

Universidad de Lima  
Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería de Sistemas



# **OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE VUELO PARA MÚLTIPLES DRONES EN ZONAS DE CONSTRUCCIÓN**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

**Alvaro Cesar Sotelo Vila**

**Código 20172677**

**Asesor**

Lourdes Ramirez Cerna

Lima – Perú

Julio de 2024

# OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE VUELO PARA MÚLTIPLES DRONES EN ZONAS DE CONSTRUCCIÓN

Alvaro Cesar Sotelo Vila  
20172677@aloe.ulima.edu.pe  
Universidad de Lima

**Resumen:** En el sector de la construcción, los drones se han vuelto herramientas cruciales para la supervisión y control de obras, especialmente desde el inicio de la pandemia de COVID-19. Este estudio busca desarrollar la planificación de vuelos, para de esta manera mejorar el tiempo y la velocidad de las tareas. De esta manera se busca crear un modelo que incluya el uso de múltiples drones en labores de monitoreo de obras. Para ello se expone un enfoque donde se usa tanto la programación dinámica como técnicas metaheurísticas basadas en algoritmos genéticos, los cuales mejoren los planes de vuelo. Ambas propuestas son implementadas usando Python y se evaluaron en catorce escenarios en donde se aumenta la complejidad gradualmente. Para todos los escenarios propuestos, se observa que la programación dinámica obtuvo un mejor resultado en tiempo de planificación, con 281,34 segundos (4 minutos y 47 segundos) menos que el genético, siendo una mejora del 98.01%. Además, se muestra un aumento en las velocidades de cada segmento.

**Palabras Clave:** algoritmo genético, programación dinámica, drones de vigilancia, planificador de vuelo

**Abstract:** In the construction sector, drones have become crucial tools for construction supervision and control, especially since the start of the COVID-19 pandemic. This study seeks to develop flight planning, in order to improve the time and speed of tasks. In this way, the aim is to create a model that includes the use of multiple drones in construction monitoring tasks. To do this, an approach is presented that uses both dynamic programming and metaheuristic techniques based on genetic algorithms, which improve flight plans. Both proposals are implemented using Python and were evaluated in fourteen scenarios where complexity is gradually increased. For all the proposed scenarios, it is observed that dynamic programming obtained a better result in planning time, with 281.34 seconds (4 minutes and 47 seconds) less than genetic programming, being an improvement of 98.01%. Additionally, an increase in the speeds of each segment is shown.

**Keywords:** genetic algorithm, dynamic programming, surveillance drones, flight planner

**Línea de investigación IDIC – ULIMA**

Innovación: tecnologías y productos

**Área y Sub-áreas de Investigación:**

- Área de investigación: Algoritmos y sistemas computacionales
  - Diseño de algoritmos
  - Optimización computacional

## Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS)



Industria, Innovación e infraestructura

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los sectores que más empleo genera anualmente es el de la construcción, al igual que el sector de manufactura y minería, debido a la gran inversión que se hizo en este primer sector. Para el 2014, el sector de construcción tuvo empleados a 916,000 trabajadores los cuales representan un gran interés por el desarrollo de este (Palomino et al., 2017). Además, con el interés de desarrollar nuevos proyectos de gran envergadura se buscan incorporar nuevas tecnologías. Una de estas son los drones de supervisión, de los cuales se espera una rentabilidad de 45 billones de dólares en el mercado en la próxima década según Fan & Saadeghvaziri, 2019.

Por nombrar algunas de las dificultades que enfrenta el sector está la complejidad de adquirir el conocimiento necesario y el incremento de políticas de seguridad (Albeaino & Gheisari, 2021), las cuales aumentan con la demanda de obras, en parte, impulsadas por diversos factores como la migración (Palomino et al., 2017). Además, existen normativas que fomentan la planificación de vuelos, pero no la automatización; por ejemplo, la ley 30740 (El Peruano, 2018) establece que el piloto debe supervisar la aeronave en todo momento y es responsable de su operación.

Como posible solución, se ha propuesto el desarrollo de software de planificación de vuelos para abordar estos desafíos (Albeaino & Gheisari, 2021). Un ejemplo es el artículo “Drone scheduling for construction site surveillance”, que presenta un modelo dinámico adaptado a entornos cambiantes (Yi & Sutrisna, 2021), permitiendo una mejor supervisión. Si bien existen diversos planificadores de rutas para distintos campos, son escasos los que están diseñados para gestionar múltiples drones simultáneamente, lo que lleva a que estas ideas sean consideradas para trabajos futuros (Yi & Sutrisna, 2021). A partir de estos trabajos futuros, surge la pregunta de cómo crear un planificador de vuelos para varios drones en el sector de la construcción.

### 2. OBJETIVO

#### General

Implementar un algoritmo que optimice el plan de vuelo de múltiples drones para orientado a construcción.

