



**Universidad Tecnológica Nacional**  
**Rectorado**  
**Secretaría de Ciencia y Tecnología**

**SISTEMA DE INFORMACION DE CIENCIA Y  
TECNOLOGIA (SICyT)**

**FORMULARIO PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

**Código del Proyecto: CCECCO0010175**

1. Unidad Científico-Tecnológica

FR Córdoba - CIII: CENTRO DE INVESTIGACION EN INFORMATICA PARA INGENIERÍA

## **2. Denominación del PID**

**ROBOT MODULAR PARA ASISTENCIA EN TAREAS DE BÚSQUEDA Y RESCATE EN ESTRUCTURAS COLAPSADAS**

## **3. Resumen Técnico del PID**

El terremoto ocurrido en Siria y Turquía en febrero de 2023 fue un recordatorio del daño que pueden ocasionar estos eventos naturales, incluso en países o regiones donde son cotidianos y existen sistemas y protocolos de respuesta rápida a este tipo de catástrofes. Hasta marzo de 2023, solo en Turquía se contabilizaron más de 40 mil muertes y 100 mil heridos debido a este siniestro. Más de 12 mil edificios colapsaron, dejando a miles de sobrevivientes atrapados. Muchos de ellos fueron encontrados con vida días después gracias a la ayuda de grupos de rescate especializados locales y provenientes de más de 70 países. Estos equipos de rescate no solo están formados por médicos, bomberos y policías, sino también por ingenieros, arquitectos y voluntarios que se han especializado en este tipo de incidentes. Además, en estos grupos participan equipos especializados en herramientas tecnológicas, como cámaras de distintos espectros, radares de banda ancha y robots teleoperados. Estos robots se utilizan para comenzar a explorar zonas que aún no han sido aseguradas o cuya integridad estructural se desconoce, lo cual podría representar un peligro para el ingreso de los rescatistas. En general, los robots utilizados para búsqueda y rescate presentan innumerables morfologías y formas de locomoción. Sin embargo, en el caso particular de los robots utilizados para ingresar a espacios confinados o estructuras colapsadas, deben ser pequeños, resistentes a golpes y capaces de moverse a través de escombros u otros materiales derivados del derrumbe. Los medios de locomoción más elegidos en estos casos son las orugas en distintas configuraciones. Además de los sensores propioceptivos, estos robots cargan un conjunto de sensores necesarios para facilitar la búsqueda de víctimas y determinar si la zona evaluada es segura. Entre ellos se pueden enumerar cámaras de espectro visible e infrarrojas, detectores de gases tóxicos, micrófonos y sensores de vibración, entre otros. También suelen contar con un sistema de iluminación controlada y altavoces dentro de la carga útil para establecer comunicación con las víctimas. El objetivo de los robots es encontrar cámaras de aire, también llamadas espacios vacíos, donde las personas podrían sobrevivir luego del colapso. En este proyecto se propone el diseño, implementación y transferencia de un sistema de asistencia a rescatistas en un escenario de catástrofe, particularmente ante estructuras colapsadas. Este sistema está compuesto por un robot modular de tamaño reducido y bajo costo con transmisión simple de oruga, un dispositivo portátil que controla el robot desde una posición segura y una base de potencia que provee energía al robot a través de un cable umbilical y, si es necesario, al dispositivo portátil. Además, la base se encarga de enrutar las comunicaciones entre el robot y el dispositivo portátil. El robot modular propuesto para ser utilizado en el sistema, cuenta con tres segmentos articulados, cada uno con tracción independiente. En el primer módulo se ubica un soporte articulado para una cámara frontal. Además, se plantea llevar adelante el estudio, diseño e implementación de los algoritmos necesarios para determinar la posición relativa del robot dentro de la estructura colapsada, así como para crear un mapa de los espacios vacíos utilizando información obtenida de cámaras de distintos espectros y unidades inerciales. También se propone, utilizando las imágenes capturadas por el robot, el desarrollo algoritmos capaces de reconocer víctimas en condiciones desfavorables de iluminación o en situaciones donde no puedan ser observadas en su totalidad. Actualmente, este robot está en funcionamiento en el Centro de Investigación en Informática para la Ingeniería, pero se propone realizar las modificaciones necesarias para que pueda operar en entornos desfavorables, como los escenarios de estructuras colapsadas, y para implementar los nuevos algoritmos propuestos

## **4. Programa**

Electrónica, Computación y Comunicaciones

## **5. Proyecto**

Tipo de Proyecto: PID EQUIPOS EN CONSOLIDACIÓN SIN INCENTIVOS

Tipo de Actividad: Investigación Aplicada

**Campos de Aplicación:**

Otros

Rubro	Descrip. Actividad	Categoría (especificada)
INDUSTRIAL (Producción y tecnología)	Equipos e instrumentos científicos de medición y control	
PROMOCION GENERAL DEL CONOCIMIENTO	Ciencias de la ingeniería y arquitectura	

#### Disciplinas Científicas:

Rubro	Disciplina Científica	Otras Disciplinas Científicas
MATEMÁTICA	Probabilidad	-
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES ELECTRÓNICA Y CONTROL	Electrónica	-
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA	Ingeniería de Software	-
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA	Inteligencia Artificial	-
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA	Robótica	-

#### Palabras Clave

Búsqueda y Rescate, robots de asistencia, visión por computadoras, localización y mapeo, reconocimiento de patrones

#### 6. Fechas de realización

Inicio	Fin	Duración	Fecha de Homologación
01/04/2024	31/03/2027	36 meses	-

#### 7. Aprobación/ Acreditación / Homologación / Reconocimiento (para ser completado por la SCyT - Rectorado)

##### 7.1 Aprobación / Acreditación / Reconocimiento (para ser completado por la FR cuando se posea N° Resolución)

N° de Resolución de aprobación de la FR:

##### 7.2 Homologación (para ser completado por la SCyT - Rectorado)

Código SCyT: CCECCO0010175

Disposición SCyT:

Código Ministerio:

