



# Algoritmos Bioinspirados

**Francisco Herrera**

Grupo de Investigación

“Soft Computing y Sistemas de Información Inteligentes”

Dpto. Ciencias de la Computación e I.A.

Universidad de Granada

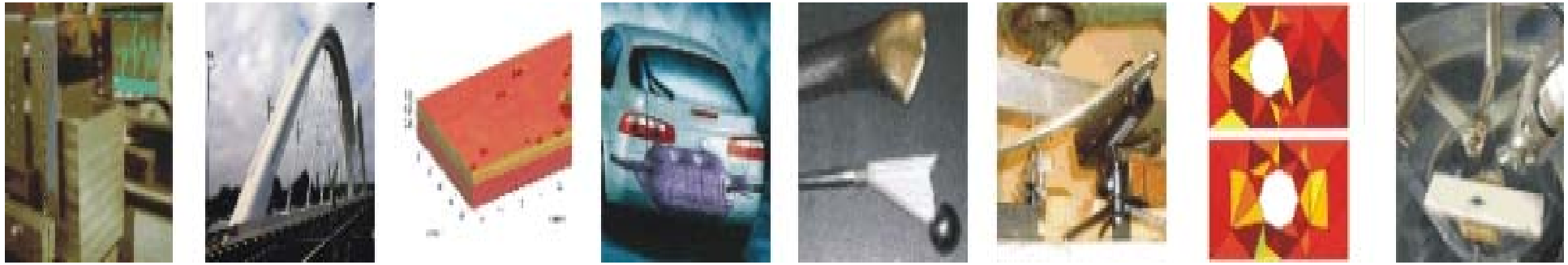
18071 – ESPAÑA

[herrera@decsai.ugr.es](mailto:herrera@decsai.ugr.es)

<http://sci2s.ugr.es>



**DECSAI**  
Universidad de Granada

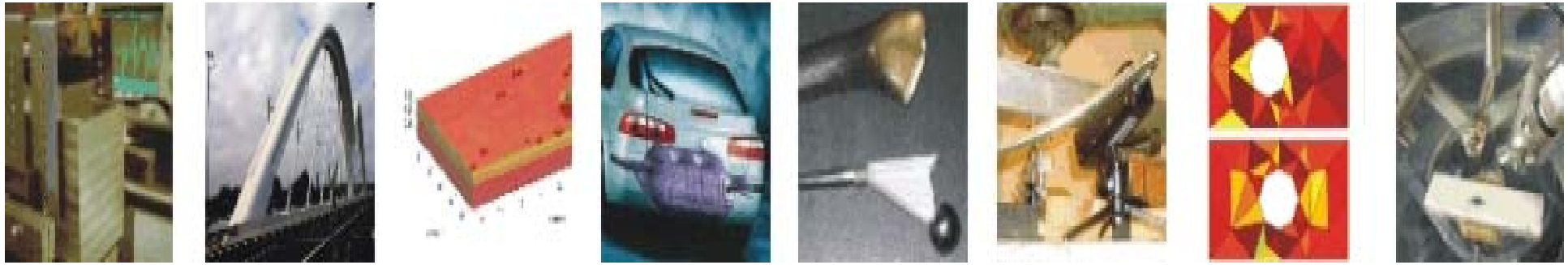


## Índice

**MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS**

**INTELIGENCIA DE ENJAMBRE**

**OPTIMIZACIÓN BASADA EN COLONIAS DE  
HORMIGAS**



# Índice

**MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS**

**INTELIGENCIA DE ENJAMBRE**

**OPTIMIZACIÓN BASADA EN COLONIAS DE  
HORMIGAS**

# MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS

---

- **La Computación Bioinspirada (bioinspired Algorithms/Natural Computing/biologically inspired computing)**
- se basa en emplear analogías con sistemas naturales o sociales para la resolución de problemas.
- Los **algoritmos bioinspirados** simulan el comportamiento de sistemas naturales para el diseño de métodos heurísticos no determinísticos de "búsqueda" /"aprendizaje" /"comportamiento", ...
- En la actualidad los "**Algoritmos Bioinspirados**" son uno de los campos más prometedores de investigación en el diseño de algoritmos.

# MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS

---

## CARACTERÍSTICAS DE LOS ALGORITMOS BIOINSPIRADOS

**Modelan (de forma aproximada) un fenómeno existente en la naturaleza.**

**Metáfora biológica.**

- **Son no determinísticos.**
- **A menudo presentan, implícitamente, una estructura paralela (múltiples agentes).**
- **Son adaptativos (utilizan realimentación con el entorno para modificar el modelo y los parámetros).**

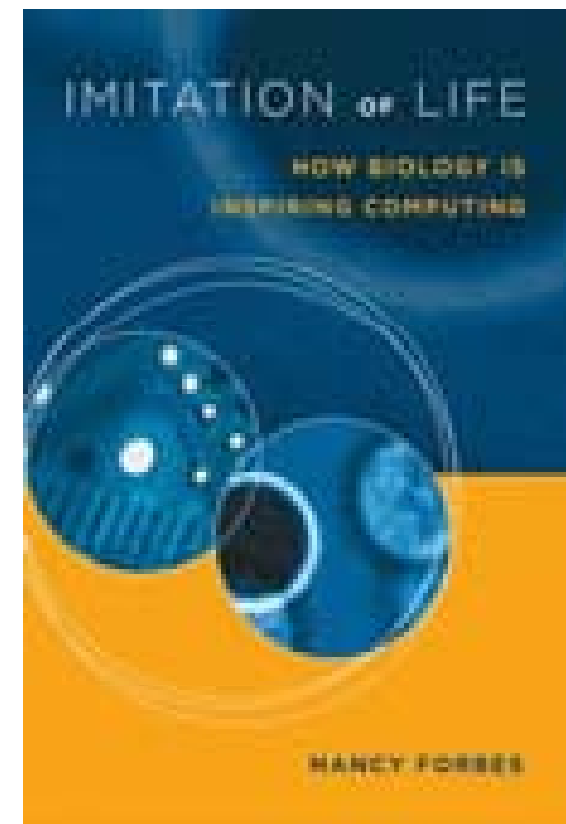
# MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS

## BIBLIOGRAFÍA

**Nancy Forbes**

**IMITATION OF LIFE. How Biology Is Inspiring Computing.  
The MIT, 2004**

	<b>Preface</b>	<b>ix</b>
<b>1</b>	<b>Artificial Neural Networks</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Evolutionary Algorithms</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Cellular Automata</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>Artificial Life</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>DNA Computation</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>Biomolecular Self-Assembly</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>Amorphous Computing</b>	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>Computer Immune Systems</b>	<b>97</b>
<b>9</b>	<b>Biologically Inspired Hardware</b>	<b>113</b>
<b>10</b>	<b>Biology through the Lens of Computer Science</b>	<b>139</b>
	<b>Epilogue</b>	<b>155</b>
	<b>Notes</b>	<b>159</b>
	<b>Index</b>	<b>163</b>



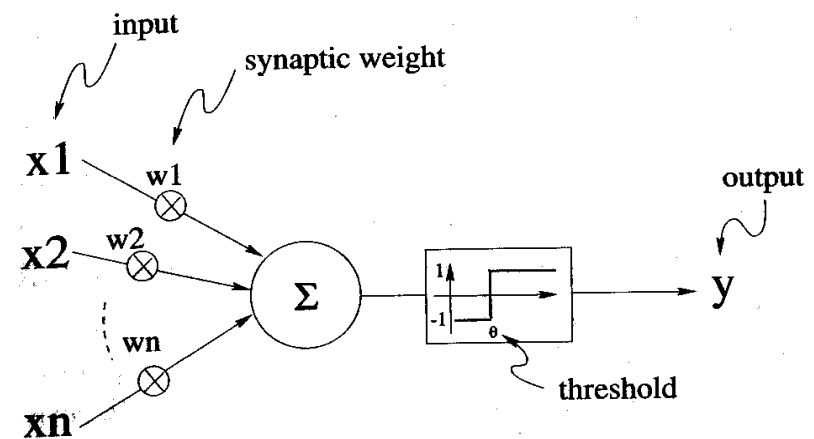
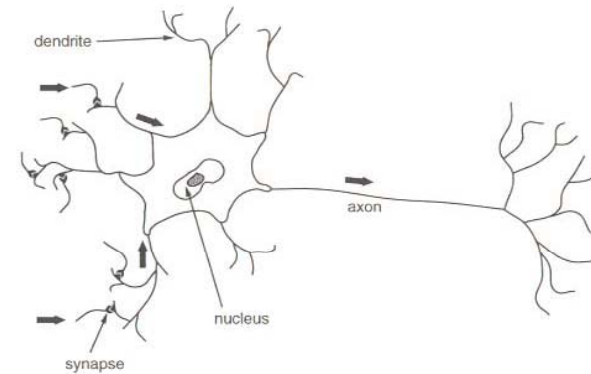
# MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS

## ALGUNOS MODELOS

### REDES NEURONALES

Basados en la simulación del comportamiento del Sistema Nervioso

Paradigma de Aprendizaje Automático



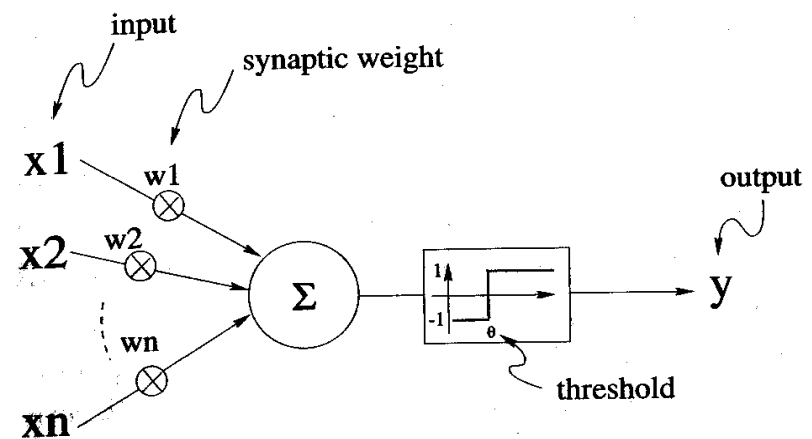
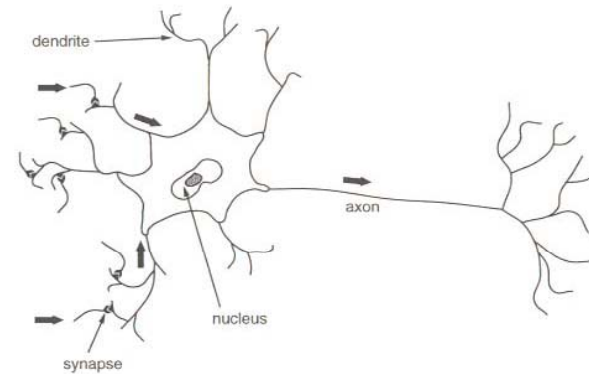
# MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS

## ALGUNOS MODELOS

### REDES NEURONALES

Basados en la simulación del comportamiento del Sistema Nervioso

Paradigma de Aprendizaje Automático





# MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS

---

## ALGUNOS MODELOS

### OPTIMIZACIÓN BASADA EN COLONIAS DE HORMIGAS

Basados en la simulación  
del comportamiento de  
las colonias de  
hormigas cuando  
recogen comida



<http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/ACO/ACO.html>



## Las Colonias de Hormigas Naturales



La OPTIMIZACIÓN BASADA EN COLONIAS DE HORMIGAS está basada en la simulación del comportamiento de las hormigas cuando recogen comida

Social insects, following simple, individual rules, accomplish complex colony activities through: flexibility, robustness and self-organization





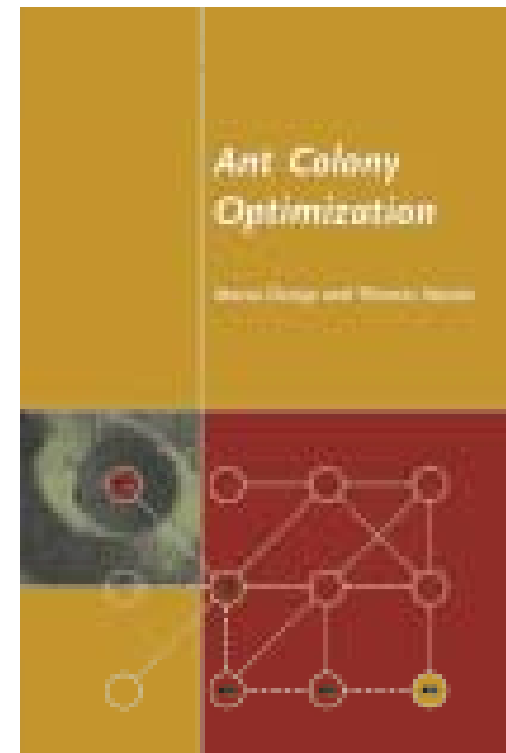
# BIBLIOGRAFÍA

## Las Colonias de Hormigas Naturales

E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz  
Swarm Intelligence. From Nature to  
Artificial Systems.  
Oxford University Press, 1999.



M. Dorigo, T. Stuetzle  
Ant Colony Optimization.  
MIT Press, 2004.





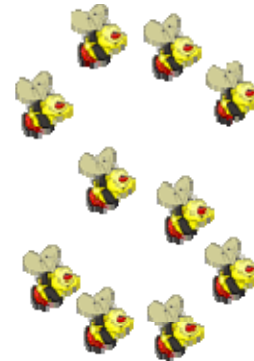
# MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS

---

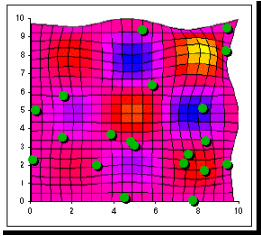
## ALGUNOS MODELOS

### PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

Es una técnica de optimización inspirada en el comportamiento social de bandadas de aves o peces.



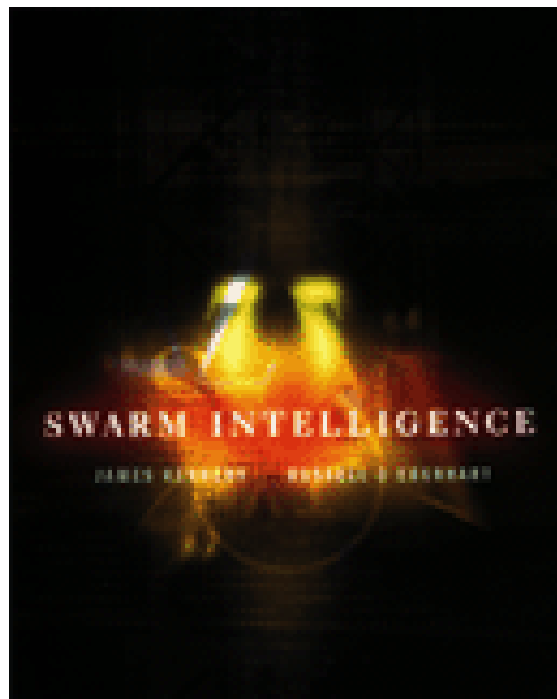
<http://www.swarmintelligence.org/>



# BIBLIOGRAFÍA

## Particle Swarm Optimization (PSO)

Kennedy, J., Eberhart, R. C., and Shi, Y.,  
*Swarm intelligence*  
San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.



# MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS

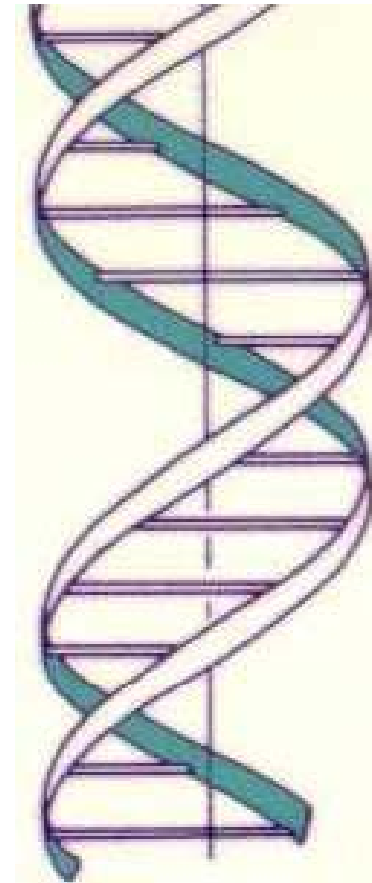
---

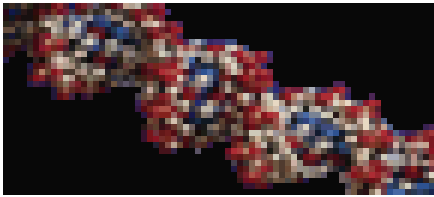
## ALGUNOS MODELOS

### ALGORITMOS EVOLUTIVOS

Basados en los principios  
Darwinianos de  
Evolución Natural

<http://www.aic.nrl.navy.mil/galist/>

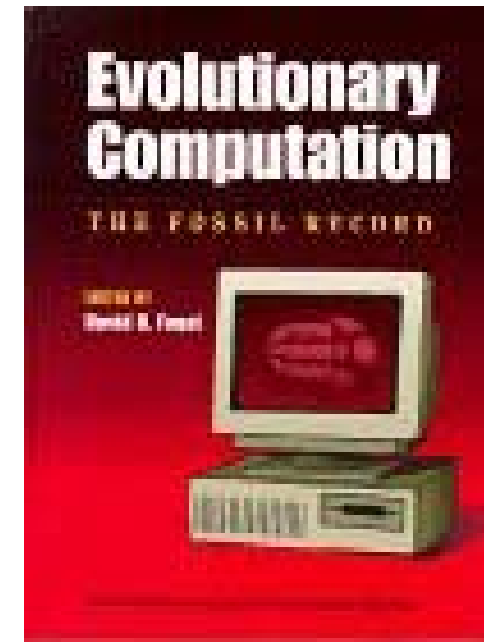
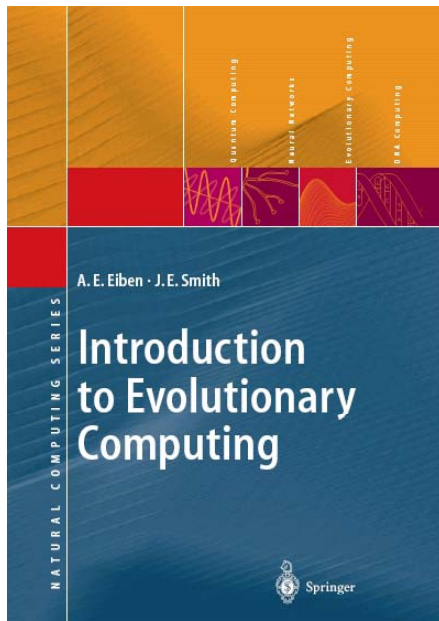




# BIBLIOGRAFÍA

## Algoritmos Evolutivos

A.E. Eiben, J.E. Smith  
Introduction to Evolutionary  
Computation.  
Springer Verlag 2003.  
(Natural Computing Series)



D.B. Fogel (Ed.)  
Evolutionary Computation. The Fossil Record.  
(Selected Readings on the  
History of Evolutionary Computation).  
IEEE Press, 1998.

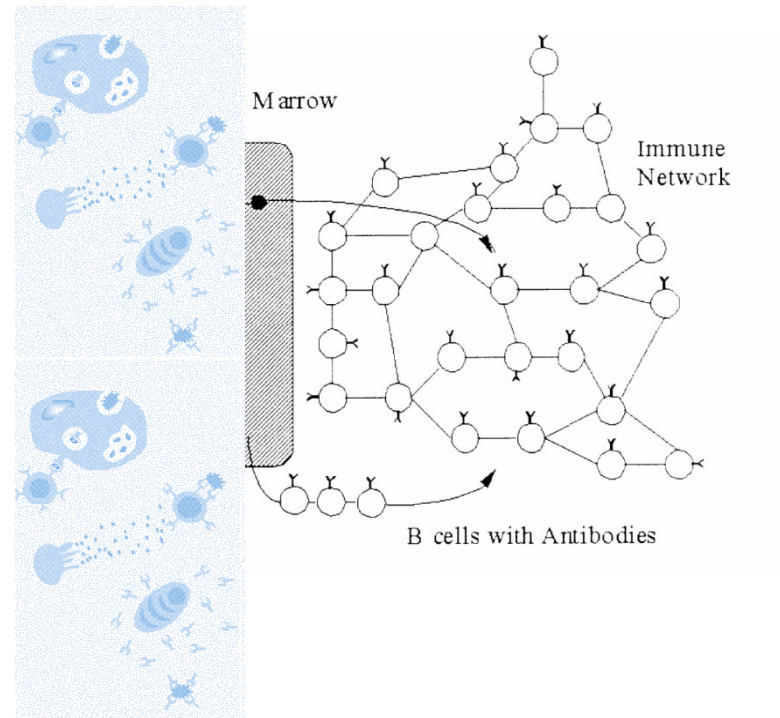
# MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS

---

## ALGUNOS MODELOS

## ALGORITMOS INMUNOLÓGICOS

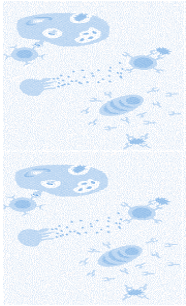
Basados en la simulación  
del comportamiento del  
sistema inmunológico



<http://ais.cs.memphis.edu/>

<http://www.artificial-immune-systems.org/>



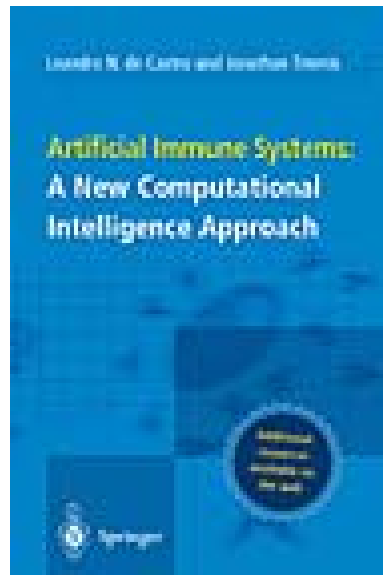


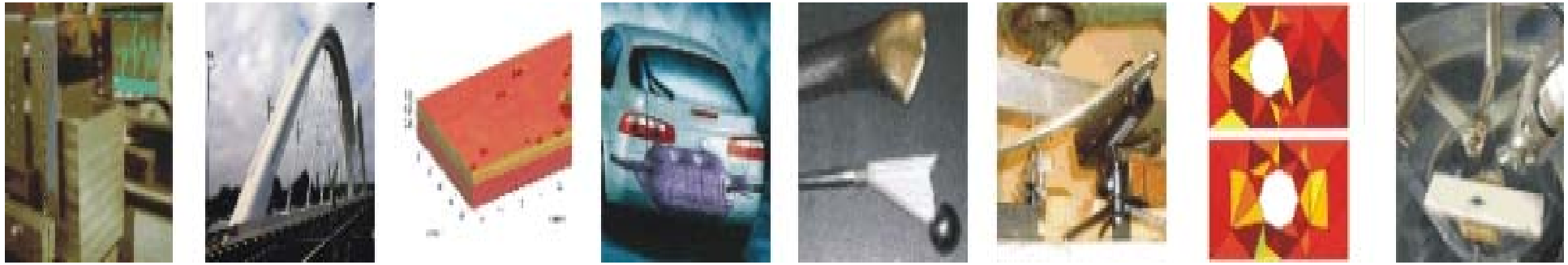
# BIBLIOGRAFÍA

## Sistemas Inmune Artificiales

Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach  
Castro, Leandro Nunes de,  
Timmis, Jonathan  
2002, Springer.

Immunity-Based Systems  
A Design Perspective  
Ishida, Yoshiteru  
2004, Springer.





## Índice

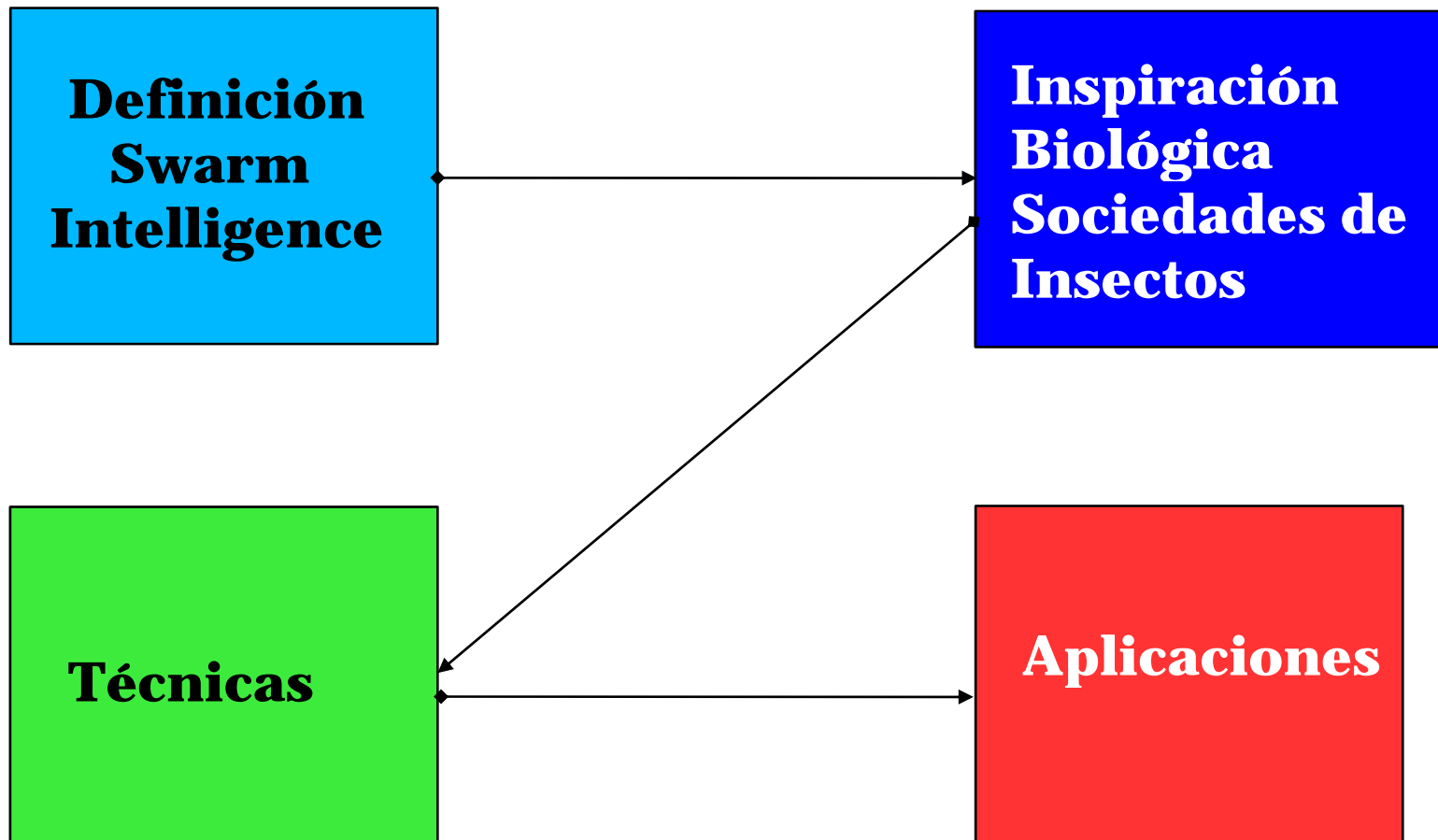
**MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS**

**INTELIGENCIA DE ENJAMBRE**

**OPTIMIZACIÓN BASADA EN COLONIAS DE  
HORMIGAS**

# Sumario

---



# Introducción: Swarm Intelligence

---

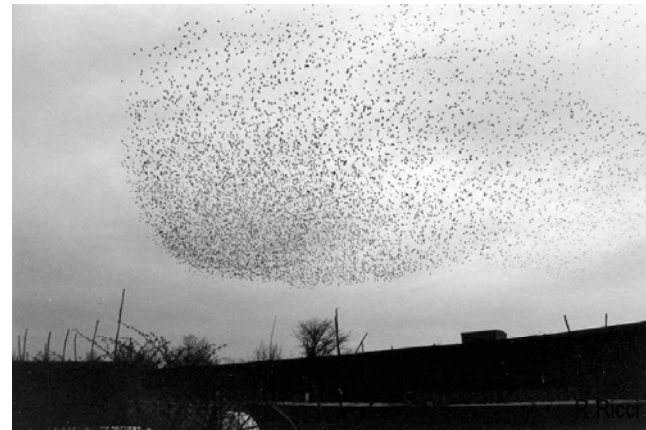
“La inteligencia colectiva emergente de un grupo de agentes simples”

“The emergent collective intelligence of groups of simple agents”

“Algoritmos o mecanismos distribuidos de resolución de problemas inspirados en el comportamiento colectivo de colonias de insectos sociales u otras sociedades de animales”.

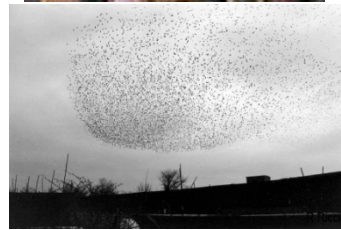
(Bonabeau, Dorigo, Theraulaz, 1999)

E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz  
Swarm Intelligence. From Nature to  
Artificial Systems.  
Oxford University Press, 1999.



