



# Quinto Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



**AURPAES, S.C.**  
Asociación Estatal de Asociaciones de Usuarios de Riego  
Productores Agrícolas del Estado de Sinaloa S.C.



Enseñar la explotación de la tierra,  
no la del hombre



# TRAZO DE REDES DE RIEGO MEDIANTE ALGORITMOS EVOLUTIVOS Y BIOINSPIRADOS: ALGORITMOS GENÉTICOS Y COLONIA DE HORMIGAS

EDUARDO JIMÉNEZ HERNÁNDEZ; IRINEO L. LÓPEZ CRUZ

Fecha de presentación **19/septiembre/2019**  
Mazatlán, Sinaloa, México



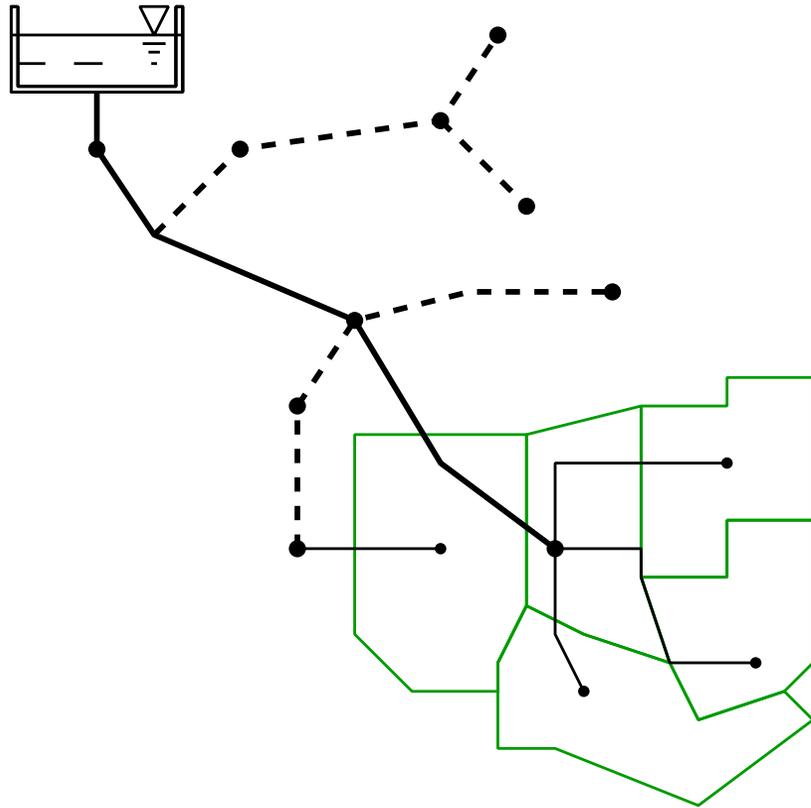


# Contenido

- Introducción
- Métodos y Materiales
- Resultados y Discusión
- Conclusiones



# Introducción

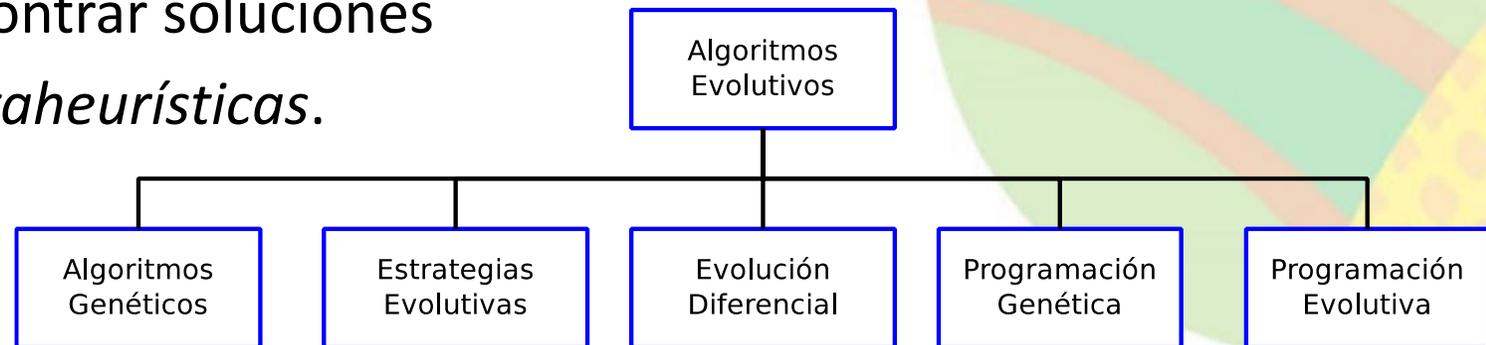
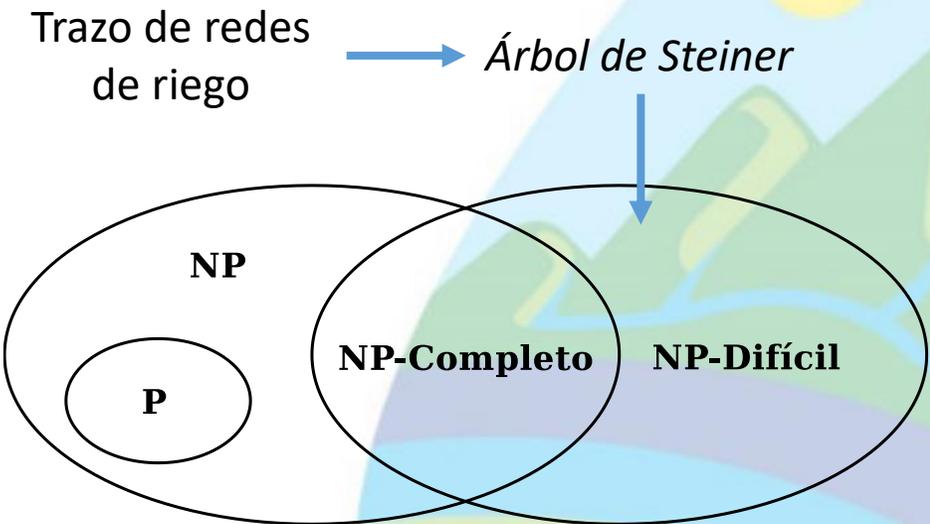


| SIMBOLOGÍA |                    |
|------------|--------------------|
|            | Almacenamiento     |
|            | Tubería principal  |
|            | Tubería secundaria |
|            | Tubería terciaria  |
|            | Hidrante           |
|            | Punto de riego     |
|            | Zona de riego      |

- Una red de tuberías para riego, se compone de un conjunto de tuberías que conducen y distribuyen agua desde fuentes de abastecimiento hasta la zona de riego.
- Se pueden clasificar en redes abiertas y cerradas.
- Eiger, Shamir, & Ben-Tal (1994) mencionan que el diseño de una red de distribución de agua consiste de tres fases:
  - a) trazo,
  - b) dimensionamiento, y
  - c) operación.

