

Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN  
Unidad Tamaulipas  
**Protocolo de tesis**

Título: Estrategias para la exploración coordinada multi-VANT

Candidato: Luis Alberto Ballado Aradias

Asesor: Dr. José Gabriel Ramírez Torres

Co-Asesor: Dr. Eduardo Rodríguez Tello

6 de julio de 2023

**Resumen**

La importancia de la robótica de servicios y los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) en la actualidad es innegable. Estas tecnologías están revolucionando la forma en que interactuamos con el mundo y ofrecen un amplio abanico de aplicaciones en diversos sectores. Desde la entrega de paquetes y la asistencia en emergencias hasta la exploración espacial, la robótica de servicios, ha demostrado ser especialmente valiosa en entornos donde los seres humanos pueden enfrentar riesgos o dificultades. Estos robots pueden trabajar de manera autónoma o en colaboración. Los Vehículos Aéreos No Tripulados, tienen la capacidad de volar y acceder a lugares de manera rápida y eficiente convirtiéndolos en herramientas extremadamente versátiles. Por ejemplo, los VANT(s) están siendo utilizados por empresas de comercio electrónico para entregar productos a los clientes de manera ágil. Además, en la agricultura se utilizan para monitorear cultivos, identificar problemas y aplicar pesticidas o fertilizantes de manera precisa. En el ámbito de la seguridad, pueden utilizarse para la vigilancia de áreas de difícil acceso o en situaciones de emergencia, proporcionando información valiosa en tiempo real a los equipos de rescate.

A pesar de los numerosos beneficios de la robótica de servicios y los Vehículos Aéreos No Tripulados, existen desafíos y problemáticas asociadas a su implementación.

Una de ellas es la **exploración**, la capacidad de exploración amplía nuestro conocimiento y nos ayuda a comprender mejor el mundo que nos rodea.

La **coordinación** y el **trabajo en equipo** de múltiples-VANTs representa un desafío emocionante. La **colaboración** de varios VANT(s) puede ser utilizada en misiones de búsqueda y rescate, en donde pueden cubrir áreas más extensas y realizar tareas más complejas de manera simultánea. La coordinación entre los drones puede optimizar la eficiencia de las operaciones y aumentar las posibilidades de éxito.

La implementación de sistemas de múltiples VANT(s) también plantea desafíos técnicos y logísticos. La **comunicación** entre ellos, la asignación de tareas y la planificación de rutas con comportamientos reactivos para la detección y evasión de obstáculos son aspectos críticos que deben abordarse para garantizar un funcionamiento fluido y seguro.

El objetivo de este trabajo es la propuesta de una arquitectura de software resiliente a fallas, capaz de explorar ambientes desconocidos y cambiantes para la coordinación de Vehículos Aéreos No Tripulados. El proyecto de investigación demostrará que es posible diseñar algoritmos inteligentes de poca memoria capaces de resolver tareas en colaboración multi-VANT.

**Palabras claves:** multi-VANT, coordinación multi-agente, Exploración 3D, 3D Path finding

## 1. Datos Generales

### 1.1. Título de proyecto

Estrategias para la exploración coordinada multi-VANT

### 1.2. Datos del alumno

Nombre: Luis Alberto Ballado Aradias  
Dirección: Juan José de La Garza #909  
Colonia: Guadalupe Mainero C.P. 87130  
Teléfono (casa): 81 20706661  
Teléfono (lugar de trabajo): (834) 107 0220 + Ext  
Dirección electrónica: luis.ballado@cinvestav.mx  
URL: <https://luis.madlab.mx>

### 1.3. Institución

Nombre: CINVESTAV-IPN  
Departamento: Unidad Tamaulipas  
Dirección: Km 5.5 carretera Cd. Victoria - Soto la Marina.  
Parque Científico y Tecnológico TECNOTAM,  
Ciudad Victoria, Tamaulipas, C.P. 87130  
Teléfono: (+52) (834) 107 0220

### 1.4. Beca de tesis

Institución otorgante: CONAHCYT  
Tipo de beca: Maestría Nacional  
Vigencia: Septiembre 2022 - Agosto 2024

### 1.5. Datos del asesor

Nombre: Dr. José Gabriel Ramírez Torres  
Dirección: Km. 5.5 carretera Cd. Victoria - Soto la Marina  
Parque Científico y Tecnológico TECNOTAM  
Ciudad Victoria, Tamaulipas, C.P. 87130  
Teléfono (oficina): (+52) (834) 107 0220 Ext. 1014  
Institución: CINVESTAV-IPN  
Departamento adscripción: Unidad Tamaulipas  
Grado académico: Doctorado

Nombre: Dr. Eduardo Arturo Rodríguez Tello  
Dirección: Km. 5.5 carretera Cd. Victoria - Soto la Marina  
Parque Científico y Tecnológico TECNOTAM  
Ciudad Victoria, Tamaulipas, C.P. 87130  
Teléfono (oficina): (+52) (834) 107 0220 Ext. 1100  
Institución: CINVESTAV-IPN  
Departamento adscripción: Unidad Tamaulipas  
Grado académico: Doctorado

## 2. Descripción del proyecto

El proyecto de estrategias para la exploración coordinada multi-VANT se centra en el desarrollo de técnicas y algoritmos que permiten la coordinación eficiente de múltiples drones para llevar a cabo tareas de exploración en entornos desconocidos y cambiantes.

