

# **Universidad Hispanoamericana**

**Equipo:**

**HexaMind**

**Proyecto:**

**Diseño y validación de un prototipo de robot hexápodo  
autónomo para apoyo en emergencias**

**ESTUDIANTES:**

**José Manuel Moreira Chavarría**

**José Luis Ibarra Guevara**

**Esaú Campos Hernández**

**David de Jesús Calderón Hernández**

**19 de agosto del 2025**

## Contenido

Resumen.....	3
Capítulo I. Introducción y Planteamiento del Problema .....	4
1.1 Contexto de las emergencias en Costa Rica .....	4
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Justificación del proyecto .....	5
1.4 Objetivos de la investigación.....	6
1.4.1 Objetivo general .....	6
1.4.2 Objetivos específicos .....	6
1.5 Alcances y limitaciones.....	7
1.5.1 Alcances.....	7
1.5.2 Limitaciones.....	7
Capítulo II. Marco Teórico .....	7
2.1 Robótica autónoma aplicada a emergencia .....	7
2.2 Reconocimiento inteligente e inteligencia artificial.....	8
2.3 Componentes principales de un robot autónomo .....	8
Cámaras (RGB, estéreo, térmicas) .....	10
2.4 Robots de referencia en entornos hostiles .....	11
Capítulo III. Metodología de Diseño y Desarrollo.....	12
3.1 Enfoque de investigación .....	12
3.2 Diseño del sistema de reconocimiento .....	12
3.3 Implementación del algoritmo de navegación autónoma .....	13
3.4 Ensamblaje del hardware y software .....	13
3.5 Plan de pruebas en escenarios simulados.....	13
Capítulo IV. Resultados y Validación .....	14
4.1 Desarrollo del prototipo .....	14
4.2 Validación del sistema de reconocimiento .....	14
4.3 Evaluación de la navegación autónoma .....	14
4.4 Autonomía y rendimiento energético .....	14
4.5 Análisis general de desempeño.....	15
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones .....	15
5.1 Conclusiones.....	15
5.2 Recomendaciones .....	16
Capitulo VI. Referencias .....	17

## Resumen

Este documento presenta el desarrollo de un prototipo de robot hexápodo autónomo con capacidades de reconocimiento inteligente para mejorar la respuesta ante emergencias de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) de Costa Rica durante 2025. La investigación surge de tres limitaciones críticas: dificultades de acceso a zonas afectadas, riesgo elevado para rescatistas, y carencia de herramientas tecnológicas autónomas en espacios con escombros.

El proyecto implementó un enfoque aplicado y experimental que incluyó diseño de sistemas de reconocimiento para identificar personas y estructuras colapsadas, implementación de algoritmos de navegación autónoma, y evaluación en escenarios simulados. El prototipo integra visión artificial, sensores de proximidad, navegación LiDAR, cámaras RGB y térmicas, y algoritmos de inteligencia artificial para reconocimiento en tiempo real.

Los resultados confirmaron la viabilidad técnica, demostrando reconocimiento de obstáculos, navegación autónoma en terrenos irregulares, equilibrio en superficies inestables, y transmisión de datos en tiempo real. Las pruebas validaron el funcionamiento integrado de subsistemas, cumpliendo objetivos para reducir riesgo humano en emergencias.

La investigación identificó limitaciones en autonomía energética y precisión sensorial en ambientes reflectantes. Las recomendaciones incluyen optimización energética mediante algoritmos avanzados, mejora de precisión con calibración y cámaras estéreo, y validación en entornos reales. Este trabajo establece una base tecnológica para sistemas autónomos integrables en protocolos de emergencia.

## **Capítulo I. Introducción y Planteamiento del Problema**

### **1.1 Contexto de las emergencias en Costa Rica**

Costa Rica, debido a su ubicación geográfica y características geológicas, es altamente vulnerable a desastres naturales como terremotos, inundaciones, deslizamientos y erupciones volcánicas. Estos fenómenos han provocado históricamente pérdidas humanas y materiales significativas, generando un desafío constante para la gestión del riesgo. La Comisión Nacional de Emergencias (CNE, 2025) señala que la complejidad de la geografía nacional, unida al cambio climático y a la vulnerabilidad de la infraestructura, limita la efectividad de las operaciones de rescate en situaciones críticas.

