

Desarrollo e Implementación de Tecnologías para Desastres y Emergencias en el campo Prehospitalario a nivel latinoamericano y España: una revisión sistemática de literatura de diseño, producto y prototipo

Ma. del Cisne Cuenca ¹; Sixto Gárate ²; Anita Olivo ³; Sandra Salazar ⁴

¹ Instituto Tecnológico Universitario American College –Carrera de Emergencias Médicas, maria.cuenca@americacollege.edu.ec

² Instituto Tecnológico Universitario American College –Carrera de Control de Incendios y Operaciones de Rescate, xheras@americacollege.edu.ec

³ Instituto Tecnológico Universitario American College –Carrera de Control de Incendios y Operaciones de Rescate, anita.olivo@americacollege.edu.ec

⁴ Instituto Tecnológico Universitario American College –Carrera de Control de Incendios y Operaciones de Rescate, rectorado@americacollege.edu.ec

Resumen: Las tecnologías de búsqueda y rescate son herramientas y sistemas utilizados para localizar y rescatar a personas en situaciones de emergencia, como desastres naturales, accidentes, incidentes en áreas remotas o situaciones de peligro. El objetivo de la presente investigación es explorar la literatura científica mediante una revisión sistemática para la identificación del desarrollo e implementación de tecnologías de búsqueda y rescate en Latinoamérica y España. La metodología es de tipo documental, empleando la técnica de metaanálisis y el proceso de evaluación de Prisma. Obteniendo como resultado 24 artículos de una filtración de 650, en base de datos bibliográficas tales como: Scopus, Google Academic, Ieee, Latindex y Springer en Brasil, Colombia, Ecuador, México, Perú y España. En la investigación se determina que el proceso de inclusión de la tecnología robótica como herramienta de ayuda para el personal de búsqueda y rescate ha iniciado de manera gradual pero sostenida, esto se evidencia con la cantidad de desarrollos y pruebas en ambientes reales que se están realizando en los distintos países. La tecnología basada en los distintos tipos de robots presenta grandes ventajas y tendrá un impacto en todas las operaciones de emergencia con el objetivo de conseguir mejores resultados sin poner en riesgo su vida, ni tampoco la de las víctimas.

Palabras clave: Tecnología de búsqueda y rescate; vehículos no tripulados; soft robot.

Development and Implementation of Technologies for Disasters and Emergencies in the Prehospital field at the Latin American and Spanish level: a systematic literature review of design, product and prototype

Abstract:

Search and rescue technologies are tools and systems used to locate and rescue people in emergency situations, such as natural disasters, accidents, incidents in remote areas, or dangerous situations. The objective of this research is to explore the scientific literature through a systematic review to identify the development and implementation of search and rescue technologies in Latin America and Spain. The methodology is documentary type, using the meta-analysis technique and the Prisma evaluation process. Obtaining as a result 24 articles from a filtration of 650, in bibliographic databases such as: Scopus, Google Academic, Ieee, Latindex and Springer in Brazil, Colombia, Ecuador, Mexico, Peru and Spain. The research determines that the process of including robotic technology as an aid tool for search and rescue personnel has begun gradually but steadily, this is evidenced by the number of developments and tests in real environments that are being carried out. in the different countries. Technology based on different types of robots has great advantages and will have an impact on all emergency operations with the aim of achieving better results without putting your life or that of the victims at risk.

Keywords: Search and rescue technology; unmanned vehicles; softrobot.

1. INTRODUCCIÓN

Los desastres naturales causados tanto por los efectos de la intervención del ser humano o por otros motivos están presentes a nivel global, entre los efectos más devastadores se tienen: los huracanes en países como Estados Unidos, tsunamis en países como Japón y los terremotos en los países de América Latina que están ubicados sobre una falla geológica que atraviesa la mayoría de los países de América del Sur, conocida como el anillo de fuego del Pacífico. Los efectos adversos que se producen debido a estos fenómenos son: en primer lugar, las pérdidas humanas que en la mayoría de los casos con cientos o hasta miles dependiendo de la magnitud del siniestro. Además, se producen grandes pérdidas económicas, sociales y demás efectos colaterales considerables que dejan claro que la naturaleza es impredecible y, si la población no está preparada la magnitud de los daños y pérdidas podrían ser inmensurables (The human cost of disasters, 2019). Por ello, surge la siguiente interrogante: ¿Qué tecnologías se han desarrollado e implementado para búsqueda y rescate en Latinoamérica y España?

El presente artículo hace una revisión de las tecnologías de búsqueda y rescate que se han desarrollado y se encuentran implementadas en los países de Latinoamérica, pero también se han incluido los avances presentados en España debido a su gran influencia sobre nuestros países latinos. Por tal razón, se tiene como objetivo principal explorar la literatura científica mediante una revisión sistemática para la identificación del desarrollo e implementación de tecnologías de búsqueda y rescate en Latinoamérica y España.

Con el paso del tiempo y la incorporación de la tecnología se han creado y mejorado las herramientas de búsqueda y

rescate ante desastres naturales, considerando que los escenarios pueden ser muy complejos y, el inminente peligro que prevalece en estas zonas debido a la inestabilidad de estructuras que se han visto afectadas, se han desarrollado distintas alternativas, entre estas, se han probado el uso de canes para búsqueda de sobrevivientes y el uso de la tecnología para este mismo fin. La ciencia que se encarga del desarrollo de este tipo de tecnología es la Robótica, puesto que al usar robots se tiene grandes ventajas, como el uso de vehículos no tripulados para no poner en riesgo la vida de una persona, o, que estos mecanismos pueden ingresar a lugares en los que una persona no puede acceder, ya sea por el tamaño o las condiciones del lugar.

Todo este contexto ha propiciado la aparición de la Robótica de Rescate, que se encarga del diseño e implementación de robots más eficientes, esto se ha logrado con la creación de robots inspirados en animales, en su mayoría se trata de robots con diseño de insectos, considerando siempre las características fundamentales que le permitirán acceder a lugares o cumplir con propósitos específicos; la mayoría de los nuevos proyectos que los realizan empresas como Boston Dynamics han mostrado funcionamientos muy eficientes para estas tareas. Otro tipo de robots que evidencia un gran desarrollo, son los robots terrestres que se desplazan con sistemas de orugas o ruedas tradicionales, estos presentan características que han permitido desplegarlos a nivel mundial, pero sus limitaciones son muy conocidas. Por último, se tiene la tecnología de robots aéreos no tripulados, estos han presentado desde un inicio grandes ventajas respecto a los robots terrestres, pero de la misma forma tienen grandes limitantes que los han restringido a tareas de búsqueda al agregar sistemas de visión artificial como sensores térmicos, sensores de visión 3D, y

más sensores para incrementar sus capacidades (Cebolla,2017)

1.1 Descripción de las Tecnologías de Búsqueda y Rescate

La tecnología de búsqueda y rescate ha aparecido desde hace varios años y se utiliza en su mayoría por los grupos especializados USAR (Urban Search and Rescue), que se definen como grupos élite especializado en la búsqueda, ubicación y rescate de personas en lugares o estructuras colapsadas. Una de las líneas de investigación y desarrollo más utilizadas es la Robótica de Rescate, que hace uso de diferentes tipos de robots, los cuales se han diseñado y desarrollado de acuerdo con los diferentes lugares y propósitos que deben realizar. A continuación, se muestra los tipos de robots que han mostrado un mejor funcionamiento para las tareas de búsqueda y rescate (Cebolla,2017).

