

# Vehículos terrestres no tripulados, sus aplicaciones y tecnologías de implementación<sup>1</sup>

## Unmanned ground vehicles, their applications and implementation technologies

Julieth Estefanía Gutiérrez-Lopera<sup>2</sup>

Johan Andrés Toloza-Rangel<sup>3</sup>

Ángelo Joseph Soto-Vergel<sup>4</sup>

Oriana Alexandra López-Bustamante<sup>5</sup>

Dinael Guevara-Ibarra<sup>6</sup>

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.30.7925>

### RESUMEN

Los vehículos terrestres no tripulados son considerados máquinas semi autónomas o autónomas que realizan operaciones complejas de transporte y monitoreo de variables físicas y ambientales, por mencionar algunas. Estos vehículos permiten personalizar, optimizar y dar flexibilidad a las demandas y desafíos de innovación en múltiples campos de aplicación en la industria como cartografía, agricultura, seguridad, minería, telemetría, militar, geociencia, ambiental y logística, por tanto se cree que consolidar la información científica publicada alrededor de este tema permite a los lectores comprender las conexiones entre los diferentes enfoques, aplicaciones y tecnologías habilitadoras para determinar el rumbo al cual desean llevar su investigación, y, al mismo tiempo, promover más debates sobre la fusión de la robótica móvil en las aplicaciones de internet de las cosas que están emergiendo en la industrial actual. En este artículo se implementó la herramienta web *Tree of Science* y la Revisión Sistemática para el análisis de la información.

**Palabras clave:** Vehículos terrestres no tripulados, aplicaciones en la industria, tendencias tecnológicas, Tree of Science, revisión sistemática.

### ABSTRACT

Unmanned ground vehicles are considered semi-autonomous or autonomous machines that perform complex operations of transport and monitoring of physical and environmental variables; to mention a few. These vehicles allow for the customization, optimization, and flexibility of the demands and challenges of innovation in multiple industry applications such as mapping, agriculture, security, mining, telemetry, military, geoscience, environmental, and logistics; therefore, we believe that consolidating the scientific information published around this topic allows readers to understand the connections between different approaches, applications, and enabling technologies to determine the direction in which they wish to take their research; and, at the same time, promotes more discussion about the fusion of mobile robotics into the internet applications of things that are emerging in today's industry. In this article, the web tool *Tree of Science* and the Systematic Review for information analysis were implemented.

**Keywords:** Unmanned ground vehicles; applications in industry; technology trends; Tree of Science; systematic review.



**Cómo citar este artículo:** J. E. Gutiérrez-Lopera, J. A. Toloza-Rangel, Á. J. Soto-Vergel, O. A. López-Bustamante y D. Guevara-Ibarra, "Vehículos terrestres no tripulados, sus aplicaciones y tecnologías de implementación", *Ingeniare*, vol. 17, no. 30, pp. 41-65, junio 2021.

1. Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica y Telecomunicaciones (GIDET).

2. Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6451-679X> Contacto: [juliethestefaniagl@ufps.edu.co](mailto:juliethestefaniagl@ufps.edu.co)

3. Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9830-9919> Contacto: [johanandrestr@ufps.edu.co](mailto:johanandrestr@ufps.edu.co)

4. Magister en Educación Matemática, Fundación Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5093-0183> Contacto: [jvergela@uninorte.edu.co](mailto:jvergela@uninorte.edu.co)

5. Magister en Educación Matemática, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4601-1111> Contacto: [orianaalexandralb@ufps.edu.co](mailto:orianaalexandralb@ufps.edu.co)

6. Doctor en Ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. Contacto: [dinaelgi@ufps.edu.co](mailto:dinaelgi@ufps.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

Los vehículos terrestres no tripulados (en inglés, *Unmanned Ground Vehicle, UGV*) son estructuras móviles que incorporan sensores y sistemas de control, considerados como sistemas embebidos con la capacidad de incorporar variedad de algoritmos programables que permiten adaptarse a diversas técnicas de automatización de procesos, control e instrumentación. Se consideran máquinas que realizan operaciones complejas de transporte, detección de variables físicas y ambientales, trazado de rutas, monitoreo y logística, por mencionar solo algunas. Estos vehículos en la literatura son nombrados también como robots móviles, vehículos autónomos no tripulados (en inglés, *Autonomous Ground Vehicle, AGV*) o vehículos guiados automatizados (en inglés, *Automated Guide Vehicle, AGV*) [1]-[3].

Los UGV's empezaron a desarrollarse a partir de la década de los 90's, reportando un creciente interés y aceptación en diferentes áreas de investigación. A comienzos del siglo XXI comenzaron a implementarse en sectores como: cartografía, en el cual existe una variedad de métodos para su aplicación, algunos ejemplos de esto son [4] que utiliza el método de coincidencia de escaneo ICP con extrapolación de odometría para solucionar el problema de localización y mapeo simultáneo, y [5] que utiliza la técnica de segmentación por umbralización binaria para orientar y localizar el UGV. Otro sector es la agricultura, en el cual [6] emplea un sistema de sensores integrados a un UGV con el objetivo de medir humedad y temperatura en un invernadero; milicia [7], donde implementa un kit de automatización en un vehículo militar para cumplir misiones de vigilancia y navegación por teleoperación. En el sector forestal [8] desarrolla un UGV que trabaja en conjunto con un vehículo aéreo no tripulado para la detección de incendios en zonas forestales.

Estas aplicaciones mejoran significativamente la seguridad y eficiencia en tareas que conlleven riesgo, y su inclusión en la industria aumenta la calidad de los procesos considerando la cantidad de datos que pueden tomar y analizar, permitiendo una optimización de recursos [9]-[11].

En este contexto, todo investigador que desee incursionar en el desarrollo o implementación de UGV's requiere un estudio previo de conocimientos científicos que integre las técnicas y tecnologías involucradas en estos prototipos, teniendo en cuenta la configuración, los esquemas de control y la instrumentación de recolección de datos que utilizan, con el objetivo de conocer los enfoques y determinar el rumbo de su investigación [12], por lo tanto cobra importancia la realización de artículos de revisión que proporcionen información sobre un tema específico, expongan la evidencia disponible con estadísticos de importancia, den respuestas a preguntas y sugieran futuras áreas de investigación [13], para lo cual se implementa la herramienta *Web Tree of Science*, y la técnica de recopilación de información revisión sistemática para realizar una búsqueda en diferentes bases de datos.

Esta investigación desarrolla un análisis detallado de la literatura presente en la construcción e implementación de los UGV's, considerando las tecnologías empleadas y los resultados alcanzados hasta la

fecha. A continuación, se presenta la metodología para la búsqueda y selección de artículos, junto con el análisis de los resultados más relevantes obtenidos.

## 1. METODOLOGÍA

Se implementa la técnica de revisión sistemática con el objetivo de realizar una evaluación de los resultados, analizar la importancia de las publicaciones encontradas, y eliminar aquellas que no contengan aportes importantes para la revisión; finalmente, se presentan los resultados obtenidos de forma clara y detallada [14]-[16]. Esta técnica requiere de una ecuación de búsqueda que permita realizar una revisión detallada y específica del área de investigación, y para ello se realiza una búsqueda general a través de la herramienta web *Tree of Science*, la cual se basa en el análisis de redes de citación y se utiliza para clasificar artículos científicos, distribuyendo sus resultados en tres grupos: raíz, que contiene publicaciones que sustentan el área de conocimiento de la investigación y generalmente son los más antiguos; tronco, que contiene publicaciones que dan estructura del área de estudio, en concreto, sus investigaciones exploran a profundidad el tema que con el tiempo se han convertido en referentes, y hojas, que contiene publicaciones que están en la frontera del conocimiento en el área, es decir, las investigaciones más recientes [17]-[20]. Para el uso de la herramienta se utiliza la ecuación de búsqueda *Unmanned ground vehicle AND application NOT aerial*.

Observando los resultados obtenidos en la herramienta ToS se encontró que los vehículos terrestres no tripulados cuentan con diversas terminologías en la literatura, y además son aplicados en diversos sectores de la industria.

Tomando lo anterior como base, se construye la ecuación de búsqueda (“Unmanned Ground Vehicle” OR UGV OR “Autonomous Ground Vehicle” OR “Mobile Robot”) AND (Agriculture OR Farming OR Agricultural OR Mining OR Soil OR Military OR Environmental OR Mapping OR Forest OR Security OR Logistic OR Telemetry) para aplicar la técnica de revisión sistemática.

Finalmente, se seleccionaron 73 artículos en total para analizar las aplicaciones de los UGV en la industria, eliminando inicialmente aquellos que no tienen DOI (Digital Object Identifier), luego los artículos que se encuentran duplicados, y finalmente se filtraron al leer el resumen evaluando su pertinencia.

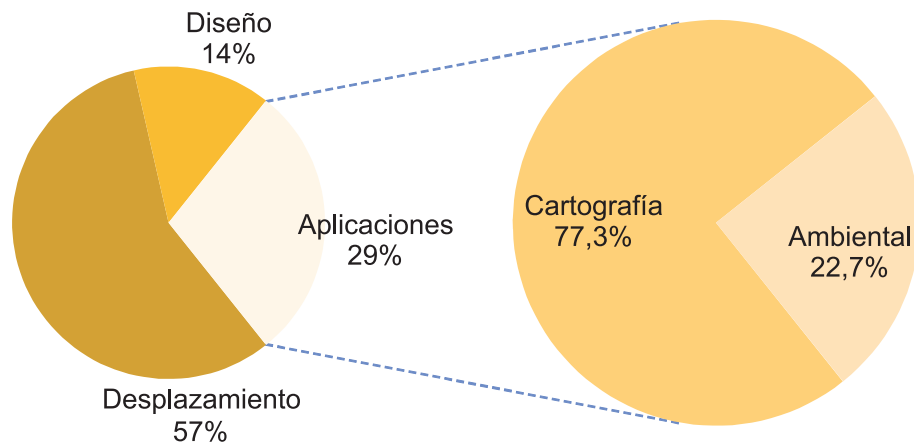
## 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este apartado se divide en dos partes: la primera presenta un análisis basado en la herramienta ToS, y la segunda basado en la revisión sistemática.

## 2.2. Tree of Science

Presenta las distribuciones del árbol de la ciencia identificando el tópico, obteniendo tres clasificaciones: desplazamiento, diseño y aplicaciones. Esta última se distribuye en las áreas de cartografía, ambiental, telemetría, minería, agricultura y logística.

La Figura 1 representa el porcentaje de participación de cada tópico y área de aplicación en la distribución de raíz.



