *table-top*.

etc., según el tipo de experimento. Este tipo de papel de víctima, de hecho, suelen interpretarlo estudiantes de Arte Dramático.

De este modo, en un primer paso se diseña la funcionalidad requerida para el escenario. Luego se identifica la zona del Área de Experimentación que más se ajusta a lo requerido. A continuación, se definen las modificaciones necesarias para lograr el escenario requerido. En el siguiente paso se incluyen las medidas de seguridad. Por último, se construye el escenario en la zona designada. La Figura 3 muestra un instante en la construcción de un escenario de atrapamiento en un vehículo. Un actor se introducirá en el vehículo a través de los tubos de hormigón que se ven a la izquierda. El vehículo y los tubos quedarán totalmente enterrados, invisibles para los equipos de rescate cuando realicen el ejercicio. La entrada a los tubos quedará disimulada, pero accesible en todo instante para evacuar al actor si se produce una situación de riesgo.

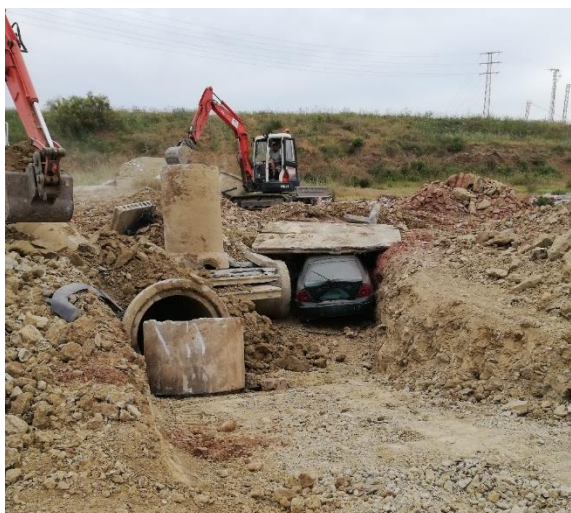


Figura 3: Construcción de un escenario de atrapamiento en un vehículo.

que participan entre 300 y 500 personas, según el año y la tipología del ejercicio. Los participantes incluyen diversos cuerpos de bomberos, Policía Nacional y Local, Guardia Civil, Ejército de Tierra, Ejército del Aire y del Espacio, Protección Civil, Cruz Roja, 112, entre otros, así como empresas como Alisis, SDLE, ATYGES o Cristanini. Esto permite concebir ejercicios en los que colaboren varias instituciones, logrando mayor complejidad y realismo.

Para la organización de estos grandes ejercicios, en primer lugar, es necesario conocer a los participantes y establecer con quién se va a colaborar dentro del objetivo general del ejercicio. En JEMERG 2022, en donde hubo 14 escenarios, el objetivo era comprobar los protocolos y adaptarlos a las personas con diversidad funcional. Habitualmente, los objetivos generales de JEMERG se hacen compatibles con los de los grupos participantes para adaptar los ejercicios a sus intereses también. La Figura 4 muestra una parte de la tabla resumen de escenarios y participantes.

#### 4. Experimentos

A lo largo de estos años, el Grupo de Robótica y Mecatrónica ha completado un elevado número de experimentos en las instalaciones de LAENTIEC. Entre ellos destacan los experimentos a gran escala que se desarrollan en el marco de las Jornadas de Seguridad, Emergencias y Catástrofes de la Universidad de Málaga, que se celebran cada

### 3.2. Diseño de grandes ejercicios

Otra de las características singulares de LAENTIEC es el diseño de grandes ejercicios. El mejor ejemplo de ello son las Jornadas de Seguridad, Emergencias y Catástrofes (JEMERG), que se celebran anualmente y que incluyen un ejercicio en el