Robot Terrestre

Los robots de desplazamiento terrestre son los de mayor uso en actividades de búsqueda y rescate, sus principales aplicaciones son: la búsqueda/evacuación de víctimas y retiro de escombros en estructuras que han sufrido un colapso. Entre sus principales ventajas se tiene la reducción del tiempo para acceder a lugares de difícil acceso, así como su capacidad de tolerar condiciones y ambientes en los que una persona no puede ingresar (Tordesillas,2016).

Los sistemas de locomoción más comunes en estos robots son las ruedas (normales, no omnidireccionales, etc.), patas (bípedos, cuadrúpedos, hexápodos, etc.), eslabones (orugas) y otros (esféricos). La selección del tipo de sistema depende del objetivo que se persigue con el diseño del robot; por ejemplo, cuándo se requiere un control preciso del manejo del robot se recomienda el uso de

ruedas de tipo direccionales u holonómicas. Por otro lado, en el caso de un robot que necesite ingresar en zonas agrestes, con capacidad de traslación en terrenos con múltiples tipos de obstáculos y desniveles, el sistema de oruga es el que presenta mayores ventajas. En lo referente a los sistemas de navegación, se tienen tres opciones principales: autónomo, semiautónomo y manual. En el de tipo autónomo, el robot consta de un sistema complejo de sensores y sistemas de visión artificial (cámaras de visión artificial) que le otorgan la capacidad de evadir obstáculos y establecer trayectorias eficientes. En el semiautónomo se incrementa un control de mando a distancia, esto permite a un operador tomar decisiones y mejorar la eficiencia de las tareas de búsqueda y rescate considerando todos los datos entregados por los sensores en tiempo real. En el último tipo de sistema, se hace uso de sistemas de geolocalización como el GPS para seleccionar las trayectorias más eficientes (Toscano et al.,2018).

En este campo, también se debe considerar la incursión de la inteligencia artificial que ha permitido la creación de los nuevos modelos denominados UGV (Unmanned Ground Vehicle), es decir vehículos terrestres no tripulados. Estos modelos se están desarrollando y actualizando a un ritmo acelerado, entre los principales componentes que se han incorporado se tienen la realidad aumentada, sistemas hápticos (sensores de tacto), robots modulares y equipos de comunicación para sistemas multi-robot. En la Figura 1 se observa un ejemplo de un robot terrestre con un sistema de locomoción (ruedas), sistema de navegación (cámaras de visión artificial) y sistema de manipulación (brazo robótico de 6 grados de libertad) (Toscano et al., 2018).

Figura 1
Robot Terrestre UGV Rambler



Nota. Simulacro de una víctima utilizando un robot con brazo robótico, (Toscano et al., 2018).

Robot Aéreo

Los robots aéreos que son conocidos de forma más común como UAV (Unmanned Aerial Vehicle) o vehículos aéreos no tripulados, popularmente conocidos como drones, han mejorado en gran medida su eficiencia, tanto en su nivel de autonomía de vuelo, facilidad de control y elaboración de planes de vuelo más sofisticados, etc. Por esta razón, el interés por usarlos como herramientas de detección y seguimiento de objetos o personas se ha incrementado, pero aún existen limitantes, entre las que destaca el tiempo que puede permanecer un UAV en tareas complejas, se recomienda que este, no exceda los 15 minutos para no comprometer al robot (Rodríguez, 2016).

Sin embargo, su limitante principal es que tiene la capacidad de realizar tareas de búsqueda y seguimiento, pero no tiene la capacidad de ejecutar labores de rescate en estructuras colapsadas. Entre las principales innovaciones que han tenido los UAV han sido no sólo la incorporación de sistemas de comunicación (cámara + micrófono) sino que se han incorporado sensores de tecnología más especializada, entre los que se tiene las

cámaras de visión térmica, sistemas de visión artificial que generan mapas 3D realistas los cuales permiten no sólo ver los objetos u obstáculos, sino determinar la distancia a la que se encuentren los mismos a través de sensores de profundidad (Bohorquez, 2021).

Entre las actualizaciones tecnológicas que se han tenido en los últimos años en los UAV, se tiene la capacidad de navegación autónoma, el reto de este avance consiste en desarrollar un algoritmo que le permita al controlador moverse con libertad y con inteligencia en un lugar completamente desconocido, obteniendo una herramienta con la capacidad de realizar tareas complejas de búsqueda y seguimiento de personas (Barreto, 2019).

Figura 2

Vehículo UAV



Nota. Diseño de robot, con cámara Draganflyer X4 con cámara especializada (Barreto, 2019).

Robot Acuático

De forma similar a los que ocurre con los robots terrestres, pero con cierto período de atraso, las recientes investigaciones sobre control automático y robótica marina han mostrado avances significativos en vehículos autónomos que se pueden trasladar en

medios acuáticos, los desarrollos corresponden a dos tipos: vehículos autónomos de superficiales (tipo barco) y sumergibles (tipo submarino). Este tipo de vehículos se conocen como Unmanned Underwaters Vehicle (UUV) o Unmanned Surface Vehicle (USV), de forma resumida se los puede describir como barcos autónomos a escala, tal como se puede observar en la Figura 3 (Girón, 2016).

Figura 3

Robot Acuático

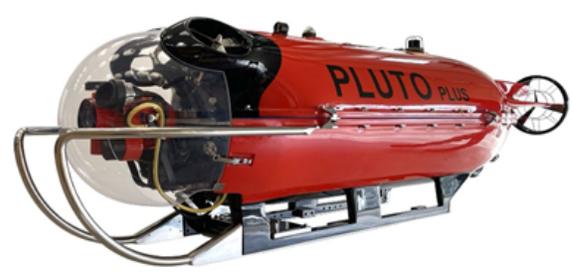


Nota. Diseño de Unmanned Surface Vehicle (USV), (Girón, 2016).