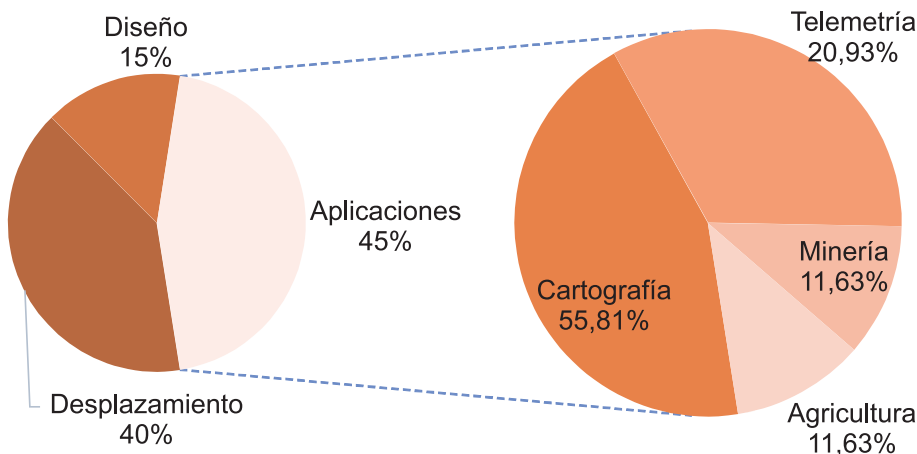
**Figura 1. Distribución en porcentaje para la raíz**

Fuente: Elaboración propia de los autores.

La raíz del ToS se enfoca en publicaciones que desarrollan el desplazamiento del UGV, esto se debe a que inicialmente las tecnologías presentes no cumplían con los requerimientos de los vehículos, por lo tanto, comenzaron a desarrollarse nuevos algoritmos que permitieran el desplazamiento en un espacio no habitado, sin intervención humana, y al mismo tiempo realizar tareas preestablecidas empleando un control lógico basado en máquinas de estado finita [21].

Los UGV's inicialmente se aplicaron en cartografía para la realización de mapas del terreno por los cuales circula el vehículo para mejorar el desplazamiento y la localización del mismo, un ejemplo de ello es [22] que describe una mejora al algoritmo de localización y mapeo simultáneos (en inglés, *Simultaneous Localization and Mapping, SLAM*) que transita en el exterior en una ubicación desconocida, construye un mapa y calcula su ubicación en el mismo. La Figura 2 muestra la disposición por tópico en el tronco del ToS.

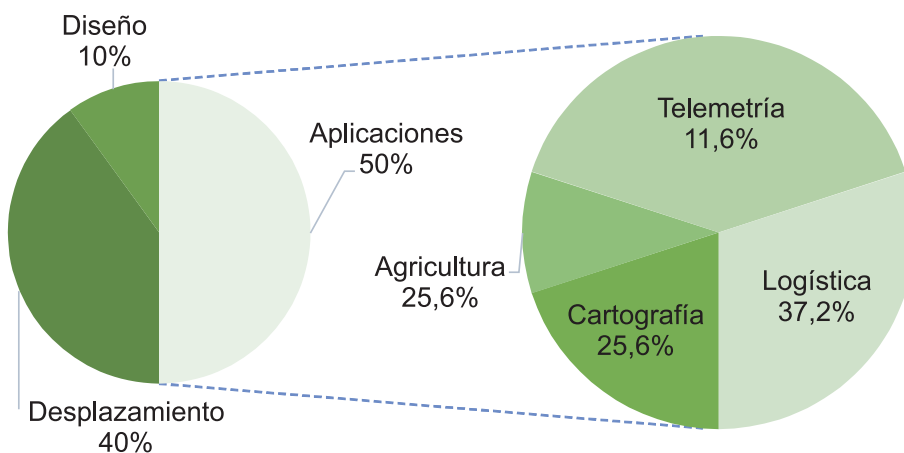
Los resultados porcentuales del tronco del ToS permiten inferir que la participación por aplicación aumenta un 16% respecto al grupo anterior, dado que esta sección se enfoca en artículos de estructura detallada. Además, los avances tecnológicos realizados en las investigaciones permiten desarrollar nuevas técnicas como en [23] que diseñan un UGV controlado por un operador con la finalidad de tomar muestras del suelo que contengan desechos de los procesos implementados en la minería.



**Figura 2. Distribución en porcentaje para el tronco**

Fuente: Elaboración de los autores.

De igual manera, se presenta un 40% en el tópico de desplazamiento, debido a que el constante desarrollo tecnológico obliga a los investigadores a mejorar sus procesos. Dicho lo anterior, [24] implementan campos potenciales para la navegación a alta velocidad del UGV en terrenos irregulares, realizando inicialmente simulaciones con variedad de casos que se pueden presentar en su recorrido, y finalmente aplican las trayectorias obteniendo resultados eficientes tanto simulados como experimentales. Por último, la Figura 3 representa la división en porcentaje para la sección de la hoja del ToS.



**Figura 3. Distribución en porcentaje para la hoja**

Fuente: Elaboración de los autores.

En la hoja se observa que las publicaciones en las investigaciones de desplazamiento respecto al tronco aumenta en un 3%, dado que la optimización de algoritmos y crecimiento de tecnologías en este tópico es importante para los UGV's, lo que permite que el vehículo realice correcciones en las

trayectorias de desplazamiento como lo hace [25] que implementa un sistema de odometría visual por medio de procesamiento de imágenes enfocado en la correlación cruzada, a fin de calcular la posición de un objeto y la ubicación del vehículo empleado en la agricultura, más específicamente en cultivos que se encuentran encerrados por barricadas de hierro, eliminando la opción de utilizar Sistema de Posicionamiento Global (en inglés, *Global Position System, GPS*), dado que la señal se verá afectada por los errores que presenta esta tecnología.

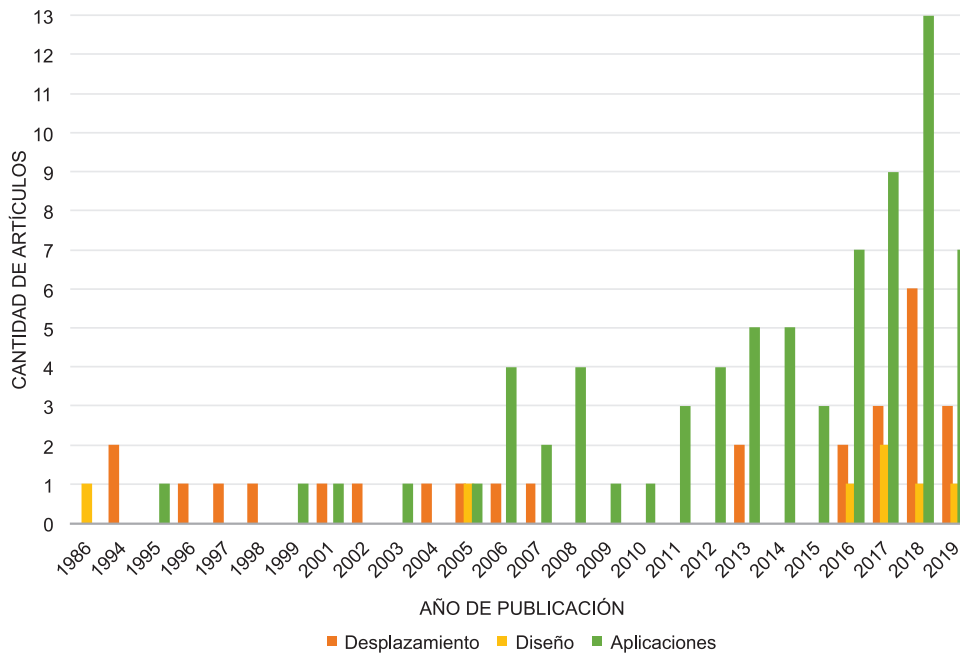
Al finalizar la selección y clasificación utilizando la técnica de ToS, se integran las publicaciones de aplicaciones encontradas en raíz, tronco y hoja, con el objetivo de observar la implementación de los UGV's en las diferentes áreas. La Figura 8 representa la cantidad de artículos obtenidos por cada aplicación, dando un total de 23 publicaciones, donde un 39% son aplicados en cartografía, siendo el área más estudiada, seguida por telemetría con 30%, logística con 13%, agricultura con 8%, y minería y ambiental con un 5% cada una.

Lo anterior muestra que los mayores avances en esta área de estudio se dan en los sectores cartografía y telemetría, por lo tanto, un investigador que desee generar nuevo conocimiento en el tema de UGV's, puede enfocarse en otros campos donde se requiere más análisis y exploración.

### 2.3 Revisión sistemática

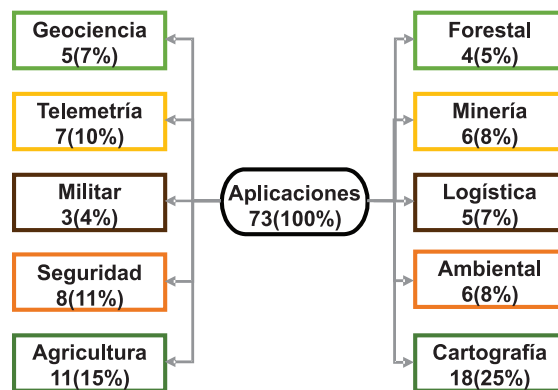
Este proceso se basa en el interrogante ¿Cuáles son las aplicaciones que implementan los UGV's?, teniendo en cuenta la clasificación de cada una de las aplicaciones obtenidas en la técnica de ToS. La Figura 4 presenta la organización cronológica de los artículos seleccionados en la herramienta ToS y en la técnica revisión sistemática, los cuales están clasificados como desplazamiento, diseño y aplicación, teniendo en cuenta el enfoque de cada investigación.

En la Figura 4 se puede observar que, inicialmente, las investigaciones se enfocan en el diseño y desplazamiento del UGV, debido al poco desarrollo que tenía esta área de investigación, gracias a lo cual la implementación de estos vehículos en aplicaciones específicas comienza a tener mayor participación en los últimos 15 años, además el crecimiento tecnológico en este periodo ha permitido optimizar los dispositivos electrónicos y mejorar la calidad de los procesos. Por último, es importante resaltar que los artículos de diseño que se encuentran reflejados en la Figura 4 no están enfocados a diseño general de robótica móvil, sino a necesidades particulares en la aplicación que participaron. La Figura 5 demuestra la cantidad de artículos seleccionados por aplicación, acoplando los diferentes nombres del vehículo.



**Figura 4. Organización cronológica**

Fuente: Elaboración de los autores.



**Figura 5. Totalidad de artículos por aplicación**

Fuente: Elaboración de los autores.

A continuación, se realiza la descripción respectiva de los artículos seleccionados por aplicación.

