

Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica  
Primer avance de tesis

# Estrategias de Gestión de Energía para Repartición de Tareas en Enjambres de Robots

Ing. Jahir Antonio Rodríguez Perales

**Director de tesis:** Dr. Luis Martín Torres Treviño  
**Codirector de tesis:** Dr. Erick de Jesús Ordáz Rivas

22 de noviembre de 2024

# Contenido

- 1 **Introducción**
  - Justificación
  - Antecedentes
  - Definición del problema
  - Objetivos
- 2 **Metodología**
  - Diagrama general de la propuesta
  - Miembros del enjambre
  - Estimación del estado de carga
- 3 **Plan de trabajo**
- 4 **Avances de tesis**
  - Diseño experimental
  - Diseño experimental
  - Resultados
- 5 **Conclusiones parciales**
- 6 **Trabajo a futuro**
- 7 **Referencias**
- 8 **Apéndice**

# Robótica de enjambres

- La robótica de enjambre estudia cómo los robots pueden emular el comportamiento de seres sociales para realizar tareas complejas o peligrosas para humanos.
- Esta tecnología es aplicable en áreas como la exploración, la búsqueda de sobrevivientes o la vigilancia.
- El proyecto propuesto contribuirá con una metodología avanzada para gestionar la energía y asignar tareas mediante estrategias energéticas inteligentes.

# Enjambres de robots

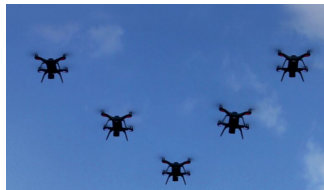
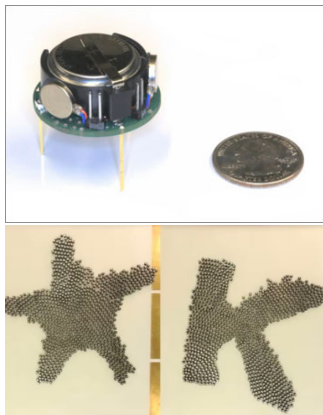


Figura 1: Aplicaciones de robótica de enjambes

# Antecedentes

<b>Autor(es)</b>	<b>Año</b>	<b>Metodología</b>	<b>Resultados</b>
E. Ordaz-Rivas et al. [1]	2018	Plantea el manejo de un enjambre gobernado por parámetros RAOI.	Las reglas de comportamiento determinan la formación del enjambre y priorizan tareas.
E. Ordaz-Rivas et al. [2]	2022	Analiza el efecto de RAOI con diferentes condiciones paramétricas y ambientales.	Se demuestra el potencial de parámetros RAOI para influenciar al enjambre.

**Tabla 1:** Tabla de trabajos previos hechos con este enjambre de robots

# Antecedentes

<b>Autor(es)</b>	<b>Año</b>	<b>Metodología</b>	<b>Resultados</b>
Y. Gao et al. [3]	2019	Clasifica y compara las diferentes estrategias para la carga de baterías Li-ion	La estrategia de estimación de carga elegida depende del propósito.
A. Chen et al. [4]	2019	Se usa umbrales de energía dinámicos para niveles límite de batería.	El método logra minimizar el costo energético y maximiza la eficiencia

Tabla 2: Tabla de antecedentes relacionados al proyecto de tesis

# Definición del problema

El problema radica en que los robots de un enjambre, con habilidades simples que colaboran para realizar tareas complejas, utilizan algoritmos basados en parámetros de Repulsión, Atracción, Orientación e Influencia (RAOI), pero estos no consideran el nivel de energía de cada robot, lo que limita su eficiencia. Además, los enfoques maestro-esclavo implican un alto costo computacional.

# Objetivos

## Objetivo general

Desarrollar y analizar un modelo matemático que integre una gestión energética adaptativa junto con parámetros RAOI para mejorar la eficiencia y la asignación de tareas en procesos de forrajeo de enjambres de robots..

## Objetivos específicos

1. Desarrollar ecuaciones matemáticas que permitan calcular la energía disponible en cada robot del enjambre.
2. Desarrollar e integrar algoritmos de gestión de energía que utilicen las ecuaciones propuestas, incorporando los parámetros RAOI para optimizar la asignación de tareas dentro del enjambre.
3. Llevar a cabo una serie de experimentos para evaluar la efectividad de los algoritmos de gestión energética en la eficiencia operativa del enjambre y en la repartición de tareas durante procesos de forrajeo.