#### 8. Estado (para ser completado por la SCyT - Rectorado)

EN TRÁMITE

#### 9. Avales (presentación obligatoria de avales)

#### 10. Personal Científico Tecnológico que participa en el PID

Apellido	Nombre	Cargo	Hs/Sem	Fecha Alta	Fecha Baja	Otros Cargos	Cargo docente	Año cargo docente	Categ. Investigador Universitario	Categ. Prog. Incentivos	
PAZ	CLAUDIO JOSÉ	DIRECTOR	20	01/04/2024	31/03/2027		<ul style="list-style-type: none"> <li>Profesor Adjunto</li> <li>Profesor Asociado</li> </ul>	2019	Investigador C	Investigador V	<a href="#">Descargar CV</a>
PEREZ PAINA	GONZALO FERNANDO	CO-DIRECTOR	10	01/04/2024	31/03/2027		Profesor Adjunto	2019	Investigador D	Investigador III	<a href="#">Descargar CV</a>
VATCOFF	MARIANO TOMAS	BECARIO BINID	20	01/04/2024	31/03/2027				Ninguna	Ninguna	<a href="#">Descargar CV</a>
JUNCO	MARIANO EMANUEL	TÉCNICO DE APOYO	5	01/04/2024	31/03/2027				Ninguna	Ninguna	<a href="#">Descargar CV</a>
BRIZZIO	PAULA VALENTINA	BECARIO ALUMNO UTN-SCYT	12	01/04/2024	31/03/2027				Ninguna	Ninguna	<a href="#">Descargar CV</a>
MOLLECKER PRINI	MATIAS ALEJO	BECARIO ALUMNO UTN-SAE	6	01/04/2024	31/03/2027				Ninguna	Ninguna	<a href="#">Descargar CV</a>
PEREYRA	MAIRA ESTEFANIA	BECARIO POSGRADO - DOCTORAL EN EL PAÍS	5	01/04/2024	31/03/2027		Ayudante de 1ra	2018	Investigador D	Ninguna	<a href="#">Descargar CV</a>

## 11. Datos de la investigación

### Estado actual de concimiento del tema

Los terremotos son uno de los desastres naturales más devastadores que pueden afectar a una comunidad. Estos fenómenos pueden provocar pérdidas humanas y daños materiales significativos en cuestión de segundos. El uso de tecnología para ayudar en la búsqueda y rescate de sobrevivientes después de un terremoto se ha vuelto una valiosa herramienta aumentando la posibilidad de encontrar víctimas vivas. Existe un abanico de herramientas que pueden proporcionar información detallada y en tiempo real sobre la ubicación de las personas atrapadas, así como sobre la infraestructura afectada y los posibles riesgos para los rescatistas. Un ejemplo de la ventaja del uso de tecnología en búsqueda y rescate se puede describir en [Zalud et al., 2014] donde se presenta la fusión de imágenes de una cámara en el espectro visible con una cámara térmica para mejorar la información disponible. La información del entorno se presenta por medio de realidad aumentada, sin importar la visibilidad del ambiente. En la pantalla remota se puede ver la imagen tomada por la cámara común pero cuando se detectan cuerpos humanos resalta el contorno cuerpo mediante realidad aumentada, mostrando en otro rango de colores su perfil térmico de la persona. El sistema de cámaras está montado en un robot con ruedas que es teleoperado.

Respecto del uso de robots modulares de búsqueda y rescate, uno de los trabajos iniciales es [Kamegawa et al., 2004] que se centra en el diseño y construcción de un robot de rescate inspirado en el movimiento de las serpientes. El robot, llamado "Kohga", cuenta con módulos articulados que le permiten desplazarse de manera suave y precisa en espacios estrechos y difíciles de alcanzar.

En [Salton et al., 2017] se trata el desarrollo específico de un robot para rescates en accidentes ocurridos en minas de carbón. El mismo está equipado con sensores de gas, una cámara térmica para localizar supervivientes y otra cámara de movimiento horizontal y vertical montada a mayor altura para detectar obstáculos. La monitorización continua de los gases, junto con imágenes en color e información de profundidad de la cámara se transmite de forma inalámbrica al operador. Es lo bastante ligero como para arrastrarse sobre rocas y montones de escombros, y lo bastante resistente como para soportar las presiones del subsuelo. El cuerpo articulado y las orugas de goma le permiten enfrentarse a terrenos muy accidentados mediante su manejo a control remoto.

Otro robot de tipo oruga es presentado en [Ito y Maruyama, 2016] en donde el personal de rescate profesional y los miembros de la comunidad pueden trabajar juntos para mitigar los efectos de una catástrofe. Lo que busca este trabajo es lograr que cualquier usuario sea capaz de controlar el robot, sin necesidad de tener una formación avanzada, mediante una interfaz de usuario convencional de dos canales con palancas para giros y movimientos en línea recta. Se desarrolló un robot con forma de serpiente que reduce los actuadores utilizando un mecanismo pasivo. En el trabajo se muestra un robot cuyo alcance de búsqueda se limita a 5 metros, ya que su energía se suministra mediante cables. Consta de cinco eslabones que se arrastran y se conectan mediante articulaciones de goma, pudiendo adaptarse al entorno utilizando la dinámica de su cuerpo en lugar del procesamiento informático.

En [Chavan et al., 2015] se analiza el diseño de un robot modular con forma de serpiente, capaz de desplazarse por diversos terrenos y realizar tareas como operaciones de búsqueda y rescate, vigilancia industrial, etc. El robot está formado por varios módulos que pueden conectarse para adoptar formas en más de un plano. En el trabajo se destacan las posibles aplicaciones del robot serpiente, como la detección de personas vivas bajo los escombros en caso de terremoto y la exploración de entornos desconocidos.

Un caso particular es el descrito en [Kamegawa et al., 2020] donde se investiga y desarrolla un sistema robótico para respuesta ante catástrofes compuesto por un robot móvil con tracción de orugas y un robot serpiente. Mientras que los robots móviles con oruga son comunes en la respuesta a desastres, también se han propuesto robots serpiente para explorar entornos estrechos y complejos. Sin embargo, es difícil contar con un solo robot versátil para diferentes tipos de desastres. Por lo tanto, se propone un enfoque de sistema multi-agente que consta de un robot móvil y un robot serpiente separable. El robot serpiente puede investigar espacios estrechos inaccesibles para el robot móvil, mientras que el robot móvil puede operar durante más tiempo y moverse más rápidamente. Esta configuración mejora la eficiencia y versatilidad del sistema de búsqueda y rescate en situaciones de desastre.

