

Computación Emergente: Modelos de Insectos

Emergencia en el Reino Animal

Colonias de Hormigas

Búsqueda de Alimento

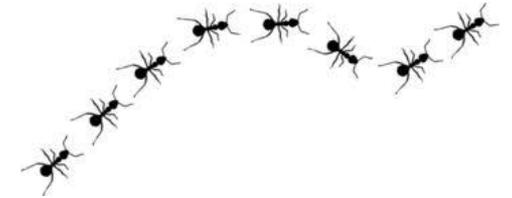
División del trabajo

Reclutamiento (migración de nidos, etc.)

Organización del ambiente (construcción de nidos)

Agregación (cementeros, clasificación de crías)

Transporte de Objetos



Abejas

Escogencia del Sitio para construir el Nido

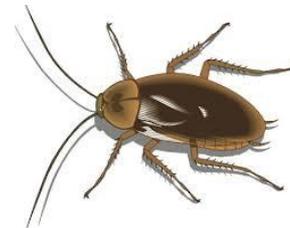
Búsqueda del Néctar

Comportamiento Defensivo

Construcción de Panales

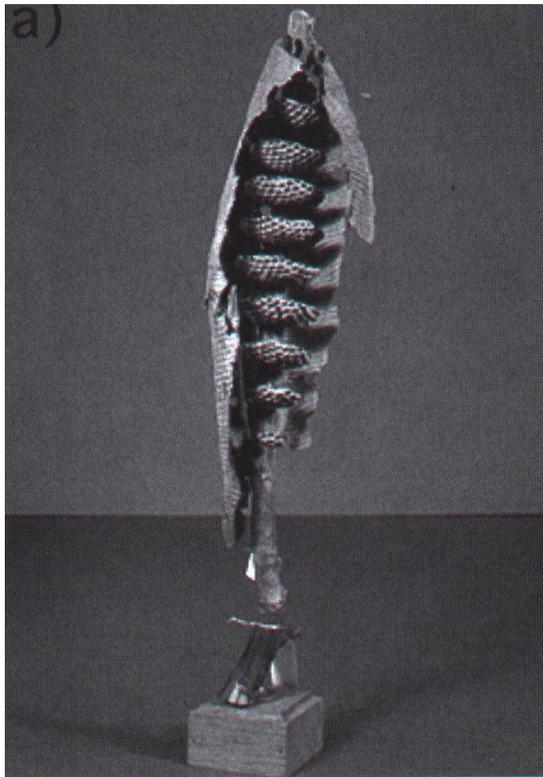


Cucarachas



Ejemplos

- Construcción de nidos
- Transporte de objetos



Emergencia en el Reino Animal

Los **modelos matemáticos** que se han venido desarrollando permiten **generar artificialmente** fenómenos de emergencia, que reflejan la funcionalidad y la adaptación del sistema.

Con los modelos matemáticos es posible observar la amplia variedad de estructuras espacio-temporales, la gran diversidad de patrones colectivos, etc.