Los UUV tienen la capacidad de moverse bajo el agua, pueden ser tripulados como no tripulados, en el segundo tipo se trata de vehículos operados remotamente (ROV), ya que es necesario que un ser humano pueda observar y controlar toda la actividad de este tipo de robot. También existen dos tipos adicionales: Vehículos Autónomos no Tripulados de Intervención (IAUV) que se consideran como semiautónomos y, por último, los submarinos completamente autónomos (AUV). El gran auge e interés por desarrollar este tipo de robots se basa en su capacidad de realizar una exploración del lecho marino, y la limitante que tiene el ser humano para esta actividad, debido a la presión, bajas temperaturas, corrientes marinas, poca o nula luz, entre otras. (Figura 4) (Alcaraz et al., 2022).

Figura 4

Robot Acuático



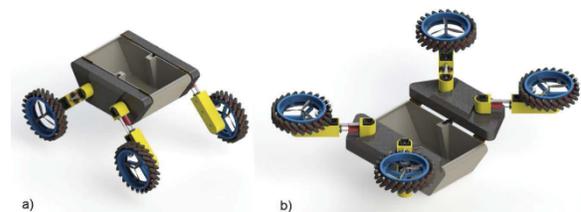
Nota. Ejemplo de submarino AUV, Pluto Plus (Alcaraz et al., 2022).

Robot Terrestre/Aéreo

Un robot terrestre/aéreo para búsqueda y rescate es un tipo de robot diseñado específicamente para operaciones de búsqueda, rescate y respuesta ante desastres en entornos tanto terrestres como aéreos. Estos robots combinan características de los robots terrestres y aéreos para poder moverse y operar de manera efectiva en diferentes situaciones. Estos robots suelen estar equipados con una variedad de sensores y herramientas para detectar y localizar a personas atrapadas, así como para evaluar las condiciones del entorno. Algunos de los sensores más comunes son cámaras, sistemas de visión por computadora, sensores térmicos, detectores de gases y micrófonos. Estos sensores permiten al robot detectar signos vitales, identificar obstáculos, evaluar la calidad del aire y escuchar posibles señales de socorro (Adrián y García, 2016).

Figura 5

Robot Terrestre/Aéreo



Nota. Prototipo de robot móvil multi-terreno, a) modo de operación terrestre, b) modo de operación aérea (Adrián y García, 2016).

Robot Bioinspirado o Soft Robot

Los robots tradicionales se han diseñado con el objetivo principal de ayudar o realizar de manera más eficiente las actividades de los seres humanos, sus características principales son: sus grados de libertad (opciones de movimiento), eslabones y articulaciones. Estos eslabones, por lo general, tienen poca capacidad de deformación elástica y sirven para unir articulaciones, esto permite que los robots sean rápidos, precisos y con un control sencillo. Sin embargo, las nuevas generaciones de robots de ayuda no pueden concebirse considerando estas estructuras rígidas, los aspectos que se deben tener en cuenta son la morfología, propiedades de sus materiales y el entorno en el que se moverá, pues lo que se busca es que se dispongan de robots con capacidad de adaptabilidad, versatilidad y con gran eficiencia para desarrollar las tareas que se les encomiendan (Medina y Vélez, 2014).

Un robot bioinspirado para búsqueda y rescate es un tipo de robot diseñado tomando como referencia los principios y características de organismos vivos en la naturaleza. Estos robots se inspiran en la forma en que los animales o seres vivos realizan tareas similares a las que se requieren en operaciones de búsqueda y rescate, como la locomoción, la detección de objetos y la adaptación al entorno. La idea detrás de los robots bioinspirados es imitar y aprovechar las soluciones eficientes y adaptativas que la naturaleza ha desarrollado a lo largo de millones de años de evolución. Al estudiar y comprender los mecanismos biológicos, los investigadores pueden aplicar esos principios a la ingeniería de robots para mejorar su desempeño y capacidad de

respuesta en entornos desafiantes (Martínez, 2019).

Figura 6 Robot Bionspirado



Nota. Mini Cheetah diseñado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts - MIT (Martínez, 2019).

Tal como se puede observar en la Figura 6, un robot bioinspirado para búsqueda y rescate debe imitar la locomoción de un insecto, un reptil o cualquier otro animal para moverse de manera eficiente a través de terrenos difíciles. Podría utilizar patas articuladas o ruedas especiales que se asemejen a las extremidades de ciertos animales, permitiéndole superar obstáculos y adaptarse a diferentes tipos de terreno. En resumen, los robots bioinspirados pueden caminar, nadar, deslizarse y volar. La selección del tipo de diseño depende del lugar en dónde va a trasladarse y de las funciones que debe realizar en el mismo (Seok et al., 2014).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Fuentes de datos y estrategia de búsqueda.

Se utiliza un tipo de investigación documental, mediante la estrategia sistemática con el proceso de búsqueda de fuentes bibliográficas en diferentes repositorios digitales a nivel mundial.

Búsqueda de literatura científica.

La búsqueda de información se enfocó en los siguientes repositorios de información: Google Académico, Scopus, Springer, Ieee y Latindex, para el desarrollo se utilizó operadores booleanos en relación con las palabras claves de la siguiente manera: “Tecnología” OR “desastres” OR “rescate” AND “estructuras colapsadas” AND “emergencia” AND nombre de un país (Perú, Brasil, México, Colombia, España y Ecuador).

Se utilizó revistas de gestión de riesgos, casos clínicos enfocados a rescate y emergencia, artículos científicos publicados en congresos y protocolos de búsqueda y rescate del 2014 hasta mayo del 2023, solamente publicaciones escritas en español o inglés.

Se realizó una base de datos mediante una matriz en Excel donde se tabuló la información, con los siguientes parámetros: fuente, identificador, título del proyecto, descripción del proyecto (resumen - objetivo), País, tipo de tecnología, condiciones de pruebas.

Criterios de selección-inclusión/exclusión

Se desarrolló cinco preguntas para los criterios de selección, esto permitió mejorar la selección de la búsqueda de información, para aplicar la metodología del prisma.

Criterios de inclusión

1. ¿El proyecto está enfocado a emergencia y rescate con uso de tecnología?
2. ¿La publicación describe proyectos de investigación o implementación realizados en Perú, Brasil, México, Colombia, España y Ecuador?
3. ¿Se publicó el documento entre enero de 2014 y mayo de 2023?
4. ¿La publicación es un artículo, caso clínico, tesis pregrado o doctoral?
5. ¿La publicación está escrita en inglés o español?

