

# COMPUTACIÓN BIOLÓGICA

Pedro Isasi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Informática  
Universidad Carlos III de Madrid  
Avda. de la Universidad, 30. 28911 Leganés (Madrid). Spain  
email: isasi@ia.uc3m.es

Presentación

# TEMARIO

- 1 Introducción
- 2 Algoritmos Genéticos
- 3 Computación Evolutiva
- 4 COMPUTACIÓN CON INSPIRACIÓN BIOLÓGICA**
  - Optimización mediante colonias de hormigas
- 5 Biología y Computación

# HORMIGAS COMO OPTIMIZADORES DE CAMINOS

- Las hormigas son capaces de encontrar el camino más corto desde una fuente de comida hasta el nido sin utilizar el sentido de la vista
- ¿Qué ocurre si se encuentran con un obstáculo? corto



## RASTRO DE FEROMONAS

- Cada hormiga emite una cantidad de feromona a medida que camina
- La sustancia emitida puede ser detectada por otras hormigas:
  - La hormiga elige el camino proporcional a la feromona del mismo
  - La feromona del camino se disipa con el tiempo, y si no se vuelve a generar desaparece
  - Los caminos poco frecuentados casi no tienen posibilidad de ser utilizados, a menos que se encuentre comida y se repita el proceso
- Este comportamiento elemental explica como las hormigas son capaces de seguir caminos cortos hacia lugares relativamente alejados
- También son capaces de adaptarse a cambios producidos en el entorno, por ejemplo son capaces de encontrar un nuevo camino más corto

## RASTRO DE FEROMONAS

- Cuando aparece el obstáculo, aquellas hormigas que lo tienen delante no pueden seguir el rastro de feromona
- Tienen que elegir entre ir hacia la derecha o hacia la izquierda
- Es de esperar que la mitad de las hormigas vayan hacia la derecha y la otra mitad hacia la izquierda
- Lo mismo pasará en el otro lado del obstáculo
- Aquellas hormigas que elijan el, por casualidad, el camino más corto, podrán reconstruir más rápidamente el rastro de feromona perdido
- Las hormigas de este camino empiezan a emitir su feromona con anterioridad, y por lo tanto la probabilidad posterior de elegir este camino se incrementa
- En poco tiempo este mecanismo hace que todas las hormigas elijan el camino más corto

## RASTRO DE FEROMONAS

- Cuando aparece el obstáculo, aquellas hormigas que lo tienen delante no pueden seguir el rastro de feromona
- Tienen que elegir entre ir hacia la derecha o hacia la izquierda
- Es de esperar que la mitad de las hormigas vayan hacia la derecha y la otra mitad hacia la izquierda
- Lo mismo pasará en el otro lado del obstáculo
- Aquellas hormigas que elijan el, por casualidad, el camino más corto, podrán reconstruir más rápidamente el rastro de feromona perdido
- Las hormigas de este camino empiezan a emitir su feromona con anterioridad, y por lo tanto la probabilidad posterior de elegir este camino se incrementa
- En poco tiempo este mecanismo hace que todas las hormigas elijan el camino más corto

## RASTRO DE FEROMONAS

- Cuando aparece el obstáculo, aquellas hormigas que lo tienen delante no pueden seguir el rastro de feromona
- Tienen que elegir entre ir hacia la derecha o hacia la izquierda
- Es de esperar que la mitad de las hormigas vayan hacia la derecha y la otra mitad hacia la izquierda
- Lo mismo pasará en el otro lado del obstáculo
- Aquellas hormigas que elijan el, por casualidad, el camino más corto, podrán reconstruir más rápidamente el rastro de feromona perdido
- Las hormigas de este camino empiezan a emitir su feromona con anterioridad, y por lo tanto la probabilidad posterior de elegir este camino se incrementa
- En poco tiempo este mecanismo hace que todas las hormigas elijan el camino más corto

## RASTRO DE FEROMONAS

- Cuando aparece el obstáculo, aquellas hormigas que lo tienen delante no pueden seguir el rastro de feromona
- Tienen que elegir entre ir hacia la derecha o hacia la izquierda
- Es de esperar que la mitad de las hormigas vayan hacia la derecha y la otra mitad hacia la izquierda
- Lo mismo pasará en el otro lado del obstáculo
- Aquellas hormigas que elijan el, por casualidad, el camino más corto, podrán reconstruir más rápidamente el rastro de feromona perdido
- Las hormigas de este camino empiezan a emitir su feromona con anterioridad, y por lo tanto la probabilidad posterior de elegir este camino se incrementa
- En poco tiempo este mecanismo hace que todas las hormigas elijan el camino más corto