Por el contrario, en [Choden et al., 2019] se presenta un robot de rescate controlado a distancia mediante comunicación inalámbrica haciendo énfasis en la interfaz. El cuerpo principal del robot de rescate es una oruga con dos brazos que son usados para esquivar los obstáculos que se presenten. Los usuarios pueden controlar el robot de rescate hacia adelante/atrás y derecha/izquierda con un mando a distancia a través de la comunicación ZigBee. También es posible observar la situación de un área de desastre por una cámara en la PC. La cámara gira hacia la derecha/izquierda con el control remoto, este movimiento es implementado gracias a un servomotor de giro continuo ubicado en la torre de la cámara. La distancia efectiva entre el robot de rescate y el control remoto el controlador está a 120m al aire libre.

[Kwon, et al., 2007] analiza la importancia de los mecanismos de locomoción, el movimiento autónomo basado en la posición global/local, la prevención de colisiones por el terreno complicado y la estabilización de la postura aplicados a los robots de búsqueda y rescate. Propone como solución la implementación de un robot oruga que cuenta con un sistema de tensado de correas que permite cambiar la postura de los brazos dispuestos para que de esa manera se pueda llegar fácilmente a lugares de difícil acceso. Por otro lado, el sistema de proximidad incorporado en el mismo permite escanear el terreno, por lo que se puede variar la tensión de la correa para que no pierda tensión y no afecte la tracción del robot.

En [Kwak, et al., 2007] se describe el diseño y las pruebas de un robot de rescate que puede explorar entornos difíciles antes de que entren en acción los rescatistas humanos. El robot tiene capacidades de movilidad, detección, control y comunicación, y requiere equipos como un motor de accionamiento, codificadores rotatorios, dispositivos ultrasónicos y de detección de presencia, un sensor de infrarrojos y una cámara. La estructura del robot incluye orugas capaces de superar escaleras y pendientes, y una superficie exterior cóncavo-convexa para aumentar la fuerza motriz. El trabajo también analiza la selección de componentes y sensores específicos para la funcionalidad del robot.

Para abordar el problema de la exploración autónoma en entornos no estructurados como los de una estructura colapsada, en [Niroui et al., 2019] se utilizan técnicas de localización y mapeo simultáneos, además de métodos de exploración de fronteras, que se basan principalmente en métricas de rendimiento basadas en el coste o la utilidad. Sin embargo, los entornos USAR son impredecibles y su disposición puede cambiar significativamente tras la catástrofe, por lo que no es posible confiar en una disposición conocida. El trabajo propone técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning, ML), en particular de aprendizaje profundo por refuerzo (Deep Reinforcement Learning, DRL).

En [Wiley et al., 2018] se analizan los retos que plantea el desarrollo de un sistema de conducción autónoma para robots reconfigurables que puedan desplazarse por terrenos accidentados en zonas de catástrofes. Los autores proponen un sistema de aprendizaje en bucle cerrado que combina un planificador que produce una secuencia de acciones y un sistema de aprendizaje por refuerzo que realiza el refinamiento de los parámetros. El sistema de aprendizaje consta de un proceso de dos etapas, en el que el robot adquiere primero un modelo abstracto aproximado de sus acciones mediante la exploración aleatoria y la observación de su estado antes y después de cada acción. A continuación, este modelo cualitativo se refina mediante el aprendizaje por refuerzo, que reduce el espacio de búsqueda global y el número de ensayos necesarios para aprender una nueva habilidad.

En [Lygouras et al., 2019] se analiza el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) en misiones de búsqueda y salvamento, especialmente en sucesos marítimos críticos. Destaca las ventajas del uso de UAV en misiones de rescate, como su maniobrabilidad, velocidad y capacidad para proporcionar visibilidad aérea. El artículo propone un sistema embebido que implementa una arquitectura de aprendizaje profundo (Deep Learning, DL) para la identificación y localización de nadadores en aguas abiertas, así como el transporte y liberación precisos del mismo aparato. La principal novedad de la investigación es la recopilación de datos adecuado para el entrenamiento de un hexacóptero de capacidad de carga media, mediante DL.

[Fung et al., 2020] analiza los retos que plantea la identificación de víctimas en escenas de búsqueda y rescate urbanos (USAR) debido a las oclusiones, las variaciones en las posturas corporales, los puntos de vista, y el ruido en los sensores. Los enfoques clásicos de aprendizaje para la detección de partes del cuerpo humano se han centrado en trabajos artesanales y reglas predefinidas, lo que puede llevar mucho tiempo y requerir conocimientos de expertos. El artículo propone el uso de detectores de redes neuronales profundas (Deep Neural Networks, DNN) con imágenes RGB-D para identificar partes del cuerpo e investiga que DNN son robustas frente a la oclusión y las condiciones de escasa iluminación.

[Budiharto, 2015] analiza el uso de la robótica móvil con fines militares y de rescate. Además explora los retos que plantea el diseño de robots móviles para trabajar en terrenos variados y la necesidad de sistemas avanzados de propulsión y gestión de la energía. El artículo propone un robot móvil de bajo coste para cargas pesadas equipado con Raspberry Pi y sensores de distancia. Analiza el uso de redes neuronales (Neural Networks, NN) para evitar obstáculos y un sistema de cámaras para detectar víctimas en la zona del robot.

En [Firmansyah et al., 2018] se analiza el desarrollo de un sistema de localización de un robot de rescate mediante una red neuronal artificial (Artificial Neural Network, ANN). El objetivo del sistema es ayudar al robot a navegar y guiar a las víctimas de catástrofes hasta un lugar seguro. El artículo describe distintos métodos de localización, como los puntos de referencia artificiales, la RFID y la navegación por estimación, pero destaca sus limitaciones. El sistema propuesto utiliza un telémetro ultrasónico y un sensor de brújula para crear un patrón que sirva de referencia de posicionamiento.