## 2.4 Geociencia

En el ámbito de la geociencia se considera la aplicación de UGV's para conocer condiciones del suelo, donde la mayoría de las investigaciones se enfocan en recolección de muestras del mismo. En la Tabla 1 se pueden observar algunos de los autores.

**Tabla 1. Resumen de la investigación en Geociencia**

Referencia	Objetivo
[26]	Implementan un vehículo tipo bogie rover de seis ruedas controlado por la placa Arduino UNO y el driver L293D, con el objetivo de conocer las propiedades del suelo utilizando MATLAB.
[27]	Mejoran la capacidad del vehículo utilizando cámaras estereoscópicas para la evasión de obstáculos, y GPS para la navegación del UGV; todos los datos de las muestras son enviados mediante Wifi o red 4G a una estación central.
[28]	Seleccionan el sensor penetrómetro para las muestras de suelo y lo implementa junto a un actuador lineal como manipulador, enviando los datos a una base remota con su ubicación, con el objetivo de obtener la medición de diferentes propiedades del suelo, el etiquetado y el almacenamiento de la muestra.
[29]	Utilizan el sensor penetrómetro para construir mapas de alta intensidad 3D sobre el estado del suelo, utilizando la regresión del proceso gaussiano y Kriging.
[10]	Identifican parámetros como cohesión, ángulo de fricción interna y módulo de deformación por cizallamiento a través de los métodos de Newton Raphson, y mínimos cuadrados utilizando un UGV tipo oruga.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.5 Forestal

La implementación de UGV's en el ámbito forestal se ha realizado principalmente en planificadores de ruta en entornos complejos como bosques y senderos. Con el objetivo de solucionar los problemas que presentan los vehículos, las investigaciones comienzan su desarrollo conociendo la posición del vehículo mediante GPS y Unidad de Medición Inercial (en inglés, *Inertial Measurement Unit, IMU*). Teniendo en cuenta lo anterior, en la Tabla 2 se describen algunos de los autores.

**Tabla 2. Resumen de la investigación en Forestal**

Referencia	Objetivo
[30]	Utiliza el UGV Superdroid 4WD IG52 DB controlado con el mando a distancia Spektrum DX5e, incorporando el Software de Operación de Robots (en inglés, <i>Robot Operating System, ROS</i> ) junto con el sensor de Detección y Alcance de la Luz (en inglés, <i>Light Detection and Ranging, LIDAR</i> ) Velodyne VLP-16 y tecnología de SLAM, con la finalidad de realizar mapas de los bosques y localizar con precisión el vehículo.
[31]	Emplea el protocolo de comunicación Secure Shell (SSH) para conectar el UGV a la placa Raspberry Pi 2 Modelo B, la cual se encarga de almacenar los datos del desplazamiento del vehículo.
[9]	Aplica el Aprendizaje Aplicado a la Robótica Terrestre (en inglés, <i>Learning Applied to Ground Robotics, LARG</i> ), desarrollado por la Universidad Carnegie Melon junto a un algoritmo basado en una combinación de linealización de retroalimentación y control predictivo de modelo lineal (en inglés, <i>Model Predictive Control, MPC</i> ) en UGV's con ruedas de tracción diferencial, con el objetivo de que el vehículo actúe de forma autónoma en entornos complejos.
[32]	Utiliza un sensor láser 3D para la detección del suelo y adquisición de imágenes tridimensionales; los datos recolectados se procesaron mediante un algoritmo de clasificación para evaluar la capacidad de desplazamiento del terreno.

Fuente: Elaboración propia.



## 2.6 Telemetría

El envío de datos recolectados por UGV's ha mejorado sus procesos con el desarrollo de las redes de comunicación móviles 2G, 3G y 4G. Por otra parte, telemetría también es importante el monitoreo y control remoto, es por esto que los vehículos incorporan cámaras de alta resolución que le permiten al supervisor verificar su correcto funcionamiento. En la Tabla 3 se describen diferentes autores que implementan sus investigaciones en Telemetría.

**Tabla 3. Resumen de la investigación en Telemetría**

Referencia	Objetivo
[33]	Implementan un sistema GPS para conocer la posición de un vehículo en tiempo real, un sensor de vibración SW420 para detectar golpes o accidentes, sensor de gas MQ2 para informar de fugas de gas y, finalmente, un sensor de efecto Hall, integrados a la placa Arduino UNO ATMEGA 328p; las alertas son enviadas mediante protocolo GSM utilizando red 2G, y los datos de posicionamiento se envían a través de un módulo Arduino Ethernet.
[34]	Se enfocan en analizar el envío de datos a través de la red 4G de un vehículo agrícola móvil utilizando el Módem de Internet móvil 4G Huawei E5377s-32, la placa Raspberry Pi 3 modelo B y la cámara infrarroja Raspberry Pi NoIR v1.3, para la conexión implementan OpenVPN con certificado auto firmado.
[35]	Implementan dos cámaras de 1080p SJ4000 SJCAM en un UGV con sistema operativo ROS, además de contar con un escáner láser Hoyuko URG-04lx, y un sensor de profundidad para optimizar el rendimiento. Todos los datos se envían a través de los anchos de banda de 1700 Kbps, 1900 Kbps y 2100 Kbps.
[36]	Utilizan la cámara hiperespectral de barrido de línea visible al infrarrojo cercano Resonon Pika II, el sensor LIDAR 3D Velodyne HDL64E y el sistema de navegación cinemática, de posicionamiento global e inercial a tiempo real Novatel SPANCP en un UGV para predecir el contenido de materia seca en árboles de mangos.
[37]	Desarrollan un sistema de monitoreo ambiental de material particulado y gases nocivos para la salud, compuesto por dos subsistemas: el sistema de telemetría que cuenta con una cámara de alta resolución, una antena GPS, un anemómetro y sensores de proximidad, y el sistema de medición que incorpora el contador de partículas ópticas integrado OPC-N2 de Alphasense, el sensor de concentración de CO <sub>2</sub> IRC-A1 de Alphasense y sensores electroquímicos para medir las concentraciones de CO, H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> y NO <sub>2</sub> ; todos los dispositivos se encuentran conectados a una placa de microprocesador que se encarga del funcionamiento del dispositivo.
[38]	Control remoto del vehículo a través de una arquitectura denominada Sistema modificado de Joystick (en inglés, <i>Joystick Modified System, JOMS</i> ), utilizando un potenciómetro y un Joystick calibrado mediante Simulink e implementando Wifi para el envío de los datos a través del Protocolo de Datos de Usuario (en inglés, <i>User Data Protocol, UDP</i> ).
[39]	Desarrollan algoritmos de uno, dos, tres saltos y aleatorio en MATLAB para la optimización de tiempos y mejora de rendimiento en la recolección de datos de múltiples UGV's.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.7 Minería

La inspección y reconocimiento de minas subterráneas es la principal aplicación de los UGV's en el campo de la minería, las investigaciones desarrollan prototipos controlados remotamente por personas mediante teleoperación, con el fin de prevenir riesgos a los que se pueda exponer un trabajador realizando estas tareas. A continuación, se exponen en la Tabla 4 algunas investigaciones enfocadas en la aplicación de Minería.

**Tabla 4. Resumen de la investigación en Minería**

Referencia	Objetivo
[40]	Construyen un UGV equipado con sensores de CH <sub>4</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , temperatura y humedad controlados por la placa Raspberry Pi, cámaras de video estándar y el escáner láser LMS111 encargado de la creación de mapas 3D; el sistema de comunicación con el operador implementa fibra óptica y un sistema banda ancha con alcance superior a los 500 metros.
[41]	Realizan mapas 3D a través de un eje codificador, IMU y un escáner láser giratorio encargados de tomar los datos de la zona que posteriormente son analizados por el algoritmo de Punto de Cierre interactivo para obtener más precisión en el punto de ubicación del vehículo.
[42]	Desarrollan un sistema que compara el mapa actual con el anterior, e informa de cambios inesperados en el túnel; para esto construyen un UGV que está compuesto por ocho motores, engranajes, controladores de motor, baterías y un sistema de control basado en ROS, además cuenta con cinco cámaras (dos para visión estereoscópica, una con un amplio campo de visión, una para visión trasera y una cámara térmica), iluminación LED, sensor de gas ATEX M1 CH <sub>4</sub> de Dynament y un subsistema de mapeo 3D compuesto por un escáner láser 2D Sick LMS111 LIDAR montado en un eje rotatorio. Hay que mencionar también que la comunicación de los sistemas se realiza a través de fibra óptica o Ethernet.
[43]	Realizan mapas 3D de las minas subterráneas implementando el láser Sick LMS111 2D Finder montado en una plataforma giratoria al igual que [40]VSB – Technical University of Ostrava (Czech Republic, sin embargo, utilizan la API gráfica Direct3D 9.0c para la aceleración de los cálculos complejos en hardware gráfico; añadido a esto utilizan el sistema de octarbol para dividir puntos en nodos generando gráficos más precisos, además utilizan valores obtenidos por sensores de gas, velocidad del viento, temperatura, entre otros, para visualizarlos en gradientes de color verde, amarillo, rojo y naranja, con el fin de identificar la concentración de cada uno de ellos al interior de la mina.
[44]	Implementan un UGV tipo rover denominado Phoenix, el cual está equipado con GPS diferencial, IMU, radar Doppler, telémetros láser y una cámara panorámica Ladybug3; las pruebas se realizan a campo abierto mediante teleoperación mixta, donde un operador controla el UGV remotamente con un joystick, y otro se encuentra junto a él para verificar su correcto funcionamiento.
[23]	Esta investigación es un caso especial, debido a que el UGV lo utilizan para la caracterización de regiones de suelos en depósitos de minas, supervisar su rendimiento y observar la consolidación del desagüe; esto lo realizan a través de dos UGV's, tipo oruga y tipo rover, los cuales cuentan con un compartimiento para guardar el ordenador a bordo, controladores del motor, módulos de conectividad inalámbrica, unidades de adquisición de datos y baterías de plomo de 24V-20Ah y 12V-10Ah. Los UGV's se encargan de tomar muestras del suelo en la mina y ubicar su posición mediante un módulo GPS.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.8 Militar

Los UGV's en el ámbito militar tienen aplicaciones muy diversas, demostrando las múltiples tareas que pueden cumplir dependiendo de la función a la cual son asignados; también se encuentran las misiones como vigilancia perímetro y circulación en convoyes. En la Tabla 5 se observan las investigaciones que abarcan esta aplicación.