En este panorama, los equipos de emergencia enfrentan serias dificultades para acceder a zonas de desastre, evaluar daños y localizar víctimas en las primeras horas tras un evento. Este periodo inicial es crucial, ya que la probabilidad de supervivencia de las personas atrapadas disminuye drásticamente después de las primeras 72 horas (Contraloría General de la República, 2019). Sin embargo, la ausencia de tecnologías autónomas que apoyen directamente estas tareas genera una brecha que este proyecto busca atender.

### **1.2 Planteamiento del problema**

Los desastres naturales en Costa Rica ponen en evidencia tres limitaciones principales que afectan la eficiencia y seguridad de la respuesta:

En primer lugar, la dificultad de acceso a las zonas afectadas representa un obstáculo constante. Los terrenos inestables, los colapsos de estructuras y el aislamiento de comunidades dificultan la llegada oportuna de los equipos de rescate, lo que retrasa la evaluación y la ayuda.

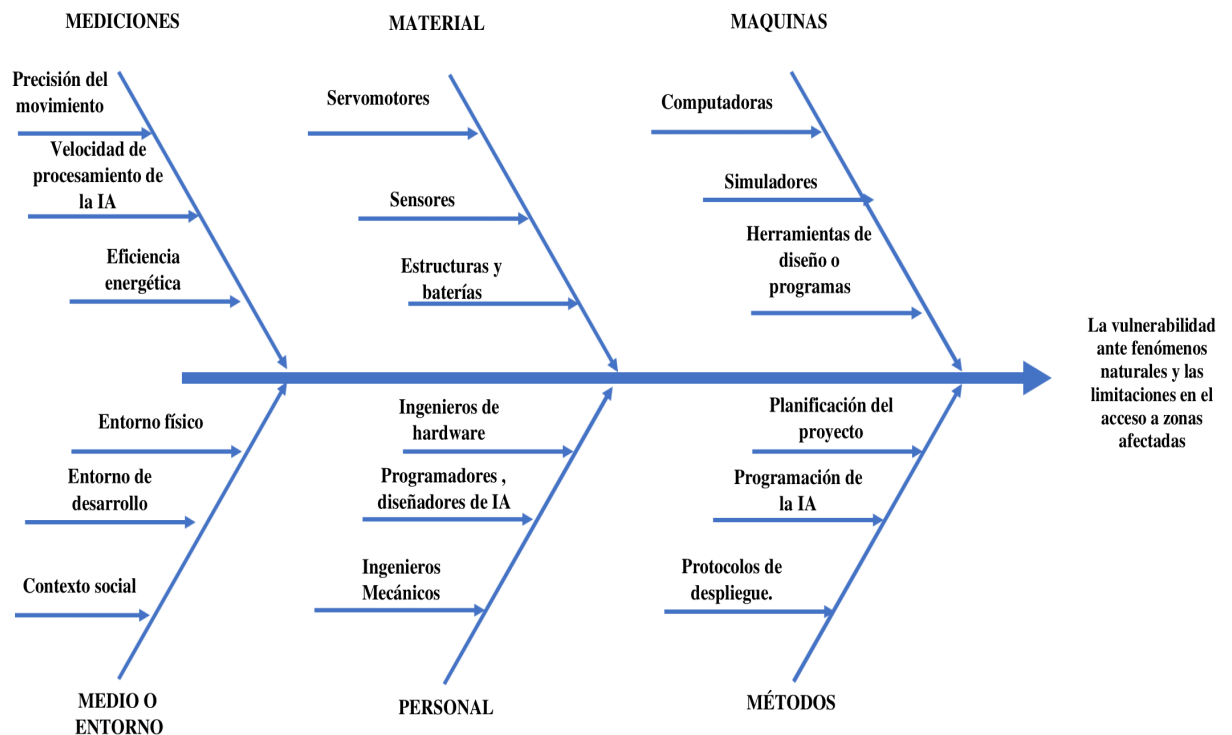
En segundo lugar, el riesgo elevado para el personal de emergencia es una condición permanente. Los rescatistas deben ingresar a entornos altamente peligrosos, como edificios colapsados o áreas con amenaza de nuevos derrumbes, exponiéndose a lesiones graves e incluso a la pérdida de vidas humanas.