El objetivo principal es aprovechar las ventajas de tener multiples-VANT(s) trabajando en conjunto para mejorar la eficiencia y la cobertura de la exploración.

### 2.1. Antecedentes y motivación para el proyecto

Millones de Vehículos Aéreos No Tripulados, también conocidos como VANT(s) o drones, han presentado una adopción masiva en diferentes aplicaciones, desde usos civiles (búsqueda y rescate, monitoreo industrial, vigilancia), hasta aplicaciones militares [1]. La popularidad de los VANT(s) es atribuida a su movilidad.

Aplicaciones que hacen uso de los VANT(s) con sensores abordo son sorprendentes, ya que utilizan las ventajas de sensores eficientes [1] (sensores termicos, cámaras fotográficas,..etc.). Los VANT(s) han demostrado ser útiles en aplicaciones industriales [2] petroleras, parques eólicos, etc., en la recolección de información y vigilancia.

El interes en la investigación e inovación de soluciones con Vehículos Aéreos No Tripulados ha crecido exponencialmente en años recientes [7,8,9,10].

En recientes años, dotar a los VANT de inteligencia para explotar la información recolectada de sensores a bordo, ha sido y es un área estudiada en robótica móvil área (Construcción de Mapas)[3]. Buscando probar diferentes teorías de control, convirtiendo los problemas típicos de control 2D (péndulo inverso fijo) a un ambiente 3D, teniendo así más variables a controlar buscando mantener el equilibrio del péndulo y al mismo tiempo lograr el movimiento y las maniobras deseadas del dron en el espacio tridimensional[4].

El despliegue rápido de robots en situaciones de riesgo, búsqueda y rescate ha sido un área ampliamente estudiada en la robótica móvil. Donde se han aplicado teorías de grafos para la obtención de la mejor ruta. Los comportamientos reactivos son primordiales si pensamos en un agente autónomo. Esa percepción que podemos tener los seres humanos para reaccionar a ciertos retos. Buscar la manera de crear una arquitectura tolerante a fallas y capaz de coordinar múltiples vehículos aéreos no tripulados a medida que incrementa o disminuye la oferta de drones disponible.

## 3. Planteamiento del problema

Para poder desplazarse en un ambiente desconocido lo primero es explorar el area y a medida que se obtiene información del espacio se pueden calcular las rutas mas cortas o ciertas características que nos ayuden a conocer donde estoy dentro de un ambiente desconocido. Estudios en robotica móvil por mas de 25 años han demostrado que la teoría de grafos ha ayudado mucho al area ya que se representaba como grafos planos y ahora al tener el agente robot en el aire, el problema se vuelve 3D.

Dada un área de interés  $A$  que se desea explorar,

- Un conjunto de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) denotados como  $V = V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ , donde  $n$  es el número total de VANT's disponibles
- Un conjunto de tareas de exploración denotados como  $T = T_1, T_2, T_3, T_m$ , donde  $m$  es el número total de tareas a realizar.

restricciones y requisitos específicos del problema, como límites de tiempo, obstáculos a evitar, etc.

Para cada tarea de exploración  $T_m$ , se definen las siguientes variables:

- Posición inicial:  $p_i(x, y, z)$ , representa la posición inicial del VANT o los múltiples-VANTs asignados a la tarea  $T_m$
- Trayectoria:  $\alpha_i$ , describe la trayectoria seguida por el/los VANT(s) asignado(s) a la tarea  $T_m$  en función del tiempo  $t$
- Información recolectada:  $C_i$ , representa la información recolectada por el/los VANT(s) asignado(s) durante la exploración

La función objetivo variará según los objetivos específicos del problema.

- Maximizar la cobertura del área de interés  $A$
- Minimizar el tiempo total requerido para cubrir el área de interés  $A$
- Maximizar la cantidad de información recolectada

## 4. Objetivos generales y específicos del proyecto

### General

Creación de una arquitectura tolerante a fallas para la coordinación de múltiples VANT's aplicados a la tarea de búsqueda y rescate.