# Introduction: Swarm Intelligence

Inspiración Biológica



**sociedades de insectos**  
(bees, wasps, ants, termites)  
(abejas, avisvas, hormigas, termitas)



**flocks of birds**  
(bandadas de aves)



**schools of fish**  
(bancos de peces)



**herds of mammals**  
(manadas de mamíferos) 21



# De las Sociedades de Insectos a los Sistemas Inteligentes de Enjambre

---

## Abejas



- Cooperación de la colmena
- Regulan la temperatura de la colmena
- Eficiencia vía especialización: división de la labor en la colonia
- Comunicación: Las fuentes de comida son explotadas de acuerdo a la calidad y distancia desde la colmena

# De las Sociedades de Insectos a los Sistemas Inteligentes de Enjambre

---

## Termitas

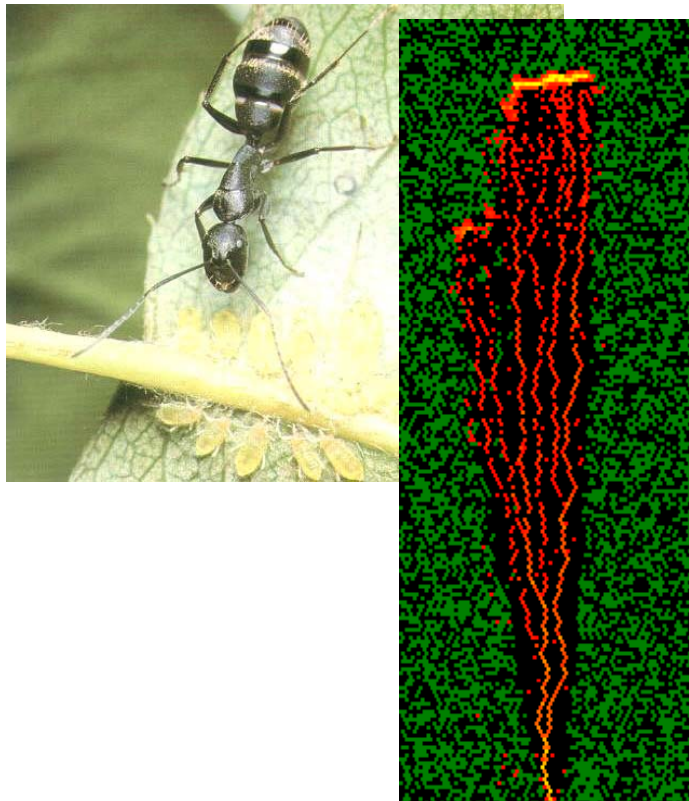


- Nido con forma de cono con paredes externas y conductos de ventilación
- Camaras de camadas en el centro de la colmena
- Rejillas del ventilación en espirales
- Columnas de soporte

# De las Sociedades de Insectos a los Sistemas Inteligentes de Enjambre

---

## Hormigas



- Organizan autopistas “hacia y desde” la comida por medio de rastros de feromona (pheromone)



# De las Sociedades de Insectos a los Sistemas Inteligentes de Enjambre

---

## Sociedades de Insectos/Tipos de interacción entre Insectos Sociales

- Sistemas de toma de decisión colectiva
- Comunicación directa/interacción directa
  - Comida/intercambio de líquidos, contacto visual, contacto químico (pheromones)
- Comunicación indirecta/interacción indirecta (Stigmergy)
  - El comportamiento individual modifica el entorno, el cual a su vez modifica el comportamiento de otros individuos

⇒ **sociedades auto-organizadas**

# De las Sociedades de Insectos a los Sistemas Inteligentes de Enjambre

---

## Características de un Enjambre

- Compuesto de agentes *simples* (Self-Organized)
- Descentralizado
  - No hay un único supervisor
- No hay un plan global (emergente)
- Robusto
  - Las actuaciones se completan aunque un individuo falle
- Flexible
  - Puede responder a cambios externos
  - Percepción del entorno (sentidos)
  - No existe un modelo explícito de entorno/abilidad para cambiarlo

# De las Sociedades de Insectos a los Sistemas Inteligentes de Enjambre

---

## Resumen

- La complejidad y sofisticación de la auto-organización se lleva a cabo sin un líder/jefe de la sociedad
- Lo que podemos aprender de los insectos sociales lo podemos aplicar al campo del diseño de Sistemas Inteligentes
- La modelización de los insectos sociales por medio de la auto-organización puede ser de ayuda para el diseño de modelos artificiales distribuidos de resolución de problemas. Esto es conocido como:

**Swarm Intelligent Systems.**

# Swarm Intelligence: Técnicas

---

- ¿Cómo puede ser coordinado el esfuerzo individual para alcanzar una tema común?

## Swarm Inspired Methods

- **particle swarm optimization – PSO**

**Optimización basada en nubes de partículas**

- Conjunto de técnicas inspiradas en el comportamiento de las bandadas de aves o bancos de peces

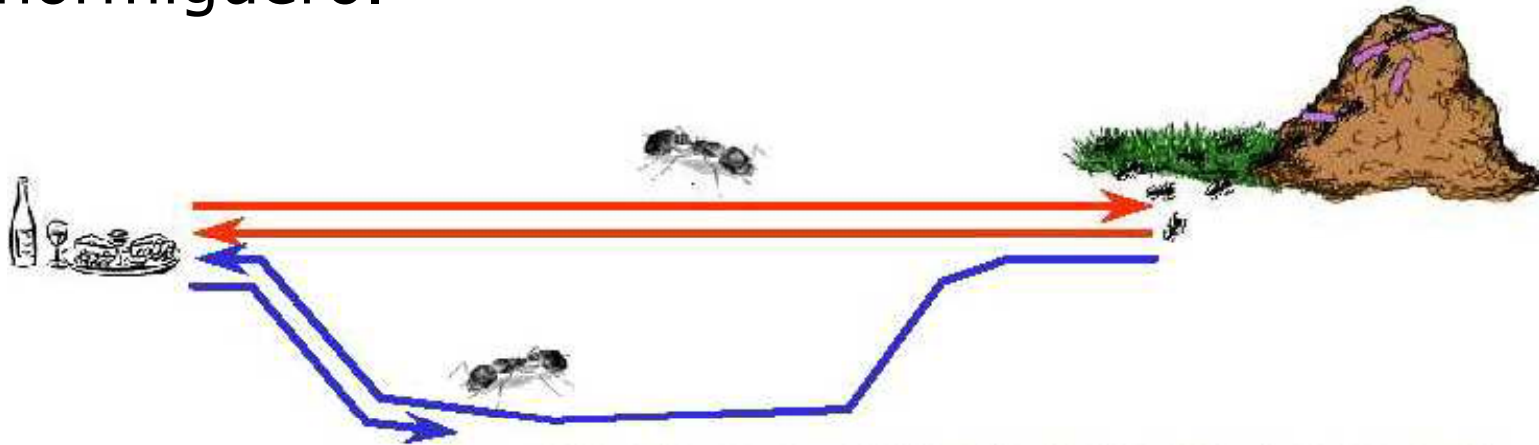
- **ant colony optimization – ACO**

**Optimización basada en colonias de hormigas**

- Conjunto de técnicas inspiradas por las actividades de una colonia de hormigas

# Ant Colony Optimization

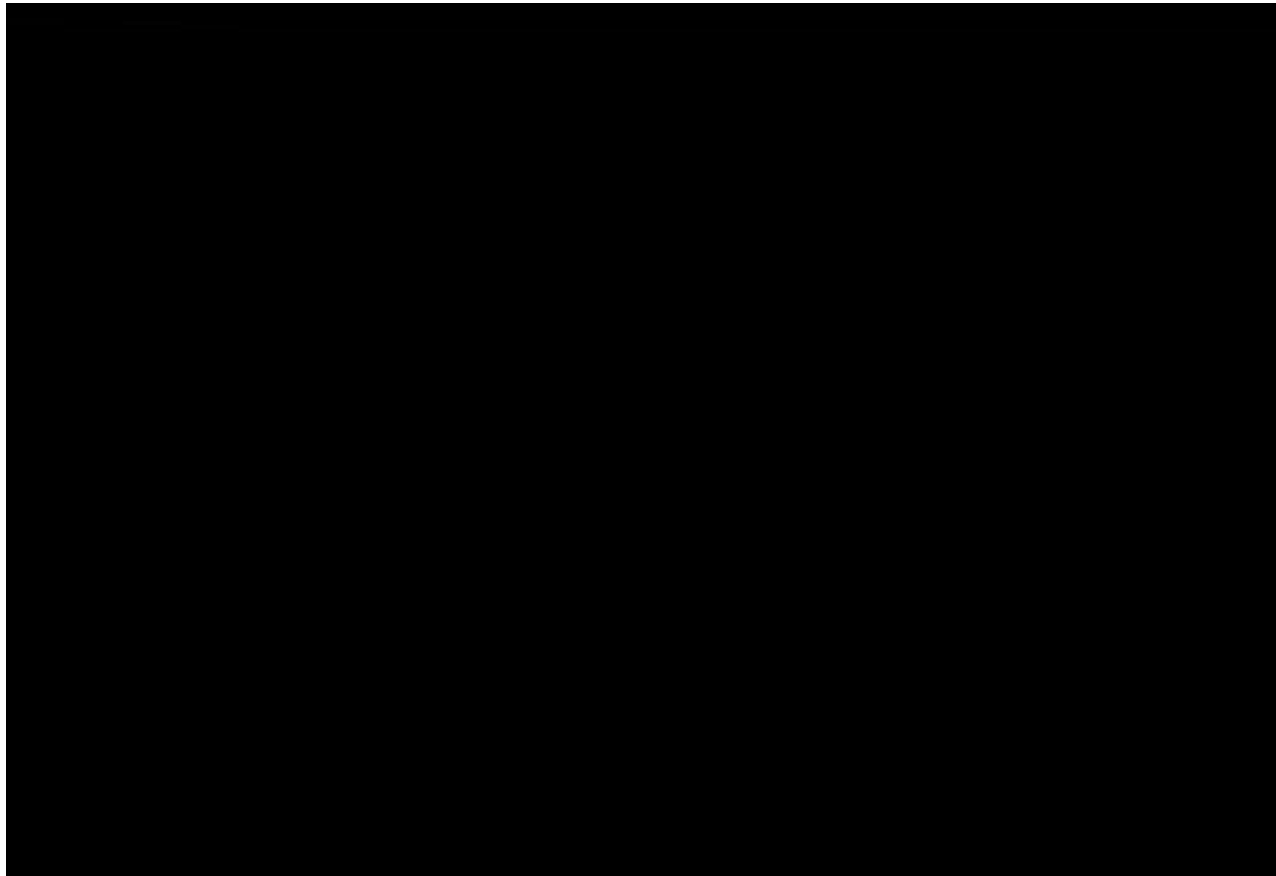
- La analogía más cercana a ACO son los problemas de rutas en grafos
- Mientras las hormigas buscan comida, depositan rastros de feromona que atraen a otras hormigas. Desarrollan caminos mínimos entre la comida y el hormiguero.



# Ant Colony Optimization

---

**Experimento con Hormigas reales. Como encuentran el camino mínimo (159 segundos)**

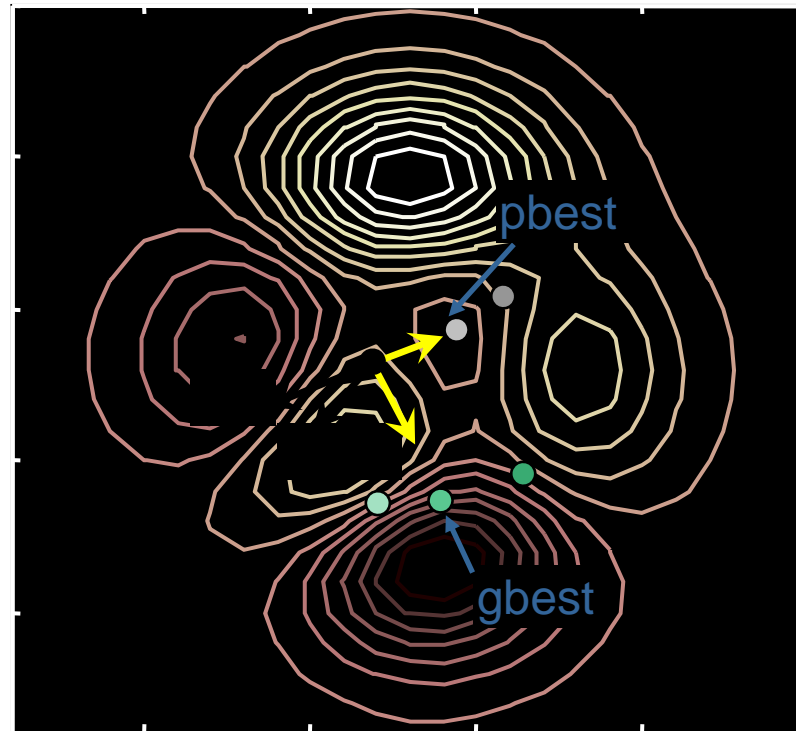


# Particle Swarm Optimization

---

Particle Swarm Optimization (PSO) aplica conceptos de interacción social a la resolución de problemas de búsqueda/optimización.

En PSO, un enjambre de  $n$  individuos se comunica directa o indirectamente con otros vía las direcciones de búsqueda.



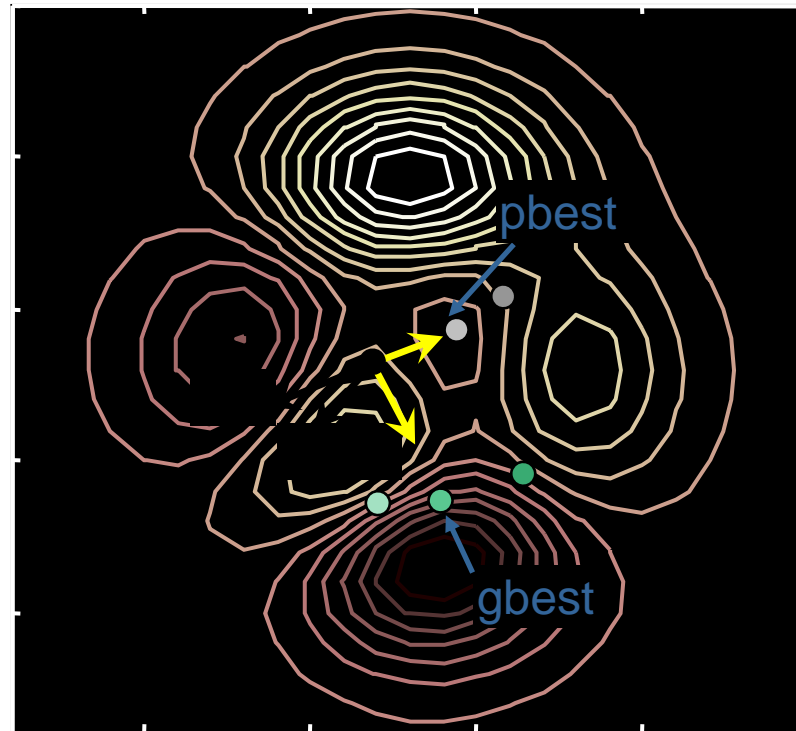
# Particle Swarm Optimization

---

Las Partículas pueden ser simples agentes que vuelan a través del espacio de búsqueda y almacenan (y posiblemente comunican) la mejor solución que han descubierto.

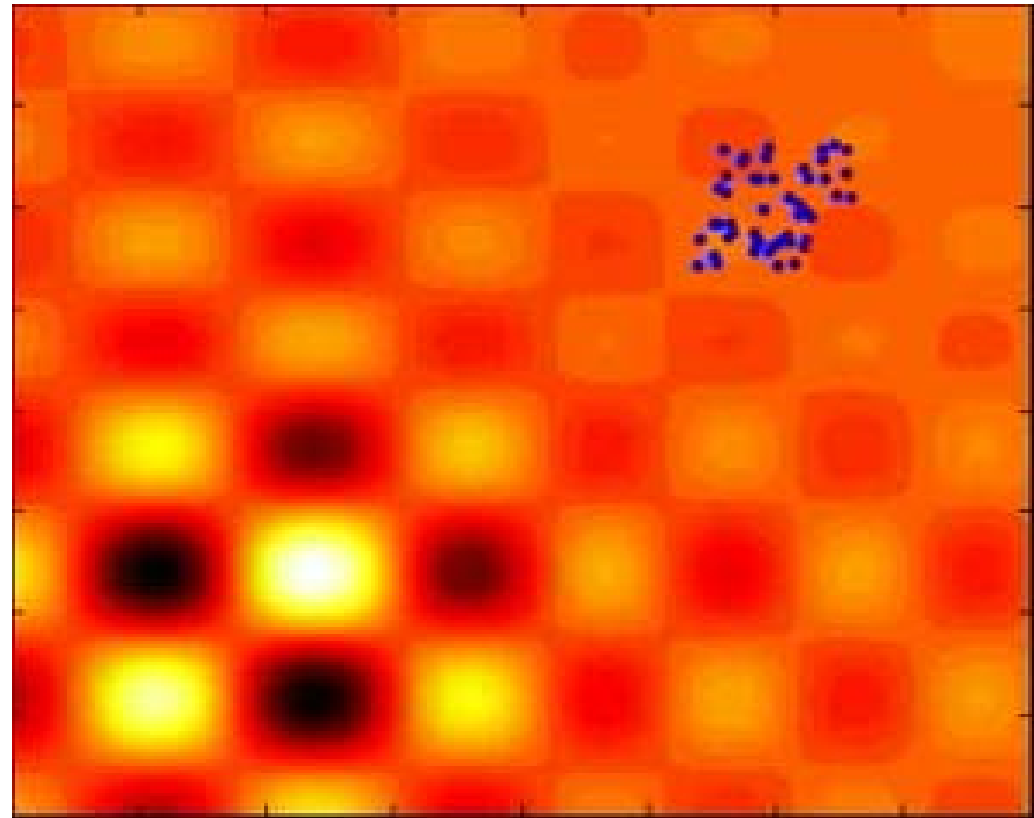
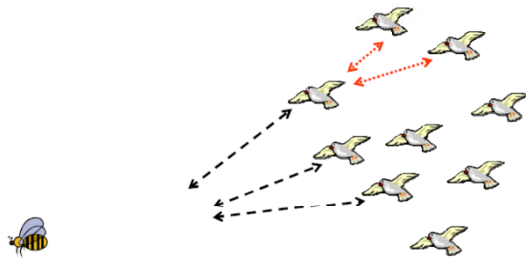
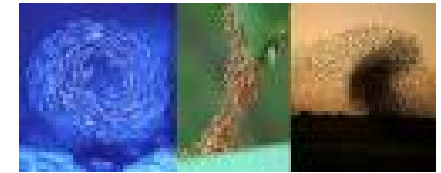
En PSO, las partículas nunca mueren.