En base a las preguntas diseñadas se realizó un escaneo a todas las publicaciones encontradas, en caso de que los artículos cumplan con los parámetros de las preguntas, esto quiere decir que sean un “Si”, ingresaron al proceso de elegibilidad. Caso contrario se estableció los siguientes criterios de exclusión:

1. ¿El proyecto está enfocado a emergencia y rescate con uso de tecnología en el ámbito intrahospitalario?
2. ¿La publicación describe proyectos de investigación o implementación realizados en otros países no los seleccionados?
3. ¿La publicación es parte de una revista online o capítulo de libro?

Estos criterios permiten a los autores realizar un análisis inicial para después culminar con la revisión de las publicaciones, los primeros artículos se enfocan en el título, resumen y palabras claves, después, los seleccionados son revisados desde la introducción hasta las conclusiones para analizar el desarrollo, metodología y resultados.

Tabulación de la información

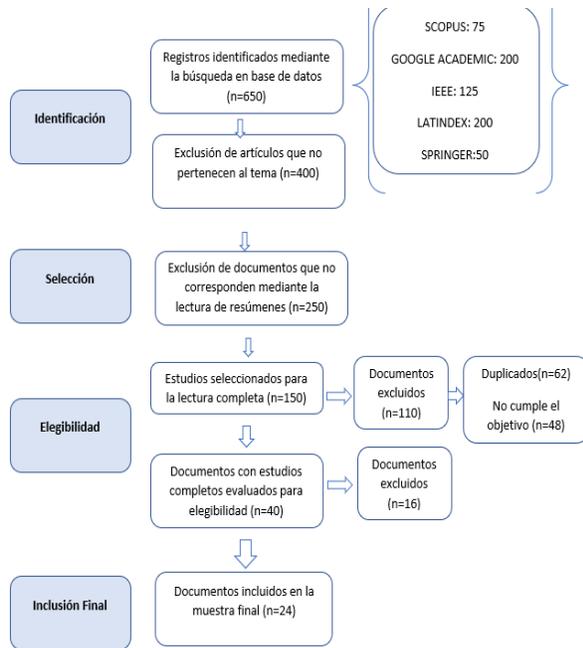
Se diseñó una matriz para condensar la información de los repositorios de búsqueda utilizando el programa de Excel, donde se divide en los siguientes campos: proyecto, fuente, autor, año de publicación, título, descripción, país, tipo de investigación, escenario, fase de madurez. Esto se puede observar en el anexo y tabla uno.

Metodología del Análisis de la información

Se utilizó el método del prisma (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) que es una guía de presentación y reporte de revisiones sistemáticas y metaanálisis, con la finalidad de mejorar la transparencia y calidad en la presentación de estos estudios. El prisma proporciona una lista de elementos esenciales que deben incluirse en la elaboración de una revisión sistemática o metaanálisis, como el título, el resumen, los métodos utilizados, los resultados, las conclusiones y las referencias

bibliográficas. El cumplimiento de estas directrices permite que los lectores evalúen de manera más completa la validez y la relevancia de la revisión.

Figura 7
 Diagrama de flujo “Método Prisma”



Nota. Representación visual de la búsqueda de documentos y el proceso de inclusión/exclusión durante las diferentes fases del proceso dirigido de revisión.

3. RESULTADO/DISCUSIÓN

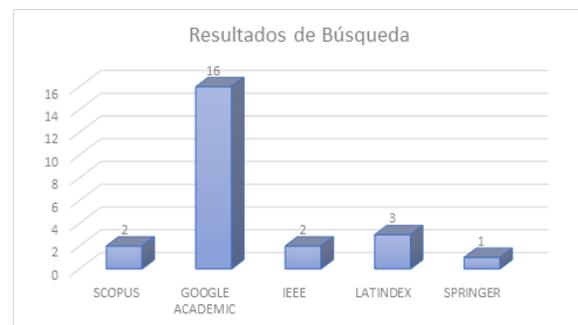
Según los resultados que se obtiene mediante el metaanálisis se puede observar en la figura 7 que se inicia con 650 publicaciones recolectadas de los siguientes repositorios: Google Académico 200, Scopus 75, Springer 50, IEEE 125 y Latindex 200. Al depurar la información donde se descarta los artículos con temas que no pertenecen a la búsqueda se tiene 400. Con esta cantidad se inicia con la lectura de resúmenes donde se obtiene 250, después se realizó un nuevo análisis para la lectura del objetivo, metodología, resultados y conclusión

de las publicaciones, generando como resultado 150, de estos 110 se excluyeron por duplicados y porque no cumplen con el objetivo de la búsqueda.

Por lo tanto, los artículos que pasan a la fase de elegibilidad son 40, donde se excluyen 16 por motivo de revisión completa del documento, generando un resultado final de 24 artículos, que representa la muestra del estudio.

En la Figura 8 se observa las publicaciones elegibles de los diferentes repositorios de búsqueda, distribuidas de la siguiente manera: Google Académico 16, Scopus 2, Springer 1, Ieee 1 y Latindex 3.

Figura 8
 Resultado del análisis de las publicaciones



Nota. Número de publicaciones elegibles de diferentes repositorios de búsqueda que componen el resultado final de la búsqueda de información.

En la Figura 9 se muestra que, de la búsqueda de revisión de la literatura sobre la implementación de la tecnología para desastres y emergencias, existen investigaciones relacionadas con el desarrollo de diseños, desarrollo de prototipos o desarrollos de productos en fase de implementación para el rescate de víctimas. Entre esto se tiene, España 7 donde la investigación se ha orientado al desarrollo de proyectos tales como robot y mejoramientos de las telecomunicaciones para la búsqueda de víctimas atrapadas en estructuras colapsadas, México 7 con el desarrollo de robots móviles además del

planteamiento de un diseño y un prototipo, Colombia y Perú con 4, finalmente Ecuador y Brasil con 1.

Figura 9

Resultado de la revisión de artículos por país



Nota. Número de artículos publicados en Brasil, Colombia, Ecuador, España, México y Perú. Esto se distribuye de acuerdo con el tipo de investigación encontrada.

Por otro lado, en la figura 10, se puede visualizar algunos comportamientos vinculados con la orientación de la investigación, mismos que se describen a continuación:

Todos los países a excepción de Ecuador han orientado sus esfuerzos a la investigación de un modelamiento que permita optimizar el proceso de búsqueda de personas en situaciones de emergencia y, de esta manera, aumentar la efectividad del proceso tanto en tiempo como en consumo de energía.

Todos los países que presentan más de una publicación comenzaron sus investigaciones, orientando los esfuerzos a la implementación de un robot con la finalidad de poder presentar un entregable tangible o los sistemas de atención de emergencias, que les permita motivar investigaciones futuras.

Perú, es el único país que ha presentado investigaciones en los tres ejes identificados, es decir, en el desarrollo de modelos, en el desarrollo de robots y en el diseño y desarrollo exclusivamente de una aplicación (software).