**Tabla 5. Resumen de la investigación en Militar**

Referencia	Objetivo
[45]	Lo utilizan como un robot detector y destructor de minas, implementando un vehículo tipo oruga alimentado por una batería de 12V, el cual tiene una cámara inalámbrica de 50mW que se encarga de grabar imágenes y enviarlas a un ordenador remoto. El control inalámbrico se realiza mediante una interfaz de joystick diseñada en Visual Basic que utiliza comunicación RF para interactuar con el UGV. Finalmente, para la detección de minas el sistema envía ondas sinusoidales hasta 30 cm bajo el suelo, y al momento de encontrar algún objeto metálico activa una unidad de alarma.
[7]	Integran una unidad 3D LIDAR Velodyne VPL-16, un GPS y un receptor de Sistema Global de Navegación por Satélite (en inglés, <i>Global Navigation Satellite System, GNSS</i> ) Multi-constelación Trimble BX935-INS para controlar un UGV remotamente, además de contar con transmisión de video a 2.4GHz entre el UGV y la estación de teleoperación
[2]	Desarrollan una simulación de un UGV con la capacidad de desplazarse y evitar posibles zonas de amenaza mediante el método de evasión de obstáculos, para ello utilizan un sistema LIDAR y los algoritmos de Histograma Vectorial Polar e Histograma Vectorial Polar Mejorado.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.9 Logística

Las principales funciones que efectúan los UGV's en el campo de la logística son enrutamiento, automatización de procesos, misiones de reconocimientos y seguridad. Para cumplir con estos objetivos las investigaciones realizan diferentes tipos de sistemas en conjunto, además otro papel que desempeñan es el transporte de cargas y productos en las fábricas industriales. A continuación, en la Tabla 6 se describen investigaciones que se enfocan en la implementación de los UGV's en logística.

**Tabla 6. Resumen de la investigación en Logística**

Referencia	Objetivo
[46]	Desarrollan un modelo mixto de programación entera (en inglés, <i>Mixed model of Integer Programming, MIP</i> ) verificado por el software CPLEX para planificar rutas y optimizar tiempos de un sistema UGV-UAV.
[47]	Implementan un sistema de múltiples UGV's controlados por un operador incorporando el software Multiple Resource Host Architecture (HAMR) basado en Red de Área Local (en inglés, <i>Local Area Network, LAN</i> ), con el objetivo de comprobar electrónicamente un sistema de cierre electrónico mediante consulta y respuesta por radiofrecuencia, evaluar productos con etiquetas e informar de discrepancias en el inventario.
[48]	Realizan una simulación de detección de personas y vehículos en zonas de frontera utilizando técnicas de Detección, Reconocimiento e Identificación (en inglés, <i>Detection, Recognition and Identification, DRI</i> ) a través de dos sensores infrarrojos, cámara MWIR y cámara LWIR.
[49]	Construyen un UGV para detectar minas en el campo, para ello emplean como hardware el detector de metales y radar de penetración de suelo ERA & VALLON Minehound VMR2 y como software la caja de herramientas Sim-mechanics de MATLAB junto a un controlador Proporcional, Interactivo y Derivativo (PID) para el torque requerido de los motores.
[50]	Construyen un UGV de 4 ruedas manejadas por un microcontrolador VEX y control PID para cada rueda implementado en EasyC V4 Cortex Programming Kit, además, el dispositivo cuenta con dos sensores laser SICK y un ordenador que contiene un módulo IoT del software RAN, toda la secuencia de estados se inicia mediante una HMI y el sistema operativo del UGV está basado en ROS.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.10 Seguridad

El principal enfoque que presentan las investigaciones en la aplicación seguridad es implementar los UGV's como dispositivos de patrulla y vigilancia en interiores, en concreto, utilizan cámaras tipo Dispositivo de Carga Acoplada (en inglés, *Charge Couple Device, CCD*) y sensores ultrasónicos. En la Tabla 7 se exponen investigaciones que abarcan esta aplicación.

**Tabla 7. Resumen de la investigación en Seguridad**

Referencia	Objetivo
[51]	Instalan un par de las cámaras mencionadas anteriormente y sensores, junto a una tarjeta de captura de video de la Asociación Internacional de Tarjetas de Memoria para Computadoras Personales (en inglés, <i>Personal Computer Memory Card Internacional Association, PCM-CIA</i> ) con el objetivo de capturar imágenes remotas del UGV, además utilizan control PID y chip de control LM628 para regular la velocidad; todos los dispositivos están interconectados a un portátil TOSHIBA y un sistema embebido WinCon-8k que se comunican mediante protocolo RS232.
[52]	Integran las cámaras a un sensor de detección de obstáculos y un telémetro laser para la localización y teleoperación mediante un joystick; el UGV también cuenta con sensores para detectar calor, humo e intrusos.
[53]	Utilizan la cámara Sony EVI-D70, 8 sensores ultrasónicos Polaroid 6500, el explorador laser SICK-LMS100, el sensor de flama R2868 y el sensor de temperatura DS1821, a fin de monitorear el entorno de una cabina y alertar mediante una alarma cuando se detecte fuego en la zona.
[54]	Desarrolla un UGV con 5 cámaras CCD, sensores de humo, fuga de gas, ultrasónicos y de alcance óptico para detección de obstáculos, así mismo, el prototipo tiene un altavoz para la transmisión de voz del personal de seguridad, y para finalizar.
[55]	Utilizan la cámara Pulnix TM-765i conectada a una tarjeta de capturador de fotogramas PX-610A Imagenation en un prototipo basado en la computadora central J-Board, el sistema cuenta con una red de sensores leídos mediante la tarjeta de adquisición de datos DAQ y visualizados a través de LabView, seis dispositivos posicionadores de infrarrojos Sharp GP2Y0A02YK se encargan de la evasión de obstáculos, el control remoto y la comunicación con el UGV se realiza con una tarjeta de red inalámbrica de área local conectada a una ranura periférica de interconexión de componentes, todo el sistema es alimentado con 2 baterías de ácido de plomo inundado 126HD Silver Series Champion.
[56]	Implementan la cámara CMOS en un UGV para la seguridad del hogar; en el dispositivo también se instalan cuatro sensores infrarrojos para detectar obstáculos, además implementa otra cámara que trasmite la imagen con una antena a un receptor inalámbrico instalado en un PC remoto. Todo el sistema es manejado mediante un microcontrolador encargado de recoger datos de un sensor de incendios e intrusos, comunicados a través de la interfaz RS232.
[57]	Utilizan la cámara de paneo-inclinación-zoom AXIS PTZ 215, montada en una plataforma móvil de tracción diferencial de dos ruedas MobileRobots P3DX junto a un telémetro laser Hokuyo URG-04LX, 16 sensores ultrasónicos, modem inalámbrico Lantronix Wibox y un sensor de profundidad tipo Kinect, además, el UGV es manejado por lógica difusa, cuyas entradas son los datos de la cámara, los ultrasónicos y el telémetro laser.
[58]	Este sistema es más sofisticado, pues está compuesto por cinco UGV's que se comunican mediante el protocolo ZigBee, el núcleo de cada UGV es el microcontrolador PIC16F877A encargado de operar dos motores utilizando el puente H L298 Dual, todo el sistema es alimentado por una batería de 7.4V, sin embargo, el L298, el sensor de proximidad infrarrojo y una pantalla LCD, es alimentada con el regulador L7805. Finalmente, se construye una interfaz gráfica de usuario en Visual Basic para el monitoreo del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.11 Ambiental

Los UGV's en el sector ambiental se implementan para cumplir dos objetivos: clasificación de imágenes tomadas del entorno y monitoreo ambiental. A continuación, en la Tabla 8 se describen investigaciones que se enfocan en la implementación de los UGV's en ambiental.

**Tabla 8. Resumen de la investigación en Ambiental**

Referencia	Objetivo
[3]	Utilizan el método de colores con intensidad RGB en las lecturas tomadas por una cámara instalada en el vehículo, posteriormente se divide la imagen en muchas partes y se clasifica con el algoritmo de Maquinas de Vectores de Soporte (en inglés, <i>Support Vector Machine, SVM</i> ), adicionalmente se filtra la sombra a través del algoritmo de funcionamiento morfológico.
[59]	Equipan un UGV de arquitectura NIST 4D/RCS con el láser GDRS móvil-itv, los datos tomados se segmentan mediante Detección y Alcance del Láser (en inglés, <i>Laser Detection and Ranging, LADAR</i> ) usando las estadísticas de nubes de puntos tridimensionales locales, finalmente el código de funcionamiento se ejecuta en un ordenador que se encuentra en el UGV y se comunica con él a través de buffers de Lenguaje de Mensajes Neutral (en inglés, <i>Neutral Message Language, NLM</i> ).
[60]	Desarrollan un UGV con una base central basada en un procesador dúo de 1,66 GHz Intel Corei2 con 1GB de memoria; el sistema se compone de dos motores de corriente continua a 12V, un sensor de telemetría laser USB UTM-30LX, un sensor de temperatura SHT21 I2C, un anemómetro WindSonic RS232, un detector de fotoionización ppbRAE 3000 RS232 y una cámara web USB 3D a color, el procedimiento de exploración utiliza la metodología de mapeo SLAM y tecnología LIDAR.
[61]	Realizan el sistema en el UGV Pioneer 3-DX de MobileRobots, instalando un Computador Personal Industrial (en inglés, <i>Personal Industrial Computer, IPC</i> ) que se comunica con el controlador a través de USB2.0; para la localización, cartografía y navegación autónoma se emplea el SICKLMS-200 con tecnología SLAM, además cuenta con una cámara en la parte superior, 15 sensores de temperatura y humedad, y 5 sensores de velocidad de flujo de aire.
[62]	Diseñan un sistema en conjunto entre un UGV y un teléfono inteligente, instalando una cámara con lente omnidireccional Go Panomicro y un contador Geiger en el vehículo para recolectar imágenes y datos sobre el nivel de radiación, respectivamente; el teléfono inteligente permite la comunicación con el servidor de Google Drive y la localización a través del GPS interno.
[63]	Construyen una nariz electrónica compuesta por sensores del tipo Figaro TGS para medir hidrogeno, monóxido de carbono, amoniaco, sulfuro de hidrógeno, compuesto orgánico volátil, metano, solventes orgánicos y dióxido de carbono, la cual es instalada en un prototipo móvil que cuenta con escáner de alcance laser SICKLMS 2000 y el controlador para localización AMCL.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.12 Agricultura

En el sector de agricultura las principales investigaciones se enfocan en la implementación de los UGV's para realizar mediciones de variables físicas, sistema de riego y siembra de semillas, la identificación de malezas en los cultivos y por último la toma de muestras del suelo en los cultivos que resulta ser importante para los agricultores, debido a que permiten monitorear y controlar los nutrientes, la composición y el Ph del suelo. También se encuentra los sistemas de pulverizar las plantas y repeler insectos en el campo a fin de mejorar las condiciones del cultivo, pero resulta ser riesgoso para los seres humanos, en consecuencia, a esto implementan los UVG's. En la Tabla 9 se exponen investigaciones que abarcan está aplicación.