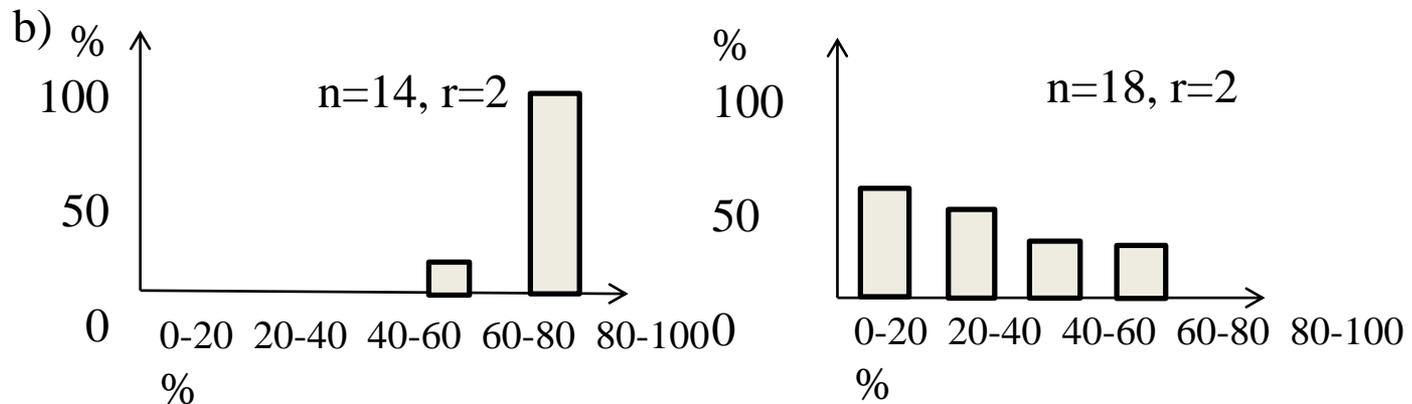
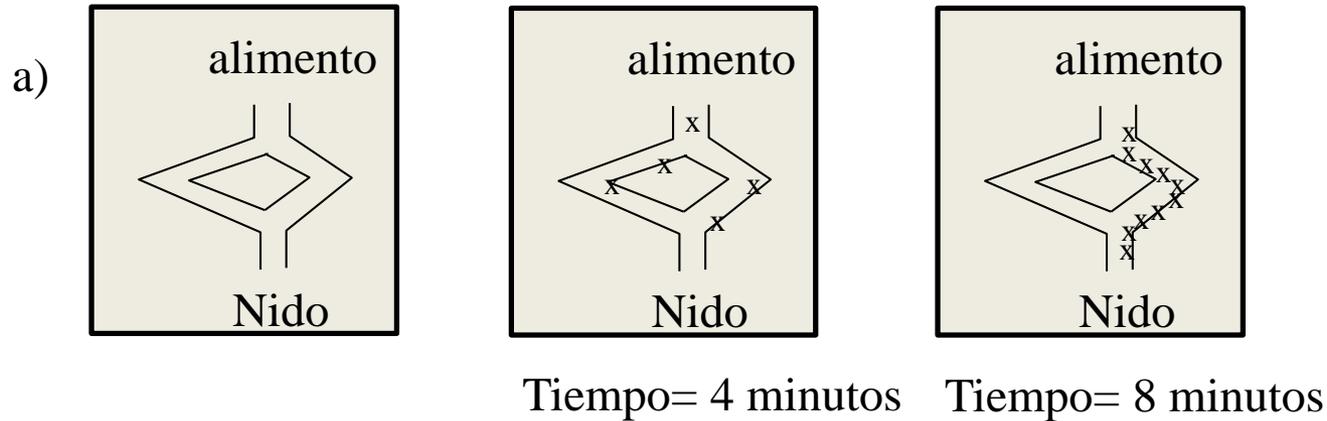
La lógica de creación y seguimiento de rastros es la fuente inspiradora de muchos modelos artificiales

Emergencia en el Reino Animal

- Las hormigas, conjuntamente con las termitas, **dominan el planeta** (representan el 30% de la biomasa del Amazona).
- Las hormigas poseen un **magro vocabulario** basado en **feromonas**, y **habilidades cognitivas mínimas**, pero resuelven problemas colectivamente con sutileza e improvisación
- **Ninguna hormiga** está a cargo de la operación, por lo que desarrollan formas de **ingeniería y coordinación social**.
- Las hormigas **piensan y actúan localmente** (prestan atención a sus vecinos), pero su **acción colectiva** produce un comportamiento global.
- Las hormigas **estiman variables** características de la colonia, es la base de la **planificación descentralizada**
- El proceso de **toma de decisiones se distribuye** entre miles de hormigas, el **margen de error es despreciable**.



Emergencia en el Reino Animal



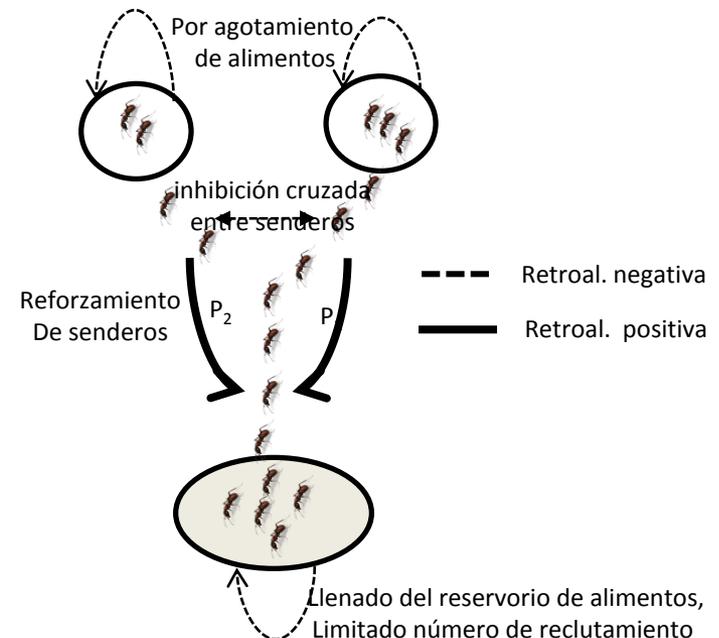
- a) Experimento donde una colonia de Hormigas *Linepitema humile* selecciona la rama corta después de 8 minutos de que el obstáculo fue colocado.
- b) Porcentaje de hormigas que seleccionan la rama más corta de n experimentos. La rama más larga es r veces más larga que la rama corta.