Todos los países, incluyeron en sus investigaciones escenarios para robots de

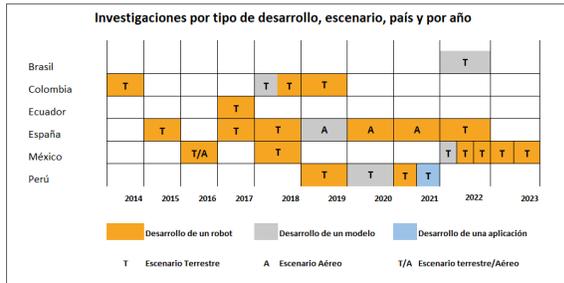
desplazamiento terrestre, indistintamente del sistema de locomoción o del tipo (oruga, serpiente, hexápodo, cuadrúpedo o doble rueda) evidenciando que estos, son los más comunes para este tipo de operación. Esta aseveración se refuerza, al contabilizar la cantidad de investigaciones de este tipo de escenario, que en total representan el 83% (20/24) de las investigaciones identificadas.

Ningún país Latinoamericano, presenta investigaciones en escenarios para robots de desplazamiento aéreo, únicamente España ha desarrollado este tipo de investigaciones, y en su mayoría con un enfoque ha incendios forestales, lo que demuestra, que la incapacidad de ejecutar labores de búsqueda y rescate de este tipo de robots limita el desarrollo de investigaciones en el ámbito de atención pre-hospitalaria. Al contabilizar la cantidad de investigaciones de este tipo de escenario, representan el 13% (3/24) de las investigaciones identificadas.

México es el único país que, dentro de sus investigaciones, plantea escenarios para robots de desplazamiento terrestre/aéreo, con la finalidad de potencializar las capacidades de seguimiento, monitoreo y rápido desplazamiento en largas distancias, sin perder la capacidad de ejecutar labores de búsqueda y rescate. La complejidad de fusionar estas cualidades es alta, lo que se evidencia al representar únicamente el 4% de las investigaciones (1/24), y, además, que la única investigación presenta un prototipo que, hasta su publicación, únicamente realizó pruebas en simuladores.

Figura 10

Distribución de los resultados según el tipo de Investigación



Nota. Comportamiento de las orientaciones de las investigaciones, según año de publicación en relación con el tipo de investigación. Finalmente, en la figura 11, se presentan los hallazgos identificados respecto al tipo de robot investigado, el nivel de madurez de las pruebas, el país y el año de investigación, destacando los siguientes:

Las pruebas con las que se han contrastado la mayor cantidad de investigaciones, para la medición del comportamiento y los resultados obtenidos, son a través de simulaciones, ya que estas pruebas, pueden ejecutarse de manera más rápida, con menos costo y reducen la probabilidad de exponer el producto a fallas en un ambiente real. Las pruebas a través de simulaciones representan el 58% de las investigaciones, sin mencionar que, todos los países al menos han validado una investigación a través de este modelo.

España y México son los países que han experimentado con mayores tipos de robots en sus investigaciones, cuatro tipos en cada caso, sin embargo, al analizar el nivel de madurez de las pruebas realizadas, España tiene solo una investigación con pruebas en ambientes reales lo que representa el 14% (1/7), en comparación de México, que ha desarrollado 3 investigaciones con pruebas en ambientes reales, lo que representa un 42% (3/7) con respecto a la totalidad de las investigaciones, y representa la misma cantidad, que la sumatoria de las pruebas de este tipo de todos los países restantes.

Ecuador y Brasil, han optado como esquema de pruebas para su única investigación, la

simulación, justamente por los beneficios en costo, tiempo y riesgos que este modelo presenta. Por otro lado, Brasil, Colombia, España, México y Perú, tienen al menos una investigación aplicando las pruebas en simulador, las pruebas en un ambiente controlado y las pruebas en un ambiente real, evidenciando un crecimiento y enriquecimiento del producto final y resultado de la investigación.

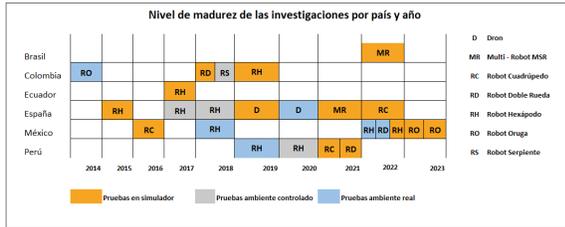
A excepción de Brasil, todos los países han incorporado dentro de sus investigaciones al menos un modelo basado en robot de tipo hexápodo, convirtiéndose en el modelo más utilizado dentro de las investigaciones con un 42% (10/24), debido a las ventajas que proporciona la configuración de seis patas para obtener una mayor escalabilidad, equilibrio y capacidad de sortear obstáculos que superen la altura del robot.

Los modelos de robot de oruga, cuadrúpedos y de doble rueda, son los segundos más utilizados en las investigaciones, con un 13% cada uno, sin embargo, el modelo de doble rueda fue utilizado para búsqueda de personas en áreas uniformes, regulares y conocidas con anterioridad, a diferencia de los robots tipo oruga y cuadrúpedos, que fueron orientados a terrenos irregulares debido a las características de estos modelos.

Finalmente, el robot tipo serpiente, fue el menos utilizado en las investigaciones, con apenas el 4% de participación, que corresponde a una única investigación llevada a cabo en Colombia. Esta baja participación tiene relación con las desventajas encontradas en la investigación en mención, entre las cuales se destaca las limitaciones para la orientación y estabilidad de las imágenes, mismas que aumentan la dificultad para la operación del robot ya que el usuario perdía la orientación y ubicación con respecto al entorno.

Figura 11

Distribución de los resultados según el nivel de madurez.



Nota: En la figura se encuentra clasificado el tipo de investigación en relación el nivel de cada investigación por año y el producto o prototipo.

Discusión

Los resultados presentados en los artículos son generalizados, sin embargo, el comportamiento y tendencias identificadas en el acápite anterior, responden a varias relaciones que serán planteadas como aporte a la presente investigación:

- España y México fueron los países que más artículos han desarrollado entre el 2015 y el 2023, como una posible respuesta a la cantidad de desastres que han sufrido estos países durante los últimos años, ya que, de acuerdo con el análisis del número de desastres reportados por ciudad/territorio (2000 – 2019) (CRED, 2020) estos dos países presenten un nivel alto de eventos con una cantidad entre 76 y 200 desastres durante este periodo. Estas repetidas vivencias, pudieron proporcionar datos empíricos importantes sobre las deficiencias, desafíos, lecciones aprendidas y retos en la respuesta a emergencias, generando así, una necesidad evidente de encontrar formas más eficaces y seguras de brindar atención prehospitalaria a las víctimas de estos eventos, lo que, a su vez, impulsa a explorar soluciones innovadoras, como el uso de robots, para mejorar las operaciones de búsqueda, rescate y atención prehospitalaria.