La pregunta es, “¿Cómo se mueve una partícula desde una localización a otro del espacio de búsqueda?”

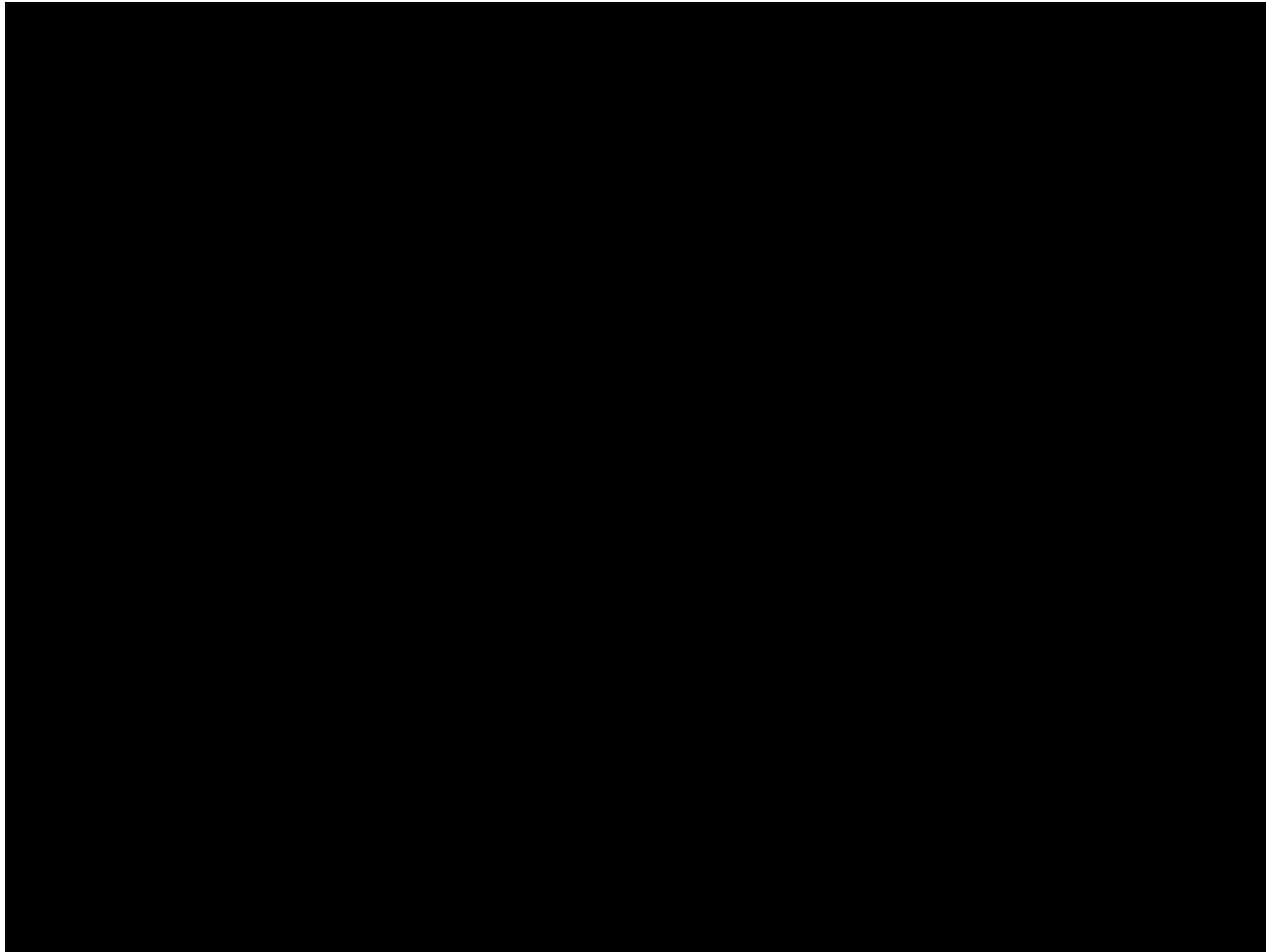
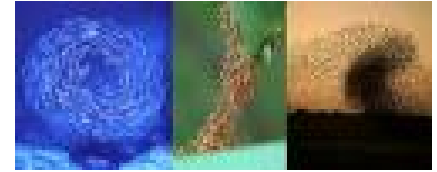




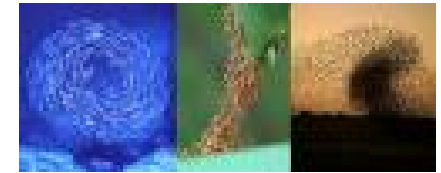
# Particle Swarm Optimization



# Particle Swarm Optimization



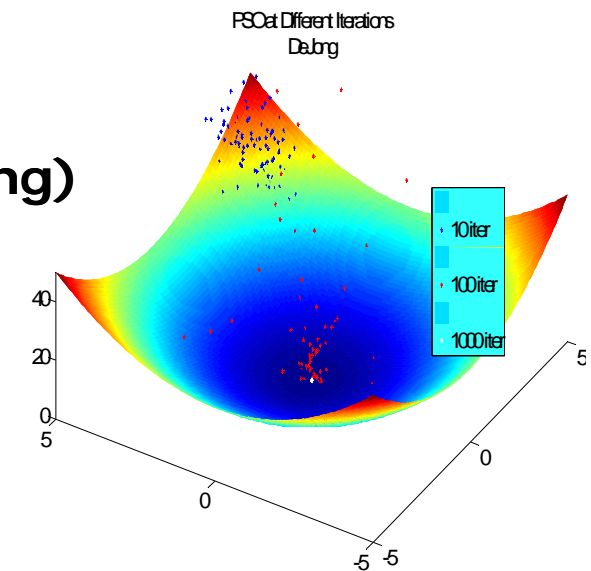
# Particle Swarm Optimization



- ▶ Kennedy and Eberhart, 1995
- ▶ Particles fly through the search space
- ▶ Velocity dynamically adjusted
- ▶  $x_i = x_i + v_i$
- ▶  $v_i = v_i + c_1 \text{rnd}() (p_{i,\text{best}} - x_i) + c_2 \text{rnd}() (p_g - x_i)$
- ▶  $p_i$ : best position of  $i$ -th particle
- ▶  $p_g$ : position of best particle so far
  - ▶ 1<sup>st</sup> term: momentum part (history)
  - ▶ 2<sup>nd</sup> term: cognitive part (private thinking)
  - ▶ 3<sup>rd</sup> term: social part (collaboration)

$c_1, c_2$  in  $[0, 2]$

Vector-Wise  
Recombination

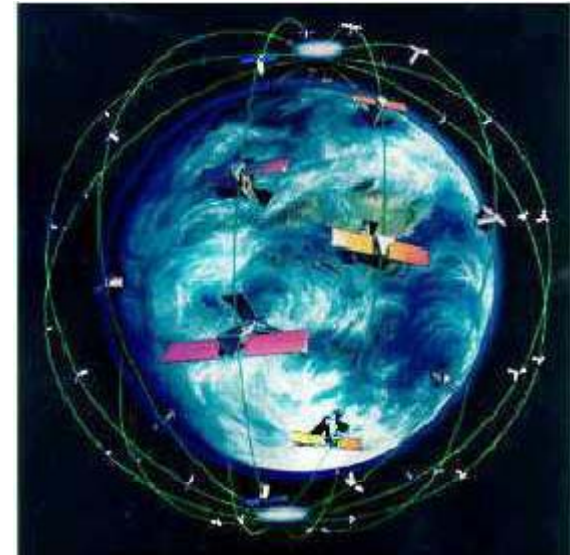


# SI: Algunas Aplicaciones

---

## ACO Búsqueda de Rutas para una Red de Satélites

- di Caro, Dorigo, y otros autores mostraron que ACO da buenos resultados en la búsqueda de rutas en grandes sistemas de telecomunicaciones y redes de ordenadores.



# SI: Algunas Aplicaciones

---

## WEB CLUSTERING

### ¿Por qué?

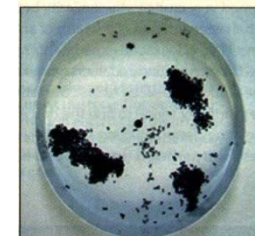
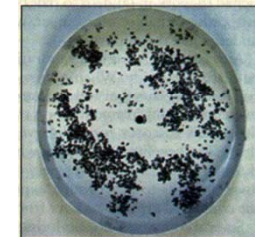
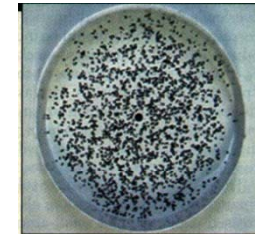
El tamaño de internet se duplica cada año.

La organización y catalogación de documentos no es una tarea escalable con el crecimiento de internet.

### ¿Clustering de documentos?

Es la operación de agrupar documentos similares en clases que pueden ser usadas para obtener un análisis de su contenido.

Algoritmos de Clustering basados en ACO catalogan documentos de la WEB en diferentes dominios de interés.



# SI: Algunas Aplicaciones

---

**ACO:** Resuelven problemas que se pueden representar como rutas/caminos entre nodos de un grafo.

**PSO:** Resuelven problemas de optimización de parámetros.



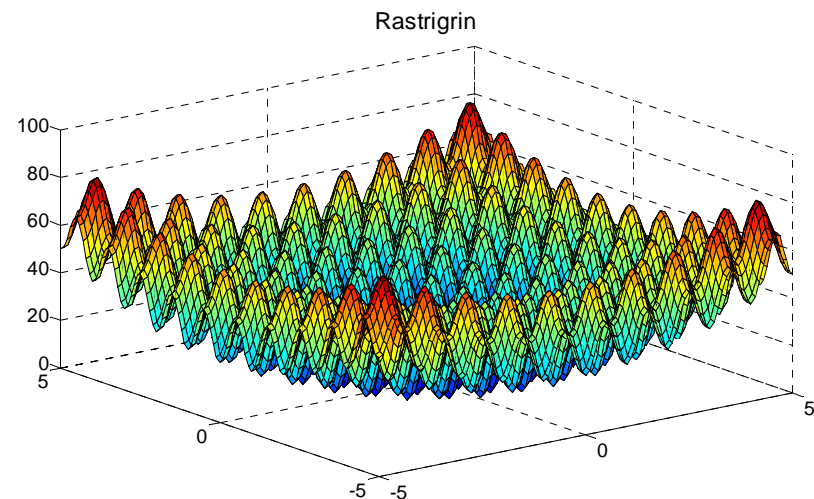
# SI: Algunas Aplicaciones. Optimización parámetros (algoritmos genéticos, PSO, ...)

We focus our attention on the problem of finding the global optimum of a function that is characterized by:

**multiple minima**  
**non-differentiable**  
**non-linear**

$$f(X_i) = D \cdot 10 + \sum_{j=1}^D [x_{ij}^2 - 10 \cdot \cos(2\pi x_{ij})]$$

it has many local minima  
and highly multimodal.



# SI: Algunas Aplicaciones

Computers and Structures 89 (2011) 2169–2175



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Computers and Structures

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/compstruc](http://www.elsevier.com/locate/compstruc)



On the application of bees algorithm to the problem of crack detection of beam-type structures

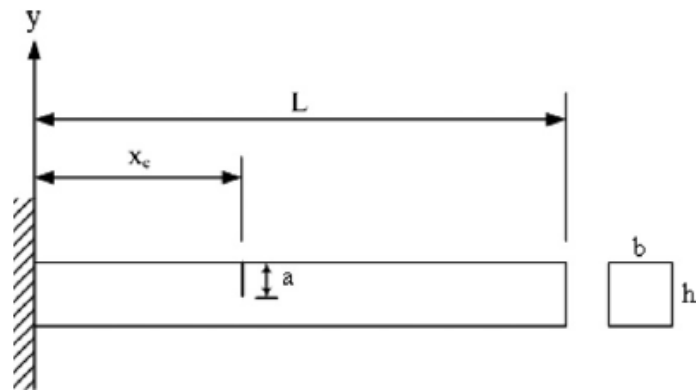


Fig. 1. Geometry of cracked cantilever beam.

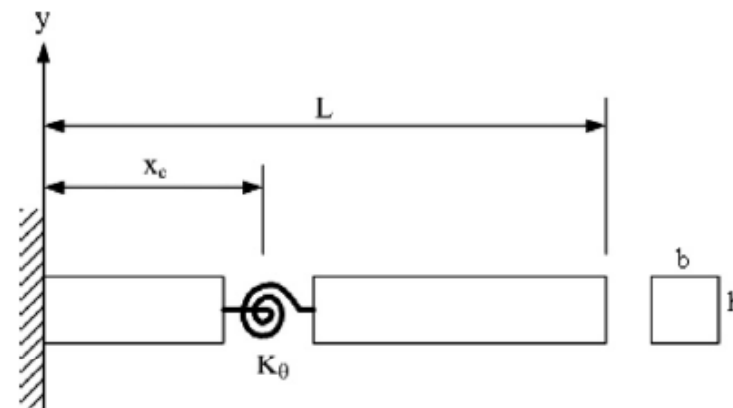


Fig. 2. The torsional spring model for a cracked beam.



# SI: Algunas Aplicaciones

---

A Parallel Ant Colony Algorithm for Bus Network Optimization

Zhongzhen Yang, Bin Yu, Chuntian Cheng

Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 2007 22:1 44

---

Optimal Design of Scissor-Link Foldable Structures Using Ant Colony Optimization Algorithm

A. Kaveh, S. Shojaee

Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 2007 22:1 56

---

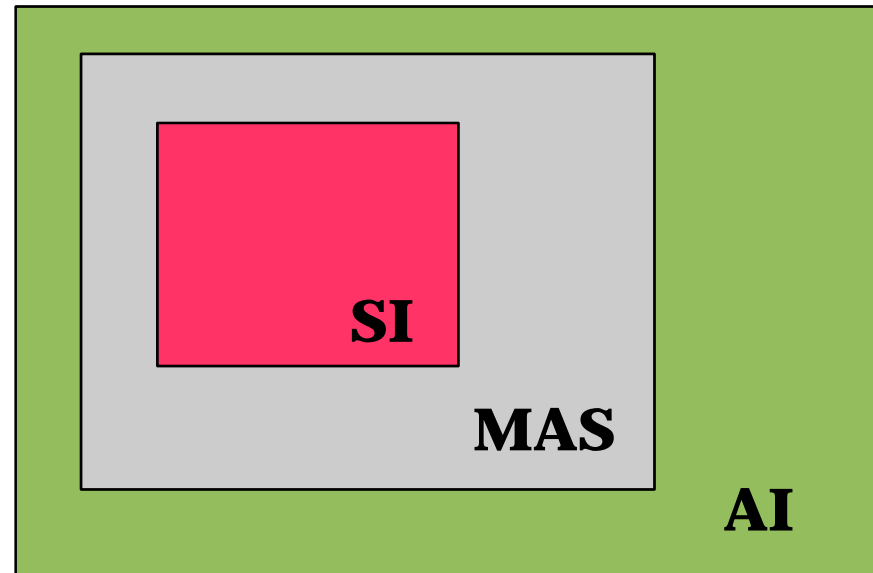
Multimode Project Scheduling Based on Particle Swarm Optimization

Hong Zhang, C. M. Tam, Heng Li

Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 2006 21:2 93

# Conclusiones

---



- AI** - Artificial Intelligence
- MAS** - Multi Agent Systems
- SI** - Swarm Intelligence

**Una definición de contexto de Swarm Intelligence en el ámbito de la Inteligencia Artificial**

# Conclusiones

---

**Swarm Intelligence (SI)** es la propiedad de un sistema por la cual el comportamiento colectivo de agentes (no sofisticados) interactúa localmente con el entorno proporcionando un patrón global de funcionamiento coherente como “emergente”.