**Tabla 9. Resumen de la investigación en Agricultura**

Referencia	Objetivo
[64]	Toman mediciones de la humedad y temperatura implementando el sensor DHT11, la presión barométrica con el sensor BMP085 y la intensidad lumínica utilizando el sensor TSL2561; el desplazamiento del vehículo es por medio de dos cámaras, una tipo estéreo para el propósito de la navegación y otra tipo auxiliar para captar la imagen de las filas de campo, así mismo, acoplan el módulo GPS MTK3339 para obtener la ubicación donde se realizaron las mediciones, cuyos datos son enviados a una aplicación web por medio de comunicación Wi-Fi, todos los dispositivos se integran a la placa Arduino para el funcionamiento del vehículo.
[6]	Seleccionan el sensor MLX90614 para realizar mediciones de la temperatura del suelo, lo emplean unido con el sensor SEN92355P para la medición de la humedad del suelo junto a un motor paso a paso y la placa Arduino UNO; la navegación del vehículo se realiza por medio de un escáner laser lineal para evadir obstáculos, la IMU, un receptor GNSS y una cámara de giro, inclinación y zoom; el UGV tiene una capacidad de carga máxima de 20Kg, autonomía de tres horas e implementa cuatro tipos de ruedas Monster cada una con su respectivo motor.
[65]	Utilizan el sensor MLX90614 para medir la temperatura de las plantas, acoplan el sensor SHT71 para la adquisición de datos de temperatura y humedad del medio ambiente; el dispositivo agrupa dos sistemas, el sistema de comunicación para transmitir y recibir datos por medio de Wi-Fi, Bluetooth y Xbee que recibe los datos de las mediciones de los sensores; el sistema de orientación, navegación y control implementando la IMU para medir las velocidades y aceleraciones angulares, un magnetómetro con la capacidad de corrección de inclinación y un módulo GPS; la estructura del UGV es esférica específicamente ROSPHERE que es incorporado a un sistema de computación embebido donde implementan el microcontrolador RoboVero usado en la robótica, el cual agrupa el microcontrolador LPC1769 que contiene todos los componentes de sistema de medición y sistema de navegación y la computadora embebido Overo Fire encargada de la transmisión Wi-Fi.
[66]	Desarrollan un vehículo con un microcontrolador ATMEGA328P, a fin de arrojar semillas a medida que se desplaza con ayuda de un servomotor, para obtener la posición de la tierra obtienen cuatro puntos de posiciones por medio del GPS junto con una brújula magnética para aumentar la exactitud y precisión del sistema y un módulo XBEE para localizar el vehículo.
[67]	Emplean un UGV agrícola móvil de doble brazo primático-revolucionado (PR) que cuenta con una placa Arduino MEGA y cuatro módulos: módulo de excavación compuesto por cinco motores, cuatro para excavación y uno para la cobertura del suelo; módulo de semilla compuesto por un servo motor; módulo de riego que contiene un sensor FC-28 que permite activar el motor para accionar la bomba al momento de medir una humedad baja; y módulo de movimiento lineal compuesto por dos motores de corriente directa y un codificador para medir la distancia recorrida por cada hilera.
[68]	Implementan un UGV para detectar malezas en el cultivo y clasificar en tiempo real, implementando una cámara multispectral aplicando redes neuronales convolucionales en imágenes RGB + infrarrojo.
[69]	Desarrollan un UGV utilizado en una granja, el cual acopla una placa de desarrollo FriendlyARM mini2440 que reconoce las hojas enfermas mediante la segmentación de colores, utilizando dos algoritmos de separación, el canny para la detección de bordes y el Adaptive thresholding byOtsu que permite separar la región de interés y eliminar el ruido; implementan el módulo de computador ARM9 y el microcontrolador S3C2440, emplean la comunicación RS232. Así mismo, la navegación del vehículo contiene dos sensores infrarrojos 2D120X y tres motores de corriente directa, dos para las ruedas traseras y uno para la dirección que son controlados mediante el módulo L298; para la captura de los videos utilizan los controladores Video4Linux2 (V4L2), por tal motivo, el sistema operativo que emplean es Linux.
[70]	Utilizan los UGV's en conjunto con los UAV's para identificar y eliminar las plantas de un cultivo de lechuga, realizando la comunicación entre ellos por medio del módulo Xbee.
[71]	Diseñan e implementan un UGV controlado por la placa Arduino UNO en una hectárea de azúcar, la navegación del vehículo contiene un motor de 500w diferencial, controlador de motores marca Sparkfun, transmisores-receptores GPS para la navegación del vehículo, modulo bluetooth HC-05 que permite encender el UGV por medio de una aplicación móvil diseñada en Android Studio y fuente de alimentación de cuatro baterías de 12V 20AH conectadas en serie; también contiene una barrena para cavar el suelo compuesta por dos diferentes motores paso a paso, el NEMA 17 para la rotación de la barrera y el NEMA 23 para movimientos verticales de la barrena.

Referencia	Objetivo
[72]	Trabajan en conjunto con un UAV para monitorear y controlar en base al color de suelo empleando una cámara monolítica de alta resolución para la transmisión de imágenes en tiempo real y está equipado con LIDAR para el mapeo en 3D, además, implementan el sistema operativo Linux y Robots, el procesamiento de las imágenes se realiza con los algoritmos detector de esquina Harris, método de pirámide Lucas-Kanade y RANSAC y la identificación de las zonas verdes es enfocado por los índice de vegetación ajustado al suelo (en inglés, Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI).
[73]	Implementan el UGV para realizar la pulverización de las plantas sin intervención humana; el cuerpo del vehículo se compone de Lynxmotion Rover Kit, cuatro motores de corriente continua, microcontrolador Arduino MEGA para controlar la velocidad de los motores con un control PID y procesar los datos de los tres sensores de ultrasonidos HC-SR04 a fin de evitar obstáculos y batería de polímetro de litio de 11.1V; adicionalmente, contiene el mecanismo de pulverización y el mecanismo de repelente de insectos; el primero consiste en una bomba de agua Bayite, un tanque de agua de un litro de volumen, una manguera de silicona y una boquilla; y el segundo implementa paneles solares para generar frecuencias variables con un sensor sónico y de ultrasonido el cual funciona las 24 horas del día si está totalmente cargado.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.13 Cartografía

En el sector de cartografía resalta la implementación de dispositivos laser en los UGV's, para ser más específicos sistemas basados en LIDAR, los cuales se complementan con otras tecnologías como IMU [74], [75], GPS [76] y SLAM [22], [77]–[79] para la construcción de mapas 2D o 3D. De igual modo, en los sistemas LIDAR se implementan los sensores laser LIDAR: HDL-64E Velodyne junto a las cámaras Firefly de 6 puntos y el NovAtel SPAN INS GPS/IMU [80]. A continuación, en la Tabla 10 se describen investigaciones que se enfocan en la implementación de los UGV's en cartografía.

**Tabla 10. Resumen de la investigación en Cartografía**

Referencia	Objetivo
[81]	Integran todas las tecnologías mencionadas anteriormente a través de un dispositivo de sensor VI (cámara estéreo + IMU), un LIDAR 3D Velodyne VLP-16 y un RKT-GPS Ublox, con el objetivo de conocer la posición de un UGV que simultáneamente construye mapas 3D del entorno.
[82]	Integra los sensores LIDAR SICK LMS 291-S05/S14, Velodyne HDL-64, Continental ISF 172 e IBEO Alasca XT junto al sistema GPS-IMU Applanix POS-LV 220/420 y el radar Continental ARS 300 en un Chevrolet Tahoe 2007 modificado, para el cálculo de todos los datos tomados se utilizan 10 procesadores Core2Duo de 2,16Hz con un par de puertos gigabit Ethernet.
[4]	Proponen una solución a problemas presentes en la implementación de 6D SLAM en UGV's a través del algoritmo ICP desarrollado para la lectura y procesamiento de datos de un telémetro laser SICK 2D, para el núcleo de funcionamiento del UGV se utiliza un PentiumCentrino-1400 con 768MB de RAM y sistema operativo Linux.
[83]	Comparan 4 algoritmos SLAM en un UGV con sistema operativo ROS que cuenta con un procesador Intel Core i3 y una tarjeta gráfica GeForce GT 740M para cálculo paralelo, además utilizan una cámara Full HD Genius WideCam F1005 para rastrear la localización del vehículo y la construcción del mapa.
[84]	Implementan el sensor LIDAR SICK LMS111 a un sistema GPS ProPak-LB Plus DGPS de Novatel, controladores de motor QuickSilver Nugget y una MacBook Pro, los cuales funcionan con los Diagramas Voronoi mejorados (EVD) y el algoritmo VFH.
[85]	Utilizan el sensor 30LX de Hokuyo, el cual se complementa con tres giroscopios, tres acelerómetros, tres magnetómetros, un control de movimiento y el sistema operativo ROS para detección de obstáculos y mapeo 3D.