- Por otro lado, al analizar los países latinoamericanos, México por sobre Brasil, Ecuador, Perú y Colombia, ha desarrollado 3

investigaciones con pruebas en ambientes reales, y, es el único país que, dentro de sus investigaciones, plantea escenarios para robots de desplazamiento terrestre/aéreo, con la finalidad de potencializar las capacidades de ambos modelos. Este comportamiento, es una posible respuesta al índice de amenazas a eventos naturales que tiene este país, que de acuerdo con el índice de Gestión de Riesgos para América Latina y el Caribe (INFORM-LAC, 2018), de los cinco países latinoamericanos que han realizado estudios, México tiene el índice más alto de amenaza naturales con 8.3, seguido de Ecuador con 7.6, Colombia con 7.4, Perú con 7.1 y Brasil con 5.2. Además, el informe en mención también establece que después de Brasil, México es el segundo país con mayores capacidades institucionales y de infraestructura para poder afrontar un desastre natural. Es decir, México es el único país de los cinco que han desarrollado publicaciones, que al mismo tiempo tiene un alto índice de amenaza a riesgos naturales y, un alto índice de capacidad institucional e infraestructura para afrontarlos.

Estas condiciones simultaneas, generan que, por un lado, las amenazas motiven la necesidad de explorar nuevas tecnologías para mejorar las operaciones de búsqueda, rescate y atención pre hospitalaria, y por otro, la existencia de capacidades institucionales y de infraestructura existentes proporcionen el entorno propicio para la ejecución de estas investigaciones y desarrollos tecnológico, incluyendo la experimentación con robots en situaciones reales, teniendo como resultado, un país que lidera la investigación de robots para la búsqueda, rescate y atención pre hospitalaria

- En las publicaciones, el modelo de robot que predomina es el terrestre tipo hexápodo, debido a las ventajas en comparación con el

resto de modelos, ya que, a pesar de que el modelo de robot cuadrúpedo puede soportar mayor capacidad de carga y estabilidad lateral debido a la configuración de cuatro patas, que el modelo de robot de dos ruedas presenta mayor velocidad y eficiencia en superficies planas, que el robot oruga posee mayor estabilidad en superficies resbaladizas y que el robot tipo serpiente brinda mayor maniobrabilidad en espacios confinados, el robot tipo hexápodo, debido a la biomecánica de sus seis patas, proporciona mayor estabilidad y capacidad de adaptarse a terrenos irregulares, además, como resultado de su cinemática y mecánica, tienen mayor capacidad de superar obstáculos que sean mayores a su tamaño y, finalmente, la dinámica de sus posibles movimientos, le permite mayor agilidad y una alta maniobrabilidad en espacios reducidos, sin comprometer el sentido de orientación del operador.

Como se evidencia, el robot terrestre tipo hexápodo, reúne de manera conjunta, la mayor cantidad de ventajas para desempeñarse de manera eficiente en escenarios como resultado de terremotos, movimientos en masa, infraestructuras o colapsos estructurales en apoyo a las operaciones de búsqueda, rescate y atención prehospitalaria en desastres.

Por otro lado, en lo que respecta al verdadero uso del robot en los desastres, Christyan Cruz Ulloa en su estudio de Robótica colaborativa de búsqueda y rescate una clasificación basada en la interacción física (2022) dice “De entre las principales ventajas de la robótica colaborativa, extraídas como conclusión en base a este estudio, destacan la capacidad de maximizar las áreas de búsqueda, accediendo a zonas elevadas, explorando cráteres/socavones o asistencia entre robot a través de zonas con oclusiones, de manera similar a como lo haría una brigada de intervención humana.”

Piñeres Florez en su artículo Tendencia tecnológica de robots para atención en desastres naturales (2020) señala que “A medida que los avances del hardware convergen con la explosión de las capacidades de IA, los robots de socorro en caso de emergencias están pasando de desempeñar funciones de asistencia a responder de forma totalmente autónoma a un ritmo vertiginoso. Tal es el caso del Cheetah III, nacido del Laboratorio de Robótica Biomimética del MIT (Bledt, y otros, 2018), que es, sólo uno de los muchos robots que pueden formar la primera línea de defensa en situaciones de catástrofe, desde misiones de búsqueda y rescate en caso de terremotos hasta operaciones de alto riesgo en zonas de radiación peligrosas,”

Según el informe de 2019 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, Tecnologías disruptivas y su uso en la reducción y gestión del riesgo de desastres, “gracias a su creciente destreza, los robots pueden utilizarse en situaciones de desastre que son demasiado peligrosas para los seres humanos o los animales de rescate” y “se están logrando grandes avances en Japón, país en el que existe la posibilidad de comercializar robots diseñados especialmente para las situaciones de desastre.”

Los robots móviles han demostrado ser herramientas valiosas en operaciones de búsqueda y rescate de víctimas en situaciones de desastre. Estos robots pueden acceder a áreas peligrosas o inaccesibles para los humanos, lo que los convierte en activos importantes para localizar y rescatar a personas atrapadas. A continuación, se presenta algunos ejemplos del uso de robots móviles en búsqueda y rescate de víctimas para la atención en el campo prehospitalario:

- **Exploración de áreas peligrosas:** Los robots móviles pueden ser utilizados para explorar estructuras colapsadas, túneles, escombros o áreas con condiciones adversas, como incendios o sustancias tóxicas. Estos robots están equipados con sensores y cámaras que les permiten proporcionar imágenes y datos en tiempo real a los equipos de rescate, ayudando a identificar la ubicación de las víctimas y evaluar la situación.
- **Detección de víctimas:** Algunos robots móviles están diseñados para detectar y localizar a personas atrapadas bajo los escombros. Estos robots pueden utilizar sensores térmicos, de movimiento o de sonido para identificar posibles señales de vida, como el calor corporal o los sonidos emitidos por las víctimas.
- **Entrega de suministros y comunicación:** Los robots móviles pueden transportar suministros médicos, agua, alimentos y herramientas a las víctimas en áreas de difícil acceso. Además, pueden ser equipados con sistemas de comunicación para establecer una conexión entre las víctimas y los equipos de rescate, permitiendo una mejor coordinación y brindando apoyo emocional a las personas atrapadas.
- **Mapeo y reconocimiento de entornos:** Los robots móviles pueden realizar mapeos detallados de las áreas afectadas por desastres, lo que ayuda a los equipos de rescate a comprender mejor la situación y planificar sus operaciones. Además, pueden proporcionar información sobre la estructura de los edificios colapsados, identificando áreas de riesgo o posibles rutas de acceso.