Objetivo: Respuesta a emergencias con personas con diversidad funcional											
Equipos / Escenario		0	1	2	3	4	5	...	12	13	14
		PMA	Tunel 1 (Inundación)	Tunel 2 (NBQ)	Tunel 1 (Pt)	Puente dañado	Convoy ONG		Accidente Bus	Secuestro	Rescate K9
Primera Respuesta	Consortio Provincial de Bomberos de Malaga		X					...			
	Bomberos de Benalmádena			X				...			
	Cruz Roja		X				X	...	X		
	Summa 112							...	X		
	UME (Unidad Militar de Emergencias)					X		...			
	Legion (10º Batallón)				X			...			
	Ala 57 Ejército del Aire				X			...			
Segunda Respuesta	Emergencias 112	X	X	X	X	X	X	...	X	X	X
	Protección Civil	X	X	X	X	X	X	...	X	X	X
	Policía Local de Málaga	X						...	X	X	
	GOA Grupo Operativo de Apoyo (Policía Local)	X						...	X	X	
	Servicio de Seguridad UMA	X						...			
	Policía Científica	X						...	X	X	
	Servicios Psicológicos	X					X	...	X	X	
Grupo de Investigación	Grupo de Robótica y Mecatrónica (UMA)	X	X				X	...			X
	Centro de Automatización y Robótica (UPM)		X					...			
	Cátedra SEC	X	X	X	X	X	X	...	X	X	X
Empresas	ALYSYS Robotics	X	X				X	...			X
	ATYGES Engineering	X	X				X	...			X
	SDLE Star Defence Logistic & Engineering					X		...			
	Cristanini Fire Fighting Systems			X		X		...			
	Deveryware					X		...			
Voluntarios	Fundación ONCE		X				X	...	X	X	X
	Estudiantes de Master en Emergencias (UMA)	X	X	X	X	X	X	...	X	X	X
	Estudiantes de la Escuela de Arte Dramático de Málaga			X	X	X		...			

Figura 4: Parte de la tabla de escenarios y participantes en JEMERG 2022.

año. Estos experimentos son de muy diverso tipo, variando de acuerdo con los escenarios previstos, la temática, las entidades colaboradoras, y por supuesto los objetivos de investigación del Grupo. A continuación, se describen tres ejemplos de experimentos que aprovechan diferentes aspectos de LAENTIEC.

4.1. Experimentos en campo abierto: evacuación de víctimas con diversidad funcional (JEMERG 2022)

Las instalaciones de LAENTIEC incluyen una considerable extensión de terreno natural, con pendientes variables, que permite llevar a cabo experimentos en terreno natural despejado. Uno de los experimentos desarrollados dentro de esta categoría tuvo lugar en las Jornadas de Emergencias 2022. El propósito del experimento era evacuar víctimas de un ataque terrorista, con la particularidad de que había que considerar que hubiese personas con diversidad funcional. El experimento fue llevado a cabo por un destacamento de la X Bandera, 4º Tercio Alejandro Farnesio de la Legión (Ejército de Tierra) en colaboración con el Grupo de Robótica y Mecatrónica. Los objetivos del experimento eran por tanto dobles:

- Para el Grupo de Robótica y Mecatrónica, el objetivo era probar la planificación de caminos, y la realización de la misma a partir de una petición desde un smartphone con una app desarrollada específicamente.
- Para el destacamento de la Legión, el objetivo era poner a prueba sus procedimientos de evacuación de víctimas para el caso de la diversidad funcional, así como familiarizarse con el uso de robots móviles.

El destacamento del Ejército conocía el emplazamiento aproximado de las víctimas, pero no el número ni si había personas con diversidad funcional, o los detalles de ésta. De manera que la secuencia del experimento fue la siguiente (Figura 5):

- Tras una exploración de la zona, el destacamento localizó las víctimas y realizó un triaje. A consecuencia de ello, el equipo de rescate pidió ayuda utilizando el smartphone.
- Un robot móvil del Grupo (Rover J8) inició la ruta de extracción teleoperada hacia la ubicación GPS del smartphone. Aunque se realizó la planificación, se decidió completar la ruta teleoperando, en lugar de autónomamente, para adaptar la velocidad del robot a la progresión del experimento.
- En el punto de evacuación, los rescatadores retiraron las camillas del robot y aseguraron a dos víctimas con correas. Las víctimas fueron interpretadas por estudiantes de teatro voluntarios y personal de la Organización Nacional de Ciegos de España (ONCE). Una de ellas era una persona invidente.
- Los rescatadores comunicaron la situación al Puesto de Control Avanzado (PCA): seis víctimas encontradas, dos de ellas aseguradas con éxito en las camillas. El UGV en modo "follow me" regresó con heridos escoltados por el equipo de rescate.
- La ruta de evacuación terminó en el puesto médico, donde las víctimas fueron atendidas, y finalmente transportadas por una ambulancia a la zona de evacuación en helicóptero.

En este experimento, y en otros desarrollados durante las Jornadas de Emergencias 2022, se presentan por primera vez procedimientos específicos para trabajar la problemática de las personas con diversidad funcional en situaciones de emergencia. De hecho, ha sido uno de los primeros ejercicios en Europa en plantearse este problema. El experimento descrito se completó con éxito. Pueden verse más detalles en (Toscano-Moreno et al., 2022).