Emergencia en el Reino Animal

Algunos aspectos interesantes del modelo no lineal presente en las hormigas

- La idea de **Bifurcación**
- El esquema básico de interacción
- Los **patrones** dinámicos
- Los lazos de **retroalimentación**
- Capacidad de **auto-organizarse** para adaptarse
- Manejo de la **incertidumbre y complejidad** del medio ambiente

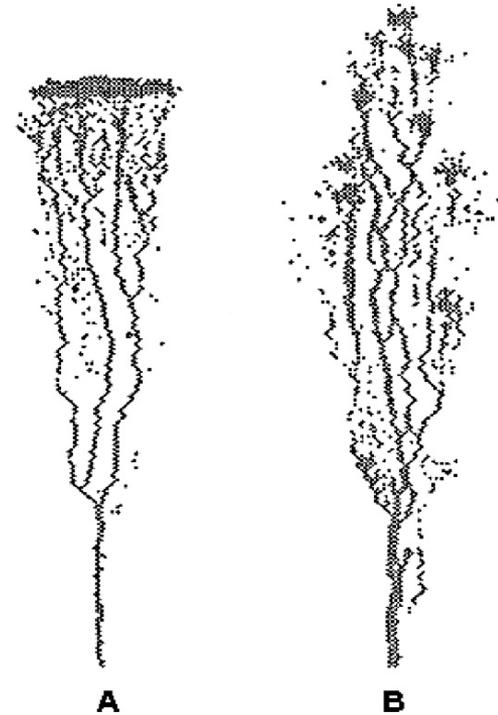
Ejemplo del efecto de las retroalimentaciones positivas y negativas en las colonias de hormigas buscando alimentos



Emergencia en el Reino Animal

Algunos aspectos interesantes del modelo no lineal presente en las hormigas

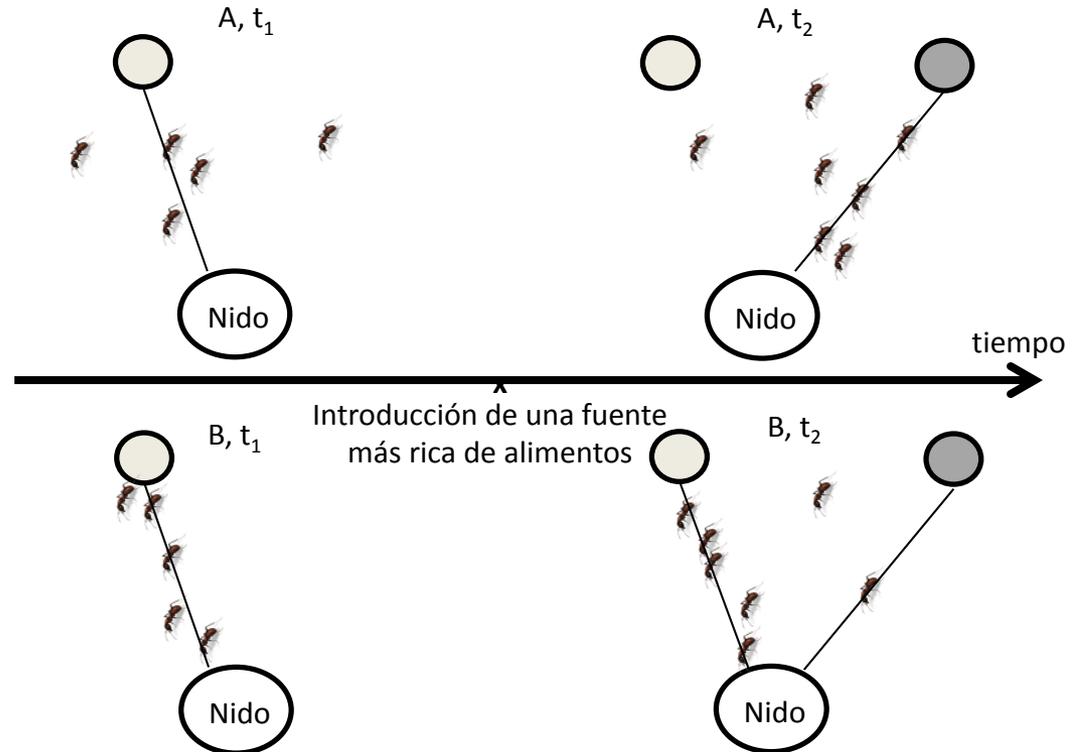
- Las fluctuaciones en las formaciones de patrones
- El tamaño de la población
- La sensibilidad al ambiente