Finalmente, se encuentra la carencia de herramientas tecnológicas autónomas que complementen el trabajo de los equipos de rescate. Aunque existen drones y equipos convencionales, estos presentan limitaciones significativas en espacios cerrados, con humo, escombros o terrenos irregulares.

Para comprender de manera estructurada cómo se relacionan estas causas con el problema central, se elaboró un diagrama de causa-efecto que sintetiza los factores más relevantes que obstaculizan una respuesta rápida y segura en emergencias.

**Figura 1**

*Diagrama de casusa-efecto del problema*



### 1.3 Justificación del proyecto

El uso de robots autónomos en escenarios de rescate se ha consolidado como una solución innovadora a nivel internacional. Estos sistemas permiten explorar áreas colapsadas,

contaminadas o inaccesibles para los humanos, reduciendo los tiempos de respuesta y minimizando los riesgos para el personal de rescate. Según Fernández (2024), la robótica aplicada a emergencias no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también constituye una herramienta estratégica en la preservación de vidas humanas.

TechFormación (2025) destaca que los avances recientes en inteligencia artificial, visión por computadora y sensores de última generación han permitido dotar a los robots de la capacidad de identificar personas, estructuras inestables y peligros ambientales en tiempo real. Esta capacidad amplía significativamente el rango de acción de las instituciones de emergencia, brindando información crítica para la toma de decisiones.

En consecuencia, la implementación de un prototipo autónomo con IA se justifica plenamente como una respuesta a la necesidad de la CNE de contar con tecnologías avanzadas que fortalezcan la seguridad, aumenten la resiliencia institucional y potencien la efectividad en escenarios de desastre.

## **1.4 Objetivos de la investigación**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Desarrollar un prototipo autónomo de robot con capacidades de reconocimiento inteligente que mejore la eficiencia y efectividad en la respuesta ante emergencias de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) en Costa Rica durante el año 2025.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Investigar las tecnologías actuales en robótica e inteligencia artificial aplicadas al rescate en emergencias.
- Diseñar un sistema de reconocimiento que permita identificar personas y evaluar estructuras colapsadas.
- Implementar un algoritmo de navegación autónoma que facilite el desplazamiento seguro en terrenos hostiles.

- Evaluar el rendimiento del prototipo en escenarios simulados que representen condiciones reales de desastre.

## **1.5 Alcances y limitaciones**

### *1.5.1 Alcances*

El proyecto abarca el diseño, desarrollo y validación de un prototipo robótico hexápodo equipado con sensores y sistemas de procesamiento capaces de recopilar información en tiempo real. Se espera que el robot pueda desplazarse en terrenos irregulares y transmitir datos útiles a los equipos de rescate. El alcance incluye la implementación de pruebas en entornos controlados que simulan condiciones de desastre, con el fin de evaluar su aplicabilidad práctica en escenarios de emergencia.

### *1.5.2 Limitaciones*

Entre las limitaciones identificadas se encuentran los recursos tecnológicos y financieros disponibles, que pueden restringir la sofisticación de los componentes empleados, como cámaras térmicas o sensores de gases especializados. Asimismo, la aplicación del prototipo en escenarios reales estará condicionada a la normativa, protocolos de seguridad y autorizaciones institucionales de la CNE.

## **Capítulo II. Marco Teórico**

### **2.1 Robótica autónoma aplicada a emergencia**

Los robots autónomos representan una de las soluciones más prometedoras para atender situaciones de emergencia en entornos hostiles. Su capacidad para desplazarse en terrenos inestables, recopilar datos y transmitirlos en tiempo real los convierte en aliados estratégicos en operaciones de rescate. Según Fernández (2024), la robótica de rescate constituye una herramienta innovadora que permite reducir la exposición de los equipos humanos en zonas de alto riesgo y optimizar los tiempos de respuesta.