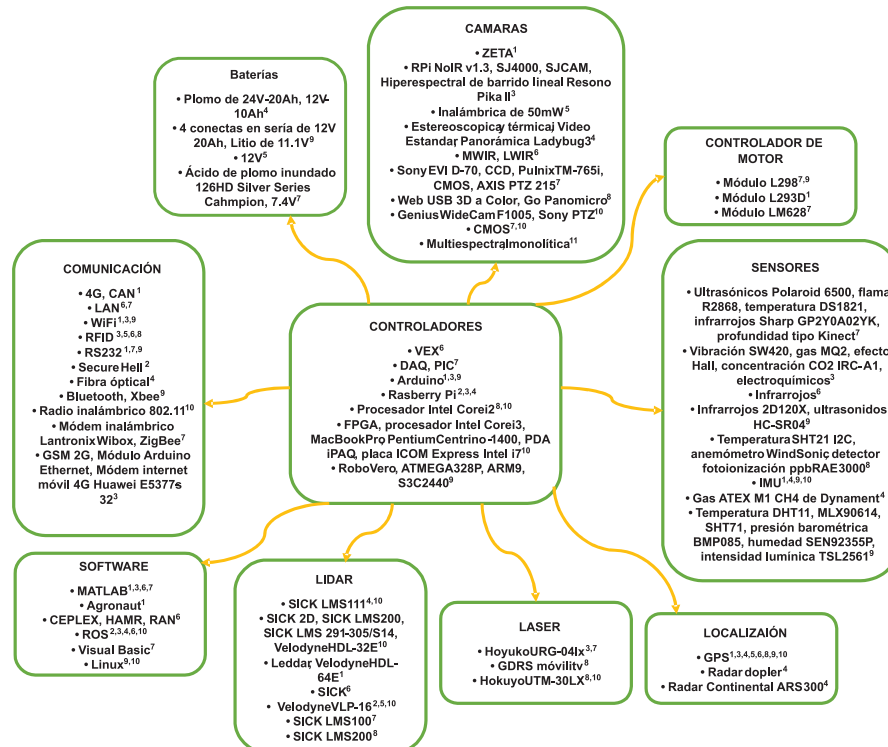


Referencia	Objetivo
[86]	Emplean el sensor UTM-30LX-EW Hokuyo y HDL-32E Velodyne, para mapas 2D y 3D, respectivamente, añadidos a una placa ICOM Express Intel i7 de cuatro núcleos utilizada en un UGV con sistema operativo ROS y radio inalámbrica 802.11.
[87]	Acoplan a un el sensor SICK LMS200, desarrollado en una simulación en C++
[88]	Incorporan el sensor SICK LMS200 en 80 UGV's diseñados con base a la plataforma Pioneer2DX para desplegarlos en un edificio sin explorar y generar mapas globalmente consistentes a través de Estimación de Máxima Velocidad (en inglés, Maximum Likelihood Estimación – EMV), el sistema tiene una cámara Sony PTZ y una PDA iPAQ con Linux para la computación, la comunicación se realiza mediante Wi-Fi 802.11b usando un paquete de enruta-miento ad-hoc.
[89]	Implementan un novedoso sistema de procesamiento de imágenes basado en FPGA para la estimación simultánea precisa y rápida de la posición y orientación de vehículos controlados a distancia en espacios interiores, el cual consta de cámaras CMOS D5M de Terasic y la placa Altera Cyclone IV EP4CE115 donde se implementa el nodo de procesamiento de imágenes, cada nodo consta de un procesador Nios II y de periféricos de propósito general y personalizados diseñados en Verilog.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.14 Tecnologías

En la Figura 6 se detallan las tecnologías acopladas al UGV teniendo en cuenta cada una de las aplicaciones mencionadas anteriormente.



<sup>1</sup>Geociencia, <sup>2</sup>Forestal, <sup>3</sup>Telemetría, <sup>4</sup>Minería, <sup>5</sup>Militar, <sup>6</sup>Logística, <sup>7</sup>Seguridad, <sup>8</sup>Ambiental, <sup>9</sup>Agricultura, <sup>10</sup>Cartografía

**Figura 6. Tecnologías en los UGV'S**

Fuente: Elaboración propia.



Es interesante ver la variedad de componentes que son adaptados a los UGV para cumplir tareas específicas en cada una de las aplicaciones en que son usados, lo cual es un claro ejemplo de la versatilidad con la que cuenta la robótica móvil para ser implementada en casi cualquier campo de las industrias, como se muestra en la Figura 6.

Es importante resaltar que los componentes de funcionamiento tecnológicos básicos están conformados por un controlador que hará las funciones de procesamiento de toda la información captada en el entorno por el UGV, siendo su elección de gran importancia; por otra parte, un sistema de sensores cuya selección dependerá de los propósitos del UGV en el escenario de aplicación, y finalmente los sistemas de comunicación, que comúnmente suele ser inalámbrico, para transmitir los datos a una estación base y ser analizados por los expertos detrás del proceso; cabe señalar que todo el sistema móvil es dependiente de una fuente de alimentación portátil como las baterías, sin embargo el espectro tecnológico que puede sumar a las capacidades de los UGV es muy variado, por lo tanto la selección de los demás elementos dependerá mucho de los propósitos específicos de cada aplicación, como se describe en la Figura 6.

## CONCLUSIONES

Este artículo presenta una revisión de los UGV's en los diversos sectores donde son aplicados, así como las tecnologías y técnicas empleadas para la construcción y funcionamiento de los mismos. Los resultados muestran que la herramienta ToS y la técnica revisión sistemática permiten una búsqueda completa de las publicaciones referentes al tema de investigación, no obstante, la variedad de términos que reciben los UGV's en la literatura aumentan el rango de búsqueda y dificultan el proceso de selección y clasificación. Finalmente, se resalta que la información en aplicaciones como militar y forestal es limitada, reflejando una oportunidad de desarrollo.

La aplicación con mayor cantidad de publicaciones es cartografía, con un 25%, debido a que, por medio de la realización de mapas, es posible optimizar procesos complejos para los humanos como el reconocimiento de entornos de difícil acceso o de alto riesgo como minas subterráneas y edificios inestables; por otra parte, los investigadores que deseen incursionar en este sector cuentan con gran cantidad de avances, procesos, algoritmos y tecnologías para desarrollar sus proyectos, posibilitando el alcance de los resultados esperados.

La aplicación militar obtiene el porcentaje más bajo de artículos con un 4%, debido a que, de las 16 publicaciones encontradas en esta área, el 81% se enfocan en el diseño y desplazamiento del UGV, considerando únicamente la movilidad autónoma del vehículo sin intervención humana, por lo que fueron descartados en el proceso de selección y clasificación, resultando en un total de 3 investigaciones consideradas para la revisión.

En cuanto a la tecnología presente en los UGV's, el 25.7% implementan módulo GPS en el UGV, donde el 6.7% es empleado en cartografía para obtener la ubicación del vehículo al momento de construir los mapas de la zona y mejorar la precisión de los resultados, el 5.4% en agricultura, para conocer la localización de las mediciones tomadas, facilitando al agricultor trasladarse al punto del cultivo donde se presente una anomalía y optimizar los tiempos de trabajo, 4% es utilizado en forestal, 2.7% en minería y telemetría, y finalmente 1.4% en ambiental, militar y geociencia. Así mismo, el algoritmo SLAM es empleado en 13.5% de las investigaciones para el mapeo y localización del vehículo. Por otra parte, aunque las publicaciones se enfocan estrictamente en la aplicación del UGV, algunas de ellas describen la tecnología que implementaban para la navegación del vehículo, obteniendo así un 13.5% que utilizan sistemas IMU para controlar la velocidad, orientación y fuerza del mismo.

Por otra parte, la tecnología basada en laser o LIDAR es la más utilizada para la realización de mapas y detección de obstáculos con un 50%, de allí 15% de los autores seleccionan sensores de la clase telémetro, y 9% escáner laser y dispositivos de la marca Velodyne, y el 17% restante no especifican el tipo de sensor utilizado.

Finalmente, al analizar los microcontroladores que implementan cada una de las aplicaciones, se encontró que agricultura es la que más los utiliza, en concreto 72% de las investigaciones en esta área los consideran relevantes, esto se debe a que cuentan con los protocolos de comunicación necesarios para la construcción de sistemas de medición que requieren realizar el procesamiento de los datos adquiridos por los sensores para el monitoreo y control; en cuanto a los dispositivos empleados, el 62% utilizan el microcontrolador en las placas Arduino, y el 38% desarrollan el hardware únicamente con el microcontrolador, tales como Robovero, LPC1769, ATMEGA328P y S3C2440.

## REFERENCIAS

- [1] J. Wang, Z. Jiang, Q. Song, and Z. Zhou, "Forward looking InSAR based field terrain mapping for unmanned ground vehicle," in *Proceedings of 2016 Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems, ACIRS 2016*, Aug. 2016, pp. 168-173, doi: 10.1109/ACIRS.2016.7556207.
- [2] D. Rammoorthy, K. K. Radhakrishnan, and S. Ramesh, "Algorithm for threat area avoidance in military unmanned ground vehicles," in *Advanced Materials Research*, Nov. 2012, Vol. 403-408, pp. 4456-4461, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.403-408.4456.
- [3] O. Y. Agunbiade, S. M. Ngwira, T. Zuva, and Y. Akanbi, "Improving ground detection for unmanned vehicle systems in environmental noise scenarios," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 84, no. 9-12, pp. 2719-2727, Jun. 2016, doi: 10.1007/s00170-015-8109-8.
- [4] A. Nüchter, K. Lingemann, J. Hertzberg, and H. Surmann, "6D SLAM—3D mapping outdoor environments," *J. F. Robot.*, vol. 24, no. 8-9, pp. 699-722, Sep. 2007, doi: 10.1002/rob.20209.

- [5] J. S. Botero-Valencia and E. Delgado-Trejos, "Localización y orientación de equipos móviles usando color," *TecnoLógicas*, vol. 23, p. 148, Dec. 2009, doi: 10.22430/22565337.243.
- [6] A. Ruiz-Larrea, J. J. Roldán, M. Garzón, J. Del Cerro, and A. Barrientos, "A UGV approach to measure the ground properties of greenhouses," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2016, vol. 418, pp. 3–13, doi: 10.1007/978-3-319-27149-1\_1.
- [7] J. E. Naranjo, F. Jimenez, M. Anguita, and J. L. Rivera, "Automation kit for Dual-Mode military unmanned ground vehicle for surveillance missions," *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.*, pp. 2–15, 2018, doi: 10.1109/MITS.2018.2880274.
- [8] K. A. Ghamry, M. A. Kamel, and Y. Zhang, "Cooperative forest monitoring and fire detection using a team of UAVs-UGVs," in *2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2016*, Jun. 2016, pp. 1206–1211, doi: 10.1109/ICUAS.2016.7502585.
- [9] J. Alberts, D. Edwards, T. Soule, M. Anderson, and M. O'Rourke, "Autonomous navigation of an unmanned ground vehicle in unstructured forest terrain," in *Proceedings of the 2008 ECSIS Symposium on Learning and Adaptive Behaviors for Robotic Systems, LAB-RS 2008*, Aug. 2008, pp. 103–108, doi: 10.1109/LAB-RS.2008.25.
- [10] S. Hutangkabodee, Y. H. Zweiri, L. D. Seneviratne, and K. Althoefer, "Traversability prediction for unmanned ground vehicles based on identified soil parameters," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 38, no. 1, pp. 25–30, Jan. 2005, doi: 10.3182/20050703-6-cz-1902.02056.
- [11] S. Serna, "Desarrollo de un robot interactivo para la distribución de información," *TecnoLógicas*, vol. 18, p. 170, Jun. 2007, doi: 10.22430/22565337.481.
- [12] S. Bonadies, A. Lefcourt, and S. A. Gadsden, "A survey of unmanned ground vehicles with applications to agricultural and environmental sensing," in *Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping*, May 2016, vol. 9866, p. 98660Q, doi: 10.1117/12.2224248.
- [13] I. Schiff, "New guidelines for review articles," *Menopause*, vol. 26, no. 12, pp. 1357–1360, Dec. 2019, doi: 10.1097/GME.0000000000001469.
- [14] D. Moher *et al.*, "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement," *PLoS Med.*, vol. 6, no. 7, pp. 264–269, Jul. 2009, doi: 10.1371/journal.pmed.1000097.
- [15] G. P. Maestre Góngora, "Revisión de literatura sobre ciudades inteligentes: una perspectiva centrada en las TIC," *INGENIARE*, vol. 11, no. 19, p. 137, Jul. 2015, doi: 10.18041/1909-2458/ingeniare.19.531.
- [16] C. Manterola, P. Astudillo, E. Arias, and N. Claros, "Systematic reviews of the literature: what should be known about them," *Cirugía Española (English Ed.)*, vol. 91, no. 3, pp. 149–155, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.cireng.2013.07.003.
- [17] R. Vínculos, G. Osorio, and C. Lopez, "Networking en pequeña empresa: una revisión bibliográfica utilizando la teoría de grafos," *Netw. EN PEQUEÑA Empres. UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Util. LA Teor. GRAFOS*, vol. 11, no. 2, pp. 6–16, Dec. 2014, doi: 10.14483/2322939X.9664.
- [18] C. M. Botero, O. Cervantes, and C. W. Finkl, "State of the art beach environmental quality from the tree of science platform," *Coast. Res. Libr.*, vol. 24, pp. 781–793, Dec. 2017, doi: 10.1007/978-3-319-58304-4\_39.