#### Específicos

- Identificar las principales variables y restricciones de un plan de vuelo para múltiples drones en una zona de construcción.
- Implementar un algoritmo de plan de vuelo para múltiples drones basado en el modelo de (Yi & Sutrisna, 2021).
- Validar la eficacia y eficiencia del modelo computacional propuesto y compararlo con un algoritmo genético.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Gracias al avance significativo en la automatización, los sistemas aéreos no tripulados (UAS) están ganando terreno en el uso para observaciones de campo. Los drones con pilotos automáticos son asequibles y ofrecen datos en tiempo real a alta frecuencia. La creciente demanda en el mercado ha incrementado el interés en los drones autónomos y algoritmos de planificación de vuelo, lo que favorece tanto a desarrolladores que están aprendiendo a manejar software, como a usuarios sin experiencia previa, gracias a su fácil manejo.

Una razón fundamental para automatizar tareas con drones fue la pandemia, que impulsó la demanda de herramientas para trabajadores y promovió el distanciamiento social y el control de personal, en línea con la normativa del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento según el (MVCS, 2020). Esto generó incentivo en las empresas constructoras para mejorar la supervisión de las obras.

Para atender esta necesidad, se plantea desarrollar un algoritmo que permita generar un plan de vuelo donde se pueda monitorear una obra a partir de parámetros iniciales, como la definición de un punto de partida, un destino, batería, tiempo máximo de vuelo; dejando que el algoritmo realice los ajustes necesarios para dar la solución óptima. Los conocimientos obtenidos de esta investigación potenciarán el interés en el uso de drones para tareas como la supervisión de obras de construcción y estimularán futuras investigaciones en el área.

### 4. DISEÑO METODOLÓGICO

En la Figura 1 se muestra la metodología, la cual amplía los trabajos de Yi y Sutrisna (2021) así como la de Khan et al. (2021). Para ello el trabajo se dividió en etapas, en la primera se creará la ruta en donde se realiza el vuelo de los drones y posteriormente se investiga acerca de la información técnica de dichos drones, un ejemplo de ello es, la distancia mínima que pueden tener drones por seguridad, el consumo de energía, la velocidad y la aceleración. Luego, en la segunda etapa, como parte de la formulación del problema se identifican las variables y restricciones, las cuales se usan en la tercera etapa para la construcción del modelo. La cuarta etapa presenta dos modelos los cuales son, el algoritmo genético y el algoritmo de programación dinámica. Por último, ambos modelos se implementan en distintos escenarios para analizarlos posteriormente.

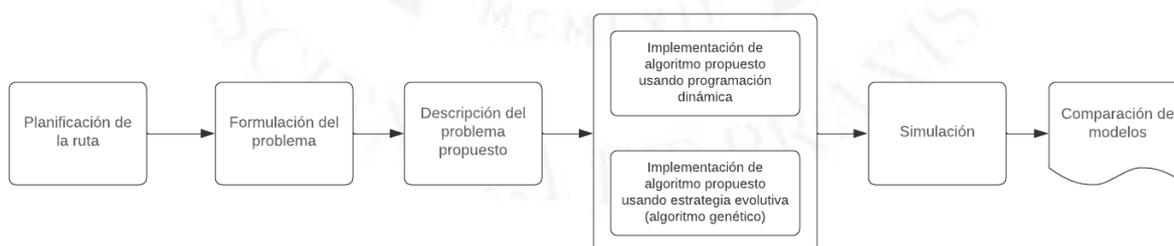


Figura 1: Esquema metodológico propuesto

## REFERENCIAS

- Fan, J. and Saadeghvaziri, M. A. (2019). Applications of Drones in Infrastructures : Challenges and Opportunities. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering Vol:13, No:10, 13(10):649–655.
- Yi, W. and Sutrisna, M. (2021). Drone scheduling for construction site surveillance. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 36(1):3–13.
- Albeaino, G. and Gheisari, M. (2021). Trends, benefits, and barriers of unmanned aerial systems in the construction industry: A survey study in the united states. Journal of Information Technology in Construction, 26:84–111.
- Palomino, J., Hennings, J., and Echevarría, V. (2017). Análisis macroeconómico del sector construcción en el Perú. Quipukamayoc, 25(47):95–101.
- El Peruano (2015). Decreto supremo que aprueba el reglamento de seguridad y salud en el trabajo para el sector construcción. MVCS (2020). Lineamientos de prevención y control frente a la propagación del COVID-19 en la ejecución de obras de construcción.

## ANEXOS

### Datos del artículo publicado

- Nombre del artículo: Optimización de planes de vuelo para múltiples drones en zonas de construcción
- Autores: Alvaro Cesar Sotelo Vila
- Co autor(es): Lourdes Ramírez Cerna

### Publicación en revista

- Nombre de la revista: Interfases
- Número: 17
- Año: 2023
- Pp: 96-122
- Enlace: <https://doi.org/10.26439/interfases2023.n017.6230>

## 14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía

### Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

CAVITA ET PRO