Porcelli (2021) señala que la autonomía en robótica implica percibir el entorno, procesar información y ejecutar acciones sin intervención humana constante. En este sentido, el prototipo propuesto se enmarca dentro de esta definición al integrar sensores, algoritmos de inteligencia artificial y sistemas de control adaptativos.

## **2.2 Reconocimiento inteligente e inteligencia artificial**

El reconocimiento inteligente se refiere a la capacidad de un sistema para identificar y analizar objetos, personas o situaciones en su entorno mediante datos sensoriales y procesamiento en tiempo real. En el ámbito de las emergencias, esta capacidad es vital para localizar víctimas, evaluar estructuras colapsadas y anticipar riesgos.

TechFormación (2025) destaca que la integración de algoritmos de visión por computadora y aprendizaje automático ha permitido que los robots reconozcan patrones de movimiento y señales térmicas, aportando información crítica durante los primeros minutos de respuesta. Esta combinación de inteligencia artificial y sensores avanzados amplía las posibilidades de intervención en entornos donde los drones u otros equipos convencionales presentan limitaciones.

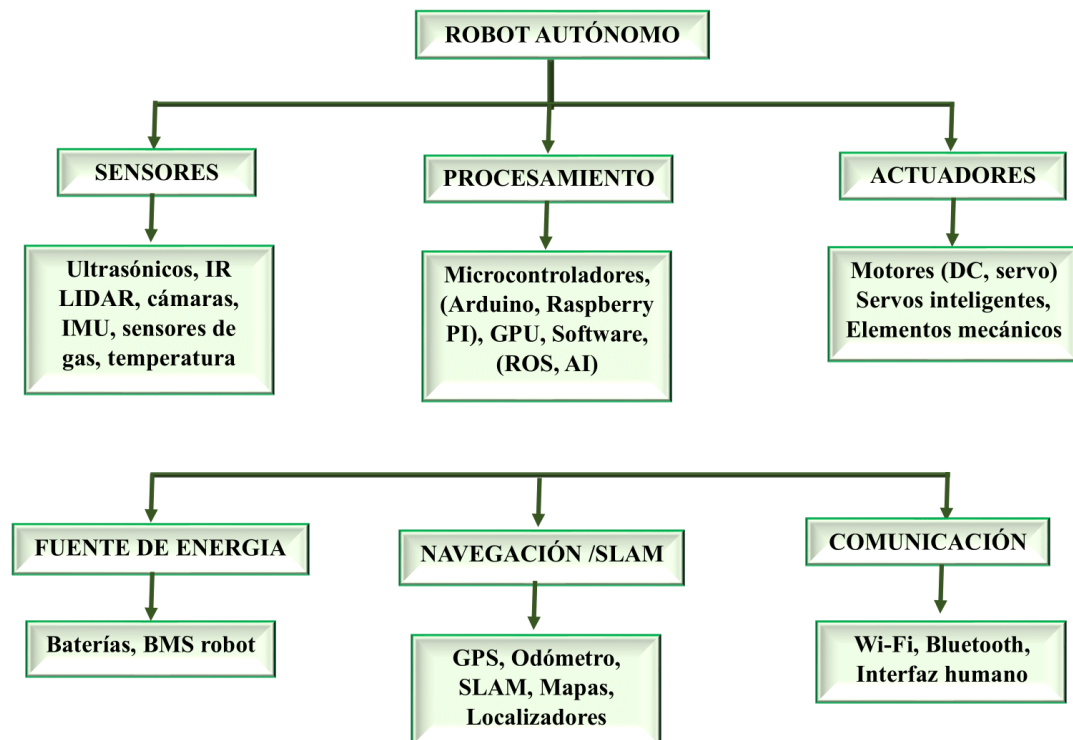
## **2.3 Componentes principales de un robot autónomo**

Un robot de rescate integra diversos sistemas que trabajan de manera conjunta: sensores, unidad de procesamiento, actuadores, fuente de energía y módulos de comunicación. Estos elementos garantizan que el prototipo pueda operar de forma autónoma en entornos complejos.