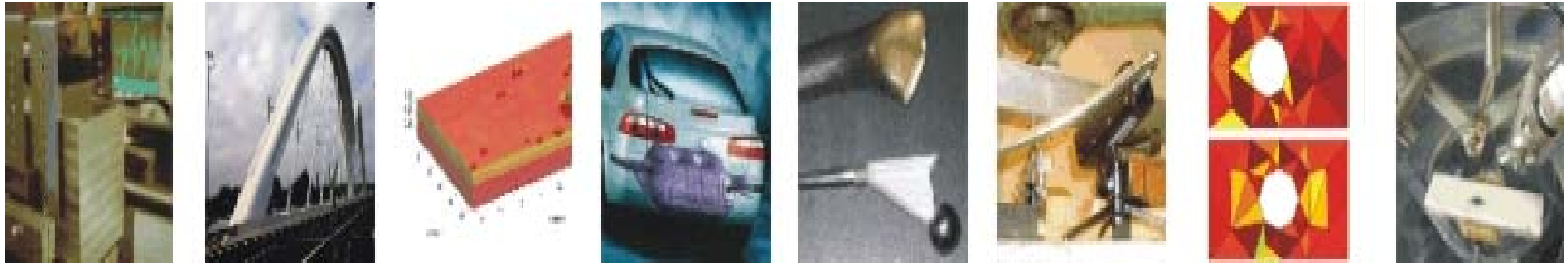
**SI** proporciona una base con la cual es posible explorar la resolución de problemas colectivamente (o de forma distribuida) sin un control centralizado ni un modelo global de comportamiento.

# Conclusiones

---

*“Dumb parts, properly connected into a swarm, yield smart results”.*

*“Partes tontas/mudas, conectadas adecuadamente en un enjambre, producen resultados elegantes/inteligentes”.*

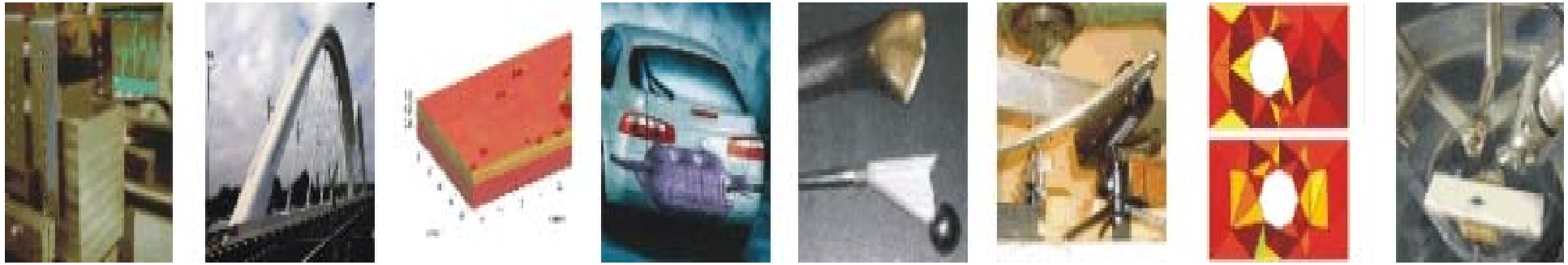


## Índice

**MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS**

**INTELIGENCIA DE ENJAMBRE**

**OPTIMIZACIÓN BASADA EN COLONIAS DE  
HORMIGAS**



# Índice

## MODELOS DE COMPUTACIÓN BIOINSPIRADOS

### INTELIGENCIA DE ENJAMBRE

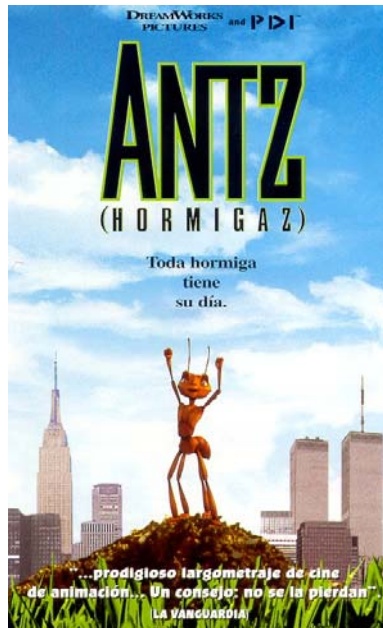
### OPTIMIZACIÓN BASADA EN COLONIAS DE HORMIGAS

1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES
2. ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN BASADOS EN COLONIAS DE HORMIGAS

# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES

---

- Las hormigas son insectos sociales que viven en colonias y que tienen un comportamiento dirigido al desarrollo de la colonia como un todo mas que a un desarrollo individual



“Antz (Hormiga Z)”

© DreamWorks Pictures. 1998

Recordad...

¡SED LA BOLA!

# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (2)

---

- Una característica interesante del comportamiento de las colonias de hormigas es cómo pueden encontrar los caminos más cortos entre el hormiguero y la comida
- Sobre todo porque... ¡¡LAS HORMIGAS SON CIEGAS!!

Entonces...

¿Cómo lo hacen?





# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (3)

---

- En su recorrido, depositan una sustancia llamada feromona que todas pueden oler (*estimergia*)
- Este rastro permite a las hormigas volver a su hormiguero desde la comida

“Bichos. Una aventura en miniatura”

© Disney-Pixar. 1999

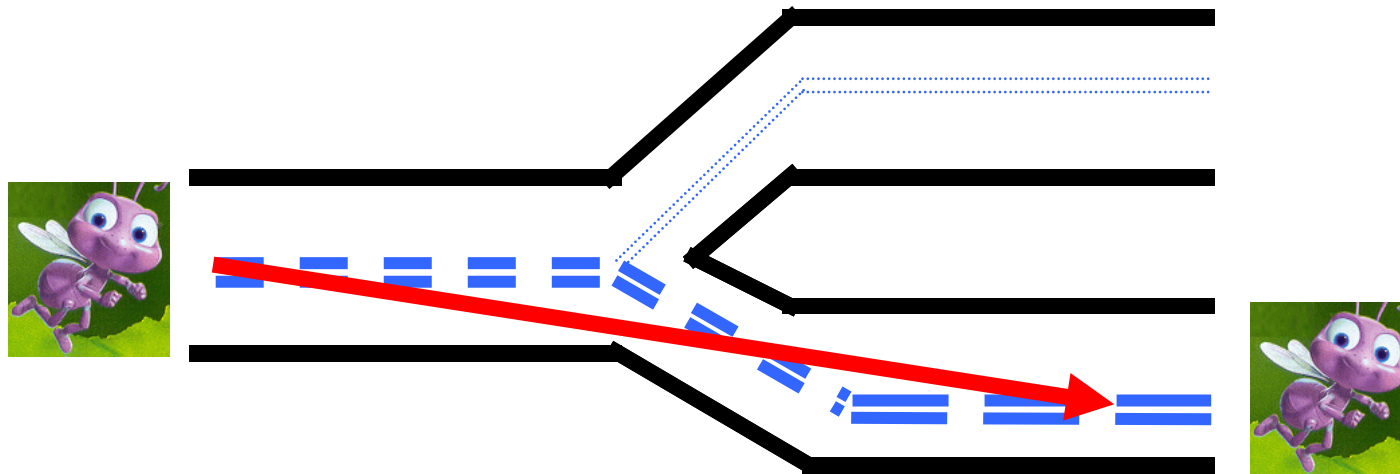
¡He perdido el rastro,  
he perdido el rastro!



# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (4)

---

- Cada vez que una hormiga llega a una intersección, decide el camino a seguir de un modo probabilístico



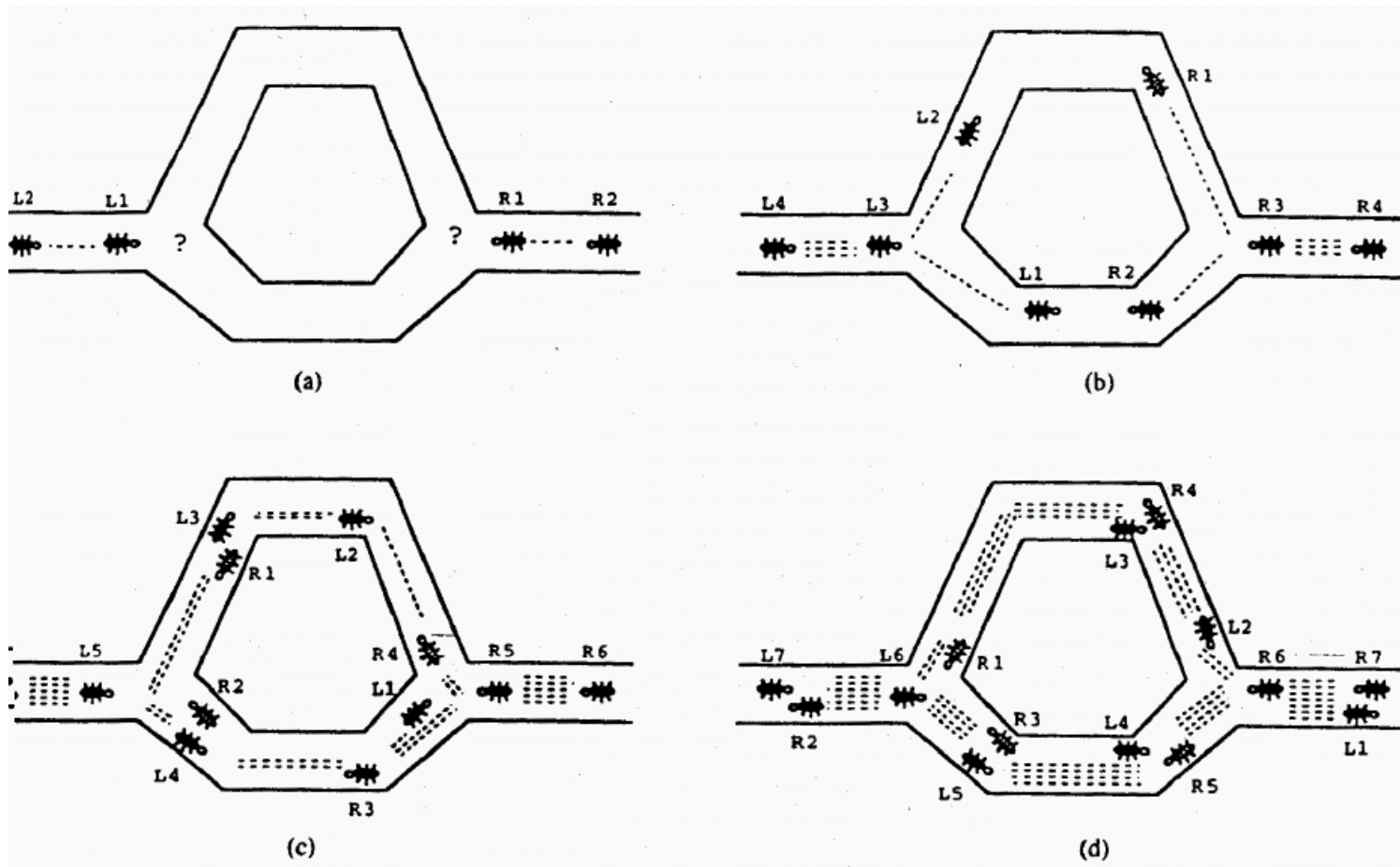
- Las hormigas eligen con mayor probabilidad los caminos con un alto rastro de feromona

# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (5)

---

- Las bifurcaciones más prometedoras (más cercanas a la comida) van acumulando feromona al ser recorridas por más hormigas (*reclutamiento de masas*)
- Las menos prometedoras pierden feromona por evaporación al ser visitadas por menos hormigas cada vez. Aún así, la gran perduración de los rastros hace que la evaporación influya poco
- La acción continuada de la colonia da lugar a un rastro de feromona que permite a las hormigas encontrar un camino cada vez más corto desde el hormiguero a la comida

# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (6)



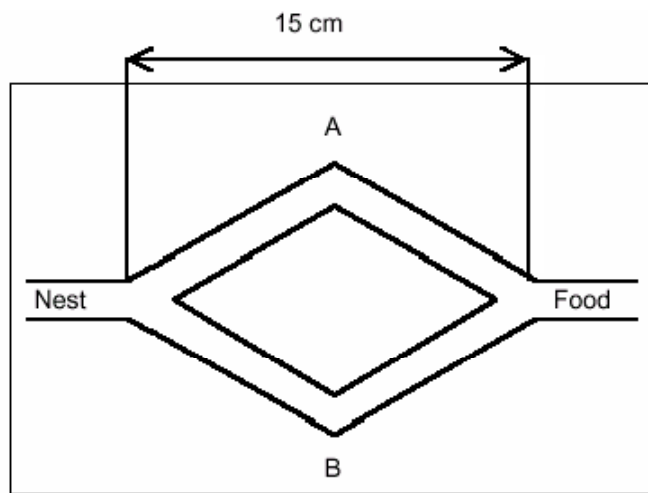
# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (7)

---

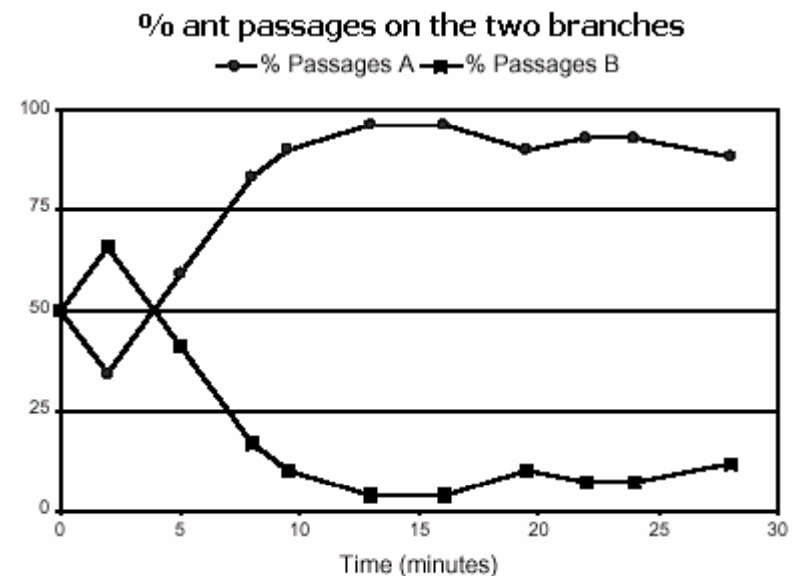
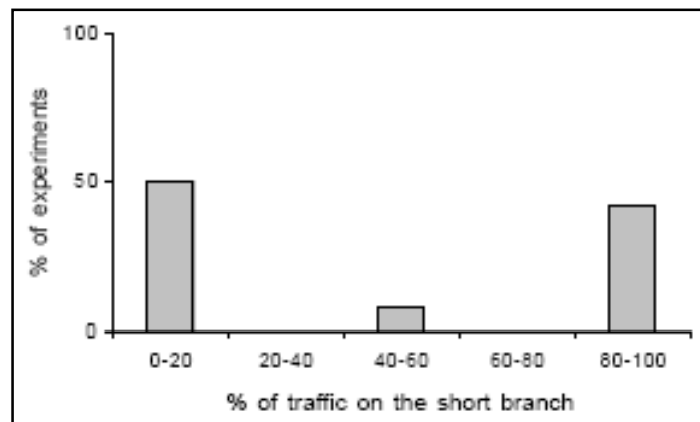
## EXPERIMENTOS DEL DOBLE PUENTE

