



**TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO**

## Instituto tecnológico de Culiacán

### Optimización de Riego con Enjambre de Partículas

#### **Materia:**

Temas de Inteligencia Artificial

#### **Integrantes:**

Ramirez Medina Cristian Andrea

Castro Figueroa Daniel Sebastian

#### **Maestro:**

Dr. Mora Felix Zuriel Dathan

**Repositorio:** <https://github.com/DanielSdc/TopicosIA>

# 1. Introducción

La efectividad de la tecnología de sensores de humedad depende críticamente de su ubicación estratégica. Este proyecto propone el desarrollo y la aplicación del algoritmo de Optimización por Enjambre de Partículas (Particle Swarm Optimization - PSO) para determinar la configuración óptima de estos sensores. PSO es una técnica de inteligencia artificial bioinspirada, orientada a encontrar soluciones aproximadas a problemas de maximización o minimización sumamente difíciles, y se basa en el comportamiento social de grupo, como el vuelo de las aves o el nado de los peces [1]. Su proceso es iterativo y permite actualizar la posición de cada solución potencial (partícula) basándose tanto en su mejor experiencia individual como en el mejor resultado global encontrado por el enjambre. Este enfoque es ideal para nuestro problema, ya que permite modelar un espacio de búsqueda multidimensional. El resultado será una herramienta computacional que maximice la eficiencia del riego y contribuya a una gestión más sostenible de los recursos hídricos en Guasave [2].

## 2. Objetivo General

Desarrollar un modelo de optimización por enjambre de partículas bioinspiradas (PSO) donde cada partícula represente una configuración completa de sensores, para determinar la disposición óptima que maximice la proximidad y cobertura efectiva de los sensores sobre los cultivos principales en la región de Guasave, Sinaloa.

## 3. Objetivos Específicos

1. Modelar el problema de colocación de los sensores como un espacio de búsqueda, definiendo cada posición de la partícula PSO como la solución total.
2. Implementar el algoritmo PSO para encontrar configuraciones de sensores, considerando las dimensiones del terreno y la distribución de los cultivos.
3. Aplicar una función de aptitud que evalúe la calidad de cada configuración de sensores basándose en la métrica de cercanía y posición de los puntos de cultivo.

## 4. Justificación

Este proyecto se justifica por su alta relevancia económica y ambiental en la región de Guasave, Sinaloa, así como por la eficiencia metodológica que proporciona el uso de técnicas avanzadas de inteligencia artificial. La colocación de sensores de humedad conduce a un riego ineficiente, lo que resulta en el desperdicio de un recurso hídrico escaso. Por lo tanto, el desarrollo de un sistema de optimización responde directamente a la necesidad del sector primario de adoptar tecnologías que incrementen la productividad y promuevan la sostenibilidad[1]. La elección de la metodología se basa en la naturaleza del problema: la colocación óptima es un problema complejo, para abordar esto, el algoritmo de Optimización por Enjambre de Partículas (PSO) es ideal, ya que es una técnica de optimización heurística adecuada para escenarios que son difíciles o imposibles de optimizar de forma analítica. Además, una ventaja práctica del PSO es que sus algoritmos son considerablemente más fáciles de implementar en comparación con otras heurísticas como los Algoritmos Genéticos (GA), lo que facilita un desarrollo computacional ágil y enfocado en generar configuraciones de sensores que maximicen la cobertura efectiva sobre los cultivos.

## 5. Alcance

- Creación del código y la estructura modularizada para la optimización de la colocación de sensores en un determinado espacio.
- Generación de matrices de distancias. Los centros de distribución son considerados los nodos iniciales de las rutas.
- Implementación del método de optimización PSO (Particle Swarm Optimization) para la optimización del espacio de colocación de sensores.
- El proyecto entregará la mejor solución encontrada para ubicar los sensores.

## 6. Desarrollo

### 6.1. Descripción del Problema

En los puntos siguientes se describirán los puntos a considerar para la problemática a resolver, con el objetivo de encontrar una solución óptima que sirva para la colocación de sensores y maximizar el riego.

El escenario es el siguiente:

- **Cultivos:** Se cuenta con la Latitud y Longitud de 100 cultivos.
- **N sensores:** Se desean de forma óptima para maximizar la eficiencia del riego.

### 6.2. Algoritmo

Para abordar este problema se utilizará el algoritmo de enjambre de partículas bioinspiradas (PSO), será necesario considerar las siguientes características del problema y el algoritmo:

- **Cultivos:** Puntos en el mapa que representan cada cultivo.
- **Sensores:** Puntos en el mapa que representan cada sensor, representados por una latitud y longitud.
- **Partículas:** Representación de cada solución, es decir, representan N sensores deseados.
- **Enjambre:** Representación de todas las partículas dentro del espacio de búsqueda indicado.
- **Función Fitness:** Función que nos indica la idoneidad de una partícula.

## 6.3. Implementación computacional

Para la implementación del algoritmo de Optimización por Enjambre de Partículas (PSO) se tomó como base la librería PySwarms de Python, la cual proporciona una estructura modular y flexible para la configuración y ejecución de algoritmos metaheurísticos. Esta librería permitió simplificar la gestión del enjambre, el control de los parámetros de inercia y los coeficientes cognitivo y social, además de facilitar la visualización de la evolución del costo a lo largo de las iteraciones. La elección de PySwarms se debe a su robustez, documentación extensa y compatibilidad con entornos científicos de Python, lo que favorece la reproducibilidad y escalabilidad del experimento.