- [19] S. Robledo-Giraldo, N. D. Duque-Méndez, and J. I. Zuluaga-Giraldo, "Difusión de productos a través de redes sociales: una revisión bibliográfica utilizando la teoría de grafos," *Respuestas*, vol. 18, no. 2, pp. 28–42, Jul. 2013, doi: 10.22463/0122820x.361.
- [20] V. Ramírez Valencia, S. Ruiz Herrera, and O. D. Castrillón Gómez, "Algoritmos aplicados en la programación de las cadenas de suministros para minimizar costos. Revisión de literatura\*," *INGENIARE*, vol. 12, no. 20, p. 121, Dec. 2016, doi: 10.18041/1909-2458/ingeniare.20.414.
- [21] R. A. Brooks, "A robust layered control system for a mobile robot," *IEEE J. Robot. Autom.*, vol. 2, no. 1, pp. 14–23, Mar. 1986, doi: 10.1109/JRA.1986.1087032.
- [22] M. W. M. Gamini Dissanayake, P. Newman, S. Clark, H. F. Durrant-Whyte, and M. Csorba, "A solution to the simultaneous localization and map building (SLAM) problem," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 17, no. 3, pp. 229–241, Jun. 2001, doi: 10.1109/70.938381.
- [23] N. A. Olmedo and M. G. Lipsett, "Design and field experimentation of a robotic system for tailings characterization," *J. Unmanned Veh. Syst.*, vol. 4, no. 3, pp. 169–192, Sep. 2016, doi: 10.1139/juvs-2015-0034.
- [24] S. Shimoda, Y. Kuroda, and K. Iagnemma, "High-speed navigation of unmanned ground vehicles on uneven terrain using potential fields," *Robotica*, vol. 25, no. 4, pp. 409–424, Jul. 2007, doi: 10.1017/S0263574706003171.
- [25] S. Zaman, L. Comba, A. Biglia, D. Ricauda Aimonino, P. Barge, and P. Gay, "Cost-effective visual odometry system for vehicle motion control in agricultural environments," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 162, pp. 82–94, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.compag.2019.03.037.
- [26] S. Nithin, B. Madhevan, R. Ghosh, G. V. P. Bharat Kumar, and N. K. Philip, "Prediction of mechanical soil properties based on experimental and computational model of a rocker bogie rover," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2017, vol. 517, pp. 199–210, doi: 10.1007/978-981-10-3174-8\_18.
- [27] E. Vaeljaots, H. Lehiste, M. Kiik, and T. Leemet, "Soil sampling automation case-study using unmanned ground vehicle," in *Engineering for Rural Development*, 2018, vol. 17, pp. 982–987, doi: 10.22616/ERDev2018.17.N503.
- [28] P. M. Cao, E. L. Hall, and E. Zhang, "Soil sampling sensor system on a mobile robot," in *Intelligent Robots and Computer Vision XXI: Algorithms, Techniques, and Active Vision*, Oct. 2003, vol. 5267, p. 310, doi: 10.1117/12.516367.
- [29] J. P. Fentanes, I. Gould, T. Duckett, S. Pearson, and G. Cielniak, "3-D soil compaction mapping through kriging-based exploration with a mobile robot," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 3, no. 4, pp. 3066–3072, Oct. 2018, doi: 10.1109/LRA.2018.2849567.
- [30] M. Pierzchała, P. Giguère, and R. Astrup, "Mapping forests using an unmanned ground vehicle with 3D LiDAR and graph-SLAM," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 145, pp. 217–225, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.compag.2017.12.034.
- [31] K. Tanaka *et al.*, "A study on path planning for small mobile robot to move in forest area," in *2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ROBIO 2017*, Mar. 2018, vol. 2018-Janua, pp. 2167–2172, doi: 10.1109/ROBIO.2017.8324740.

- [32] H. Zhang, X. Dai, F. Sun, and J. Yuan, "Terrain classification in field environment based on random forest for the mobile robot," in *Chinese Control Conference, CCC*, Aug. 2016, vol. 2016-Augus, pp. 6074–6079, doi: 10.1109/ChiCC.2016.7554310.
- [33] Dhanalakshmi and A. E. S. Leni, "Instance vehicle monitoring and tracking with internet of things using Arduino," *Int. J. Smart Sens. Intell. Syst.*, vol. 10, no. Specialissue, pp. 123–135, Sep. 2017, doi: 10.21307/ijssis-2017-240.
- [34] A. Roberts and A. Pecka, "4G Network performance analysis for real-time telemetry data transmitting to mobile agricultural robot," in *Engineering for Rural Development*, May 2018, vol. 17, pp. 1501–1506, doi: 10.22616/ERDev2018.17.N362.
- [35] J. Gomes, F. Marques, A. Lourenço, R. Mendonça, P. Santana, and J. Barata, "Gaze-directed telemetry in high latency wireless communications: the case of robot teleoperation," in *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, Dec. 2016, pp. 704–709, doi: 10.1109/IECON.2016.7792996.
- [36] A. Wendel, J. Underwood, and K. Walsh, "Maturity estimation of mangoes using hyperspectral imaging from a ground based mobile platform," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 155, pp. 298–313, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.compag.2018.10.021.
- [37] E. Zampetti *et al.*, "Remotely controlled terrestrial vehicle integrated sensory system for environmental monitoring," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2018, vol. 431, pp. 338–343, doi: 10.1007/978-3-319-55077-0\_43.
- [38] K. Bin Hasnan, L. B. Saesar, M. S. Ikhmatiar, and T. Herawan, "JOMS: System architecture for telemetry and visualization on unmanned vehicle," in *Procedia Engineering*, 2012, vol. 29, pp. 3899–3903, doi: 10.1016/j.proeng.2012.01.591.
- [39] P. Liu, T. Fu, J. Xu, and Y. Ding, "Efficient data collection in widely distributed wireless sensor networks with time window and precedence constraints," *Sensors*, vol. 17, no. 2, p. 421, Feb. 2017, doi: 10.3390/s17020421.
- [40] P. Novák, J. Babjak, T. Kot, P. Olivka, and W. Moczulski, "Exploration mobile robot for coal mines," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2015, vol. 9055, pp. 209–215, doi: 10.1007/978-3-319-22383-4\_16.
- [41] D. Ghosh, B. Samanta, and D. Chakravarty, "Multi sensor data fusion for 6D pose estimation and 3D underground mine mapping using autonomous mobile robot," *Int. J. Image Data Fusion*, vol. 8, no. 2, pp. 173–187, Apr. 2017, doi: 10.1080/19479832.2016.1226966.
- [42] P. Novák, T. Kot, J. Babjak, Z. Konečný, W. Moczulski, and Á. Rodríguez López, "Implementation of explosion safety regulations in design of a mobile robot for coal mines," *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 11, p. 2300, Nov. 2018, doi: 10.3390/app8112300.
- [43] T. Kot, P. Novák, J. Babjak, and P. Olivka, "Rendering of 3D maps with additional information for operator of a coal mine mobile robot," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2016, vol. 9991 LNCS, pp. 214–225, doi: 10.1007/978-3-319-47605-6\_18.

- [44] C. A. James, T. P. Bednarz, K. Haustein, L. Alem, C. Caris, and A. Castleden, "Teleoperation of a mobile mining robot using a panoramic display: An exploration of operators sense of presence," in *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 2011, pp. 279–284, doi: 10.1109/CASE.2011.6042427.
- [45] M. Yagimli and H. S. Varol, "Mine detecting GPS-based unmanned ground vehicle," in *2009 4th International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, Jun. 2009, pp. 303–306, doi: 10.1109/RAST.2009.5158216.
- [46] Y. Liu, Z. Luo, Z. Liu, J. Shi, and G. Cheng, "Cooperative routing problem for ground vehicle and unmanned aerial vehicle: the application on intelligence, surveillance, and reconnaissance missions," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 63504–63518, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2914352.
- [47] B. Shoop, M. Johnston, R. Goehring, J. Moneyhun, and B. Skibba, "Mobile detection assessment and response systems (MDARS): a force protection physical security operational success," in *Unmanned Systems Technology VIII*, May 2006, vol. 6230, p. 62301Y, doi: 10.1117/12.665939.
- [48] S. Barbe, J.-C. Krapez, and Y. Louvet, "Performance modeling and assessment of infrared-sensors applicable for TALOS project UGV as a function of target/background and environmental conditions," in *Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing XXIII*, May 2012, vol. 8355, p. 83551A, doi: 10.1117/12.918564.
- [49] S. Yu, C. Choi, S. Lee, J. Lee, and C. Han, "Development of an articulated mine-detecting manipulator system for mobile robots," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 25, no. 4, pp. 1051–1060, Apr. 2011, doi: 10.1007/s12206-011-0211-8.
- [50] M. Seder *et al.*, "Open platform based mobile robot control for automation in manufacturing logistics," in *IFAC-PapersOnLine*, Oct. 2019, vol. 52, no. 22, pp. 95–100, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.055.
- [51] D. Zeng, G. Xu, J. Zhong, and L. Li, "Development of a mobile platform for security robot," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, ICAL 2007*, 2007, pp. 1262–1267, doi: 10.1109/ICAL.2007.4338763.
- [52] M. Saitoh, Y. Takahashi, A. Sankaranarayanan, H. Ohmachi, and K. Marukawa, "Mobile robot testbed with manipulator for security guard application," in *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1995, vol. 3, pp. 2518–2523, doi: 10.1109/robot.1995.525637.
- [53] L. Y. Chung, "Remote teleoperated and autonomous mobile security robot development in ship environment," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2013, pp. 1–14, 2013, doi: 10.1155/2013/902013.
- [54] Y. Shimosasa *et al.*, "Security service system using autonomous mobile robot," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 1999, vol. 4, pp. 825–829, doi: 10.1109/icsmc.1999.812514.
- [55] G. K. Dey, R. Hossen, M. S. Noor, and K. T. Ahmmed, "Distance controlled rescue and security mobile robot," in *2013 International Conference on Informatics, Electronics and Vision, ICIEV 2013*, Aug. 2013, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICIEV.2013.6572602.
- [56] R. C. Luo, P. K. Wang, Y. F. Tseng, and T. Y. Lin, "Navigation and mobile security system of home security robot," in *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2006, vol. 1, pp. 169–174, doi: 10.1109/ICSMC.2006.384377.