Sensibilidad al ambiente: distintos patrones de forrajeo de las hormigas con dos distribuciones de alimentos diferentes. A) cada punto tiene una probabilidad 0,5 de contener 1 alimento; B) cada punto tiene una probabilidad 0.5 de contener 400 alimentos.

Emergencia en el Reino Animal

Algunos aspectos interesantes del modelo no lineal presente en las hormigas



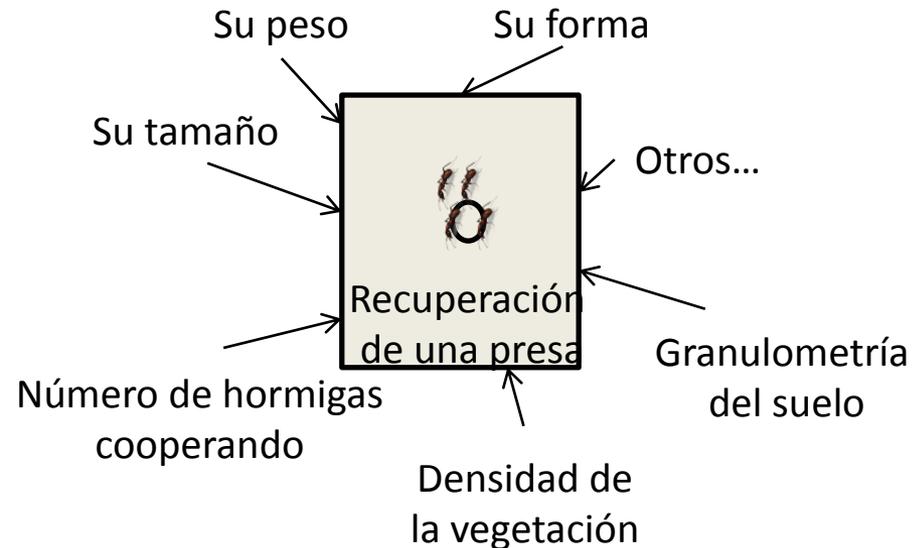
- ***El papel del ruido***

- Para un nivel alto de ruido (pobres rastros), las hormigas se encuentran dispersas en el forraje (t_1) y, si un alimento más rico se introduce más tarde (t_2), es probable que descubran y exploten preferiblemente esa nueva fuente.
- Para un bajo nivel de ruido (rastros fuertes), todas las hormigas se centran en el primer sendero (t_1) y cuando una nueva fuente más rica es introducida (t_2), la mayoría se mantendrá "atrapada" en la primera explotada la cual es sub-óptima

Emergencia en el Reino Animal

Algunos aspectos interesantes del modelo no lineal presente en las hormigas

- *Reglas simples para decisiones complejas:*
- *Las capacidades de estimación de las hormigas (número de individuos/recursos, etc.)*



Ejemplo de un criterio inteligente:
La capacidad de un insecto para recuperar una presa determina su decisión de reclutamiento colectivo, y por lo tanto, el patrón de forrajeo. Varios parámetros son integrados en el criterio "recuperación de una presa"

Sociedades de Insectos

- Son sistemas donde los individuos son incapaces de ponderar una situación global, pero sin embargo trabajan de forma coordinada usando solo información local
 - => prestan atención a sus vecinos y no esperan ordenes de arriba
- Piensan y actúan localmente, pero su acción colectiva produce comportamiento global
- Variables como: tamaño de la colonia, cantidad de comida almacenada en el hormiguero, presencia de otras colonias; no pueden ser estimadas por una hormiga individualmente