Figura 5: Experimento sobre evacuación de víctimas con diversidad funcional en JEMERG 2022.

4.2. Experimentos en entornos angostos: evacuación en túnel (JEMERG 2021)

Entre los diferentes entornos disponibles en LAENTIEC existen dos túneles de unos 120 m de longitud, con acceso intermedio a la superficie, y con entradas que pueden modificarse para crear diferentes dificultades de acceso de acuerdo con las necesidades del experimento. Estos túneles se encuentran además en una cañada que dificulta las comunicaciones por radio, lo que supone un reto adicional para los experimentos. Esta zona se ha usado en varias ediciones de las Jornadas de Emergencias, como por ejemplo en la de 2021. En ese año el experimento que se planteó consistió en un incendio con víctimas atrapadas en el interior de vehículos aplastados dentro de uno de los túneles. En esta misión participaron también el Consorcio Provincial de Bomberos de Málaga y la Unidad Militar de Emergencias (UME). Se acordó con las organizaciones participantes un protocolo de misión para la cooperación entre equipos de robots heterogéneos, redes de sensores y equipos de primera intervención.

Las principales etapas son las siguientes

- Se cartografía el terreno mediante un UAV. El objetivo es obtener una ortofoto de la zona de operaciones, y un mapa digital de elevación (DEM, Digital Elevation Map). Esto último es necesario para planificar las trayectorias de los robots terrestres.
- Se despliegan los agentes en la zona de operaciones para ejecutar la misión de búsqueda y rescate. En este caso, se empleó Cuadriga tanto teleoperado como con planificación y movimiento autónomo para acceder a la cañada y la cercanía de los túneles. A bordo contaba con nodos sensores basados en

LoRa. Fuera de la cañada se situó Rambler, portando un concentrador de la red LoRA.

- Los equipos de rescate en el túnel (en este caso, efectivos de la UME) comunican al puesto de coordinación de los ejercicios la necesidad de una evacuación. El puesto de coordinación traslada la petición al PCA, que envía a Rover J8 en modo “follow me”, guiado por un miembro del Grupo.

- El robot accede al túnel donde se requería la evacuación, y los rescatadores aseguran a la víctima en una camilla a bordo de Rover J8.

- La víctima se evacúa a bordo de Rover J8, que un miembro de la UME guía mediante “follow me” hasta el puesto médico.

Este experimento puso a prueba la capacidad de integración y comunicación de un sistema de sistemas integrado por dos robots terrestres, un UAV, una red inalámbrica de sensores y rescatadores de dos cuerpos diferentes. El experimento está descrito con más detalle en (Bravo-Arrabal et al., 2021)

4.3. Búsqueda de víctimas cooperativa (JEMERG 2022)

El entorno de las JEMERG, y la organización, facilita la preparación de experimentos colaborativos, incluso entre entidades que desempeñan papeles similares. Por ejemplo, en JEMERG 2022 se organizó un experimento de búsqueda cooperativa entre el Grupo de Robótica y Mecatrónica, la empresa Alisys, y un perro de rescate especialmente entrenado, Milo, perteneciente a la Guardia Civil (en reserva). La secuencia fue la siguiente (Figura 7):

- Se realiza una primera exploración de la zona mediante un UAV y un UGV (ambos del Grupo de Robótica y Mecatrónica), y se detectan posibles víctimas. Se usa como sensor BLE (BlueTooth Low Energy).



Figura 6: Experimento sobre evacuación de víctimas en zonas angostas en JEMERG 2021.



Figura 7: Experimento sobre búsqueda cooperativa de víctimas en JEMERG 2022.

- Se envía a Rover J8 para trasladar a Spot, aportado y operado por Alisys.
- Spot realiza una búsqueda en la zona. Está teleoperado, y se emplea una cámara térmica para acotar la zona donde están las posibles víctimas.
- Finalmente, se envía Milo a la zona acotada, que es un área con vegetación densa y de muy difícil acceso. Milo localiza a la víctima.

Este experimento se diseñó como una primera aproximación al desarrollo de operaciones cooperativas aprovechando las características diferentes, y complementarias, de UAVs, robots móviles con ruedas, cuadrúpedos, y perros de rescate. Los resultados fueron muy satisfactorios.