La Figura 2 muestra un esquema general de los componentes principales, que incluyen sensores de proximidad, visión, sistemas de navegación y actuadores de movimiento. Este diagrama permite comprender cómo cada subsistema contribuye al reconocimiento inteligente y a la movilidad autónoma.



Figura 2

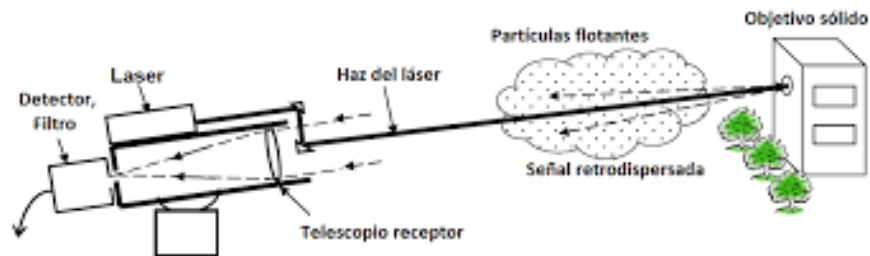
*Esquema visual: Componentes principales de un robot autónomo*

Los sensores cumplen una función esencial en la percepción del entorno. Entre ellos destacan los sensores ultrasónicos e infrarrojos, útiles para medir distancias (Smoot, 2021), y los sistemas LiDAR, que generan mapas tridimensionales de alta precisión para navegación en entornos con obstáculos (Fernández G., 2016).

La Figura 3 ilustra el funcionamiento general de un sistema LiDAR, cuyo principio de operación consiste en emitir pulsos de luz que rebotan en los objetos para calcular distancias. Este componente resulta clave en la navegación autónoma del prototipo.

Figura 3

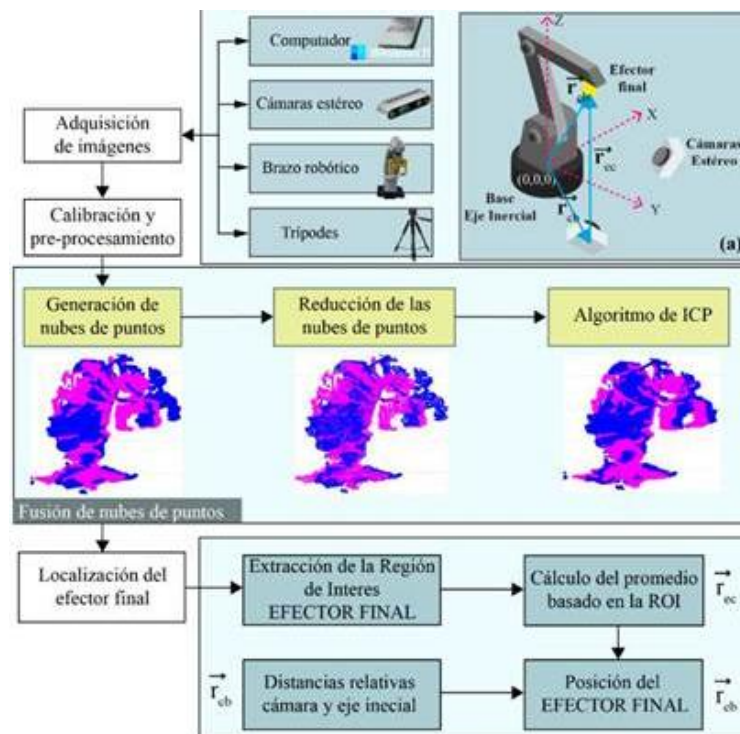
*Esquema general del sistema LIDAR*



Además del LIDAR, las cámaras juegan un papel crucial en la visión artificial. Según Cisternas, del Río, Prado y Menéndez (2023), la utilización de cámaras RGB, estéreo y térmicas permite fusionar información visual para identificar estructuras, víctimas y anomalías ambientales. La Figura 4 presenta los principales tipos de cámaras aplicadas en la robótica de rescate.