### 6.3.1. Representación

Cada partícula (solución), será representada por arreglo que contenga las coordenadas (latitud y longitud) de cada sensor. Cada sensor dentro de la partícula estará dentro de los límites inferiores y superiores de los cultivos, es decir, latitud y longitud, mínimas y máximas de los cultivos. El costo de cada partícula será representado por la sumatoria de la distancia de cada cultivo hacia su sensor más cercano utilizando la fórmula de Haversine:

$$d = 2R \cdot \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left( \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right)$$

## 6.4. Resultados obtenidos

Se llevó a cabo una ejecución del algoritmo con los siguientes parámetros para el PSO que favorecen la convergencia:

- **Inercia (w):** 0.9
- **Coficiente cognitivo (c1):** 2
- **Coficiente global (c2):** 2
- **Decaimiento inercia (w decay):** 0.99
- **Iteraciones:** 200
- **Partículas:** 20
- **Sensores:** 10

Inicialmente se contó con un costo de alrededor de 143 km, que durante 200 iteraciones fue capaz de llegar a obtener una solución de 128 km, representando una mejora mayor del 10

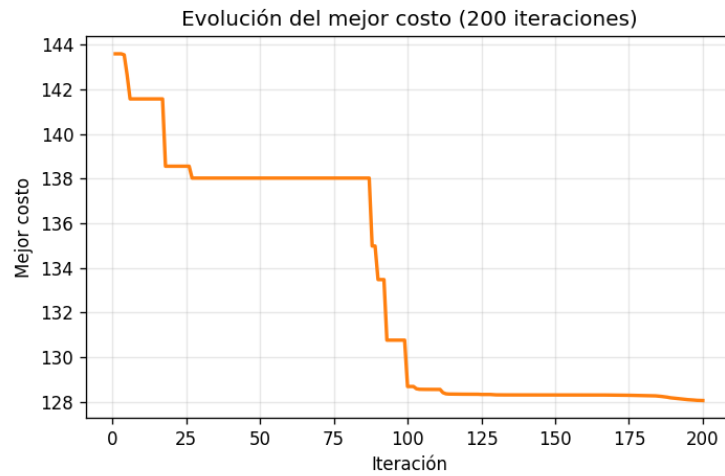


Figura 1: Grafica evolución del valor del costo de la mejor partícula encontrada durante cada iteración

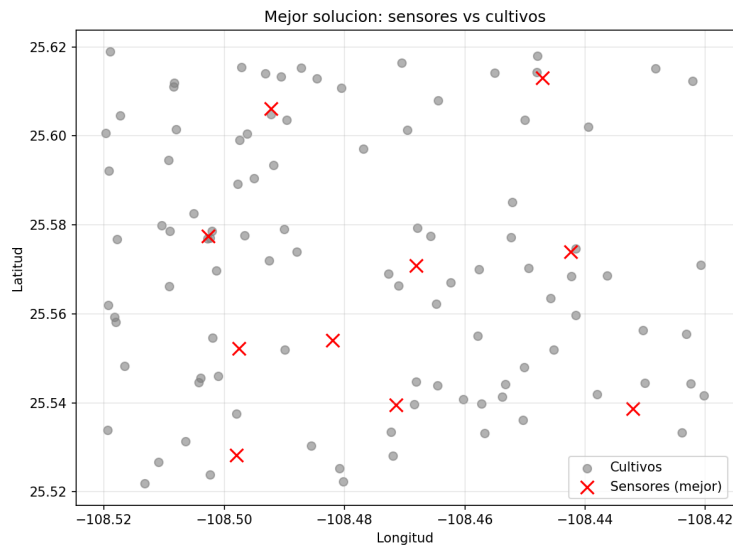


Figura 2: Mapa con la ubicación de la mejor colocación de sensores encontrada durante 200 iteraciones

## 7. Análisis de efectividad

- **Efectividad:** Como se observo en la Figura 1, el algoritmo en las primeras 100 iteraciones logra bajar el costo de la mejor solución drásticamente, mientras que en las siguientes iteraciones se obtiene una mínima mejora mientras la convergencia de las partículas es casi total.

### 7.1. Conclusiones

El desarrollo de este proyecto muestra una implementación exitosa de el algoritmo de enjambre de partículas bioinspiradas (PSO), para un problema de optimización en la región de Guasave, Sinaloa. Donde se demostró la efectividad del algoritmo logrando una mejora media del 10 % en el costo de la función fitness.

Para concluir, este proyecto brinda una base sólida para futuras mejoras, especialmente en la función fitness, en la cual con la ayuda de un experto en el area se podrian tomar en cuenta mas factores como la humedad, salinidad, temperatura, etc. para obtener mejor resultados.



## Referencias

- [1] Kexugit. Inteligencia artificial - optimización del enjambre de partículas. <https://learn.microsoft.com/es-es/archive/msdn-magazine/2011/august/artificial-intelligence-particle-swarm-optimization>.
- [2] Joaquín Amat Rodrigo. Optimización con enjambre de partículas (particle swarm optimization) python. [https://cienciadedatos.net/documentos/py02\\_optimizacion\\_pso](https://cienciadedatos.net/documentos/py02_optimizacion_pso).