# Propuesta general

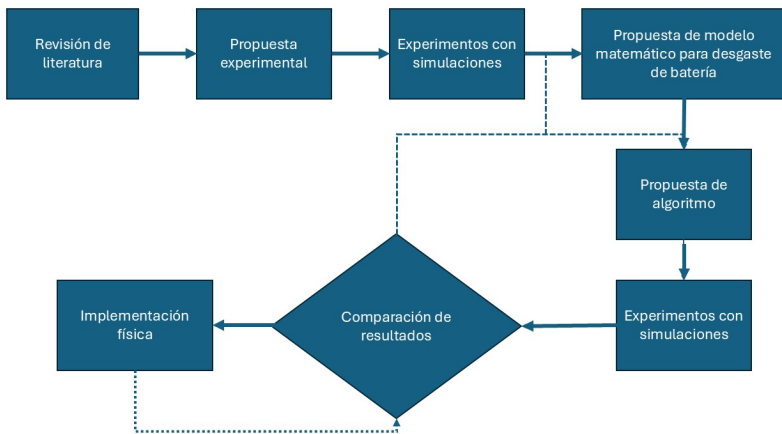


Figura 2: Diagrama general de la propuesta

# Miembro del enjambre

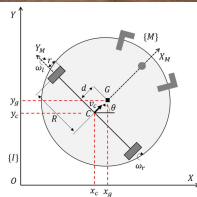
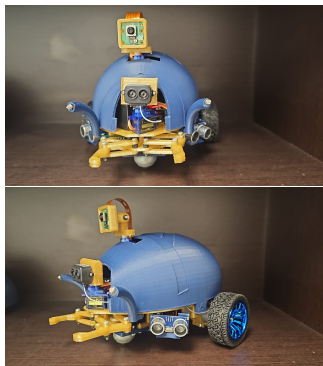


Figura 3: Diagrama y fotos de los robots del enjambre

# Modelo dinámico del robot

Del diagrama de la **figura 3** se obtiene el siguiente modelo dinámico para el robot:

$$\bar{M}\dot{\mathbf{v}} + \bar{H}(\mathbf{v}) = \bar{\Gamma}\mathbf{u} \quad (1)$$

con

$$\bar{M} = M + BP_L^{-1}\Phi\Lambda^{-1}, \quad \bar{H}(\mathbf{v}) = H(\mathbf{v}) + F_r(\mathbf{v}) + BP_L^{-1}\Lambda^{-1}\mathbf{v}, \quad \bar{\Gamma} = BP_L^{-1}P_s,$$

$$M = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & I + md^2 \end{bmatrix}, \quad H(\mathbf{v}) = \begin{bmatrix} -md\dot{\theta}^2 \\ mdv\dot{\theta} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_r \\ u_l \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{r} & -\frac{r}{R} \\ \frac{1}{r} & \frac{r}{R} \end{bmatrix}, \quad \Phi = \begin{bmatrix} \phi_{s,r} & 0 \\ 0 & \phi_{s,l} \end{bmatrix}, \quad P_L = \begin{bmatrix} Q_{L,r} & 0 \\ 0 & Q_{L,l} \end{bmatrix},$$

$$P_s = \begin{bmatrix} q_{s,r} & 0 \\ 0 & q_{s,l} \end{bmatrix}, \quad Z_r(\mathbf{v}) = \begin{bmatrix} \zeta_{r11} & \zeta_{r12} \\ \zeta_{r21} & \zeta_{r22} \end{bmatrix} \vec{v}, \quad \Lambda = \begin{bmatrix} \frac{r}{2R} & \frac{r}{2R} \\ \frac{r}{2R} & -\frac{r}{2R} \end{bmatrix}.$$

# Métodos de modelado de una batería Li-ion

- **Modelado por circuito equivalente.**

Es considerado un método con exactitud moderada, dependiendo del circuito equivalente que se use para la batería

- **Modelado basado en datos o con red neuronal.**

Es considerado un método bastante preciso, pero tiene la desventaja de que depende de una base de datos de gran tamaño incluyendo diferentes variables de la batería para diferentes SoC