## RASTRO DE FEROMONAS

- Cuando aparece el obstáculo, aquellas hormigas que lo tienen delante no pueden seguir el rastro de feromona
- Tienen que elegir entre ir hacia la derecha o hacia la izquierda
- Es de esperar que la mitad de las hormigas vayan hacia la derecha y la otra mitad hacia la izquierda
- Lo mismo pasará en el otro lado del obstáculo
- Aquellas hormigas que elijan el, por casualidad, el camino más corto, podrán reconstruir más rápidamente el rastro de feromona perdido
- Las hormigas de este camino empiezan a emitir su feromona con anterioridad, y por lo tanto la probabilidad posterior de elegir este camino se incrementa
- En poco tiempo este mecanismo hace que todas las hormigas elijan el camino más corto

## RASTRO DE FEROMONAS

- Cuando aparece el obstáculo, aquellas hormigas que lo tienen delante no pueden seguir el rastro de feromona
- Tienen que elegir entre ir hacia la derecha o hacia la izquierda
- Es de esperar que la mitad de las hormigas vayan hacia la derecha y la otra mitad hacia la izquierda
- Lo mismo pasará en el otro lado del obstáculo
- Aquellas hormigas que elijan el, por casualidad, el camino más corto, podrán reconstruir más rápidamente el rastro de feromona perdido
- Las hormigas de este camino empiezan a emitir su feromona con anterioridad, y por lo tanto la probabilidad posterior de elegir este camino se incrementa
- En poco tiempo este mecanismo hace que todas las hormigas elijan el camino más corto

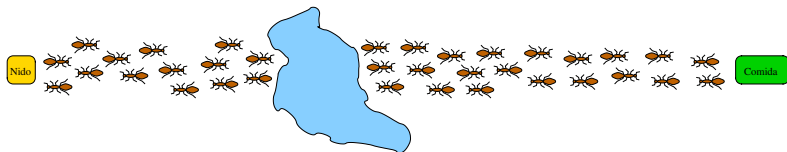
## RASTRO DE FEROMONAS

- Cuando aparece el obstáculo, aquellas hormigas que lo tienen delante no pueden seguir el rastro de feromona
- Tienen que elegir entre ir hacia la derecha o hacia la izquierda
- Es de esperar que la mitad de las hormigas vayan hacia la derecha y la otra mitad hacia la izquierda
- Lo mismo pasará en el otro lado del obstáculo
- Aquellas hormigas que elijan el, por casualidad, el camino más corto, podrán reconstruir más rápidamente el rastro de feromona perdido
- Las hormigas de este camino empiezan a emitir su feromona con anterioridad, y por lo tanto la probabilidad posterior de elegir este camino se incrementa
- En poco tiempo este mecanismo hace que todas las hormigas elijan el camino más corto

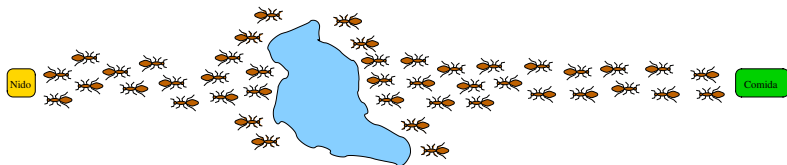
# HORMIGAS COMO OPTIMIZADORES DE CAMINOS



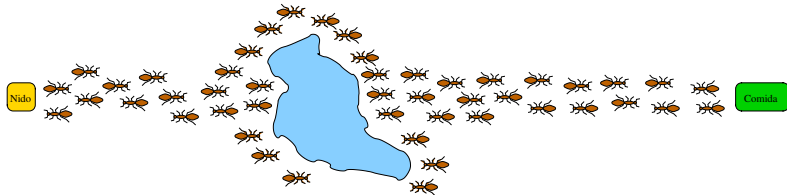
# HORMIGAS COMO OPTIMIZADORES DE CAMINOS



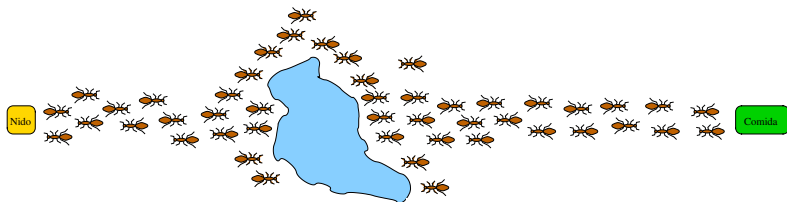
# HORMIGAS COMO OPTIMIZADORES DE CAMINOS