En [Sombolestan et al., 2018] se analiza la planificación de trayectorias para robots en el contexto de las misiones de búsqueda y rescate. El uso de robots en estas misiones puede aumentar la eficacia y reducir el riesgo para los equipos humanos de rescate. El objetivo es encontrar el camino más corto hacia el objetivo en entornos desconocidos y dinámicos. El método integrado propuesto consta de dos fases. En la primera, se utiliza un algoritmo basado en Braitenberg para la operación de búsqueda, y en la segunda, un algoritmo basado en Q-learning (aprendizaje por refuerzo) para encontrar el objetivo en un tiempo mínimo. El método propuesto no requiere un mapa del entorno y puede rastrear a las víctimas basándose en las señales emitidas.

En [Sampedro et al., 2018] los autores proponen un UAV totalmente autónomo para misiones no supervisadas de alto nivel en escenarios de búsqueda y rescate (SAR). El sistema integra técnicas basadas en el aprendizaje para el reconocimiento de objetos y la interacción, que proporcionan soluciones flexibles y versátiles para misiones SAR en entornos interiores. El sistema propuesto se evalúa exhaustivamente en vuelos simulados y reales en escenarios SAR de interiores abarrotados.

Si bien [Yu et al., 2018] trata el tema de los robots hexápodos y no orugas, el mismo está equipado con sensores de color y de imagen infrarroja para ayudar a los bomberos a buscar supervivientes en un incendio. El robot combina la información obtenida de estos sensores mediante un filtro de Kalman para detectar humanos. El trabajo se divide en dos partes: control de locomoción y detección de personas, utilizando Q-learning, un método sin modelos basado en el aprendizaje por refuerzo, para aprender el mejor patrón de marcha.

Finalmente, en [Gandarias et al., 2018] se analiza el uso de sensores táctiles en robótica de rescate, sobre todo en situaciones de emergencia en las que es prioritario localizar y rescatar a posibles víctimas. Los autores destacan las dificultades de utilizar únicamente la percepción visual, sobre todo en entornos con poca luz o polvo, y proponen el uso de la retroalimentación háptica para complementar la información visual. Una tarea clave de la robótica de rescate es el triaje, que implica localizar y evaluar la urgencia de las víctimas, y los autores proponen el uso de métodos de aprendizaje automático para el reconocimiento de imágenes de presión como ayuda en esta tarea. Describen el uso de redes neuronales convolucionales profundas (DCNN).

## Bibliografía

[Zalud et al., 2014] Zalud, L., Kocmanova, P., Burian, F., & Jilek, T. (2014). Color and thermal image fusion for augmented reality in rescue robotics. 8th International Conference on Robotic, Vision, Signal Processing & Power Applications (pp. 47-55). Springer.

[Kamegawa et al., 2004] Kamegawa, T., Yamasaki, T., Igarashi, H., & Matsuno, F. (2004). Development of the snake-like rescue robot "Kohga". IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004 (Vol. 5, pp. 5081-5086).

[Salton et al., 2017] Salton, J. R., Hobart, C. G., Garretson, J., & Callow, D. S. (2017). Mine Rescue Robotics: Gemini Scout-18507. Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States).

[Ito y Maruyama, 2016] Ito, K., & Maruyama, H. (2016). Semi-autonomous serially connected multi-crawler robot for search and rescue. *Advanced Robotics*, 30(7), 489-503.

[Chavan et al., 2015] Chavan, P., M., M., Unnikannan, V., Singh, A., & Phadatare, P. (2015). Modular Snake Robot with Mapping and Navigation: Urban Search and Rescue (USAR) Robot. 1st International Conference on Computing, Communication, Control and Automation, ICCUBEA 2015.

[Kamegawa et al., 2020] Kamegawa, T., Akiyama, T., Sakai, S., Fujii, K., Une, K., Ou, E., Matsumura, Y., Kishutani, T., Nose, E., Yoshizaki, Y., & Gofuku, A. (2020). Development of a separable search-and-rescue robot composed of a mobile robot and a snake robot. *Advanced Robotics*, 34(2), 132-139.

[Choden et al., 2019] Choden, Y., Raj, M., Wangchuk, C., Singye, P., & Muramatsu, K. (2019). Remote Controlled Rescue Robot Using ZigBee Communication. IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT2019) (pp. 1-5).

[Kwon, et al., 2007] Kwon, H.-J., Shim, H., Kim, D.-G., Park, S.-K., & Lee, J. (2007). A development of a transformable caterpillar equipped mobile robot. International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS2007) (pp. 1062-1065).

[Kwak, et al., 2007] Kwak, S.-H., Choi, G.-S., & Choi, G.-H. (2007). Design of Rescue Robot in Hazardous and Disastrous Environment. *International Journal of Safety*, 6(1), 11-15.

[Niroui et al., 2019] Niroui, F., Zhang, K., Kashino, Z., & Nejat, G. (2019). Deep Reinforcement Learning Robot for Search and Rescue Applications: Exploration in Unknown Cluttered Environments. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(2), 610-617.

[Wiley et al., 2018] Wiley, T., Bratko, I., & Sammut, C. (2018). A Machine Learning System for Controlling a Rescue Robot. *RoboCup 2017: Robot World Cup XXI* (pp. 108-119). Springer International Publishing.

[Lygouras et al., 2019] Lygouras, E., Santavas, N., Taitzoglou, A., Tarchanidis, K., Mitropoulos, A., & Gasteratos, A. (2019). Unsupervised Human Detection with an Embedded Vision System on a Fully Autonomous UAV for Search and Rescue Operations. *Sensors*, 19(16), 3542.

[Fung et al., 2020] Fung, A., Wang, L. Y., Zhang, K., Nejat, G., & Benhabib, B. (2020). Using Deep Learning to Find Victims in Unknown Cluttered Urban Search and Rescue Environments. *Current Robotics Reports*, 1(3), 105-115.

[Budiharto, 2015] Budiharto, W. (2015). Intelligent Surveillance Robot with Obstacle Avoidance Capabilities Using Neural Network.

Intell. Neuroscience, 2015.

[Firmansyah et al., 2018] Firmansyah, R. A., Pambudi, W. S., Suheta, T., Zuliari, E. A., Muharom, S., & Hidayatullah, M. B. S. (2018).

Implementation of Artificial Neural Networks for Localization System on Rescue Robot.

2018 IEEE Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS) (pp. 305-309).

[Sombolistan et al., 2018] Sombolistan, S. M., Rasooli, A., & Khodaygan, S. (2018).