- **Modelado electroquímico.**

Es considerado el método más preciso, con la desventaja de tener un alto coste computacional

# Método propuesto para estimación del SoC

## Definición del SoC

$$SoC = \frac{Q_0 + Q}{Q_{max}} \quad (2)$$

Dónde:

$Q_0$ (mAh): Carga inicial de la batería

$Q$ (mAh): Carga que entró o salió de la batería

$Q_{max}$ (mAh): Carga máxima que puede almacenar la batería

# Método propuesto para estimación del SoC

## Método de conteo de Coulombs

$$SoC(t) = SoC(t_0) + \frac{1}{C_n} \int_{t_0}^t \eta i(t) dt \quad (3)$$

Y aplicando una discretización a 3, se obtiene:

$$SoC_k = SoC_{k-1} - \frac{\eta}{C_n} i_{k-1} \Delta t \quad (4)$$

Dónde:

$SoC_k$ : Estado de carga en el punto  $k$

$SoC_{k-1}$ : Estado de carga en el punto inmediato anterior  $k - 1$

$\eta$ : Eficiencia de carga o descarga de la batería

$C_n$ : Es la capacidad nominal de la batería

$i_{k-1}$ : Es la corriente en el punto inmediato anterior  $k - 1$

$\Delta t$ : Intervalo de tiempo considerado para la medición  $k$

# Propuesta de trabajo

Objetivos	Actividades	Productividad
Objetivo específico 1	Investigación y desarrollo de una metodología para conocer el estado de carga de la batería	Reporte de avance de tesis
Objetivo específico 2	Experimentación e implementación del algoritmo mejorado	Algoritmo para dirigir el enjambre de robots
Objetivo específico 3	Realizar experimentos relevantes con diferentes parámetros en simulación y experimentación física para la comparación de datos	Artículo en congreso nacional o internacional
Tesis	Capítulos de la tesis redactados	Una tesis de maestría

Tabla 3: Tabla de antecedentes relacionados al proyecto de tesis

# Simulaciones mínimas por experimento

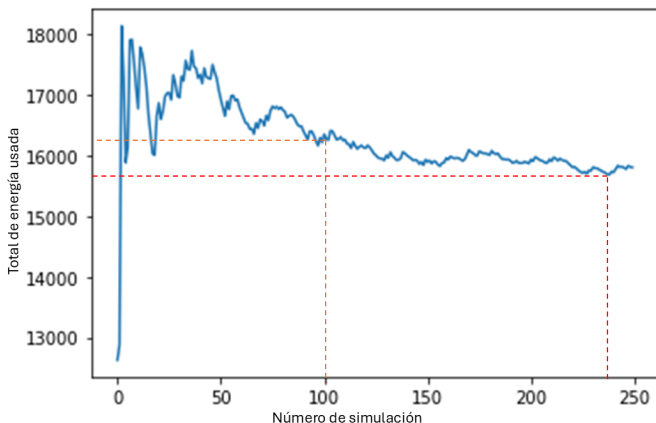


Figura 4: Gráfica de medidor estadístico para conocer el mínimo de simulaciones por experimento

# Diseño experimental

Se realizaron un total de 2400 simulaciones, para un total de 24 experimentos, cada uno con una variación paramétrica. Entre los parámetros incluidos en cada experimento, se encuentran:

- Iteraciones máximas: 2000
- Número de simulaciones: 100
- Objetos: 10
- Individuos del enjambre: 5, 10 y 20
- Radio de repulsión: 5 y 20 centímetros
- Radio de atracción: 1 y 2 metros
- Radio de orientación: 20 centímetros y 1 metro

# Experimentos con 5 individuos

## Estadísticas del enjambre en general

Tasa de éxito: 60.875 %

Valor	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Iteraciones	1765	304.6034	704	2000
Total de energía	10525	1721.82	4628	15185
Objetos entregados pci	2	0.9554	0	5
Iteraciones para entregar	176	200.9754	35	2000

Tabla 4: Tabla de estadísticas generales del enjambre con 5 individuos

# Experimentos con 10 individuos

## Estadísticas del enjambre en general

Tasa de éxito: 97.5 %

Valor	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Iteraciones	1205	419.2557	434	2000
Total de energía	13887	4582.5648	5781	25102
Objetos entregados pci	1	0.6174	0.333	4
Iteraciones para entregar	170	157.066	35	2000