# El problema de trazo de redes

- Afshar (2006) menciona que con la optimización del trazo se obtiene un mayor ahorro que con la optimización de las dimensiones (diámetros).
- Formulación sencilla, los recursos de cómputo que se requieren se incrementan con el tamaño del problema (nodos).
- En ocasiones es imposible encontrar soluciones exactas, se aproximan con *metaheurísticas*.

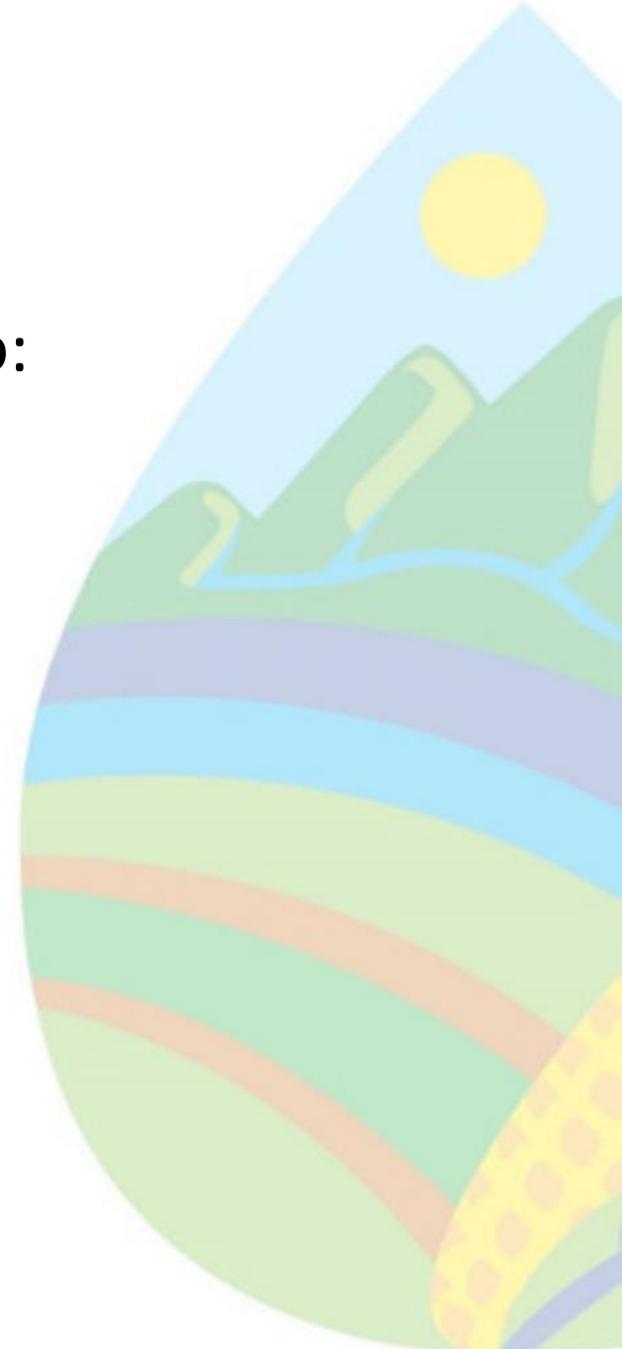




# Métodos y Materiales

Para la optimización del trazo de redes abiertas para riego:

- Computadora con Linux 4.4
  - Procesador de 64 bits Intel® Core™ i7-4500 @ 1.80 GHz
  - 8 GB de RAM.
- Lenguaje de programación Python® 2.7.
- pyevolve 0.6rc1
- Metaheurísticas:
  1. Algoritmos genéticos
  2. Colonia de hormigas