## 5. Conclusiones

Disponer de una infraestructura como LAENTIEC permite la integración y colaboración de distintos organismos y entidades, desde Grupos de Investigación a empresas o entidades dedicadas específicamente a la intervención en emergencias. La organización anual de las Jornadas de Seguridad, Emergencias y Catástrofes en estas instalaciones constituye además un foro para la investigación, innovación y experimentación único en España, con una clara vocación internacional.

En este trabajo se han incluido algunos ejemplos de experimentos realizados por el Grupo de Robótica y Mecatrónica de la Universidad de Málaga. Se han descrito tres para destacar algunos tipos de ejercicios: en campo abierto, en zonas angostas, y en búsqueda cooperativa. Pero se han

realizado muchos otros dentro del ámbito de la robótica aplicada a emergencias, y en general, en la robótica de campo.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias al apoyo del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, Gobierno de España, a través de los proyectos RTI2018-093421-B-I00 y PID2021-122944OB-I00. Los autores también desean agradecer su colaboración a la X Bandera del 4º Tercio Alejandro Farnesio de la Legión (Ejército de Tierra), Unidad Militar de Emergencias, Ejército del Aire y del Espacio, Consorcio Provincial de Bomberos de Málaga, así como a Juan Manuel García Hernández, entrenador de Milo, del Grupo Especial de Intervención en Montaña de la Guardia Civil (en reserva).

## Referencias

- Azkarate, M., Gerdes, L., Wiese, T., Zwick, M., Pagnamenta, M., Hidalgo-Carrio, J., Poulakis, P., & Perez-Del-Pulgar, C. J. (2022). Design, Testing, and Evolution of Mars Rover Testbeds: European Space Agency Planetary Exploration. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 29(3), 10–23. <https://doi.org/10.1109/MRA.2021.3134875>
- Bravo-Arrabal, J., Toscano-Moreno, M., Fernandez-Lozano, J. J., Mandow, A., Gomez-Ruiz, J. A., & García-Cerezo, A. (2021). The Internet of Cooperative Agents Architecture (X-LoCA) for Robots, Hybrid Sensor Networks, and MEC Centers in Complex Environments: A Search and Rescue Case Study. *Sensors* 2021, Vol. 21, Page 7843, 21(23), 7843. <https://doi.org/10.3390/S21237843>
- Di Castro, M., Ferre, M., & Masi, A. (2018). CERNTAURO: A modular architecture for robotic inspection and telemanipulation in harsh and Semi-Structured environments. *IEEE Access*, 6, 37506–37522. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2849572>

- Fountas, S., Mylonas, N., Malounas, I., Rodias, E., Santos, C. H., & Pekkeriet, E. (2020). Agricultural robotics for field operations. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 20, Issue 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s20092672>
- Kramberger, A., Kunic, A., Iturrate, I., Sloth, C., Naboni, R., & Schlette, C. (2022). Robotic Assembly of Timber Structures in a Human-Robot Collaboration Setup. *Frontiers in Robotics and AI*, 8, 395. <https://doi.org/10.3389/FROBT.2021.768038/BIBTEX>
- Murphy, R. R. (2014). Disaster Robotics. In *Disaster Robotics*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9407.001.0001>
- Sánchez-Montero, M., Toscano-Moreno, M., Bravo-Arrabal, J., Serón Barba, J., Vera-Ortega, P., Vázquez-Martín, R., Fernández-Lozano, J. J., Mandow, A., & García-Cerezo, A. (2023). Remote Planning and Operation of a UGV Through ROS and Commercial Mobile Networks. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 589 LNNS, 271–282. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-21065-5\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-031-21065-5_23)
- Toscano-Moreno, M., Bravo-Arrabal, J., Sanchez-Montero, M., Barba, J. S., Vázquez-Martín, R., Fernández-Lozano, J. J., Mandow, A., & García-Cerezo, A. (2022). Integrating ROS and Android for Rescuers in a Cloud Robotics Architecture: Application to a Casualty Evacuation Exercise. *SSRR 2022 - IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics*, 270–276. <https://doi.org/10.1109/SSRR56537.2022.10018629>
- UMA. (n.d.). *Área de experimentación* - Universidad de Málaga. 2020. Retrieved April 14, 2023, from [https://www.uma.es/robotics-and-mechatronics/cms/menu/robotica-y-mecatronica/area-de-experimentacion/?set\\_language=es](https://www.uma.es/robotics-and-mechatronics/cms/menu/robotica-y-mecatronica/area-de-experimentacion/?set_language=es)