Sociedades de Insectos

- El procesamiento de la información se hace a través del **feromona** (papel central en la organización de las colonias)
- La comunicación de las hormigas esta compuesta de no mas de **20 signos** basadas casi todas en el feromona.
- **Codifican**: reconocimiento de tareas, atracción de rastros, alarmas, comportamiento necrofórico, etc.
- Si bien **el vocabulario** es simple y no permite estructuras gramaticales complejas, **tiene formas**:
 - binarias,
 - gradientes en el feromona (p.e. intensidad del olor), o
 - frecuencia de ciertos semioquimicos (diferencia entre encontrar 10 a 100 hormigas en una hora)

Sociedades de Insectos

- **Hormigas llevan una muestra estadística del tamaño de la población**, basadas en sus encuentros casuales con otras
Esta retroalimentación positiva es la base de la planificación descentralizada

- **Basándose en la información de: señal de feromona y como frecuencia en el tiempo**, pueden adecuar su propia conducta

Usando probabilidades estadísticas

- Dado que **el proceso de toma de decisiones se distribuye entre miles de hormigas**, el margen de error es despreciable. Para cada hormiga que sobreestima el número de hormigas haciendo algo, otra la subestima neutralizándoles.

Sociedades de Insectos

- Las colonias de hormigas atraviesan ciclos: infancia, adolescencia, madurez a lo largo de sus 15 años de existencia
- Las colonias mas jóvenes son mas inestables
- Las hormigas que la conforman no viven mas de 12 meses (incluso días)

*La **conducta global que sobrevive** es una de las características que definen a los sistemas complejos: hormigas van y vienen y sin embargo las colonias se vuelven mas maduras, estables y organizadas*

No somos tan diferentes que de los sistemas de insectos: la relación entre las células del cuerpo es realmente muy parecida a las de abejas en el panal

Sociedades de Insectos

**Sistema basado en la macrointeligencia y la adaptatividad
derivada del conocimiento local**

Autonomía vs. Control

Emergente vs. Programado

Distribuido vs. Centralizado

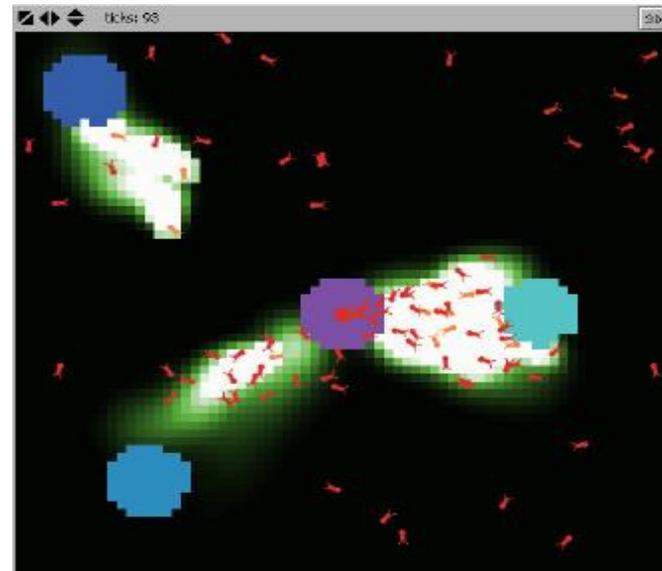
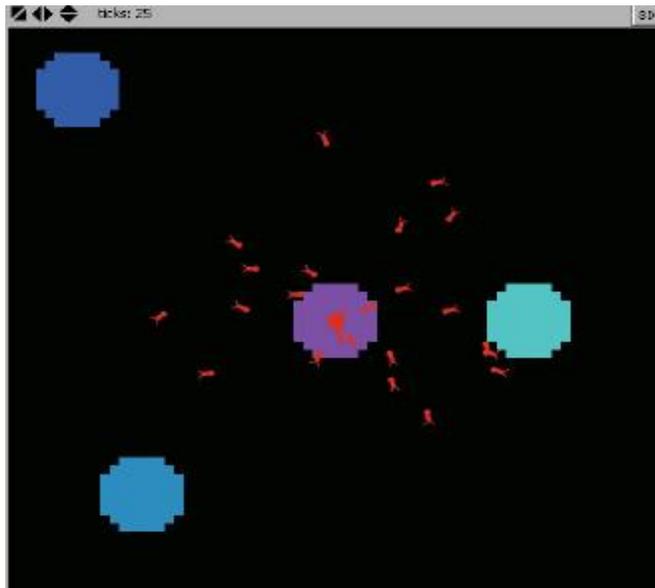
Ideas Claves

- Especies Polimorfas
- Plasticidad
- Robustez
- Flexibilidad
- Comportamiento Colectivo

Auto-organización de una colonia de hormigas.