Los ejemplos descritos anteriormente, pueden presentarse en diferentes escenarios, sin embargo, debido a sus casuísticas, estos escenarios son más propensos como

consecuencia de terremotos, que de acuerdo al análisis presentado en (CRED, 2020), los terremotos han generado 118 millones de personas afectadas y 721.318 personas fallecidas entre el 2000 y 2019, ratificando de esta manera, la importancia de que los diferentes países, continúen con las investigaciones de robots móviles como complemento al trabajo de los equipos de rescate humanos, ya que estos, pueden mejorar la eficiencia, la seguridad y las posibilidades de éxito en estas operaciones críticas, sin deslindar a los profesionales capacitados en búsqueda y rescate de su responsabilidad en la toma de decisiones y la coordinación del evento.

4. CONCLUSIONES

Como conclusión se puede citar que, si bien estas tecnologías de robótica tienen potencial para ayudar al rescate de personas en eventos de desastres naturales, también aportan en reducir las situaciones de riesgo a las cuales se exponen los rescatistas luego de un evento post desastre; sin embargo, cada día van avanzando conforme el desarrollo tecnológico.

Los robots móviles desempeñan un papel crucial en las operaciones de rescate y emergencias en la atención prehospitalaria. Su capacidad para explorar áreas peligrosas, buscar y localizar víctimas, entregar suministros médicos y facilitar la comunicación y evacuación de personas atrapadas los convierte en herramientas valiosas para mejorar la eficacia y la seguridad de las operaciones de rescate.

La tecnología desempeña un papel fundamental en el ámbito prehospitalario de rescate y emergencia. Su importancia radica en su capacidad para mejorar la eficiencia, la precisión y la seguridad en la atención a las personas afectadas por emergencias médicas. Los avances tecnológicos han revolucionado la comunicación entre los diferentes actores

involucrados en las operaciones de rescate y emergencia. Se utilizan sistemas de comunicación por radio, telefonía móvil y aplicaciones especializadas que permiten una coordinación más rápida y eficiente entre los equipos de rescate, los hospitales y los servicios de emergencia. Esto garantiza una respuesta más rápida y precisa en situaciones críticas.

La tecnología ha dado lugar a una amplia gama de dispositivos médicos avanzados que se utilizan en el ámbito prehospitalario. Estos dispositivos incluyen desfibriladores externos automáticos (DEA), monitores cardíacos, dispositivos de administración de medicamentos y equipos de soporte vital avanzado. Estas tecnologías ayudan a los socorristas a evaluar y tratar rápidamente a los pacientes en el lugar de la emergencia, mejorando las posibilidades de supervivencia y la calidad de la atención. Los drones y los robots móviles desempeñan un papel cada vez más importante en las operaciones de rescate y emergencia. Estas tecnologías pueden proporcionar imágenes aéreas en tiempo real de áreas afectadas, agilizando la búsqueda y el rescate de personas atrapadas. Además, los drones pueden entregar suministros médicos y equipos de emergencia a áreas de difícil acceso o peligrosas.

- La cantidad de fallecidos, víctimas y pérdidas económicas que han producido los desastres naturales en América Latina en los últimos 20 años, y el alto nivel de exposición y vulnerabilidad que tienen estos países, hacen que la investigación en el desarrollo e implementación de tecnologías para desastres y emergencias en el campo Prehospitalario, sea una necesidad imperativa, para dotar a los equipos de respuesta de herramientas que reduzcan el tiempo y aumenten la precisión de las operaciones de búsqueda y rescate. Además, la presente investigación ha identificado la versatilidad de los robots

terrestres de tipo hexápodo, para alcanzar este objetivo, gracias a sus ventajas invaluableles al superar obstáculos, navegar en condiciones adversas, brindar estabilidad y capacidad de adaptarse a terrenos irregulares sin comprometer el sentido de orientación del operador.

- La implementación de robots en operaciones de búsqueda, rescate y atención prehospitalaria, respaldados por investigaciones científicas y académicas, tienen la capacidad de potencializar la eficiencia y efectividad de las operaciones de rescate en situaciones de desastres natural, salvar la vida de las víctimas y reducir el riesgo para los equipos de primera respuesta, a pesar de ello, en Ecuador, esta área de estudio ha sido poco explorada, y por eso, es necesario impulsar la inversión en investigaciones de este tipo, como una medida para fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a desastres naturales, en donde, la colaboración interdisciplinaria entre la academia, las instituciones de primera respuesta y el gobierno en general serán cruciales para obtener resultados a corto plazo.

REFERENCIAS

Adrian, R., & García, G. (2016). Prototipo virtual de un robot móvil multi-terreno para aplicaciones de búsqueda y rescate. ResearchGate, October.

Adrian, R., & García, G. (2016). Prototipo virtual de un robot móvil multi-terreno para aplicaciones de búsqueda y rescate. ResearchGate, October.

Alcaraz-Carrasco, M., Gudiño-Lau, J., Issac-Zamora, Ó., Charre-Ibarra, S. M., Alcalá-Rodríguez, J. A., & Vélez-Díaz, D. (2022). Robot submarino: estado del arte y diseño. XIKUA Boletín Científico de la

Escuela Superior de Tlahuelilpan, 10(19), 10-16.

Anton Ñiquen, R. (2021). Diseño mecánico y análisis cinemático de un robot reconfigurable para labores de rescate ante un inminente terremoto.

Barreto, D. F. R., & Navarro, M. C. B. Navegación Autónoma y Evasión de Obstáculos en UAV usando Aprendizaje por Refuerzo.

Bledt, G., Powell, M. J., Katz, B., Di Carlo, J., Wensing, P. M., & Kim, S. (2018, October). Mit cheetah 3: Design and control of a robust, dynamic quadruped robot. In 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (pp. 2245-2252). IEEE.

Bohorquez Caro, B. D. (2021). Sistema de visión por computador embebido para la detección y el seguimiento de objetivo móvil desde un vehículo aéreo no tripulado (UAV) usando ROS (Doctoral dissertation, Maestría en Ingeniería Electrónica).

Borja Padilla, J. C. (2019). Diseño e implementación de un robot hexápodo de 17 GDL controlado por radio frecuencia para la búsqueda de personas atrapadas en derrumbes en zonas urbanas del Perú.

Cebolla Arroyo, R. (2017). Sistema de control para robot hexápodo de exploración.