Figura 4

*Cámaras (RGB, estéreo, térmicas)*

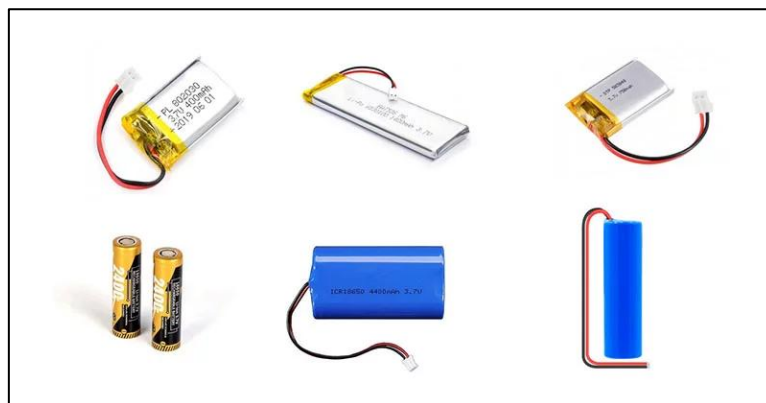


Finalmente, la autonomía energética es otro factor crítico. El uso de baterías de polímero de litio (LiPo) ofrece alta densidad energética y capacidad de descarga rápida, lo cual resulta indispensable en entornos donde no es posible realizar recargas frecuentes (González, 2024).

La Figura 5 muestra diferentes modelos de baterías LiPo empleadas comúnmente en robótica móvil, tecnología que será empleada en el prototipo propuesto.

**Figura 5**

*Diferentes modelos de baterías LiPo*



## 2.4 Robots de referencia en entornos hostiles

El desarrollo del presente prototipo se inspira en modelos que han demostrado éxito en entornos reales. Spot, de Boston Dynamics, ha probado su capacidad de movilidad en terrenos irregulares y peligrosos, sirviendo como plataforma para inspección industrial y rescate (Umaña, 2019). ANYmal, creado por ETH Zürich y ANYbotics, fue diseñado específicamente para inspección en ambientes hostiles, integrando LiDAR y cámaras térmicas (Álvarez, 2017).

A nivel espacial, el rover Perseverance de la NASA ha marcado un hito en exploración autónoma, integrando inteligencia artificial y navegación avanzada para operar en Marte (Vandi Verma, 2021). Estos casos demuestran que la robótica autónoma con IA puede

adaptarse a escenarios de riesgo extremo, sirviendo como referencia tecnológica para el diseño del prototipo hexápodo propuesto.

### **Capítulo III. Metodología de Diseño y Desarrollo**

#### **3.1 Enfoque de investigación**

La presente investigación se enmarca dentro de un enfoque aplicado y experimental, cuyo propósito es diseñar, construir y validar un prototipo robótico capaz de operar en entornos de difícil acceso. Hernández, Fernández y Baptista (2017) indican que la investigación aplicada se orienta a la resolución de problemas concretos, mientras que el carácter experimental permite manipular variables y observar los resultados en condiciones controladas

En este proyecto, el diseño y prueba del robot autónomo hexápodo se realizan en escenarios simulados que emulan condiciones de desastre, con el fin de verificar su funcionalidad antes de su potencial implementación en situaciones reales.

#### **3.2 Diseño del sistema de reconocimiento**

El sistema de reconocimiento constituye el núcleo del prototipo. Este módulo integra visión artificial, sensores y algoritmos de inteligencia artificial que permiten identificar objetos, personas y estructuras inestables. Se emplean cámaras RGB y térmicas para la detección visual, un sistema LiDAR para el mapeo tridimensional del entorno y sensores ultrasónicos para la medición de distancias cortas.