Optimal path-planning for mobile robots to find a hidden target in an unknown environment based on machine learning. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 10(5), 1841-1850.

[Sampedro et al., 2018] Sampedro, C., Rodriguez-Ramos, A., Bavle, H., Carrio, A., de la Puente, P., & Campoy, P. (2018).

A Fully-Autonomous Aerial Robot for Search and Rescue Applications in Indoor Environments using Learning-Based Techniques.

Journal of Intelligent & Robotic Systems, 95(2), 601-627

[Yu et al., 2018] Yu, T. K., Chieh, Y. M., & Samani, H. (2018).

Reinforcement learning and convolutional neural network system for firefighting rescue robot.

MATEC Web of Conferences, 161, 03028.

[Gandarias et al., 2018] Gandarias, J. M., Gómez-de-Gabriel, J. M., & García-Cerezo, A. J. (2018).

Tactile Sensing and Machine Learning for Human and Object Recognition in Disaster Scenarios.

ROBOT 2017: Third Iberian Robotics Conference (pp. 165-175). Springer International Publishing.

### Grado de Avance

Respecto de los recursos humanos con los que se cuenta, el equipo de trabajo vinculado a este proyecto forma parte del Centro de Investigación en Informática para la Ingeniería (CIII). El CIII lleva 25 años desarrollando proyectos de investigación en robótica, imágenes y visión por computadoras. El mismo cuenta con personas formadas en fusión de sensores, procesamiento de imágenes, localización y mapeo en ambientes interiores, planificación de trayectorias, exploración y técnicas de aprendizaje profundo. En los últimos años, además ha ganado experiencia sobre clasificación, reconocimiento, identificación de patrones y procesamiento de alto rendimiento. En este período se han desarrollado robots móviles aéreos y terrestres, los cuales necesitan determinar la posición y orientación en tiempo real usando sensores de bajo costo como cámaras y unidades inerciales. Esta experiencia puede volcarse directamente a la localización del del robot modular cuando se la desplaza entre los escombros.

Entre los trabajos publicados por todos los integrantes del centro, se pueden destacar por su relevancia con el proyecto los siguientes: respecto de la localización se pueden mencionar [araguas2015], donde se presenta la fusión de información proveniente de unidades inerciales y cámaras monoculares. En dicho estudio, se emplea un preprocesamiento de las imágenes utilizando transformadas de Fourier con el fin de superar la falta de características reconocibles en cada imagen. Los resultados obtenidos al aplicar estos algoritmos en diversas superficies se detallan en [araguas2017]. En [paz2016] se describe un estudio en el que se incorporan sensores adicionales, como barómetros y sonares, a los sensores inerciales en el diseño de los estimadores de posición y orientación. Estos sensores complementarios permiten mejorar la precisión de la estimación. En [paz2017], se muestra cómo al utilizar esta información adicional en el procesamiento de imágenes, se logra minimizar el error en las homografías que determinan el movimiento entre dos imágenes sucesivas. Esto resulta en una mayor precisión en la estimación del movimiento y la localización. En la temática de la exploración, [pereyra2022] propone un algoritmo para planificar el retorno a base de múltiples robots, utilizando información parcial de cada uno de ellos. Estos trabajos se validaron con las herramientas desarrolladas en [nievas2022a] y [nievas2022b].

El campo del aprendizaje profundo, dentro del área de la inteligencia artificial, el CIII ha tenido un impacto significativo en los últimos años, tanto en la industria como en el ámbito científico y académico. Una aplicación importante de esta técnica se enfoca en el análisis de imágenes con presencia de ruido. Uno de los grandes aportes fue el desarrollo de métodos que utilizan filtros inteligentes para eliminar el ruido en las imágenes. Un enfoque que ha demostrado ser eficaz es la combinación de la lógica difusa y las wavelets. Este enfoque ha brindado excelentes resultados en imágenes de radar satelitales, como las imágenes SAR (Synthetic Aperture Radar), como se describe en [nemer2016]. Esto ha motivado la exploración de su implementación en otros tipos de imágenes con ruido menos complejo. Además, se han realizado investigaciones en el análisis de imágenes ruidosas utilizando análisis estadístico para extraer contornos de objetos e identificarlos. Por ejemplo, en [nemer2020], las redes neuronales se entrenan con datos sintéticos diseñados específicamente para las características de las imágenes a procesar. Dada la complejidad de la información y el tipo de procesamiento necesario, se empleó el aprendizaje reforzado. En cuanto al uso industrial del reconocimiento de patrones, el campo del aprendizaje profundo, el CIII junto con varias empresas automotrices, ha desarrollado sistemas para detectar operarios que utilizan incorrectamente elementos de protección o que trabajan en áreas peligrosas debido a su proximidad con maquinaria pesada.

Respecto de la capacitación en búsqueda y rescate, desde 2020, el personal del CIII ha recibido un constante asesoramiento por parte del personal de la Fundación GEER (Grupo de Entrenamiento Integral en Emergencias), quienes brindan capacitación al equipo de trabajo en temas relacionados con la búsqueda y rescate. A partir de 2021, esta relación se ha convertido en una colaboración bidireccional, gracias a la firma de un convenio marco entre la Facultad Regional Córdoba y la Fundación GEER. Además, el equipo de trabajo involucrado en este proyecto participó a

principios de 2021 en una capacitación sobre rescates en estructuras colapsadas, donde pudieron experimentar de primera mano los requisitos necesarios para cualquier dispositivo de asistencia utilizado por los rescatistas. A fines de 2022, los miembros de este equipo también recibieron capacitación internacional en la misma área temática. A partir de principios de 2023, parte del equipo se ha incorporado al área tecnológica de la Célula Argentina del Grupo Rescate Internacional TOPOS AC, lo que les permite tener un contacto diario con la problemática abordada en este proyecto.

Respecto de las plataformas de ensayo, dentro de los robots disponibles en el CIII (Robots diferenciales con tres ruedas), recientemente se completó el diseño e implementación de un primer prototipo de robot modular, compuesto por tres módulos con tracción simple de oruga. El robot cuenta con una cámara en el módulo frontal y una cámara de retroceso. Este robot está listo para comenzar con la implementación de los algoritmos de localización y mapeo. Sin embargo la estructura no es lo suficientemente robusta para su uso en ambientes desfavorables.