- Deneubourg realizó un experimento de laboratorio con un tipo concreto de hormigas que depositan feromona al ir del hormiguero a la comida y al volver
- Usaron dos tipos de circuitos (**puentes**). En el primero, las dos ramas del puente tenían la misma longitud. En el segundo, una rama era el doble de larga que la otra
- Después, unieron dos puentes cruzados del segundo tipo

# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (8)

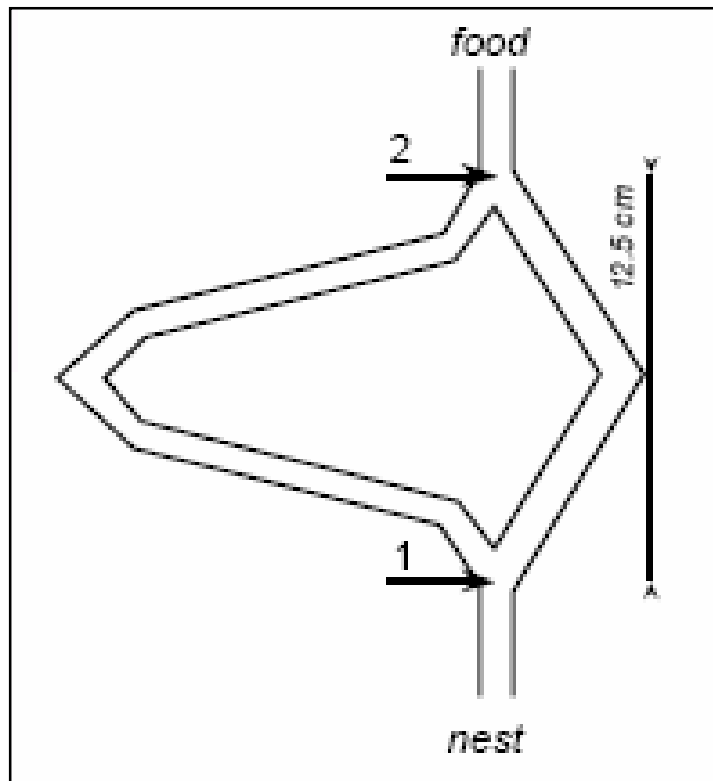


- En el primer puente, las hormigas terminaban por converger a una sola rama (cualquiera de las dos)

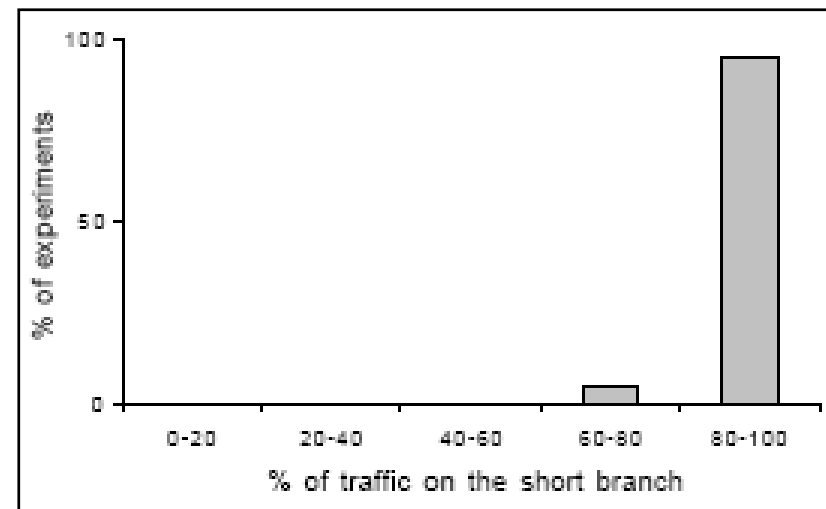


# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (9)

---

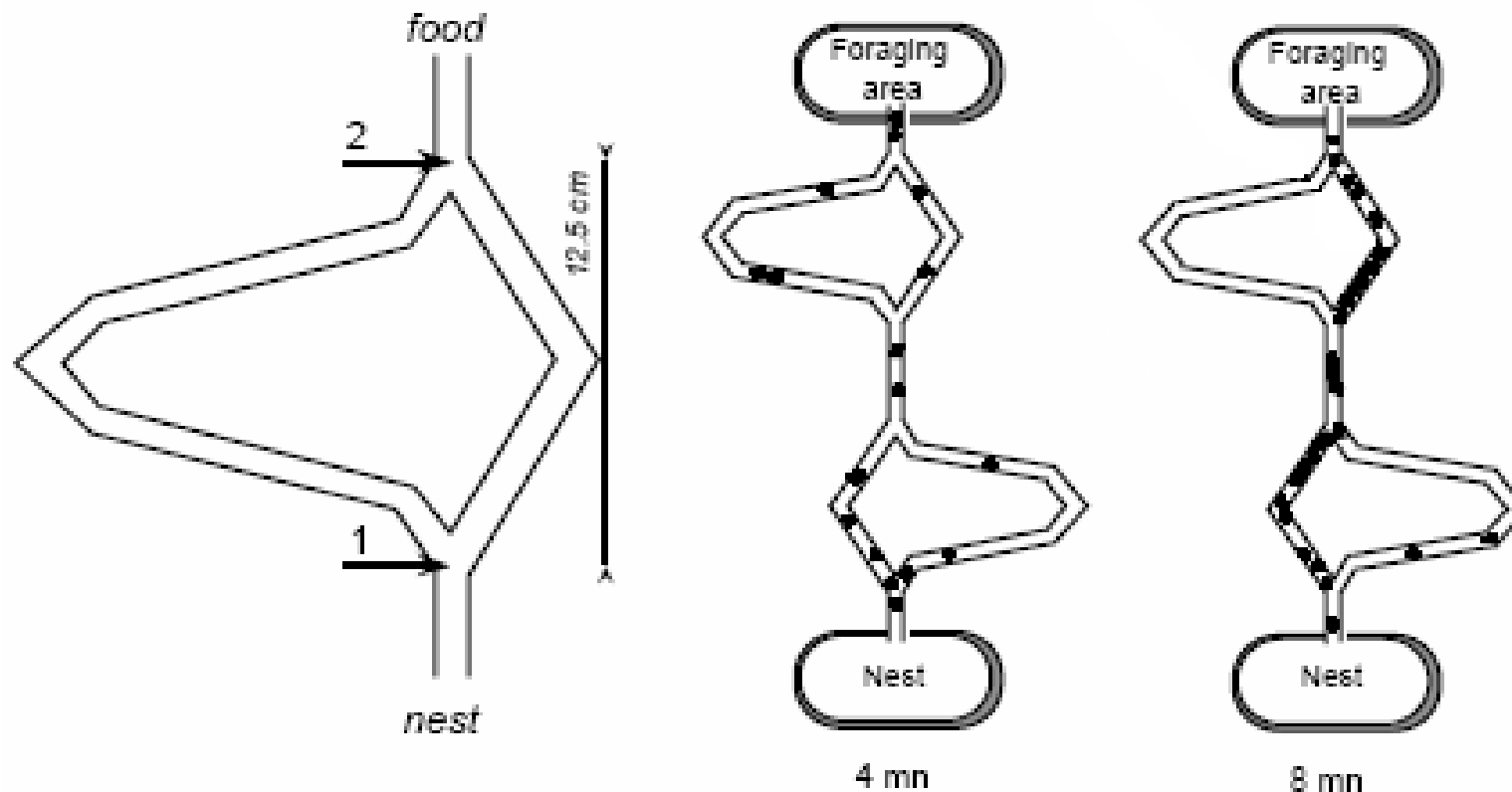


- En el segundo, las hormigas convergían a la rama más corta



# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (10)

- En el circuito con dos puentes dobles cruzados, las hormigas consiguen encontrar el camino más corto





# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (11)

---

- Como resultado de estos experimentos, Deneubourg y su equipo diseñaron un **modelo estocástico** del proceso de decisión de las hormigas naturales:

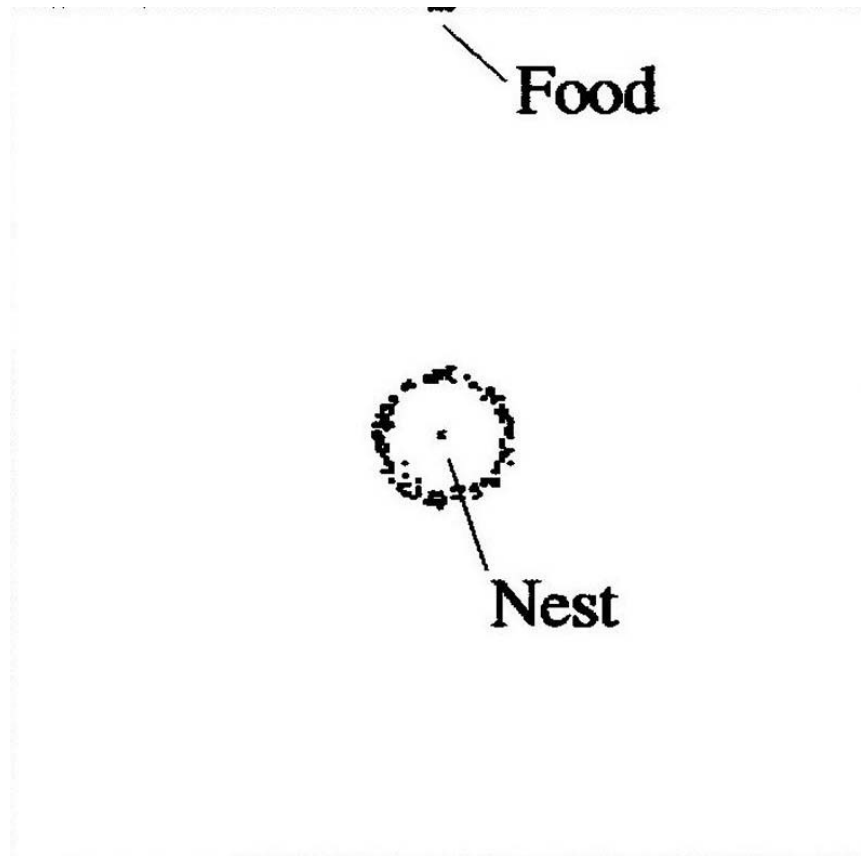
$$p_{i,a} = \frac{[k + \tau_{i,a}]^\alpha}{[k + \tau_{i,a}]^\alpha + [k + \tau_{i,a'}]^\alpha}$$

donde:

- $p_{i,a}$  es la probabilidad de escoger la rama  $a$  estando en el punto de decisión  $i$ , y
- $\tau_{i,a}$  es la concentración de feromona en la rama  $a$

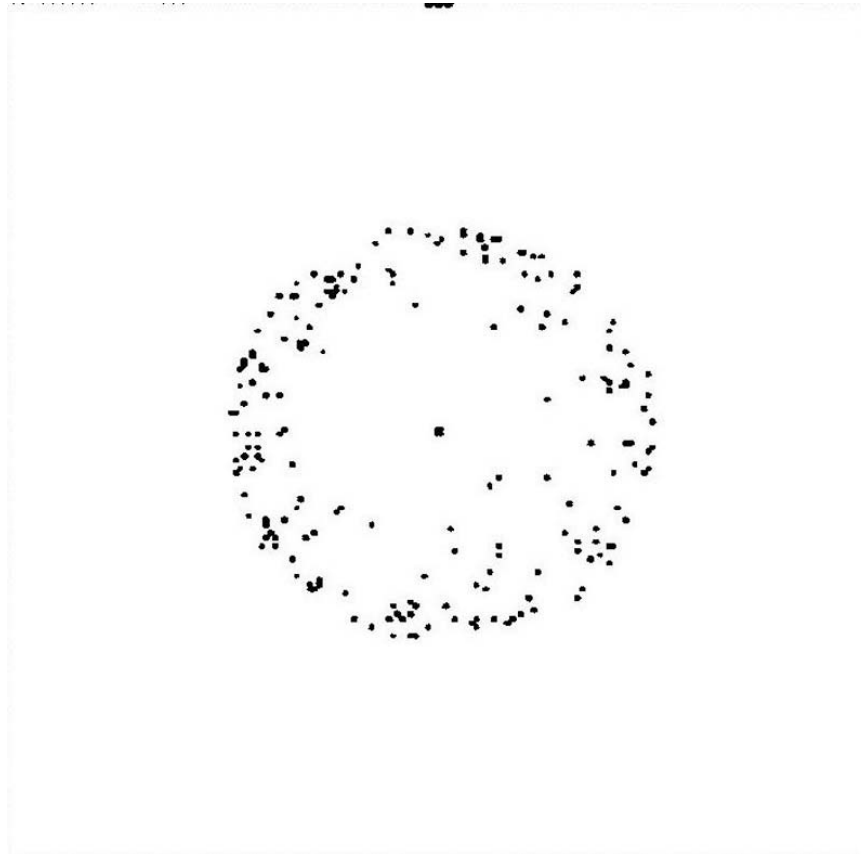
# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (12)

---



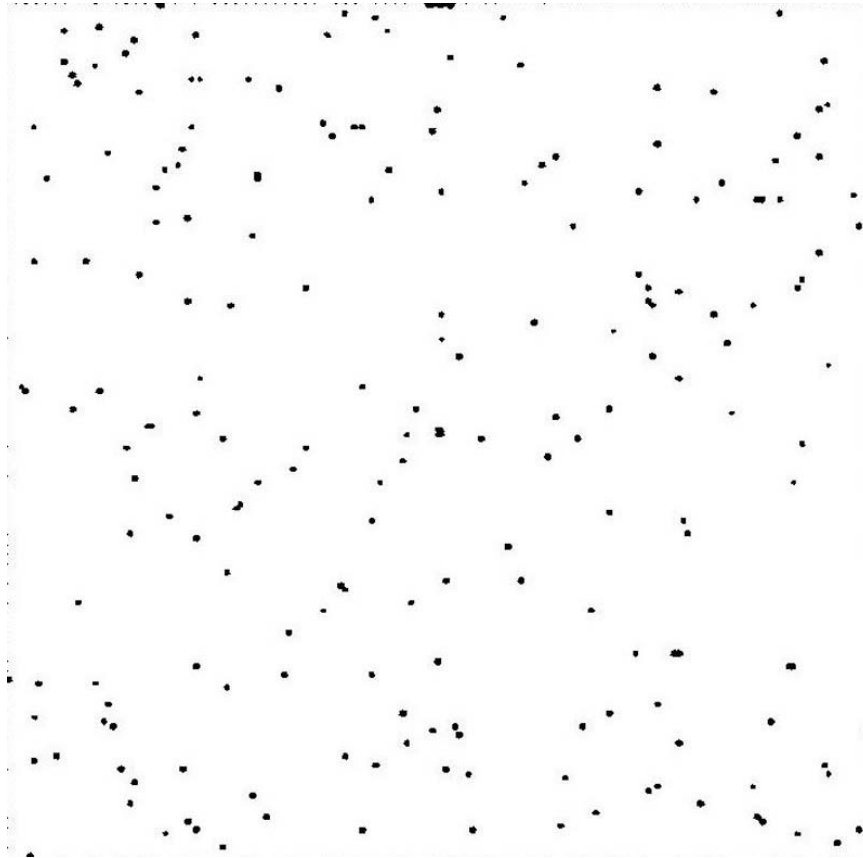
# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (12)