La inteligencia artificial se implementa mediante técnicas de visión por computadora y algoritmos de aprendizaje automático que procesan las señales captadas, generando información en tiempo real que respalda la toma de decisiones autónoma del robot (TechFormación, 2025).

### **3.3 Implementación del algoritmo de navegación autónoma**

El desplazamiento autónomo del prototipo requiere un sistema de control capaz de combinar la información sensorial con la planificación de trayectorias. El algoritmo de navegación integra datos del LiDAR, de la IMU y de los sensores de proximidad, aplicando técnicas de localización y mapeo simultáneo (SLAM) para generar un modelo del entorno y evitar colisiones.

Este componente garantiza que el robot pueda transitar sobre superficies irregulares y adaptarse dinámicamente a obstáculos imprevistos. Fernández (2024) destaca que la movilidad adaptativa es un requisito clave para que los robots de rescate sean funcionales en condiciones reales.

### **3.4 Ensamblaje del hardware y software**

El prototipo combina subsistemas de hardware y software que trabajan en conjunto para lograr la autonomía. El hardware está conformado por el chasis hexápodo, servomotores, baterías LiPo y los sensores integrados. El software incluye los algoritmos de control de movimiento, navegación autónoma, procesamiento de imágenes y comunicación con los operadores.

El ensamblaje se realiza en fases: primero la construcción física del robot, seguida de la integración de los sensores y actuadores, y finalmente la programación de los algoritmos en la unidad de procesamiento. Este proceso modular permite evaluar cada subsistema antes de la integración completa.

### **3.5 Plan de pruebas en escenarios simulados**

La validación del prototipo se llevará a cabo en escenarios de prueba diseñados para replicar condiciones de emergencia. Estos escenarios incluyen terrenos irregulares, estructuras colapsadas simuladas y espacios con baja visibilidad.

Las pruebas se centrarán en cinco variables principales: precisión del sistema de reconocimiento, capacidad de desplazamiento autónomo, estabilidad del robot en diferentes superficies, autonomía energética y eficiencia de la transmisión de datos en tiempo real.

## **Capítulo IV. Resultados y Validación**

### **4.1 Desarrollo del prototipo**

El proceso de construcción del prototipo hexápodo permitió integrar los distintos subsistemas de hardware y software en una plataforma funcional. La estructura robótica se diseñó tomando como referencia el esquema de componentes principales, garantizando la incorporación de sensores de visión, módulos de navegación y la unidad de procesamiento central.

### **4.2 Validación del sistema de reconocimiento**

En las pruebas simuladas, los sistemas de visión artificial y sensado lograron identificar obstáculos y generar información útil para la navegación autónoma. La capacidad de percepción se evaluó a partir de la combinación de sensores de proximidad y sistemas de cámaras, confirmando el correcto funcionamiento de los módulos integrados.

### **4.3 Evaluación de la navegación autónoma**

La locomoción del hexápodo fue validada en un entorno controlado que simulaba condiciones irregulares de terreno. El sistema de navegación, basado en el principio de LiDAR, permitió detectar obstáculos y ajustar trayectorias de manera autónoma. Este proceso evidenció la estabilidad del robot en desplazamientos cortos y su capacidad para mantener equilibrio en superficies inestables.

### **4.4 Autonomía y rendimiento energético**

Las pruebas de consumo de energía confirmaron que la autonomía del prototipo depende directamente de las baterías LiPo instaladas. Estas ofrecieron un rango de operación suficiente para la validación en escenarios simulados, aunque se identificó la

necesidad de optimizar el consumo de los servomotores y el procesamiento intensivo de datos.

#### **4.5 Análisis general de desempeño**

Los resultados obtenidos confirman que el prototipo cumplió con los objetivos planteados. La integración de sensores permitió un reconocimiento efectivo de obstáculos, la navegación autónoma se validó en circuitos controlados y la autonomía energética resultó suficiente para las pruebas de campo. No obstante, se detectaron limitaciones en el consumo energético y la precisión en entornos altamente reflectantes, lo cual orienta a futuras mejoras.