# HORMIGAS COMO OPTIMIZADORES DE CAMINOS

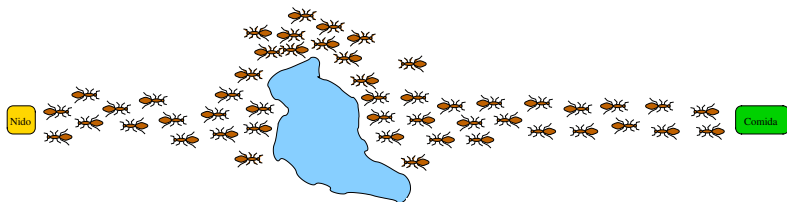


# HORMIGAS COMO OPTIMIZADORES DE CAMINOS

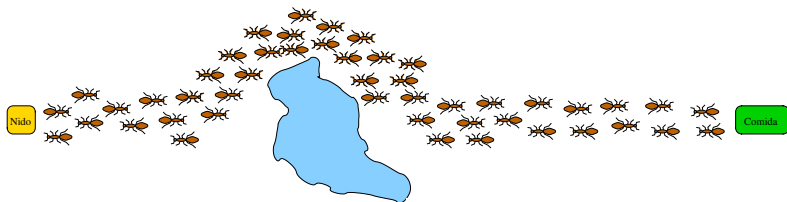




# HORMIGAS COMO OPTIMIZADORES DE CAMINOS



# HORMIGAS COMO OPTIMIZADORES DE CAMINOS



## PROPIEDAD EMERGENTE

- Encontrar el camino más corto es una propiedad emergente de la interacción entre la forma del obstáculo, y el comportamiento distribuido de las hormigas
- Aunque todas las hormigas se mueven a la misma velocidad y depositan feromona en la misma cantidad, cuesta menos rodear objetos por el lado más corto
- El camino corto acumula más cantidad de feromona y más probabilidad de ser elegido por las hormigas
- Es la predilección de las hormigas por caminos con mayor cantidad de feromona lo que hace que la acumulación sea cada vez mayor en un proceso de retroalimentación
- ¿Esta propiedad puede ser utilizada computacionalmente para resolver el problema del viajante?

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

- Una hormiga es un agente que se mueve de ciudad en ciudad
- Cada hormiga decide a que ciudad se desplaza utilizando dos funciones probabilísticas:
  - En función de la cantidad de feromona del tramo
  - En función de la longitud del mismo
  - Las hormigas prefieren tramos con más feromona y más cortos
- Se colocan  $m$  hormigas aleatoriamente en las ciudades del grafo
- En cada instante de tiempo, cada hormiga se desplaza hasta una nueva ciudad, incrementando la cantidad de feromona del tramo por el que se ha desplazado  $\Rightarrow$  **actualización local de tramos**
- Al final del recorrido se modifica la cantidad de feromona de los tramos que lo componen de forma inversamente proporcional a la longitud  $\Rightarrow$  **actualización global de tramos.**

# ANALOGÍA BIOLÓGICA

- Ideas provenientes del comportamiento de las colonias de hormigas:
  - La preferencia por tramos con mayor cantidad de feromona
  - Un mayor incremento de feromona en los tramos más cortos
  - La comunicación entre los agentes (hormigas) mediante la feromona depositada
- Características propias:
  - Las hormigas artificiales pueden determinar como de lejos están las ciudades
  - Pueden modificar la feromona de los tramos una vez terminado todo el recorrido
  - Poseen una memoria de las ciudades que ya han sido visitadas, para evitar que se repitan ciudades en el recorrido

## MODELO COMPUTACIONAL

- La hormiga  $k$  se encuentra en la ciudad  $r$ , elije moverse a otra ciudad  $s$ , de entre las que no se encuentran en su memoria de trabajo  $M_k$  mediante:

$$s = \begin{cases} \arg \max_{u \notin M_k} \{[\tau(r, u)] \times [\mu(r, u)]^\beta\} & \text{if } q \leq q_0 \\ S & \text{En caso contrario} \end{cases}$$

- $\tau(r, u)$  cantidad de feromona del tramo  $(r, u)$
- $\mu(r, u)$  función heurística inversamente proporcional a la distancia entre las ciudades  $r$  y  $u$
- $\beta$  parámetro que pondera la importancia relativa de la cantidad de feromona y longitud del tramo