Cedillo, J. Á., Sánchez, T. Á., Sandoval, R. J., Gutiérrez, J. S., & Vega, A. N. (2019). Diseño de un robot rescatista para terremotos en México. *Research in Computing Science*, 148, 31-41.

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters CRED. United Nations Office for Disaster Risk Reduction UNDRR. The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019) [Internet]. 2020 [cited on June 26, 2022]. Available at: <https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019>

» [https://www.undrr.org/publication/human-](https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019)

[cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019](#)

Cruz Ulloa, C., Prieto Sánchez, G., Cerro Giner, J. D., & Barrientos Cruz, A. (2022). Sistema robótico inteligente de exploración térmica para misiones de búsqueda y rescate.

Figueroa-García, J. C., Duarte-González, M., Jaramillo-Isaza, S., Orjuela-Cañon, A. D., & Díaz-Gutiérrez, Y. (Eds.). (2019). *Applied Computer Sciences in Engineering. Communications in Computer and Information Science*. doi:10.1007/978-3-030-31019-6.

Fuertes, J. E. C., Arciniegas, J. J. M., de Castro, P. B. G., & Alban, O. A. V. (2020). Locomotion Control of PhantomX Hexapod Robot with Touch-Pressure Sensor and RoboComp. 2020 IEEE Colombian Conference on Applications of Computational Intelligence (IEEE ColCACI 2020). doi:10.1109/colcaci50549.2020.924.

García Jiménez, J. (2018). Asistencia a la teleoperación en tareas de búsqueda y rescate mediante un robot hexápodo con navegación basada en odometría visual (Doctoral dissertation, Industriales).

García, J. S., & Reina, D. G. (2019). Mission-based mobility models for UAV networks. Editorial Astigi.

García-Aunon, P., Roldán, J. J., De León, J., Del Cerro, J., & Barrientos, A. (2021). Aplicaciones prácticas de los sistemas multi-UAV y enjambres aéreos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 18(3), 230-241.

Girón-Sierra, J. M., Esteban, S., & Jiménez, J. F. (2016). Investigaciones experimentales sobre cooperación de vehículos autónomos en medio acuático. In XXXVII Jornadas de Automática (pp. 588-595). Comité Español de Automática.

Guerrero, J. L. E. (2022). Aprendizaje por refuerzo aplicado a la locomoción de robots caminantes.

INFORM-LAC, 2018. Índice de gestión de riesgos para América Latina y el Caribe,

actualización INFORM-LAC 2018. Contribuyendo a una gestión más efectiva del riesgo de las crisis y los desastres en América Latina y el Caribe. UE Protección Civil y Ayuda H/humanitaria, CEPREDENAC, Organización de las Naciones Unidas, Ukaidfrom the Brithish people. [<https://www.unicef.org/lac/media/1601/file>]

León Rivas, J. D. (2015). Definición y análisis de los modos de marcha de un robot hexápodo para tareas de búsqueda y rescate (Doctoral dissertation, Industriales).

Madridano, A., Campos, S., Al-Kaff, A., García, F., Martín, D., & Escalera, A. (2020). Vehículo aéreo no tripulado para vigilancia y monitorización de incendios. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 17(3).

Martinez Garcia, E. A. (2019). Diseño y Modelado de Biorobots. Instituto de Ingeniería y Tecnología.

Medina, J., & Vélez, P. (2014). "Soft Robotic": Una nueva generación de robots. *Mas-kana*, 5, 109-118.

Mendonca, M., Palacios, R. H. C., Papageorgiou, E. I., & de Souza, L. B. (2020). Multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization. 2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). doi:10.1109/fuzz48607.2020.917781

Michelle, R. F. L., & Guillermo, M. M. C. (2017). Diseño E Implementación De Un Robot Prototipo De Búsqueda Y Comunicación Para Ser Usado Luego De Un Terremoto En El Edificio De La CINT (Doctoral dissertation, Universidad De Guayaquil. Facultad De Ciencias Matemáticas Y Físicas. Carrera De Ingeniería En Networking Y telecomunicaciones).

Montalvo Miranda, G. N. (2021). Diseño del sistema de control de navegación utilizado inteligencia artificial para un cuadrúpedo de rescate.

Ortega, J. D. D., Gutiérrez-Frías, O., & Aguirre-Anaya, J. A. (2022). Simulación del control de un robot móvil tipo rover basado en fusión de sensores mediante filtro de partículas. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(Especial6), 100-106.

Piñeres Florez, J. M. (2020). Tendencia tecnologica de robots para atencion en desastres naturales.

Rodríguez Palafox, P. (2016). Coordinación entre UAV y UGV para tareas de Búsqueda y Rescate.

Roldán Gómez, J. J., Garzón Oviedo, M. A., León Rivas, J. D., Garzón Ramos, D. A., Martín Barrio, A., Terrile, S., ... & Barrientos Cruz, A. (2017). Proyecto pric: protección robotizada de infraestructuras críticas.

Rosas-Rebolledo, F., Marin-Hernández, A., Hernández-Méndez, S., & Cruz-Estrada, R. Planificación inteligente para búsqueda de personas basada en sensores mediante un robot móvil autónomo.

Ruiz Salazar, S. Distribución de potencia y transmisión de datos en un robot modular tipo serpiente orientado a búsqueda y rescate.

Salazar Paredes, P. A. (2020). Analizar el tiempo de respuesta de rescate y seguridad del personal de prehospitalaria en personas que se encuentran atrapadas en estructuras colapsadas con el apoyo de un robot de rescate UTUTO.

Seok, S., Wang, A., Chuah, M. Y., Hyun, D. J., Lee, J., Otten, D. M., ... & Kim, S. (2014). Design principles for energy-efficient legged locomotion and implementation on the MIT cheetah robot. *Ieee/asme transactions on mechatronics*, 20(3), 1117-1129.

Soler, M. A., Rodríguez, H. A., & Peña, C. A. (2014). Desarrollo de un robot explorador operado mediante neuroseñales. *Revista Politécnica*, 10(19), 125-134.

Tapia Torres, A. B. (2023). Diseño del prototipo AR17 UGV, vehículo semi autónomo no tripulado, una herramienta de búsqueda y rescate.

Tordesillas Torres, J. (2016). Diseño y simulación del sistema de locomoción de un ro-bot hexápodo para tareas de búsqueda y rescate.

Toscano-Moreno, M., Mandow, A., Alcázar Martínez, M., & García-Cerezo, A. (2018). Planificador estratégico para operaciones de rescate mediante vehículos terrestres no tripulados. In XXXIX Jornadas de Automática (pp. 387-393). Área de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Extremadura.

Yanguas Rojas, D Control of heterogeneous robot networks for assistance in search and rescue tasks. [Internet]. 2018 [citado: 2023, julio] Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.