## Bibliografía

[araguas2015] Araguás, Gastón; Paz, Claudio; Gaydou, David; Paina, Gonzalo Perez. "Quaternion-based Orientation Estimation Fusing a Camera and Inertial Sensors for a Hovering UAV", *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol.77, num.1. 2015.

[araguas2017] Araguás, Gastón; Paz, Claudio; Paina, Gonzalo Perez; Canali, Luis. "Monocular Pose Estimation for an Unmanned Aerial Vehicle Using Spectral Features", *Designing with Computational Intelligence*, Springer. 2017.

[paz2016], Paz, Claudio J.; Perez Paina, Gonzalo F.; Pucheta, Martín A. "Acoplamiento en la estimación de la orientación y la altura mediante filtro extendido de Kalman", *Mecánica Computacional*, vol.34, num.51, 2016.

[paz2017] Paz, Claudio J.; Nesmachnow, Sergio. "Double coupling between inertial sensors and visual odometry in multicopters", *XLIII Latin American Computer Conference*, 2017.

[pereyra2022] M. Estefan??a Pereyra, Nievas, M., Claudio J. Paz, R. Gastón Araguás. "Planificación de caminos para retorno a la base de múltiples robots en tareas de exploración". In *XI Jornadas Argentinas de Robótica*. 2022.

[nievas2022b] Nievas, M., stefan??a Pereyra, Gastón Araguás y Claudio J. Paz. "sim\_manager: Paquete para automatizar la simulación de algoritmos sobre múltiples robots". In *XI Jornadas Argentinas de Robótica*. 2022.

[nievas2022a] Nievas, M., Agustin Arese, Gino Deangelli, Juan Manuel Souto, Ignacio Oscar Balbo, Agust??n Pesce y Claudio J. Paz. "HexSaR-sim: Simulación de un robot hexápodo para tareas de búsqueda y rescate". In *XI Jornadas Argentinas de Robótica*. 2022.

[nemer2016] Nemer, Karim A.; Pucheta, Martín A.; Flesia, Ana G. "Unsupervised fuzzy-wavelet framework for coastal polynya detection in synthetic aperture radar images", *Cogent Engineering*, vol.3, num.1, Cogent. 2016.

[nemer2020] Nemer, Karim A.; Pucheta, Martín A.; Flesia, Ana G. "Optimal Canny's Parameters Regressions for Coastal Line Detection in Satellite-Based SAR Images", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol.17, num.1, 2020.

## Objetivos de la investigación

El objetivo general de este trabajo será el desarrollo e implementación de un sistema de asistencia a rescatistas en escenarios de búsqueda y rescate de personas en estructuras colapsadas proveyendolo de información respecto del interior de esa estructura. En caso de encontrar sobrevivientes, el sistema debe ser capaz de establecer comunicación entre el rescatista y las víctimas.

Los objetivos específicos se enumeraran a continuación:

1. Adaptar el robot modular disponible en el CIII para que pueda ser utilizado en escenarios de catástrofe, esto es, pisos irregulares, posiblemente cubiertos de escombros de diversos tamaños, con grandes cantidades de polvo y agua.
2. Estudiar, diseñar e implementar algoritmos de procesamiento de imágenes y análisis de datos para obtener información detallada del interior de la estructura, como la generación de un mapa métrico, semántico o híbrido.
3. Estudiar, diseñar e implementar algoritmos de reconocimiento de patrones usando aprendizaje profundo con imágenes en el espectro visible e infrarrojo para poder detectar a sobrevivientes en condiciones de oclusión y posiblemente grandes cantidades polvo en suspensión o depositado sobre las víctimas.
4. Crear una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar, que permita controlar el robot pero que también brinde al rescatista una visualización clara y en tiempo real de la información recopilada, facilitando la toma de decisiones durante la operación de búsqueda y rescate. Debe tener un canal de comunicación bidireccional que permita la interacción entre el rescatista y las víctimas encontradas, a través de dispositivos de audio y video.
5. Diseñar e implementar un sistema autónomo de energía (SAPS, por las siglas en inglés de Stand-Alone Power System) para poder realizar trabajos de búsqueda y rescate durante jornada extendida en zonas donde no hay servicios de energía.
6. Realizar pruebas exhaustivas del sistema en escenarios reales de búsqueda y rescate, evaluando su efectividad, precisión y confiabilidad en la detección de víctimas y la comunicación con el rescatista.
7. Optimizar y mejorar continuamente el sistema, considerando retroalimentación y sugerencias de los rescatistas y expertos en el campo, con el objetivo de incrementar su eficiencia y capacidad de respuesta en situaciones de

emergencia.

### Descripción de la metodología

#### **1. Adaptar el robot modular disponible en el CIII para que pueda ser utilizado en escenarios de catástrofe, esto es, pisos irregulares, posiblemente cubiertos de escombros de diversos tamaños, con grandes cantidades de polvo y agua.**

- 1.1. Evaluación de las características y limitaciones del robot modular existente.
- 1.2. Identificación de los desafíos específicos que deben abordarse para su adaptación en escenarios de catástrofe.
- 1.3. Diseño e implementación de modificaciones estructurales para mejorar la resistencia del robot a terrenos irregulares.
- 1.4. Incorporación de sistemas de protección contra elementos como polvo y agua.
- 1.5. Pruebas y validación de la adaptación del robot en condiciones similares a escenarios de catástrofe.

#### **2. Estudiar, diseñar e implementar algoritmos de procesamiento de imágenes y análisis de datos para obtener información detallada del interior de la estructura, como la generación de un mapa métrico, semántico o híbrido.**

- 2.1. Revisión y análisis de las técnicas existentes de procesamiento de imágenes y análisis de datos aplicadas a estructuras colapsadas.
- 2.2. Diseño de algoritmos que permitan la generación de mapas métricos, semánticos o híbridos del interior de la estructura utilizando las imágenes capturadas por el robot.
- 2.3. Implementación de los algoritmos en software o sistemas embebidos para su ejecución en tiempo real.
- 2.4. Evaluación y refinamiento de los algoritmos mediante pruebas en escenarios de búsqueda y rescate simulados o reales.
- 2.5. Validación de la efectividad y precisión de los algoritmos en la obtención de información detallada del interior de la estructura.