## MODELO COMPUTACIONAL

- $q$  es un valor elegido aleatoriamente con probabilidad uniforme en  $[0, 1]$
- $q_0$  ( $0 \leq q_0 \leq 1$ ) es un parámetro
- $S$  es una variable seleccionada de forma aleatoria de acuerdo a la siguiente función de distribución, que favorece aquellos tramos más cortos y con mayor nivel de feromona:

$$p_k(r, s) = \begin{cases} \frac{[\tau(r, s)] \times [\mu(r, s)]^\beta}{\sum_{u \notin M_k} [\tau(r, u)] \times [\mu(r, u)]^\beta} & \text{if } s \notin M_k \\ 0 & \text{En caso contrario} \end{cases}$$

Donde  $p_k(r, s)$  es la probabilidad de que la hormiga  $k$  elija moverse desde la ciudad  $r$  a la ciudad  $s$ .

## ACTUALIZACIÓN GLOBAL DE TRAMOS

- Premiar los tramos pertenecientes a los recorri más cortos
- La mejor hormiga deposita una cantidad de feromona en los tramos de su recorrido
- La cantidad de feromona depositada  $\Delta\varphi(r, s)$  es inversamente proporcional a la longitud del recorrido:

$$\varphi(r, s) = (1 - \alpha) \times \varphi(r, s) + \alpha \times \Delta\varphi(r, s)$$

Donde  $\Delta\varphi(r, s) = (\text{camino corto})^{-1}$



## ACTUALIZACIÓN LOCAL DE TRAMOS

- Trata de evitar que un tramo con alto contenido en feromona sea constantemente elegido
- La feromona se va evaporando hasta la extinción, para que un camino tenga feromona tiene que ser visitado constantemente
- Para simular este proceso se realiza la actualización local:

$$\tau(r, s) = (1 - \alpha) \times \tau(r, s) + \alpha \times \tau_0$$

Donde  $\tau_0$  es un parámetro del método.

# EXPERIMENTOS

- realizados por Dorigo y Gambardella
- Los métodos a comparar son:
  - Colonias de hormigas artificiales (CHA)
  - Simulated Annealing (SA)
  - Red elástica de Kohonen (EN)
  - Mapas autoorganizativos (SOM)
  - Algoritmos genéticos (AG)
  - Programación evolutiva (OE)
  - Combinación de algoritmos genéticos y simulated annealing (SG)

## PARÁMETROS Y RESULTADOS

- Parámetros:

$m$	$\beta$	$\alpha$	$q_0$	$\tau_0$
10	2	0,1	0,9	$(n \times L_{nn})^{-1}$

Donde  $L_{nn}$  es la longitud del camino producido por el método de los vecinos más próximos, y  $n$  es el número de ciudades.

- Resultados de 5 problemas con 50 ciudades (media de los mejores resultados con cada método):

Problema	CHA	SA	EN	SOM	FI
Conj. 1	<b>5,86</b>	5,88	5,98	6,06	6,03
Conj. 2	6,05	<b>6,01</b>	6,03	6,25	6,28
Conj. 3	<b>5,57</b>	5,65	5,70	5,83	5,85
Conj. 4	<b>5,70</b>	5,81	5,86	5,87	5,96
Conj. 5	<b>6,17</b>	6,33	6,49	6,70	6,71

## RESULTADOS SOBRE LIBRERÍAS

Resultados para 30, 50, 75 y 100 ciudades. Mejor resultado y número de soluciones visitadas:

Problema	CHA	AG	PE	SA	SG
Oliver30 30 ciud.	<b>420</b> <b>(423,74)</b> <b>[830]</b>	421 (N.D.) [3.200]	<b>420</b> <b>(423,74)</b> [40.000]	424 (N.D.) [24.617]	<b>420</b> (N.D.) [12.620]
Eil50 50 ciud.	<b>425</b> (427,96) <b>[1.830]</b>	428 (N.D.) [25.000]	426 <b>(427,86)</b> [100.000]	443 (N.D.) [68.512]	436 (N.D.) [28.111]
Eil75 75 ciud.	<b>535</b> <b>(542,31)</b> <b>[3.480]</b>	545 (N.D.) [80.000]	542 (549,18) [325.000]	580 (N.D.) [173.250]	561 (N.D.) [95.506]
KroA100 100 ciud.	<b>21.282</b> <b>(21.282,11)</b>	21.761 (N.D.)	(N.D.) (N.D.)	(N.D.) (N.D.)	(N.D.) (N.D.)

- 1 Introducción
- 2 Algoritmos Genéticos
- 3 Computación Evolutiva
- 4 Computación con Inspiración Biológica
  - Optimización mediante colonias de hormigas
- 5 **BIOLOGÍA Y COMPUTACIÓN**