Tabla 5: Tabla de estadísticas generales del enjambre con 10 individuos

# Experimentos con 20 individuos

## Estadísticas del enjambre en general

Tasa de éxito: 100 %

Valor	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Iteraciones	796	391.2364	331	2000
Total de energía	17759	8307.8792	7780	45947
Objetos entregados pci	1	0.6265	0.5	3
Iteraciones para entregar	171	141.9937	35	1910

Tabla 6: Tabla de estadísticas generales del enjambre con 20 individuos

# Conclusiones parciales

- El total de energía promedio usado por el enjambre no crece proporcionalmente con el número de individuos para una cantidad fija de objetos, Lo cual indica una buena repartición de tareas en el enjambre.
- El promedio de objetos obtenidos por cada miembro del enjambre tiende a dividirse equitativamente.
- Las iteraciones o tiempo promedio usado para entregar los objetos no depende del número de individuos, puede que dependa más de la razón entre número de objetos y número de individuos.
- La tasa de éxito aumenta a mayor número de individuos.

# Trabajo a futuro

- Desarrollar una métrica de consumo energético realista para las simulaciones
- Integrarla métrica al algoritmo junto con los parámetros RAOI.
- Hacer experimentos con el nuevo algoritmo y comparar resultados.

## Referencias bibliográficas

- [1] E. Ordaz-Rivas, A. Rodriguez-Liñan, M. Aguilera-Ruiz y L. Torres-Treviño, «Collective tasks for a flock of robots using influence factor,» en *J. Intell. Robot. Syst.*, vol. 94, n.º 2, págs. 439-453, mayo de 2019.
- [2] E. Ordaz-Rivas y L. Torres-Treviño, «Modeling and simulation of swarm of foraging robots for collecting resources using RAOI behavior policies,» en *Advances in Computational Intelligence*, ép. Lecture notes in computer science, Cham: Springer Nature Switzerland, 2022, págs. 266-278.
- [3] Y. Gao, X. Zhang, Q. Cheng, B. Guo y J. Yang, «Classification and review of the charging strategies for commercial lithium-ion batteries,» *IEEE Access*, vol. 7, págs. 43 511-43 524, 2019.
- [4] A. Chen, J. Harwell y M. Gini, «Maximizing energy battery efficiency in swarm robotics,», 2019. eprint: 1906.01957 (cs.MA).

# Apéndice

## Zonas de importancia

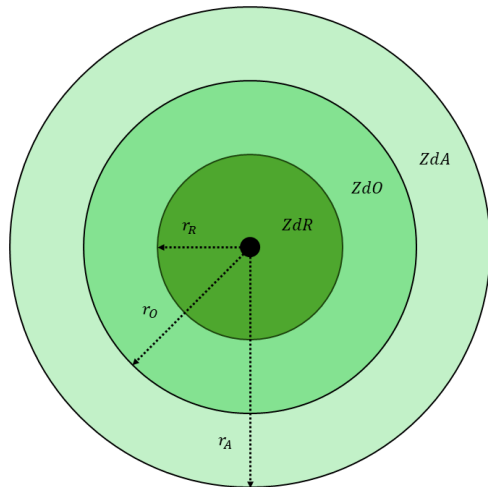


Figura 5: Zonas y radios de importancia

# Apéndice

## Zonas de percepción

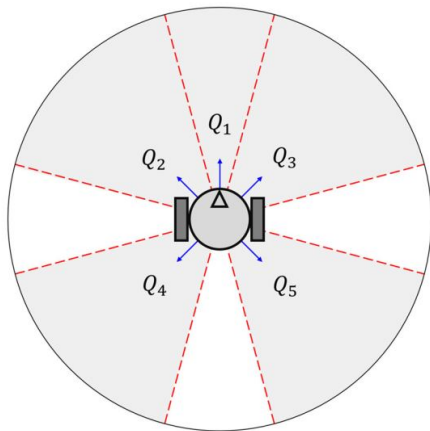


Figura 6: Zonas de percepción del robot físico

# Apéndice

## Funcionamiento de simulación

Mostrar video 'EnjambreSim 16x.mp4'