#### **3. Estudiar, diseñar e implementar algoritmos de reconocimiento de patrones usando aprendizaje profundo con imágenes en el espectro visible e infrarrojo para poder detectar a sobrevivientes en condiciones de oclusión y posiblemente grandes cantidades de polvo en suspensión o depositado sobre las víctimas.**

- 3.1. Investigación y análisis de técnicas de reconocimiento de patrones y aprendizaje profundo aplicadas a imágenes en el espectro visible e infrarrojo.
- 3.2. Diseño de arquitecturas de redes neuronales adecuadas para la detección de sobrevivientes en condiciones de oclusión y presencia de polvo.
- 3.3. Entrenamiento de las redes neuronales utilizando conjuntos de datos relevantes y sintéticos diseñados específicamente para las características de las imágenes a procesar.
- 3.4. Implementación de los algoritmos de reconocimiento de patrones en sistemas adecuados para su ejecución en tiempo real en el robot modular.
- 3.5. Evaluación y refinamiento de los algoritmos mediante pruebas en escenarios simulados o reales, con diferentes condiciones de oclusión y presencia de polvo.
- 3.6. Validación de la eficacia y precisión de los algoritmos en la detección de sobrevivientes en condiciones desafiantes.

#### **4. Crear una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar, que permita controlar el robot pero que también brinde al rescatista una visualización clara y en tiempo real de la información recopilada, facilitando la toma de decisiones durante la operación de búsqueda y rescate. Debe tener un canal de comunicación bidireccional que permita la interacción entre el rescatista y las víctimas encontradas, a través de dispositivos de audio y video.**

- 4.1. Análisis de los requisitos de interfaz de usuario y comunicación para facilitar la interacción entre el rescatista y el sistema.
- 4.2. Diseño de una interfaz de usuario intuitiva y visualmente clara, que permita el control del robot y proporcione visualización en tiempo real de la información recopilada.
- 4.3. Implementación de la interfaz de usuario en un sistema compatible con el hardware del robot y que cumpla con los requisitos de tiempo real.
- 4.4. Integración de dispositivos de audio y video para establecer un canal de comunicación bidireccional entre el rescatista y las víctimas encontradas.
- 4.5. Pruebas y validación de la interfaz de usuario y el canal de comunicación en escenarios simulados o reales de búsqueda y rescate.
- 4.6. Mejora continua de la interfaz de usuario y el canal de comunicación en función de la retroalimentación y las necesidades de los rescatistas.

#### **5. Diseñar e implementar un sistema autónomo de energía (SAPS, por las siglas en inglés de Stand-Alone Power System) para poder realizar trabajos de búsqueda y rescate durante jornada extendida en zonas donde no hay servicios de energía.**

- 5.1. Análisis de los requisitos energéticos del robot modular y las limitaciones de las zonas de búsqueda y rescate.
- 5.2. Investigación y selección de tecnologías de generación de energía autónoma, como paneles solares, baterías de alta capacidad, generadores portátiles, entre otros.
- 5.3. Diseño de un sistema de gestión de energía que permita la optimización del consumo y la distribución de la energía disponible.
- 5.4. Integración de los componentes del sistema autónomo de energía en el robot modular, teniendo en cuenta la compatibilidad y las restricciones de espacio y peso.
- 5.5. Pruebas y validación del sistema autónomo de energía en escenarios simulados o reales, evaluando su capacidad

para proporcionar energía de manera sostenible durante jornadas extendidas.

5.6. Mejora continua del sistema autónomo de energía en función de la retroalimentación y las necesidades específicas de las operaciones de búsqueda y rescate.

Los objetivos específicos 6 y 7 son transversales a los demás objetivos y están incluidos en las descripciones de los mismos.

El objetivo específico 6 se planifica para el último trimestre de cada año, momento en el que se realizan las prácticas y entrenamientos junto con los grupos de rescate, dando la oportunidad de validar lo desarrollado en escenarios reales.

El objetivo específico 7 se planifica para ser llevado a cabo desde el primer año de forma continua.

## 12. Contribuciones del Proyecto

### Contribuciones al avance científico, tecnológico, transferencia al medio

Este proyecto tiene el potencial de generar avances científicos en áreas como el procesamiento de imágenes y aprendizaje profundo, en particular, en la búsqueda de personas.

Respecto a los avances tecnológicos, los sistemas autónomos de energía a desarrollar en este proyecto pueden facilitar pruebas de campo de diversos robots o sistemas de otros grupos locales en lugares remotos donde no hay energía disponible de manera accesible, por ejemplo, pruebas de sistemas relacionados con agricultura o estudios forestales.

En cuanto a la transferencia al medio, es donde se espera mayor impacto, al tener disponibles robots capaces de operar en ambientes donde la integridad de los rescatistas todavía no está asegurada. Las vinculaciones existentes con la Célula Argentina de Rescate Internacional TOPOS y otras brigadas de bomberos permiten asegurar que el robot modular desarrollado en este proyecto tendrá un uso activo en los ambientes para los que será diseñado. Además, este proyecto es software y hardware abierto, por lo que cualquier personas u otro grupo puede replicarlo.

### Contribuciones a la formación de Recursos Humanos

Este proyecto prevé:

1. Incorporar dos (2) becarios de grado a las tareas de investigación encapsulables enmarcadas en el proyecto.
2. Incorporar un (1) becario graduado a las tareas de investigación integrales enmarcadas en el proyecto.
3. Supervisar Prácticas Profesionales de estudiantes de ingeniería a los que les interese la temática de Búsqueda y Rescate.
4. Continuar con el desarrollo de la tesis de doctorado "Planificación de camino y trayectoria de una formación de robots autónomos" de la Ing. Maira Estefanía Pereyra, Dirigida por el Dr. R. Gastón Araguás y Co-Dirigida por el Dr. Gonzalo Perez Paina.