---



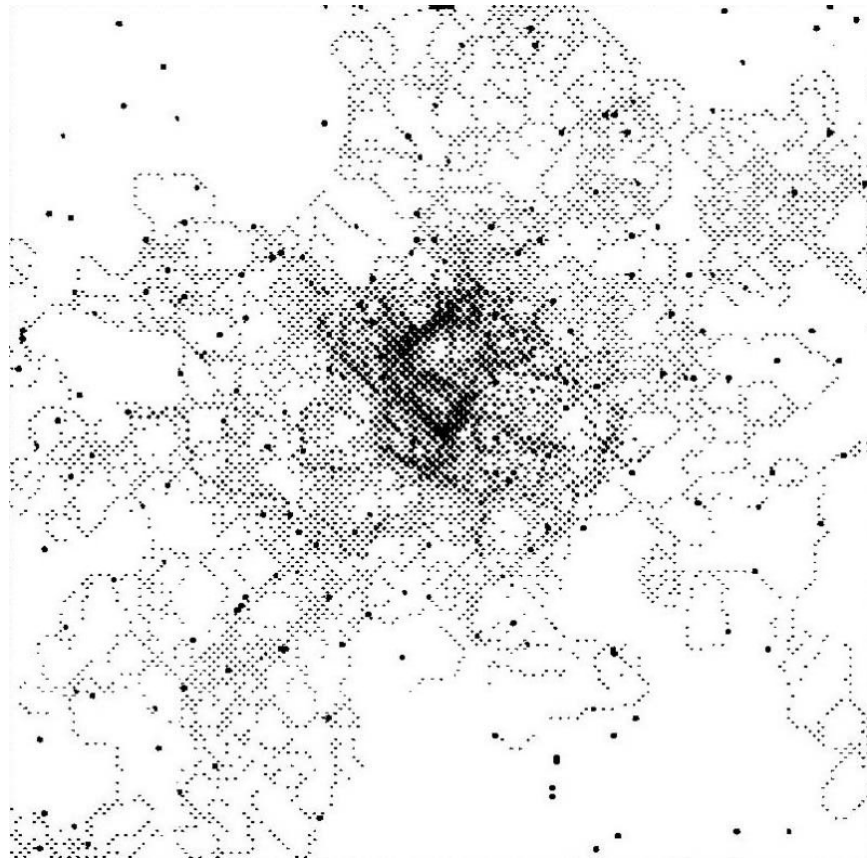
# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (12)

---



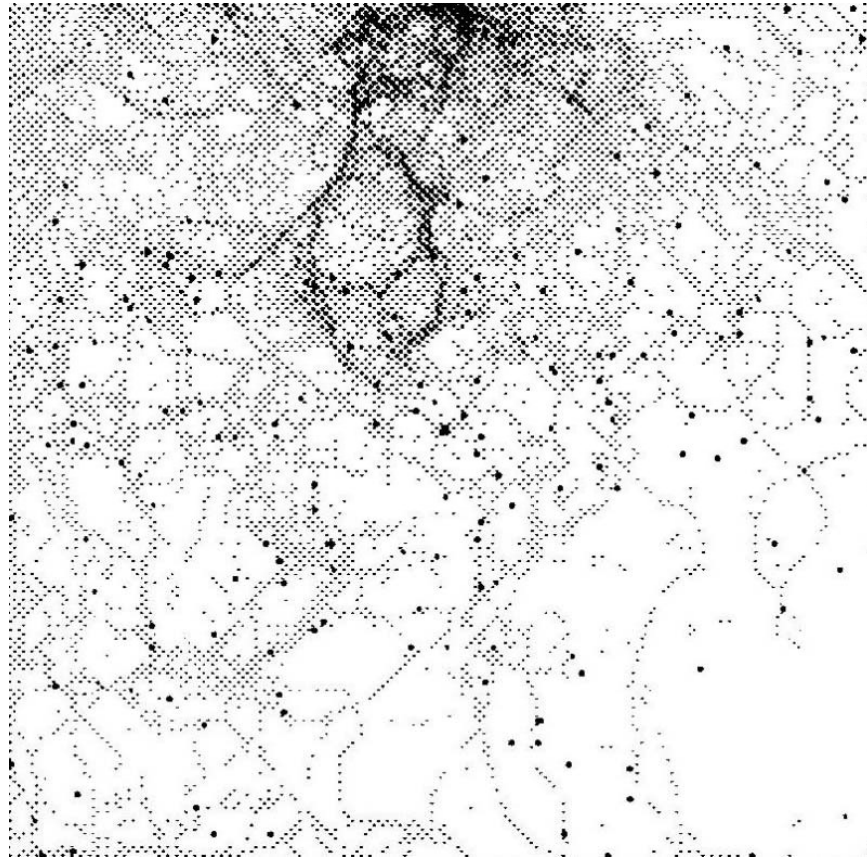
# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (12)

---



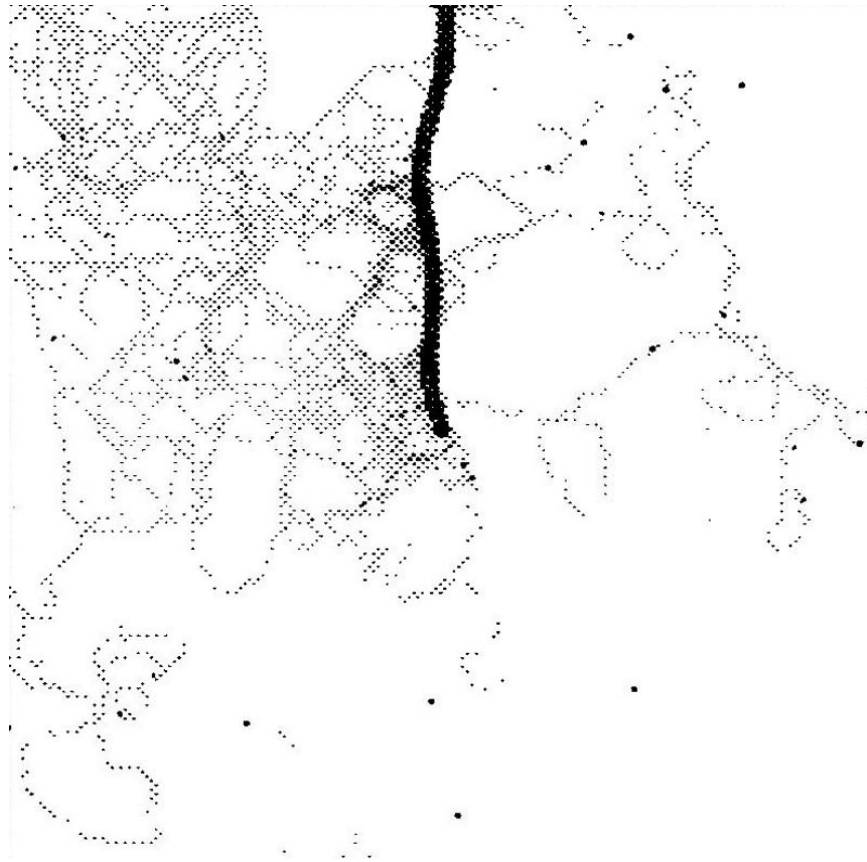
# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (12)

---



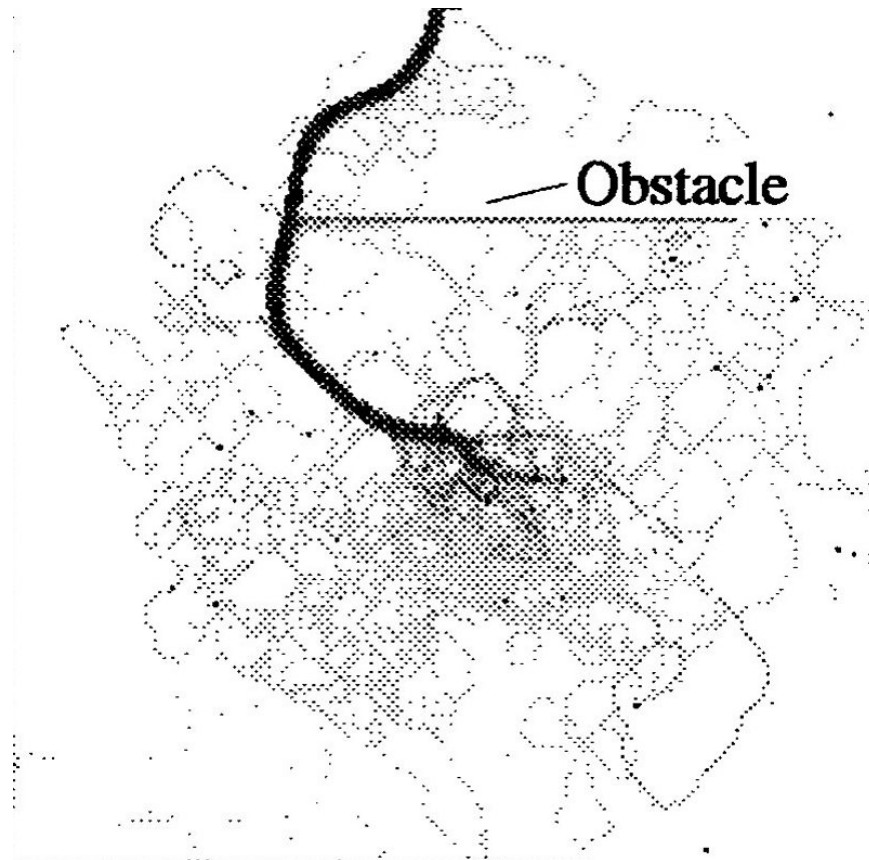
# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (12)

---



# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (12)

---

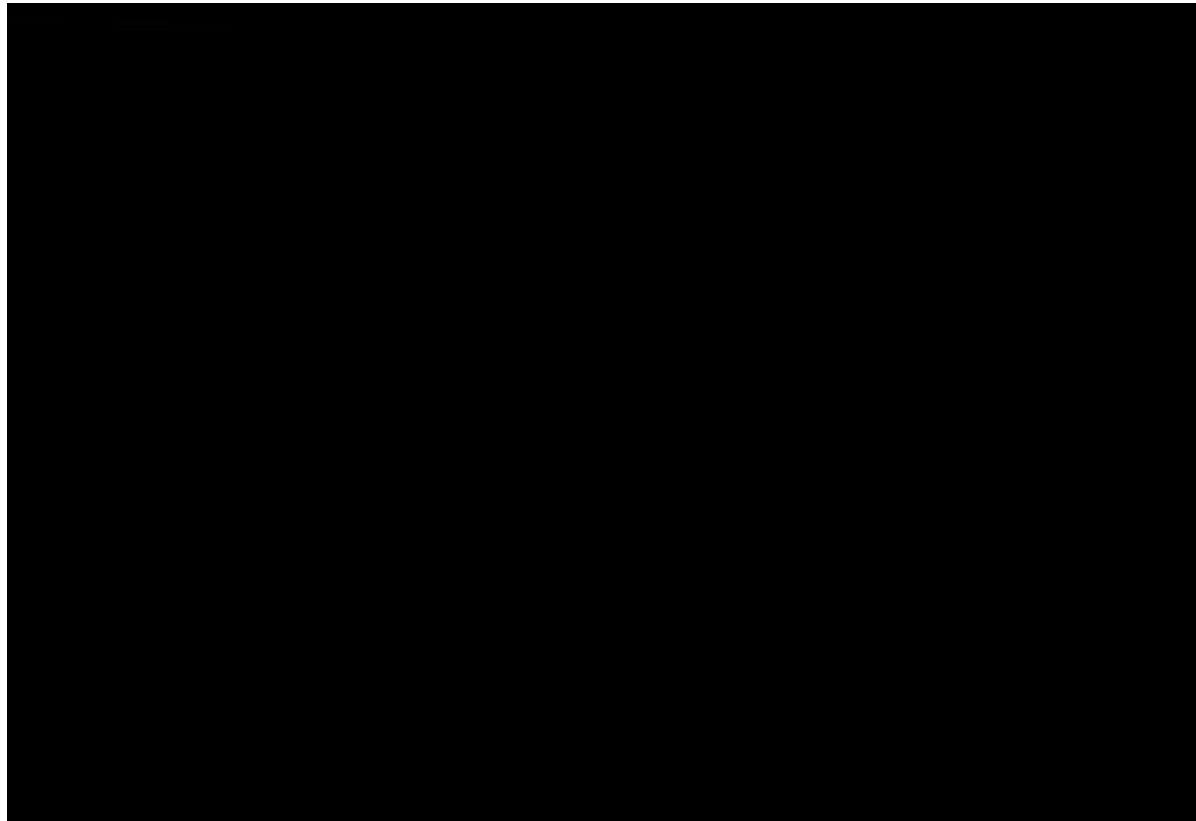




# 1. LAS COLONIAS DE HORMIGAS NATURALES (13)

---

**Experimento con Hormigas reales. Como encuentran el camino mínimo (159 segundos)**



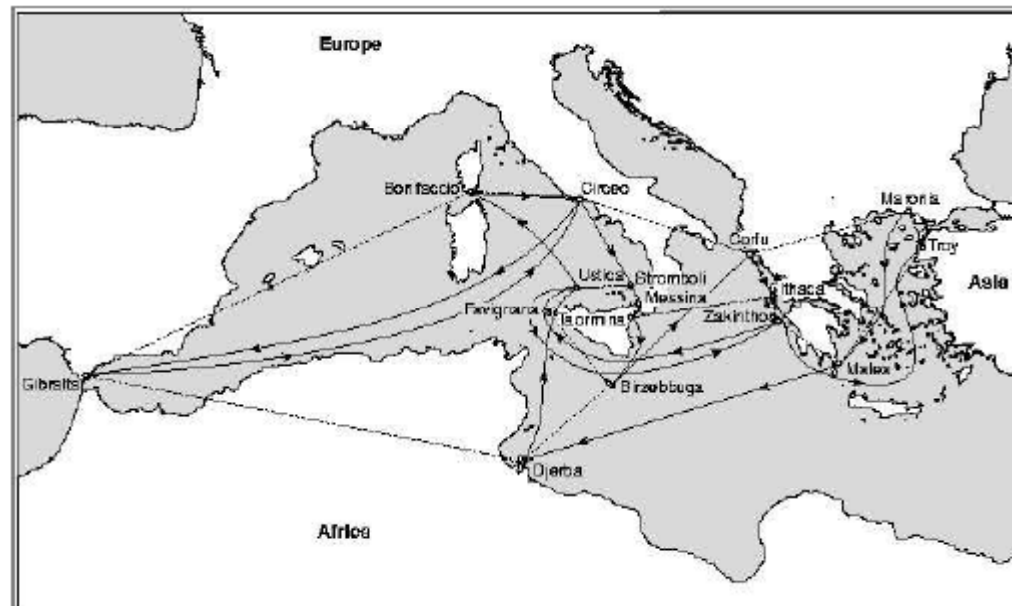
## 2. ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN BASADOS EN COLONIAS DE HORMIGAS

---

- De las hormigas naturales a la OCH
- La hormiga artificial
- Actualización de feromona
- El Sistema de Hormigas
- Ejemplo de aplicación del SH al TSP
- Otros algoritmos de OCH
- Estudio comparativo de la OCH en el TSP
- Algoritmos de OCH con búsqueda local
- La metaheurística OCH

# DE LAS HORMIGAS NATURALES A LA OCH

- El Problema del Viajante de Comercio (TSP) es uno de los problemas de optimización combinatoria más conocido
- Se dispone de un conjunto  $N = \{1, \dots, n\}$  de ciudades, que han de ser visitadas una sola vez, volviendo a la ciudad de origen, y recorriendo la menor distancia posible