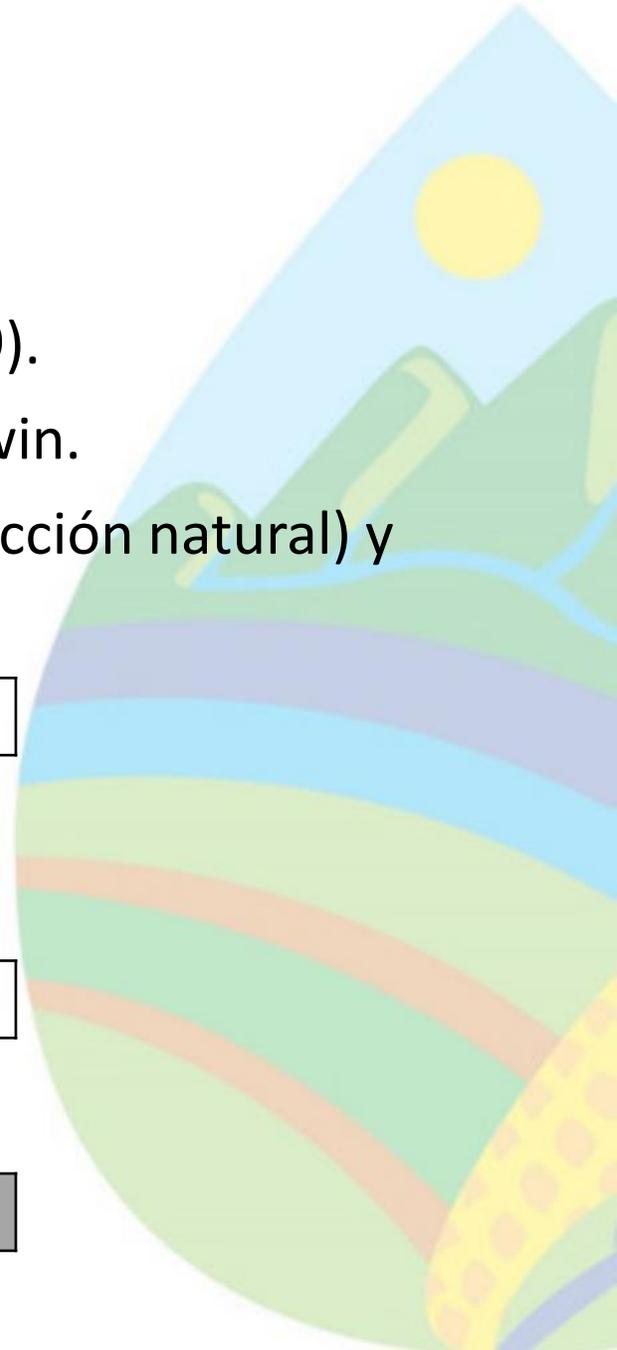
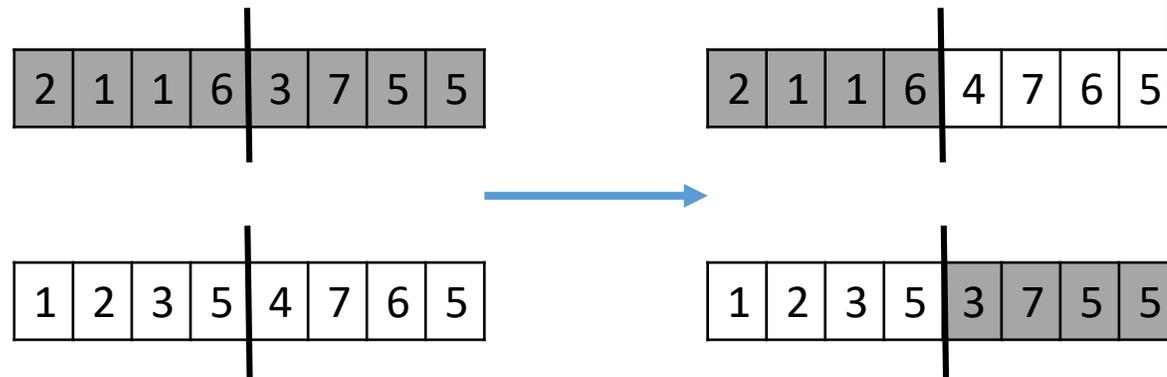
# Algoritmos genéticos

- Propuestos por Holland (1975) y popularizados por Golberg (1989).
- Técnicas de optimización inspirados en la teoría evolutiva de Darwin.
- Se fundamentan en la supervivencia del individuo más apto (selección natural) y recombinación genética.

- Mutación:

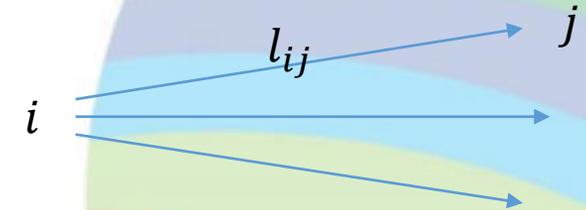
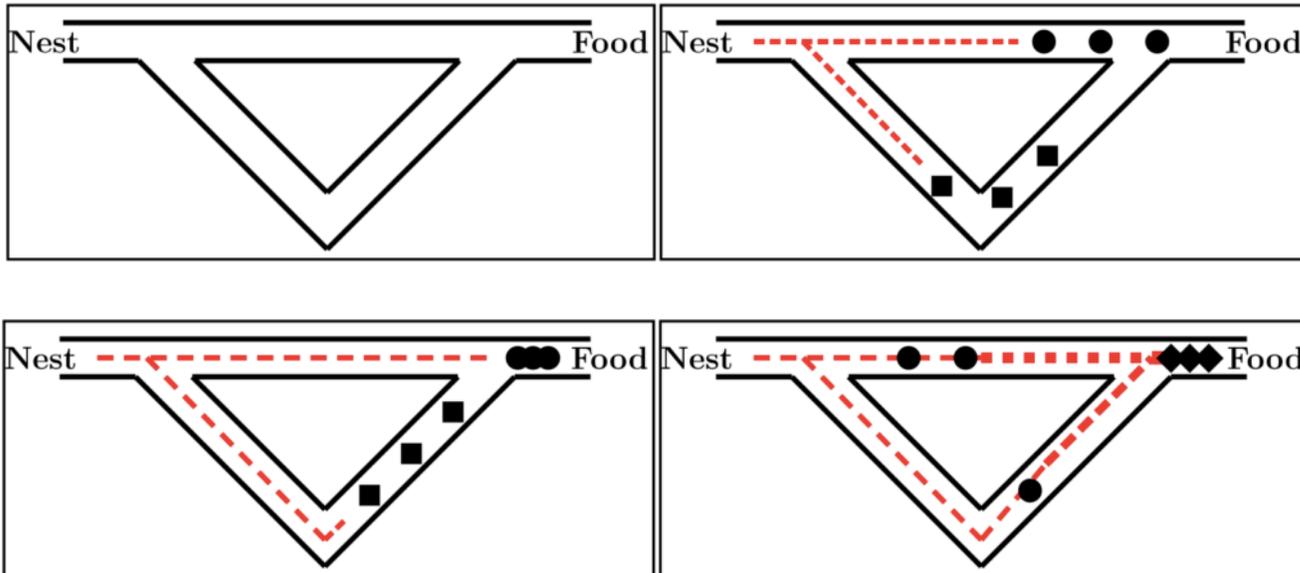


- Cruzamiento:



# Optimización con Colonia de Hormigas

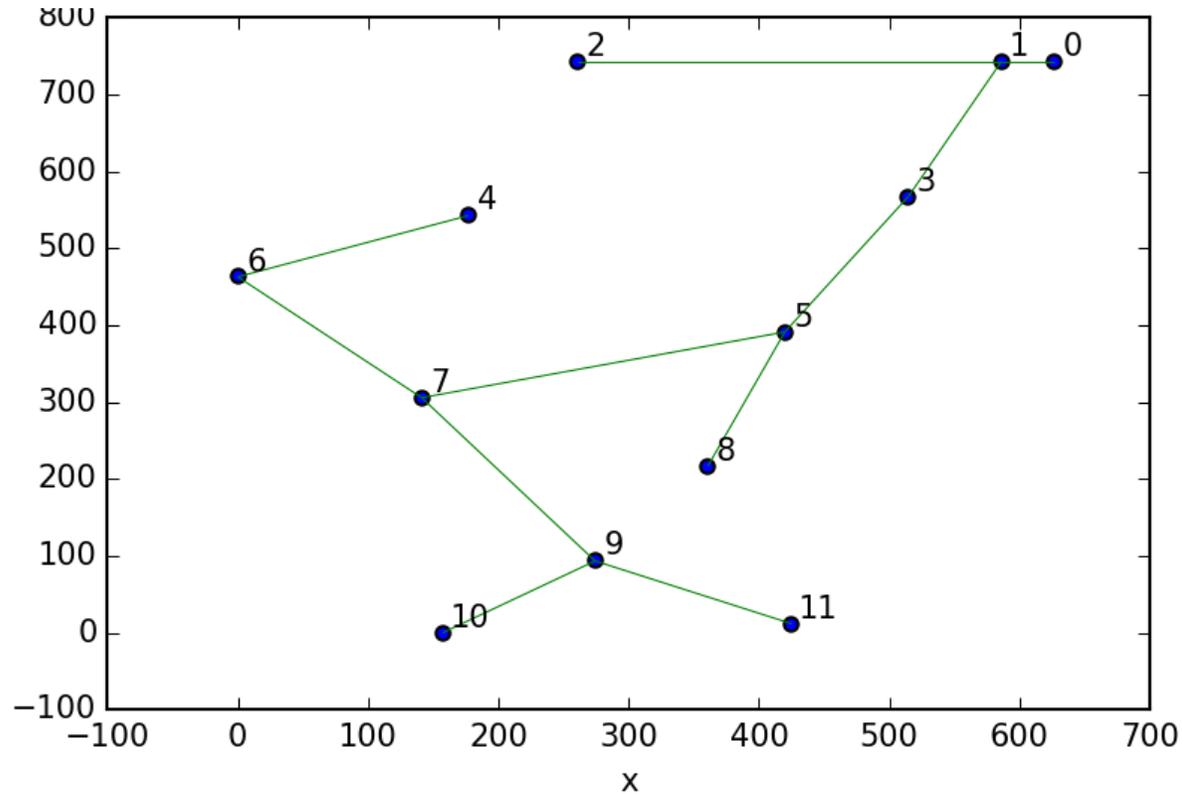
- ACO (*Ant Colony Optimization*), propuesto Marco Dorigo en 1990.
- Se inspira en la forma en la que una colonia de hormigas es capaz de encontrar la ruta más corta entre su nido y una fuente de alimento.



Regla de decisión probabilística:

$$p_{ij}(k, t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{j \in E_i} [\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}$$

# Formulación del problema



- La topología de una **red abierta** se representa con una lista de adyacencia.

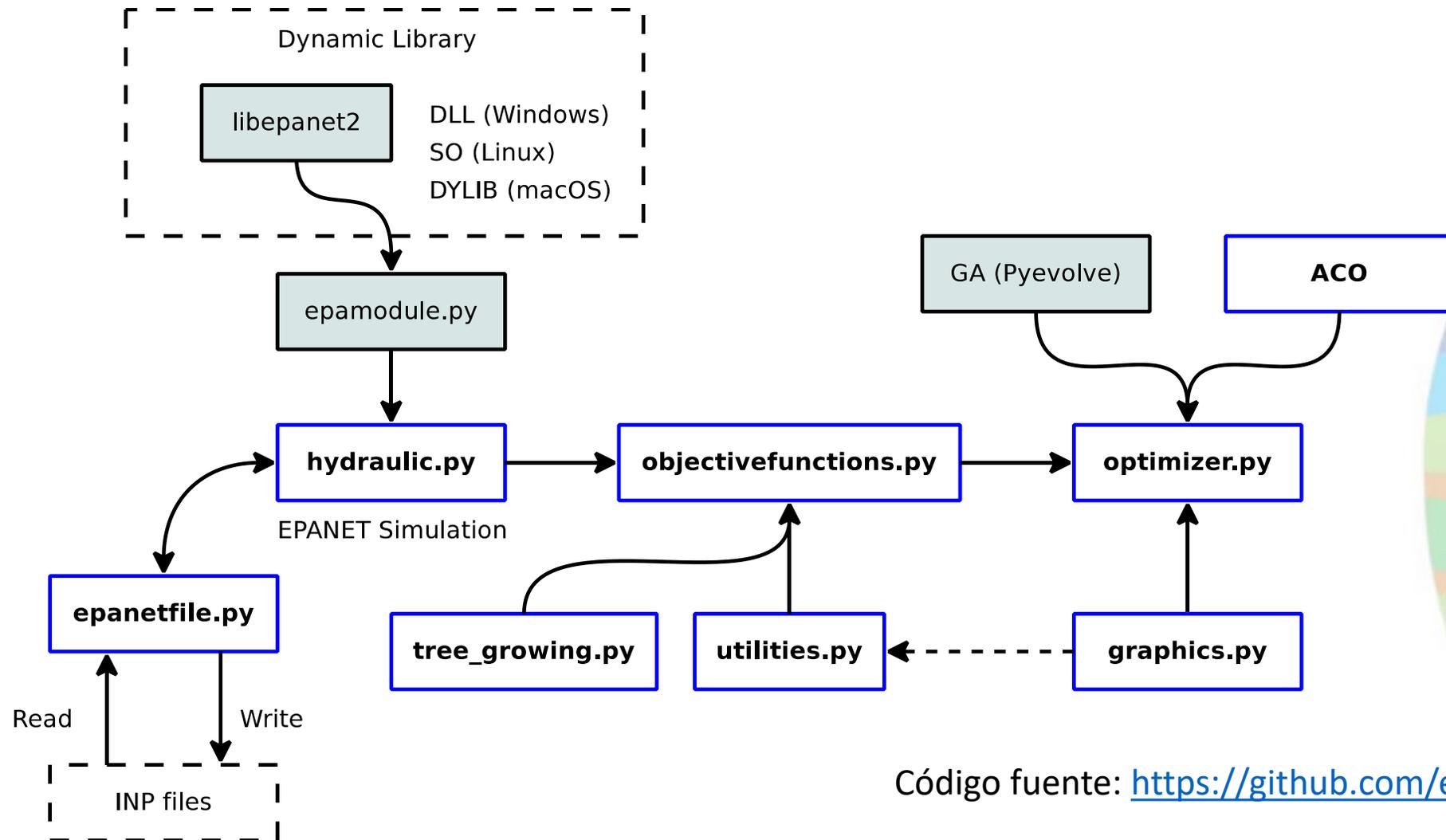
$$T_{ini} = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]$$

$$T_{fin} = [0, 1, 1, 6, 3, 7, 5, 5, 7, 9, 9]$$

- Objetivo: longitud mínima.