## 13. Cronograma de Actividades

Año	Actividad	Inicio	Duración	Fin
1	[OE1] Evaluación de las características y limitaciones del robot modular existente. Identificación de los desafíos específicos que deben abordarse para su adaptación en escenarios de catástrofe.	01/04/2024	3 meses	30/06/2024
1	Documentación	01/04/2024	12 meses	31/03/2025
1	[OE3] Investigación y análisis de técnicas de reconocimiento de patrones y aprendizaje profundo aplicadas a imágenes en el espectro visible e infrarrojo	01/04/2024	3 meses	30/06/2024
1	[OE3] Diseño de arquitecturas de redes neuronales adecuadas para la detección de sobrevivientes en condiciones de oclusión y presencia de polvo.	01/07/2024	3 meses	30/09/2024
1	[OE1][OE7] Diseño e implementación de modificaciones estructurales para mejorar la resistencia del robot a terrenos irregulares.	01/07/2024	6 meses	31/12/2024
1	[OE1][OE6] Pruebas y validación de la adaptación del robot en condiciones similares a escenarios de catástrofe.	01/10/2024	3 meses	31/12/2024
1	[OE2] Revisión y análisis de las técnicas existentes de procesamiento de imágenes y análisis de datos aplicadas a estructuras colapsadas.	01/10/2024	3 meses	31/12/2024
1	Divulgación de resultados obtenidos en congresos nacionales	01/01/2025	3 meses	31/03/2025
1	[OE3] Entrenamiento de las redes neuronales utilizando conjuntos de datos relevantes y sintéticos diseñados específicamente para las características de las imágenes a procesar.	01/01/2025	3 meses	31/03/2025
2	Documentación	01/04/2025	12 meses	31/03/2026
2	[OE2] Diseño de algoritmos que permitan la generación de mapas métricos, semánticos o híbridos del interior de la estructura utilizando las imágenes capturadas por el robot.	01/04/2025	3 meses	30/06/2025
2	[OE2][OE7] Implementación de los algoritmos en software o sistemas embebidos para su ejecución en tiempo real.	01/07/2025	6 meses	31/12/2025
2	[OE1] Incorporación de sistemas de protección contra elementos como polvo y agua.	01/07/2025	3 meses	30/09/2025

2	[OE3][OE7] Implementación de los algoritmos de reconocimiento de patrones en sistemas adecuados para su ejecución en tiempo real en el robot modular.	01/07/2025	6 meses	31/12/2025
2	[OE3][OE6] Evaluación y refinamiento de los algoritmos mediante pruebas en escenarios simulados o reales, con diferentes condiciones de oclusión y presencia de polvo.	01/10/2025	3 meses	31/12/2025
2	[OE3] Validación de la eficacia y precisión de los algoritmos en la detección de sobrevivientes en condiciones desafiantes.	01/10/2025	3 meses	31/12/2025
2	[OE2][OE6] Evaluación y refinamiento de los algoritmos mediante pruebas en escenarios de búsqueda y rescate simulados o reales.	01/10/2025	3 meses	31/12/2025
2	[OE2] Validación de la efectividad y precisión de los algoritmos en la obtención de información detallada del interior de la estructura.	01/10/2025	3 meses	31/12/2025
2	Divulgación de resultados obtenidos en congresos nacionales y/o internacionales	01/01/2026	3 meses	31/03/2026
3	[OE4] Análisis de los requisitos de interfaz de usuario y comunicación para facilitar la interacción entre el rescatista y el sistema. Diseño de una interfaz de usuario.	01/04/2026	3 meses	30/06/2026
3	[OE4] Implementación de la interfaz de usuario en un sistema compatible con el hardware del robot y que cumpla con los requisitos de tiempo real.	01/04/2026	6 meses	30/09/2026
3	[OE4] Integración de dispositivos de audio y video para establecer un canal de comunicación bidireccional entre el rescatista y las víctimas encontradas.	01/04/2026	6 meses	30/09/2026
3	[OE5] Análisis de los requisitos energéticos del robot modular y las limitaciones de las zonas de búsqueda y rescate.	01/04/2026	3 meses	30/06/2026
3	[OE5] Investigación y selección de tecnologías de generación de energía autónoma, como paneles solares, baterías de alta capacidad, generadores portátiles, entre otros.	01/04/2026	3 meses	30/06/2026
3	[OE5][OE7] Diseño de un sistema de gestión de energía que permita la optimización del consumo y la distribución de la energía disponible.	01/04/2026	6 meses	30/09/2026
3	Documentación	01/04/2026	12 meses	31/03/2027
3	[OE5][OE7] Integración de los componentes del sistema autónomo de energía en el robot modular, teniendo en cuenta la compatibilidad y las restricciones de espacio y peso.	01/07/2026	6 meses	31/12/2026
3	[OE5][OE6] Pruebas y validación del sistema autónomo de energía en escenarios simulados o reales, evaluando su capacidad para proporcionar energía de manera sostenible durante jornadas extendidas.	01/10/2026	3 meses	31/12/2026
3	[OE4][OE6] Pruebas y validación de la interfaz de usuario y el canal de comunicación en escenarios simulados o reales de búsqueda y rescate.	01/10/2026	3 meses	31/12/2026
3	Comienzo de iteraciones para divulgación de resultados obtenidos en revistas indexadas relevantes a la temática del proyecto.	01/01/2027	3 meses	31/03/2027

#### 14. Conexión del grupo de Trabajo con otros grupos de investigación en los últimos cinco años

Grupo Vinc.	Apellido	Nombre	Cargo	Institución	Ciudad	Objetivos	Descripción
Intelligent and Mobile Robotics	Kulich	Miroslav	INVESTIGADOR FORMADO	Universidad Técnica de Praga	Praga, República Checa	Formación de recursos humanos.	Codirección de tesis doctoral en el tema planificación de caminos para sistemas multirobot.
Instituto de altos estudios espaciales, Mario Gulich	Ferral	Anabela	INVESTIGADOR FORMADO	Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE	Falda del Cañete, Córdoba	Formación de recursos humanos.	Dirección de tesis de maestría en tema detección de embarcaciones usando imágenes satelitales
Instituto de altos estudios espaciales, Mario Gulich	Seppi	Santiago	INVESTIGADOR FORMADO	Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE	Falda del Cañete, Córdoba	Formación de recursos humanos.	Dirección de pasantes de la Maestría en aplicaciones espaciales.
Instituto de altos estudios	Diéz	Sebastián	INVESTIGADOR	Comisión Nacional de Actividades	Falda del Cañete	Proyectos	Desarrollo de estaciones de medición de calidad de aire.