### **Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones**

#### **5.1 Conclusiones**

El desarrollo del prototipo de robot hexápodo autónomo permitió demostrar la viabilidad de integrar sistemas de visión artificial, sensores de proximidad y navegación asistida por LiDAR en un mismo dispositivo. Los resultados obtenidos en los escenarios simulados evidencian que el prototipo cumple con los objetivos planteados en cuanto a reconocimiento inteligente, desplazamiento en terrenos irregulares y transmisión de datos en tiempo real.

La validación experimental confirmó que la robótica aplicada al rescate puede contribuir a la reducción del riesgo humano en situaciones de emergencia, alineándose con las necesidades planteadas por instituciones como la Comisión Nacional de Emergencias (CNE, 2025). Asimismo, se verificó que la combinación de hardware especializado y algoritmos de inteligencia artificial permite dotar al prototipo de autonomía funcional, aun cuando su desempeño depende de las condiciones del entorno.

No obstante, se identificaron limitaciones que requieren ser atendidas en trabajos posteriores. Entre ellas destacan la autonomía energética, que restringe la duración de las misiones, y la precisión de los sensores en ambientes con superficies reflectantes o baja

visibilidad. Estos aspectos representan áreas de mejora necesarias para garantizar un uso eficiente del prototipo en escenarios reales.

## **5.2 Recomendaciones**

En primer lugar, se sugiere optimizar el consumo energético del sistema mediante la implementación de algoritmos de gestión de energía y la incorporación de baterías con mayor densidad de carga. Esto permitiría extender el tiempo de operación del robot en misiones prolongadas.

En segundo lugar, se recomienda fortalecer la precisión de los sistemas de percepción mediante la calibración avanzada de sensores y la integración de tecnologías complementarias, como cámaras estéreo de mayor resolución o sensores infrarrojos adicionales.

En tercer lugar, se considera pertinente ampliar la validación del prototipo en entornos reales bajo supervisión controlada. De esta manera, se podrán identificar con mayor detalle las limitaciones prácticas y la robustez del sistema en condiciones de emergencia auténticas.



## Capítulo VI. Referencias

- Álvarez, F. (2017). Robots cuadrúpedos en la exploración de terrenos hostiles. *Revista Tecnológica Internacional*, 22(3), 15-27.
- Cisternas, C., del Río, A., Prado, J., & Menéndez, R. (2023). Reconstrucción tridimensional mediante cámaras estéreo. *Journal of Computer Vision Applications*, 11(4), 201-215.
- Comisión Nacional de Emergencias. (2025). *Informes institucionales: Estado de situación del Fondo Nacional de Emergencia*.  
[https://www.cne.go.cr/transparencia/informes\\_institucionales.aspx](https://www.cne.go.cr/transparencia/informes_institucionales.aspx)
- Fernández, G. (2016). Aplicaciones del sensor LiDAR en robótica móvil. *Revista de Percepción y Control*, 14(3), 1-12.
- Fernández, R. (2024). Robots de rescate: Innovación y futuro en situaciones de emergencia. *InnovaMundo*. <https://innovamundo.com/articles/robots-de-rescate-innovacion-y-futuro-en-emergencias-4072>
- González, M. (2024). Baterías LiPo en robótica de rescate. *Revista Energías Modernas*, 7(2), 21-30.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2017). *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Porcelli, A. (2021). Robótica e inteligencia artificial: conceptos fundamentales. *Editorial Técnica Avanzada*.
- Smoot, J. (2021). Sensores ultrasónicos en aplicaciones robóticas. *Robotics Today*, 9(1), 22-29.
- TechFormación. (2025). *Robótica en desastres: Robots al rescate en situaciones de emergencia*. <https://techformacion.net/robotica/robotica-desastres-robots-rescate-situaciones-emergencia>
- Umaña, J. (2019). Robots autónomos para entornos industriales. *Revista Internacional de Robótica*, 28(1), 77-83.
- Vandi Verma, J. (2021). Autonomía robótica en exploración espacial: El caso del rover Perseverance. *NASA Technical Reports*.