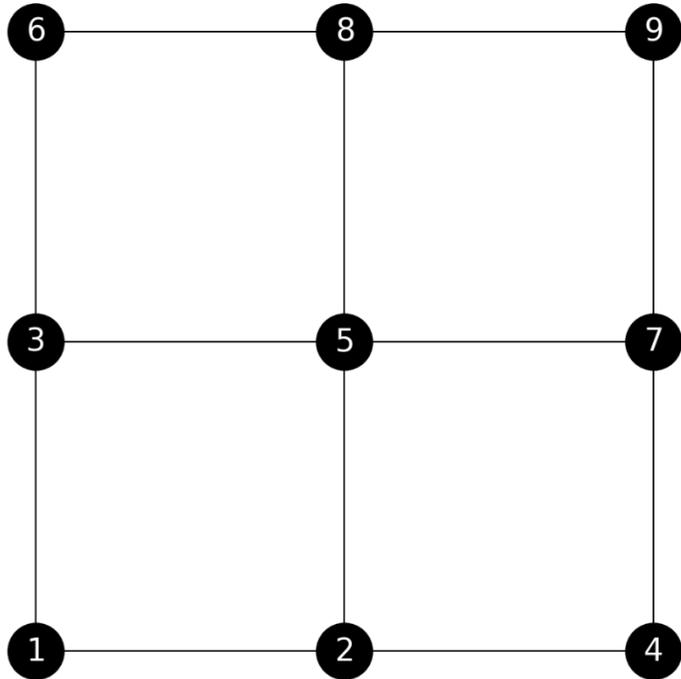
# Diagrama de bloques del *framework*



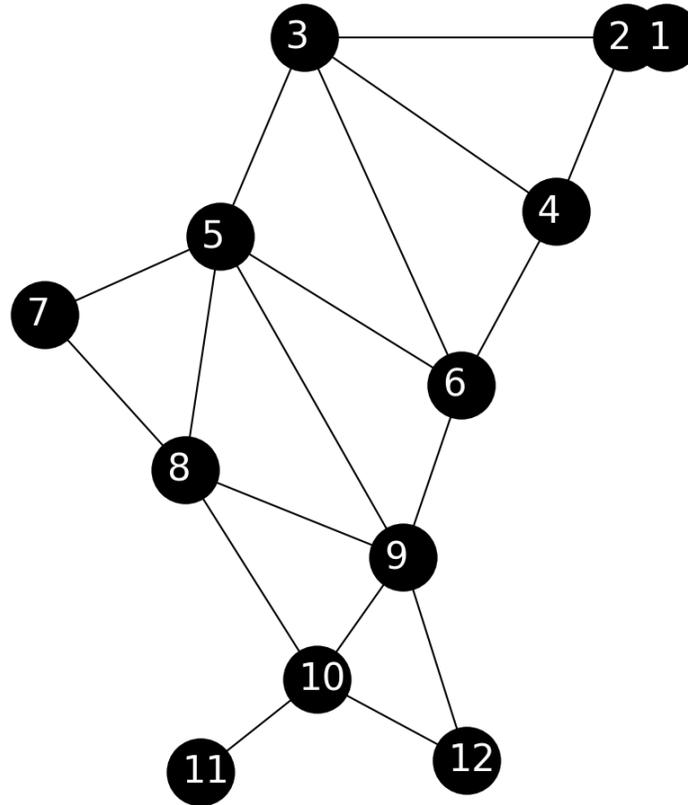
Código fuente: [https://github.com/ecoslacker/networks\\_design](https://github.com/ecoslacker/networks_design)



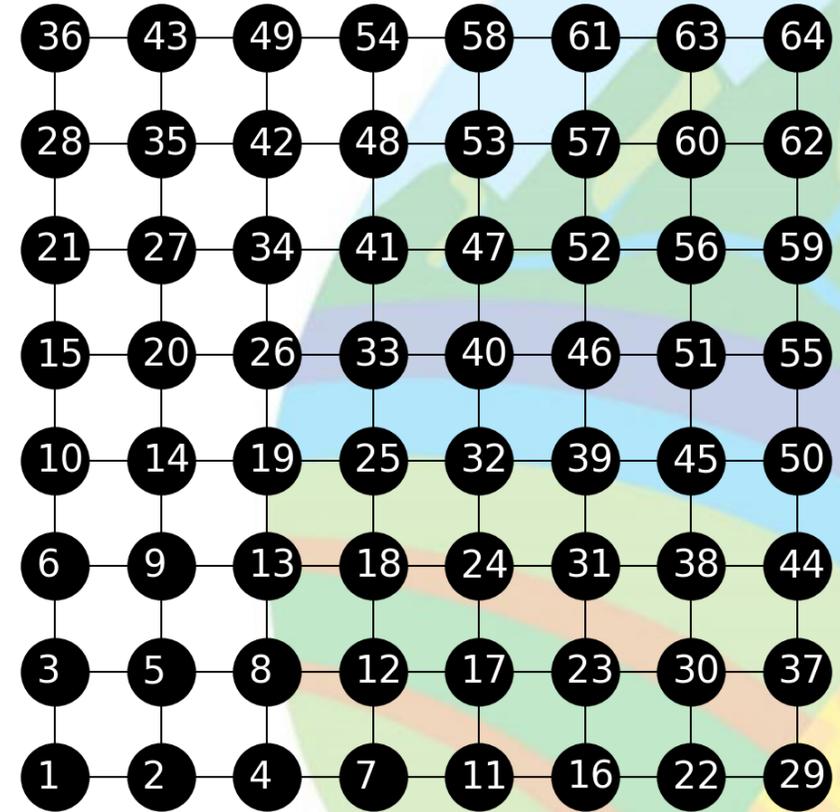
# Redes de prueba (*benchmark*)



Geem, Kim, & Kim (2000)



Ángeles Montiel (2002)