- [57] M. F. R. Lee, N. T. Hung, and F. H. S. Chiu, "An autonomous mobile robot for indoor security patrol," in *iFUZZY 2013 - 2013 International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications*, 2013, pp. 189–194, doi: 10.1109/iFuzzy.2013.6825434.
- [58] P. M. L. Lapeña, J. I. Q. Blanco, K. I. Bunda, A. G. S. Cruz, A. I. Ramirez, and A. A. Bandala, "Swarm algorithm implementation in mobile robots for security and surveillance," in *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, Jan. 2015, vol. 2015-Janua, pp. 1–5, doi: 10.1109/TENCON.2014.7022413.
- [59] J.-F. Lalonde, N. Vandapel, D. F. Huber, and M. Hebert, "Natural terrain classification using three-dimensional ladar data for ground robot mobility," *J. F. Robot.*, vol. 23, no. 10, pp. 839–861, Oct. 2006, doi: 10.1002/rob.20134.
- [60] D. Martinez *et al.*, "Ambient intelligence application based on environmental measurements performed with an assistant mobile robot," *Sensors (Switzerland)*, vol. 14, no. 4, pp. 6045–6055, Mar. 2014, doi: 10.3390/s140406045.
- [61] J. Wu *et al.*, "An intelligent environmental monitoring system based on autonomous mobile robot," in *2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ROBIO 2011*, 2011, pp. 138–143, doi: 10.1109/ROBIO.2011.6181275.
- [62] K. Tanaka *et al.*, "Design of operating software and electrical system of mobile robot for environmental monitoring," in *2014 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, IEEE ROBIO 2014*, 2014, pp. 1763–1768, doi: 10.1109/ROBIO.2014.7090590.
- [63] M. Trincavelli, M. Reggente, S. Coradeschi, A. Loutfi, H. Ishida, and A. J. Lilienthal, "Towards environmental monitoring with mobile robots," in *2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS*, 2008, pp. 2210–2215, doi: 10.1109/IROS.2008.4650755.
- [64] H. Durmus and E. O. Gunes, "Integration of the mobile robot and internet of things to collect data from the agricultural fields," in *2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics, Agro-Geoinformatics 2019*, Jul. 2019, pp. 1–5, doi: 10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820578.
- [65] L. Cancar, D. Sanz, J. D. Hernández, J. Del Cerro, and A. Barrientos, "Precision humidity and temperature measuring in farming using newer ground mobile robots," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2014, vol. 252, pp. 443–456, doi: 10.1007/978-3-319-03413-3\_32.
- [66] S. Thenmozhi, V. Mahima, and R. Maheswar, "GPS based autonomous ground vehicle for agricultural utility," *Lect. Notes Networks Syst.*, vol. 33, pp. 143–150, 2019, doi: 10.1007/978-981-10-8204-7\_14.
- [67] A. S. Pramod and T. V. Jithinmon, "Development of mobile dual PR arm agricultural robot," in *Journal of Physics: Conference Series*, Aug. 2019, vol. 1240, no. 1, pp. 1–10, doi: 10.1088/1742-6596/1240/1/012034.
- [68] C. Potena, D. Nardi, and A. Pretto, "Fast and Accurate Crop and Weed Identification with Summarized Train Sets for Precision Agriculture," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2017, vol. 531, pp. 105–121, doi: 10.1007/978-3-319-48036-7\_9.
- [69] S. S. Sadistap, B. A. Botre, H. Pandit, . C., and A. Rao, "Embedded mobile farm robot for identification of diseased plants," in *Fifth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2013)*, Jul. 2013, vol. 8878, p. 88783S, doi: 10.1117/12.2031075.

- [70] S. Bhandari, A. Raheja, R. L. Green, and D. Do, "Towards collaboration between unmanned aerial and ground vehicles for precision agriculture," in *Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping II*, May 2017, vol. 10218, p. 1021806, doi: 10.1117/12.2262049.
- [71] B. V. Dimaya *et al.*, "Mobile soil robot collector via smartphone with global positioning system for navigation," in *2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management, HNICEM 2018*, Mar. 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/HNICEM.2018.8666240.
- [72] A. Vasudevan, D. A. Kumar, and N. S. Bhuvaneshwari, "Precision farming using unmanned aerial and ground vehicles," in *Proceedings - 2016 IEEE International Conference on Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development, TIAR 2016*, Dec. 2016, pp. 146–150, doi: 10.1109/TIAR.2016.7801229.
- [73] E. Ozgul and U. Celik, "Design and implementation of semi-autonomous anti-pesticide spraying and insect repellent mobile robot for agricultural applications," in *2018 5th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ICEEE 2018*, Jun. 2018, pp. 233–237, doi: 10.1109/ICEEE2.2018.8391337.
- [74] X. Niu, T. Yu, J. Tang, and L. Chang, "An online solution of LiDAR scan matching aided inertial navigation system for indoor mobile mapping," vol. 2017, pp. 1–11, Jul. 2017, doi: 10.1155/2017/4802159.
- [75] Z. Shan, R. Li, and S. Schwertfeger, "RGBD-Inertial trajectory estimation and mapping for ground robots," *Sensors*, vol. 19, no. 10, p. 2251, May 2019, doi: 10.3390/s19102251.
- [76] F. Yan, G. He, Y. Zhuang, and H. Chang, "Scene understanding and semantic mapping for unmanned ground vehicles using 3d point clouds," in *8th International Conference on Information Science and Technology, ICIST 2018*, Aug. 2018, pp. 335–341, doi: 10.1109/ICIST.2018.8426139.
- [77] F. Demim, A. Nemra, K. Louadj, M. Hamerlain, and A. Bazoula, "An adaptive SVSF-SLAM algorithm to improve the success and solving the UGVs cooperation problem," *J. Exp. Theor. Artif. Intell.*, vol. 30, no. 3, pp. 389–414, May 2018, doi: 10.1080/0952813X.2017.1409282.
- [78] M. Begum, G. K. I. Mann, and R. G. Gosine, "Integrated fuzzy logic and genetic algorithmic approach for simultaneous localization and mapping of mobile robots," *Appl. Soft Comput.*, vol. 8, no. 1, pp. 150–165, Jan. 2008, doi: 10.1016/j.asoc.2006.11.010.
- [79] F. Demim, A. Nemra, K. Louadj, Z. Mehal, M. Hamerlain, and A. Bazoula, "Simultaneous localization and mapping algorithm for unmanned ground vehicle with SVSF filter," in *Proceedings of 2016 8th International Conference on Modelling, Identification and Control, ICMIC 2016*, Jan. 2017, pp. 155–162, doi: 10.1109/ICMIC.2016.7804291.
- [80] B. Browning, J. E. Deschaud, D. Prasser, and P. Rander, "3D Mapping for high-fidelity unmanned ground vehicle lidar simulation," *Int. J. Rob. Res.*, vol. 31, no. 12, pp. 1349–1376, Oct. 2012, doi: 10.1177/0278364912460288.
- [81] M. Imperoli, C. Potena, D. Nardi, G. Grisetti, and A. Pretto, "An effective multi-cue positioning system for agricultural robotics," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 3, no. 4, pp. 3685–3692, Oct. 2018, doi: 10.1109/LRA.2018.2855052.



- [82] C. Urmson *et al.*, "Autonomous driving in urban environments: Boss and the urban challenge," *J. F. Robot.*, vol. 25, no. 8, pp. 425–466, Aug. 2008, doi: 10.1002/rob.20255.
- [83] A. Buyval, I. Afanasyev, and E. Magid, "Comparative analysis of ROS-based monocular SLAM methods for indoor navigation," *Ninth Int. Conf. Mach. Vis. (ICMV 2016)*, vol. 10341, p. 103411K, Mar. 2017, doi: 10.1117/12.2268809.
- [84] C. Luo, M. Krishnan, M. Paulik, B. Cui, and X. Zhang, "A novel lidar-driven two-level approach for real-time unmanned ground vehicle navigation and map building," in *Intelligent Robots and Computer Vision XXXI: Algorithms and Techniques*, Feb. 2014, Vol. 9025, p. 902503, doi: 10.1117/12.2037963.
- [85] J. I. Rejas, A. Sanchez, G. Glez-De-Rivera, M. Prieto, and J. Garrido, "Environment mapping using a 3D laser scanner for unmanned ground vehicles," *Microprocess. Microsyst.*, Vol. 39, N° 8, pp. 939–949, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.micpro.2015.10.003.
- [86] J. Gregory, D. Baran, and A. W. Evans, "Evaluating the presentation and usability of 2D and 3D maps generated by unmanned ground vehicles," in *Unmanned Systems Technology XV*, May 2013, Vol. 8741, p. 87410G, doi: 10.1117/12.2016316.
- [87] F. Amigoni and V. Caglioti, "An information-based exploration strategy for environment mapping with mobile robots," *Rob. Auton. Syst.*, Vol. 58, N° 5, pp. 684–699, May 2010, doi: 10.1016/j.robot.2009.11.005.
- [88] A. Howard, L. E. Parker, and G. S. Sukhatme, "Experiments with a large heterogeneous mobile robot team: Exploration, mapping, deployment and detection," in *International Journal of Robotics Research*, May 2006, Vol. 25, N° 5–6, pp. 431–447, doi: 10.1177/0278364906065378.
- [89] J. Rodríguez-Araújo, J. J. Rodríguez-Andina, J. Fariña, and M. Y. Chow, "Field-programmable system-on-chip for localization of UGVs in an indoor ispace," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, Vol. 10, N° 2, 2014, pp. 1033-1043, doi: 10.1109/TII.2013.2294112.