# DE LAS HORMIGAS NATURALES A LA OCH (2)

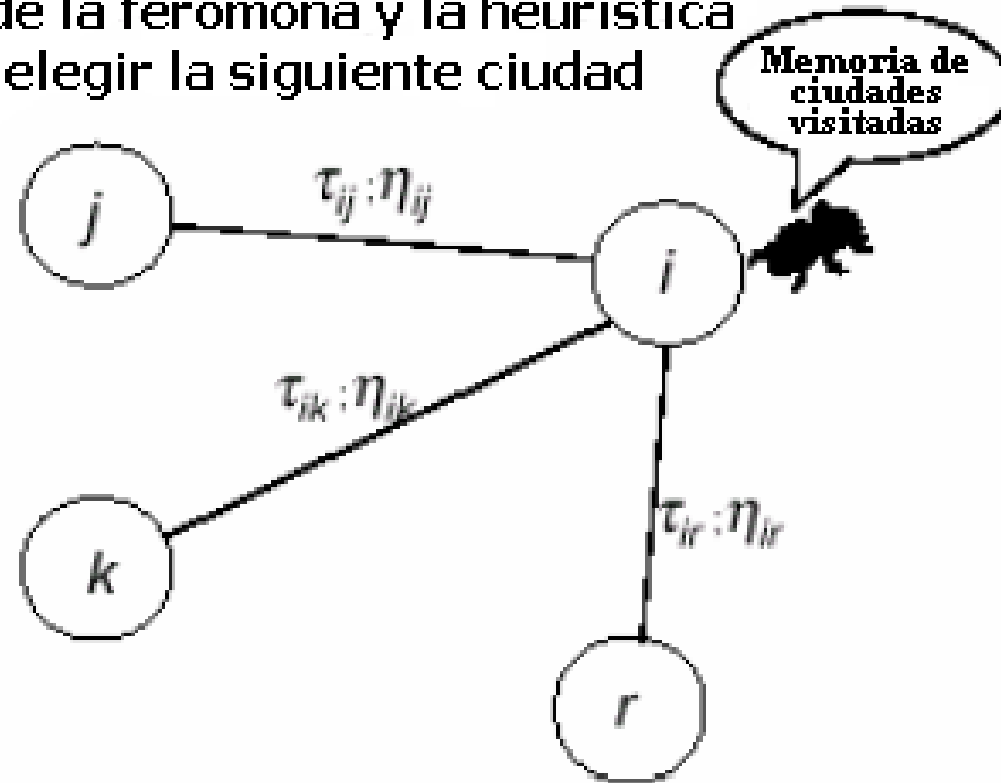
---

- Las hormigas naturales son capaces de resolver problemas de camino mínimo como el TSP
- Los algoritmos de OCH reproducen el comportamiento de las hormigas reales en una colonia artificial de hormigas para resolver problemas complejos de camino mínimo
- Cada hormiga artificial es un mecanismo probabilístico de construcción de soluciones al problema (un agente que imita a la hormiga natural) que usa:
  - Unos rastros de feromona (artificiales)  $\tau$  que cambian con el tiempo para reflejar la experiencia adquirida por los agentes en la resolución del problema
  - Información heurística  $\eta$  sobre la instancia concreta del problema

# DE LAS HORMIGAS NATURALES A LA OCH (3)

---

Uso de la feromona y la heurística  
para elegir la siguiente ciudad



## 2. ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN BASADOS EN COLONIAS DE HORMIGAS

---

- De las hormigas naturales a la OCH
- **La hormiga artificial**
- **Actualización de feromona**
- **El Sistema de Hormigas**
- **Ejemplo de aplicación del SH al TSP**
- **Otros algoritmos de OCH**
- **Estudio comparativo de la OCH en el TSP**
- **Algoritmos de OCH con búsqueda local**
- **La metaheurística OCH**

# LA HORMIGA ARTIFICIAL

---

La hormiga artificial es un agente que:

- Recuerda los nodos que ha recorrido, utilizando para ello una lista de nodos visitados ( $L$ ). Al finalizar, esta lista contiene la solución construida por la hormiga
- En cada paso, estando en la ciudad  $r$  elige hacia qué ciudad  $s$  moverse de entre las vecinas de  $r$  que no hayan sido visitados aún ( $J(r) = \{s \mid \exists a_{rs} \text{ y } s \notin L\}$ ), según una regla probabilística de transición

La decisión tomada es función de la preferencia heurística  $\eta_{rs} = 1/d_{rs}$  y la feromona  $\tau_{rs}$

# LA HORMIGA ARTIFICIAL (2)

---

- La regla probabilística de transición más habitual define la probabilidad con la que la hormiga  $k$ , situada en la ciudad  $r$ , decide moverse hacia la ciudad  $s$ :

$$p_k(r, s) = \begin{cases} \frac{[\tau_{rs}]^\alpha \cdot [\eta_{rs}]^\beta}{\sum_{u \in J_k(r)} [\tau_{ru}]^\alpha \cdot [\eta_{ru}]^\beta}, & \text{si } s \in J_k(r) \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

- $\tau_{rs}$  es la feromona del arco  $a_{rs}$
- $\eta_{rs}$  es la inf. heurística del arco  $a_{rs}$
- $J_k(r)$  es el conjunto de nodos alcanzables desde  $r$  no visitados aún por la hormiga  $k$
- $\alpha$  y  $\beta$  son pesos que establecen un equilibrio entre la importancia de la información memorística y heurística



## 2. ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN BASADOS EN COLONIAS DE HORMIGAS

---

- De las hormigas naturales a la OCH
- La hormiga artificial
- **Actualización de feromona**
- **El Sistema de Hormigas**
- **Ejemplo de aplicación del SH al TSP**
- **Otros algoritmos de OCH**
- **Estudio comparativo de la OCH en el TSP**
- **Algoritmos de OCH con búsqueda local**
- **La metaheurística OCH**

# ACTUALIZACIÓN DE FEROMONA

---

1. Se usa una **retroalimentación positiva** para reforzar en el futuro los componentes de las buenas soluciones mediante un aporte adicional de feromona

Cuanto mejor sea la solución, más feromona se aporta

2. Se usa la **evaporación de feromona** para evitar un incremento ilimitado de los rastros de feromona y para permitir olvidar las malas decisiones tomadas

La evaporación es la misma para todos los rastros, eliminándose un porcentaje de su valor actual:  $0 \leq \rho \leq 1$

Es un **mecanismo de evaporación más activo** que el natural, lo que evita la perduración de los rastros de feromona y, por tanto, el estancamiento en óptimos locales

# ACTUALIZACIÓN DE FEROMONA (2)

---

- Un ejemplo de regla de actualización de feromona sería:

$$\tau_{rs}(t) = (1 - \rho) \cdot \tau_{rs}(t-1) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{rs}^k$$

$$- \Delta \tau_{rs}^k = \begin{cases} \frac{1}{C(S_k)}, & \text{si la hormiga } k \text{ ha visitado el arco } a_{rs} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

- $C(S_k)$  es el coste de la solución generada por la hormiga  $k$ , es decir, la longitud del circuito  $S_k$
  - $m$  es el número de hormigas
- Los arcos visitados por hormigas en la iteración actual (**arcos prometedores**) reciben un aporte extra de feromona y los no visitados por ninguna hormiga (**poco prometedores**) la pierden

## 2. ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN BASADOS EN COLONIAS DE HORMIGAS

---

- De las hormigas naturales a la OCH
- La hormiga artificial
- Actualización de feromona
- **El Sistema de Hormigas**
- **Ejemplo de aplicación del SH al TSP**
- **Otros algoritmos de OCH**
- **Estudio comparativo de la OCH en el TSP**
- **Algoritmos de OCH con búsqueda local**
- **La metaheurística OCH**

# EL SISTEMA DE HORMIGAS

---

- El algoritmo anterior fue el primero de OCH que se propuso, denominado Sistema de Hormigas (*Ant System*) (SH)

M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Coloni, *The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents*. IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics-Part B, Vol. 26, 1996, 1-13

- Obtenía buenos resultados en el TSP pero no eran lo suficientemente competitivos con respecto a los de los mejores algoritmos (state-of-the-art)
- Fue la base para el desarrollo posterior de la OCH, al proponerse muchas mejoras

# EL SISTEMA DE HORMIGAS (2)

---

## ALGORITMO SISTEMA DE HORMIGAS

- Inicialización de parámetros (p.e., asignación de la cantidad inicial a los rastros de feromona  $\tau[i][j] \leftarrow \tau_0$ )
- *Para It=1 hasta Número\_de\_Iteraciones hacer*
  1. *Para k=1 hasta m (Número\_de\_Hormigas) hacer*  
 $L[k][1] \leftarrow$  nodo inicial
- /\* Construcción de soluciones por las hormigas \*/*
- 2. *Para i=2 hasta Número\_de\_Nodos hacer*  
*Para k=1 hasta Número\_de\_Hormigas hacer*  
 $L[k][i] \leftarrow$  Regla\_transición ( $L[k], \tau, \eta$ )

# EL SISTEMA DE HORMIGAS

## (3)

---

*/\* Actualización de feromona \*/*

*3. Para  $k=1$  hasta Número\_de\_Hormigas hacer*

*Coste[k]  $\leftarrow$  C(L[k])*

*Mejor\_Actual  $\leftarrow$  Mejor (L[k])*

*4. Para  $i=1$  hasta Número\_de\_Nodos hacer*

*Para  $j=1$  hasta Número\_de\_Nodos hacer*

*Actualización\_feromona( $\tau[i][j]$ , L, C(L))*

*5. Si C(Mejor\_Actual) es mejor que C(Mejor\_Global) entonces Mejor\_Global  $\leftarrow$  Mejor\_Actual*

▪ *DEVOLVER* Mejor\_Global

## 2. ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN BASADOS EN COLONIAS DE HORMIGAS

---

- De las hormigas naturales a la OCH
- La hormiga artificial
- Actualización de feromona
- El Sistema de Hormigas
- **Ejemplo de aplicación del SH al TSP**
- **Otros algoritmos de OCH**
- **Estudio comparativo de la OCH en el TSP**
- **Algoritmos de OCH con búsqueda local**
- **La metaheurística OCH**



# EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL SH AL TSP

A modo de ejemplo, vamos a describir una iteración del SH sobre un caso sencillo del TSP de tamaño  $n=6$  con las siguientes matrices de distancias  $D$  y heurística  $\eta$ :

$$D = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline \infty & 1 & \sqrt{5} & \sqrt{5} & 2 & \sqrt{2} \\ \hline 1 & \infty & \sqrt{2} & 2 & \sqrt{5} & \sqrt{5} \\ \hline \sqrt{5} & \sqrt{2} & \infty & \sqrt{2} & \sqrt{5} & 3 \\ \hline \sqrt{5} & 2 & \sqrt{2} & \infty & 1 & \sqrt{5} \\ \hline 2 & \sqrt{5} & \sqrt{5} & 1 & \infty & \sqrt{2} \\ \hline \sqrt{2} & \sqrt{5} & 3 & \sqrt{5} & \sqrt{2} & \infty \\ \hline \end{array}$$

$$\eta = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline - & 1.000 & 0.447 & 0.447 & .500 & 0.707 \\ \hline 1.000 & - & 0.707 & 0.500 & 0.447 & 0.447 \\ \hline 0.447 & 0.707 & - & 0.707 & 0.447 & 0.333 \\ \hline 0.447 & 0.500 & 0.707 & - & 1.000 & 0.447 \\ \hline 0.500 & 0.447 & 0.447 & 1.000 & - & 0.707 \\ \hline 0.707 & 0.447 & 0.333 & 0.447 & 0.707 & - \\ \hline \end{array}$$

**Fuente:** J.M. Moreno-Vega, J.A. Moreno-Pérez, *Heurísticas en Optimización*, Consejería de Educación, Cultura y Deportes. Gobierno de Canarias, 1999.

# EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL SH AL TSP (2)

Suponiendo una población de  $m=n=6$  hormigas, cada una partiendo de una ciudad distinta, y la matriz de feromona inicializada a  $\tau_0=10$ , el proceso constructivo de las tres primeras podría ser el siguiente:

Probabilidades de transición							Uniforme	Solución
	1	2	3	4	5	6		
1	-	0.322	0.144	0.144	0.161	0.227	0.000	(1 2 - - -)
2	-	-	0.336	0.237	0.212	0.212	0.031	(1 2 3 - -)
3	-	-	-	0.475	0.300	0.225	0.673	(1 2 3 5 -)
5	-	-	-	0.585	-	0.415	0.842	(1 2 3 5 6 -)
6	-	-	-	1.000			-	(1 2 3 5 6 4)

# EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL SH AL TSP (3)

Probabilidades de transición								
	1	2	3	4	5	6	Uniforme	Solución
2	0.322	-	0.227	0.161	0.144	0.144	0.279	(2 3 - - - -)
3	0.231	-	-	0.365	0.231	0.172	0.671	(2 3 5 - - -)
5	0.227	-	-	0.453	-	0.320	0.931	(2 3 5 6 - -)
6	0.612	-	-	0.388	-	-	0.873	(2 3 5 6 4 -)
4	1.000	-	-	-	-	-	-	(2 3 5 6 4 1)

Probabilidades de transición								
	1	2	3	4	5	6	Uniforme	Solución
3	0.169	0.267	-	0.267	0.169	0.126	0.372	(3 2 - - - -)
2	0.417	-	-	0.208	0.186	0.186	0.415	(3 2 1 - - -)
1	-	-	-	0.267	0.309	0.434	0.321	(3 2 1 5 - -)
5	-	-	-	0.585	-	0.415	0.474	(3 2 1 5 4 -)
4	-	-	-	-	-	1.000	-	(3 2 1 5 4 6)

# EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL SH AL TSP (4)

Una vez construidas las 6 soluciones, se aplica la actualización de feromona. Considerando que cada hormiga  $k$  aporta  $100/C(S_k)$  en los arcos visitados, tendríamos los siguientes aportes:

Hormiga	$C(S_k)$	<i>Aporte</i>	Solución	Arcos afectados
1	10.53	9.49	(1 2 3 5 6 4)	{ $a_{12}, a_{23}, a_{35}, a_{56}, a_{64}, a_{41}$ }
2	10.53	9.49	(2 3 5 6 4 1)	{ $a_{23}, a_{35}, a_{56}, a_{64}, a_{41}, a_{12}$ }
3	9.05	11.04	(3 2 1 5 4 6)	{ $a_{32}, a_{21}, a_{15}, a_{54}, a_{46}, a_{63}$ }
4	11.12	8.99	(4 2 6 1 3 5)	{ $a_{42}, a_{26}, a_{61}, a_{13}, a_{35}, a_{54}$ }
5	10.88	9.19	(5 1 6 2 4 3)	{ $a_{51}, a_{16}, a_{62}, a_{24}, a_{43}, a_{35}$ }
6	9.47	10.55	(6 5 3 4 2 1)	{ $a_{65}, a_{53}, a_{34}, a_{42}, a_{21}, a_{16}$ }

# APLICACIÓN DEL SH AL TSP (5)

---

Aplicando el mecanismo de actualización de feromona, se evapora la feromona y se realizan los aportes comentados:

$$\tau_{rs}(t) = (1 - \rho) \cdot \tau_{rs}(t-1) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{rs}^k$$

Considerando  $\rho=0.2$ , la matriz de feromona quedaría:

$\tau =$

0.00	45.58	13.99	23.99	25.23	33.73
-	0.00	35.03	33.73	8.00	23.18
-	-	0.00	24.74	52.72	16.04
-	-	-	0.00	35.03	35.03
-	-	-	-	0.00	79.54
-	-	-	-	-	0.00

# ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN BASADOS EN COLONIAS DE HORMIGAS

---

- De las hormigas naturales a la OCH
- La hormiga artificial
- Actualización de feromonas
- El Sistema de Hormigas
- Ejemplo de aplicación del SH al TSP
- **Otros algoritmos de OCH**
- **Estudio comparativo de la OCH en el TSP**
- **Algoritmos de OCH con búsqueda local**
- **La metaheurística OCH**

**ASPECTOS AVANZADOS**