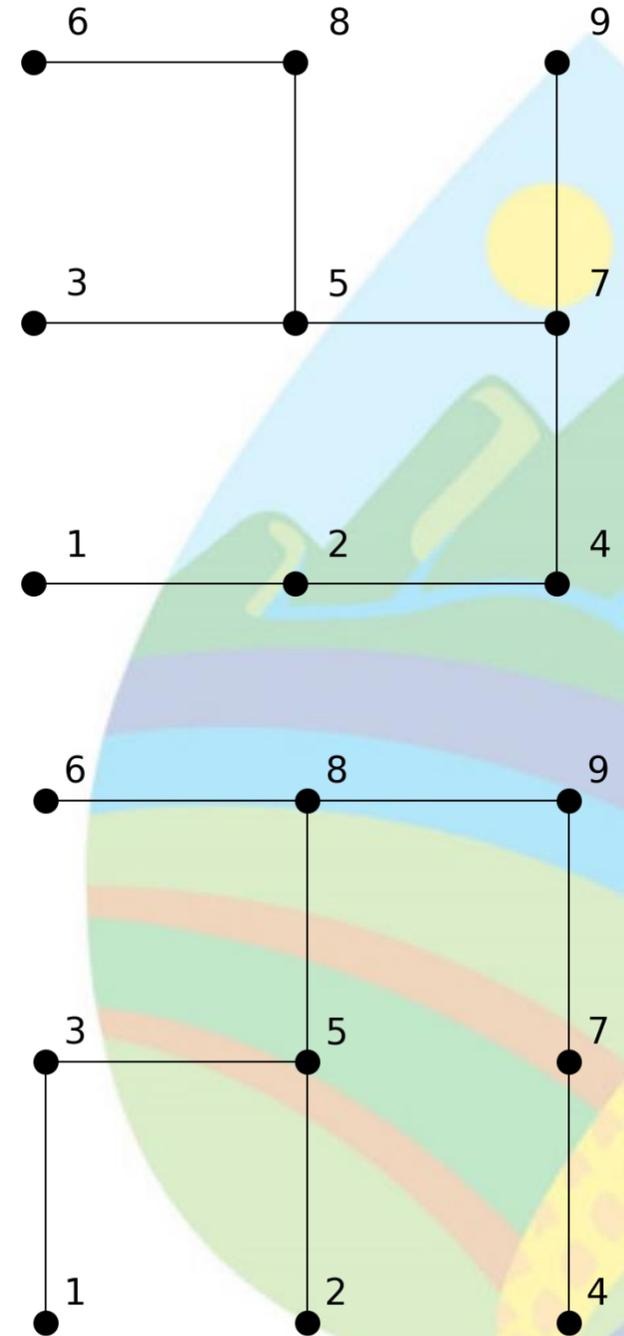


Walters & Smith (1995)