### Particulares

- Evitar colisiones: El objetivo primordial es garantizar que los drones eviten colisiones entre sí y con otros objetos en su entorno. La coordinación adecuada asegura que los drones mantengan una distancia segura y sigan rutas que minimicen el riesgo de colisión.
- Eficiencia y rendimiento: La coordinación de múltiples drones busca optimizar la eficiencia y el rendimiento del sistema en su conjunto. Esto implica asignar tareas de manera óptima entre los drones, minimizar los tiempos de espera y los tiempos de respuesta, y maximizar la capacidad de realizar tareas en paralelo.
- Cumplimiento de objetivos: Los drones pueden tener objetivos específicos a cumplir, como la recolección de datos, la entrega de paquetes o la vigilancia de áreas. La coordinación tiene como objetivo garantizar que cada dron contribuya de manera efectiva al logro de los objetivos generales, sin redundancia ni superposición de tareas.
- Distribución equitativa de tareas: Si los drones tienen capacidades o limitaciones diferentes, como la duración de la batería o la capacidad de carga, se busca una distribución equitativa de la carga de trabajo entre los drones. Esto asegura que todos los drones contribuyan de manera equilibrada y evita la sobrecarga de algunos drones mientras otros están subutilizados.
- Comunicación y sincronización: La coordinación requiere una comunicación efectiva entre los drones para intercambiar información y sincronizar sus acciones. El objetivo es establecer una comunicación confiable y eficiente que permita la transmisión de datos relevantes y las instrucciones necesarias para la coordinación.
- Adaptabilidad y flexibilidad: Los objetivos de la coordinación pueden cambiar en función de las circunstancias y las necesidades. La coordinación de múltiples drones debe ser adaptable y flexible para ajustarse a cambios en el entorno, nuevos objetivos o la incorporación o salida de drones del sistema.

## 5. Metodología

La metodología propuesta para esta tesis se divide en tres etapas, iniciando en septiembre del 2023. A continuación se detallan cada una de las actividades que se plantean realizar en cada una.

1. Análisis y diseño de la solución propuesta
2. Implementación y validación
3. Evaluación, resultados y conclusiones

## 6. Cronograma de actividades (plan de trabajo)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

## 7. Estado del arte

- Planificador de trayectorias
- Arquitectura de robots coordinados
- Percepcion de información 3D a partir de sistemas de vision por computadora

## 8. Contribuciones o resultados esperados

⟨introducir esta parte⟩

Se espera entregar:

1. Códigos a disposición de la comunidad
2. Simulación de solución
3. Prototipo de solución
4. Tesis impresa.

## 9. Referencias

1. H. Shakhathreh et al., 'Unmanned Aerial Vehicles: A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges', arXiv:1805.00881, 2018
2. P. Daponte et al., 'Metrology for drone and drone for metrology: Measurement systems on small civilian drones', in Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace), 2015 IEEE, 2015, pp. 306-311: IEEE.
3. A. Shukla and H. Karki, 'Application of robotics in onshore oil and gas industry A review Part I', Robotics and Autonomous Systems, vol. 75, pp. 490-507, 2016
4. M. Hehn and R. D'Andrea, 'A flying inverted pendulum', 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Shanghai, China, 2011, pp. 763-770, doi: 10.1109/ICRA.2011.5980244.
5. Z. Fu, Y. Mao, D. He, J. Yu and G. Xie, 'Secure Multi-UAV Collaborative Task Allocation,' in IEEE Access, vol. 7, pp. 35579-35587, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2902221.
6. B. Zhou, H. Xu and S. Shen, 'RACER: Rapid Collaborative Exploration With a Decentralized Multi-UAV System,' in IEEE Transactions on Robotics, vol. 39, no. 3, pp. 1816-1835, June 2023, doi: 10.1109/TRO.2023.3236945.
7. 'Hovering over the drone patent landscape, ifi claims patent services, Nov 2014 online
8. L. Gupta, R. Jain, and G. Vaszkun, 'Survey of important issues in UAV communication networks', IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 2, pp. 1123-1152, 2016.

9. J. Senthilnath, M. Kandukuri, A. Dokania, and K. Ramesh, 'Application of UAV imaging platform for vegetation analysis based on spectral-spatial methods', *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 140, pp. 8-24, 2017.
10. H. Zhou, H. Kong, L. Wei, D. Creighton, and S. Nahavandi, 'On detecting road regions in a single UAV image,' *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 18, no. 7, pp. 1713-1722, 2017.

Fecha de inicio

Fecha de terminación

Septiembre de 2023

Agosto de 2024

Firma del alumno: \_\_\_\_\_

Comité de aprobación del tema de tesis

Dr. José Gabriel Ramírez Torres

\_\_\_\_\_

Dr. Eduardo Arturo Rodríguez Tello

\_\_\_\_\_

Dr. 3

\_\_\_\_\_

Dr. 4

\_\_\_\_\_