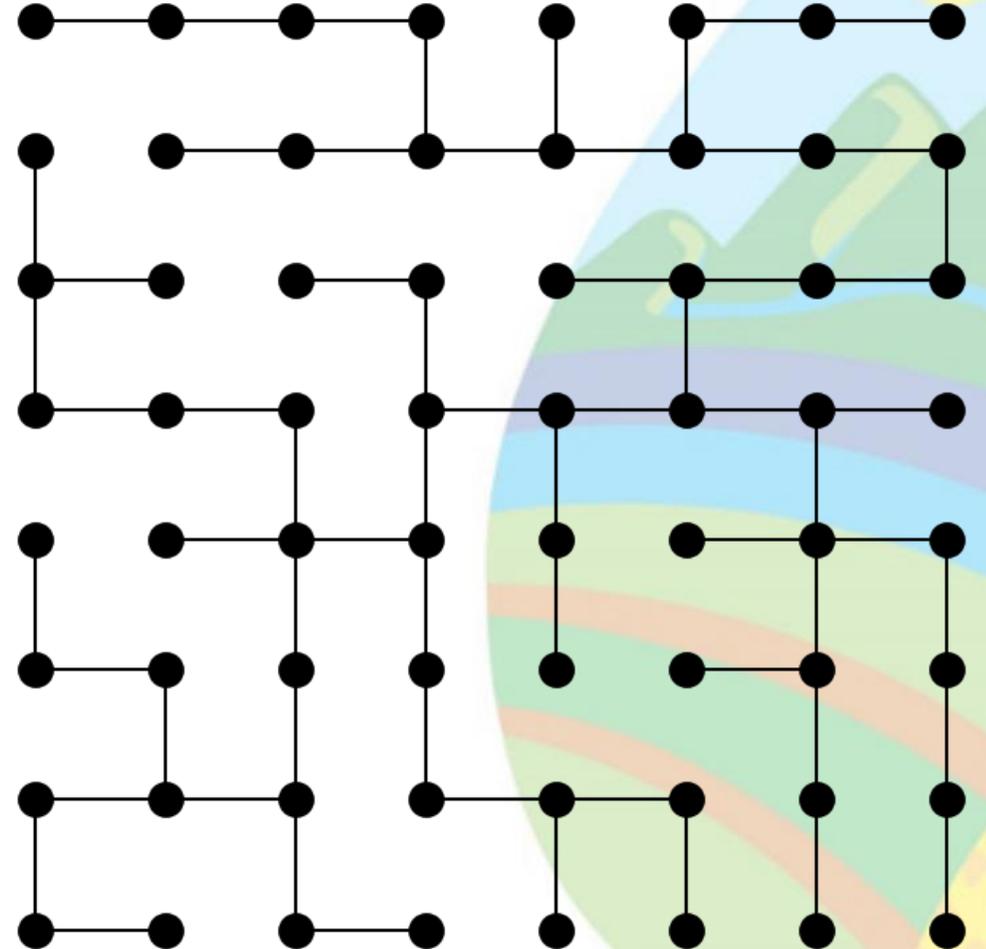
# Resultados y discusión

| Ejecución              | GA (200 ind., 500 gen.) |                |                         | ACO (m=5, 10 iter., $\rho=0.5$ ) |                |                        |
|------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------|----------------|------------------------|
|                        | Mínimo (m)              | Diferencia (%) | Generaciones requeridas | Mínimo (m)                       | Diferencia (%) | Iteraciones requeridas |
| 1                      | 882.84                  | 10.36          | 24                      |                                  |                | 3                      |
| 2                      | 800.00                  | 0.00           | 51                      |                                  |                | 7                      |
| 3                      | 800.00                  | 0.00           | 403                     |                                  |                | 5                      |
| 4                      | 800.00                  | 0.00           | 304                     |                                  |                | 5                      |
| 5                      | 841.42                  | 5.18           | 12                      |                                  |                | 5                      |
| 6                      | 800.00                  | 0.00           | 35                      |                                  |                | 3                      |
| 7                      | 800.00                  | 0.00           | 179                     |                                  |                | 4                      |
| 8                      | 841.42                  | 5.18           | 67                      |                                  |                | 6                      |
| 9                      | 800.00                  | 0.00           | 58                      |                                  |                | 3                      |
| 10                     | 841.42                  | 5.18           | 16                      |                                  |                | 3                      |
| 11                     | 841.42                  | 5.18           | 52                      | 800                              | 0              | 4                      |
| 12                     | 841.42                  | 5.18           | 32                      |                                  |                | 6                      |
| 13                     | 841.42                  | 5.18           | 30                      |                                  |                | 4                      |
| 14                     | 841.42                  | 5.18           | 23                      |                                  |                | 4                      |
| 15                     | 800.00                  | 0.00           | 41                      |                                  |                | 5                      |
| 16                     | 800.00                  | 0.00           | 63                      |                                  |                | 4                      |
| 17                     | 841.42                  | 5.18           | 291                     |                                  |                | 3                      |
| 18                     | 841.42                  | 5.18           | 40                      |                                  |                | 5                      |
| 19                     | 800.00                  | 0.00           | 440                     |                                  |                | 5                      |
| 20                     | 800.00                  | 0.00           | 54                      |                                  |                | 5                      |
| <b>Promedio:</b>       | 822.78                  | 2.85           | 163*                    | 800.00                           | 0.00           | 4*                     |
| <b>Desv. Estándar:</b> | 25.05                   | 3.13           | 160.27                  | 0.00                             | 0.00           | 1.15                   |



# Resultados y discusión

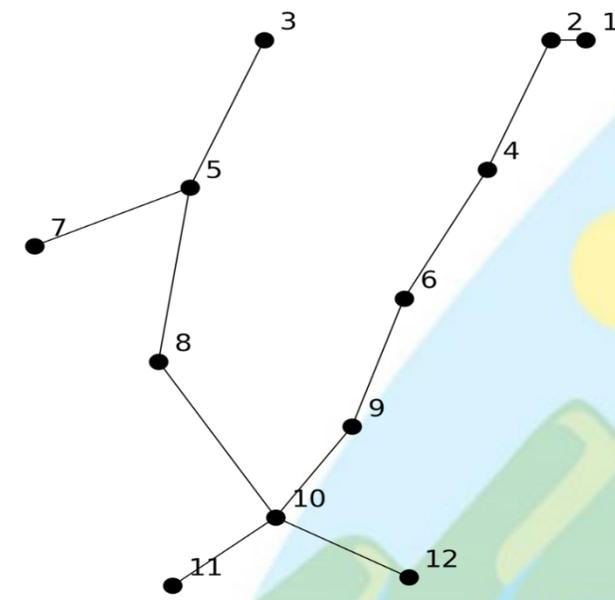
- ACO obtuvo la solución óptima en el 100% de las ejecuciones, con 15 iteraciones en promedio.
- GA fue incapaz de obtener soluciones factibles para este problema. Para ayudar al algoritmo:
  - Se redujo el espacio de búsqueda (de  $2^{2016}$  a  $2^{112}$  combinaciones posibles).
  - Se exploraron únicamente las soluciones factibles con un *algoritmo de crecimiento de árbol* (Walters & Smith, 1995).



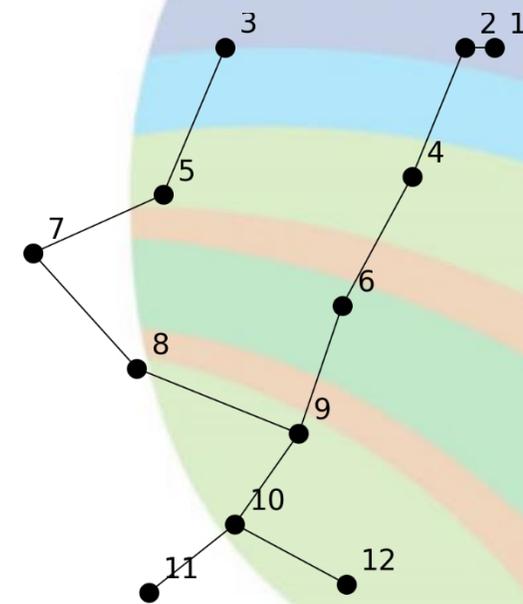


# Resultados y discusión

| Ejecución          | GA (200 ind., 1000 gen) |                |                         | ACO (m=5, 10 iter., $\rho=0.5$ ) |                |                        |
|--------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------|----------------|------------------------|
|                    | Mínimo (m)              | Diferencia (%) | Generaciones requeridas | Mínimo (m)                       | Diferencia (%) | Iteraciones requeridas |
| 1                  | 2619.59                 | 34.61          | 56                      | 1946.04                          | 0.00           | 10                     |
| 2                  | 2546.37                 | 30.85          | 172                     | 1946.04                          | 0.00           | 10                     |
| 3                  | 2391.37                 | 22.88          | 807                     | 1946.04                          | 0.00           | 8                      |
| 4                  | 2165.37                 | 11.27          | 705                     | 2003.03                          | 2.93           | 10                     |
| 5                  | 2503.00                 | 28.62          | 410                     | 1946.04                          | 0.00           | 10                     |
| 6                  | 2497.63                 | 28.34          | 144                     | 1995.51                          | 2.54           | 7                      |
| 7                  | 2291.96                 | 17.78          | 147                     | 1989.42                          | 2.23           | 10                     |
| 8                  | 2607.94                 | 34.01          | 629                     | 1946.04                          | 0.00           | 9                      |
| 9                  | 2374.41                 | 22.01          | 276                     | 1964.43                          | 0.95           | 7                      |
| 10                 | 2479.81                 | 27.43          | 132                     | 1959.66                          | 0.70           | 9                      |
| 11                 | 2381.38                 | 22.37          | 235                     | 1946.04                          | 0.00           | 7                      |
| 12                 | 2443.90                 | 25.58          | 141                     | 2000.65                          | 2.81           | 8                      |
| 13                 | 2481.09                 | 27.49          | 891                     | 2052.50                          | 5.47           | 5                      |
| 14                 | 2922.94                 | 50.20          | 114                     | 1959.66                          | 0.70           | 8                      |
| 15                 | 2416.58                 | 24.18          | 212                     | 1964.43                          | 0.95           | 10                     |
| 16                 | 1987.72                 | 2.14           | 557                     | 1946.04                          | 0.00           | 9                      |
| 17                 | 2479.66                 | 27.42          | 317                     | 1946.04                          | 0.00           | 10                     |
| 18                 | 2542.22                 | 30.64          | 682                     | 1959.66                          | 0.70           | 8                      |
| 19                 | 2093.71                 | 7.59           | 364                     | 1959.66                          | 0.70           | 10                     |
| 20                 | 2264.88                 | 16.38          | 470                     | 1946.04                          | 0.00           | 8                      |
| <b>Promedio:</b>   | 2424.58                 | 24.59          | 373*                    | 1966.15                          | 1.03           | 9*                     |
| <b>Desv. Est.:</b> | 203.39                  | 10.45          | 256.86                  | 28.31                            | 1.45           | 1.12                   |



GA longitud=1,987.72



ACO longitud=1,946.04



# Comparación de metaheurísticas

Soluciones para la red de riego de 12 nodos de Ángeles Montiel (2002)

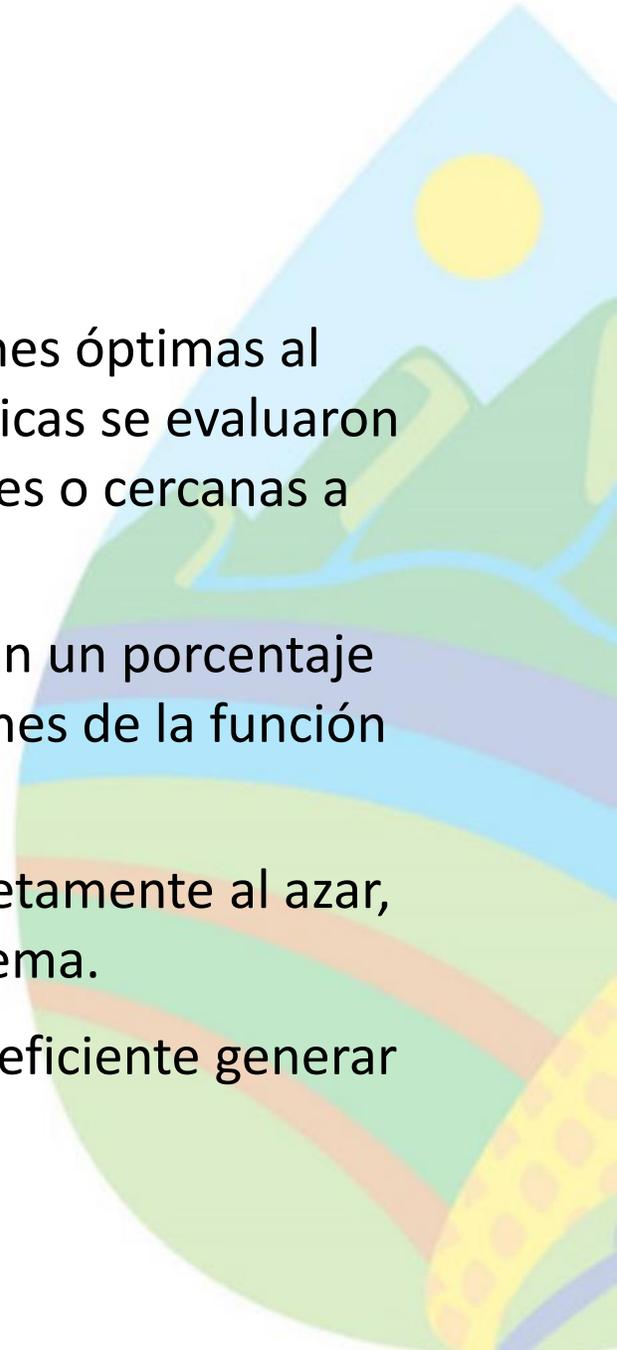
| Solución                      | Método                | Evaluaciones | Costo (Longitud, en m) |
|-------------------------------|-----------------------|--------------|------------------------|
| <b>Ángeles Montiel (2002)</b> | Programación Lineal   | No reportado | 2,212.00               |
| <b>Ponce Pacheco (2013)</b>   | Evolución Diferencial | 1,100,000*   | 1,946.04               |
| <b>Ponce Pacheco (2013)</b>   | Colonia de Abejas     | 1,100,000*   | 2,113.86               |
| <b>Este trabajo</b>           | Kruskal, Prim         | No aplica    | 1,946.04               |
| <b>Este trabajo</b>           | Algoritmos Genéticos  | 200,000      | 1,987.72               |
| <b>Este trabajo</b>           | Colonia de Hormigas   | 50           | 1,946.04               |

\*No se reporta el número de evaluaciones mínimas en las que se encuentra la solución.

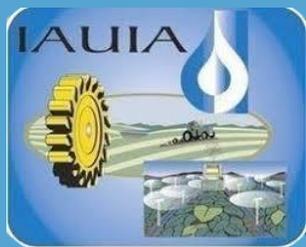


# Conclusiones

- Se desarrolló un programa en lenguaje Python<sup>®</sup> 2 para obtener soluciones óptimas al problema de trazo de redes de riego con ACO y GA. Ambas metaheurísticas se evaluaron con redes de prueba usadas de la literatura. Las soluciones fueron iguales o cercanas a las mejores reportadas.
- ACO tuvo un desempeño superior ya que las soluciones se obtuvieron en un porcentaje mayor de las ejecuciones, y requirió de un número menor de evaluaciones de la función objetivo.
- La aparente ventaja se podría deber a que GA genera soluciones completamente al azar, mientras que ACO toma en cuenta la información geométrica del problema.
- Lo anterior refuerza la hipótesis de que ACO es una técnica adecuada y eficiente generar soluciones subóptimas para problemas de grafos.



GRACIAS



Quinto  
Congreso Nacional  
de Riego y Drenaje  
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



AURPAES, S.C.  
Asociación Nacional de Ingenieros de Riego y Drenaje  
Productores Agrícolas del Estado de Sinaloa S.C.

## Contacto

Eduardo Jiménez Hernández

Posgrado en Ingeniería Agrícola y  
Uso Integral del Agua

[eduardo.jimenez.eng@gmail.com](mailto:eduardo.jimenez.eng@gmail.com)