Hormigas recolectan alimentos desde distintas fuentes y segregan feromonas para comunicarse.

- **Patrón emergente:** explotación secuencial de las fuentes (de la más cercana a las más lejana)



Algunos retos

- ¿Qué factores explican el orden emergente?
- ¿Qué sucede cuando el número de hormigas en la colonia es relativamente reducido?
- Cuando dos fuentes de alimentos son equidistantes ¿cuál de ellas va a ser explotada en primer término?

Comportamiento de las Hormigas

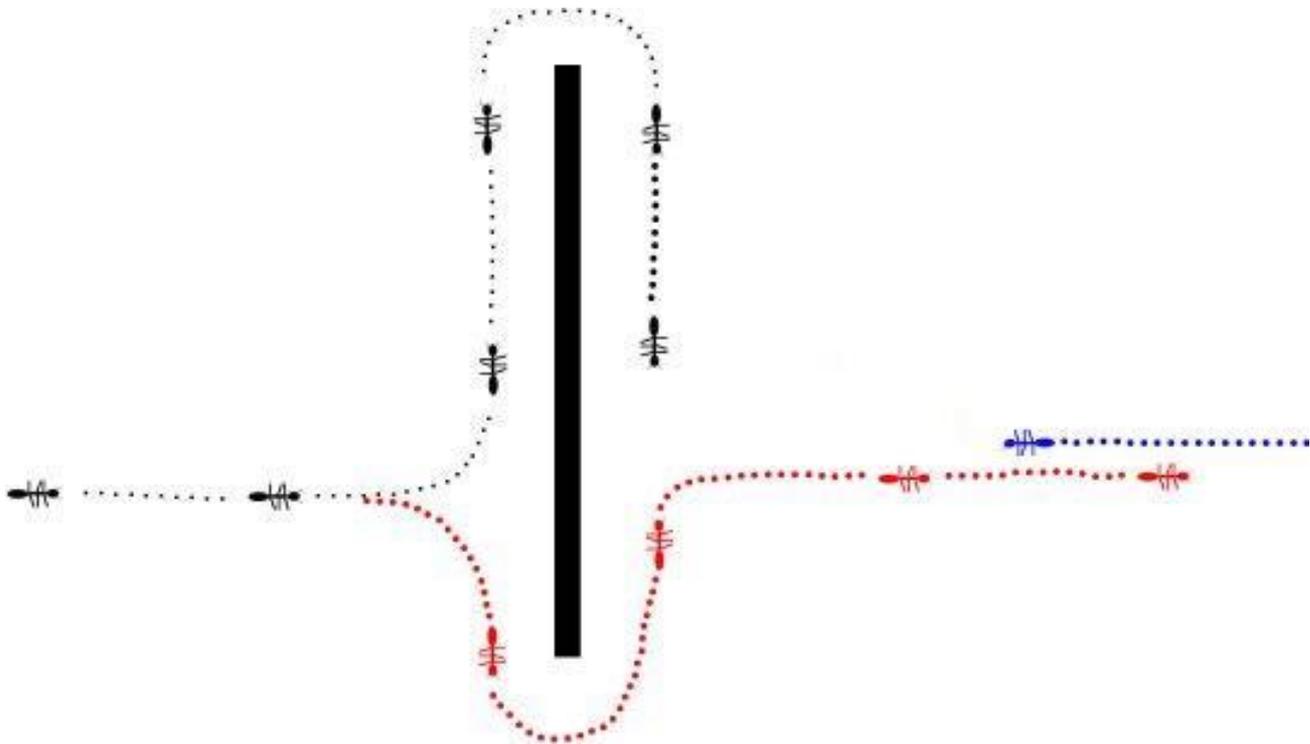


Comportamiento de las Hormigas

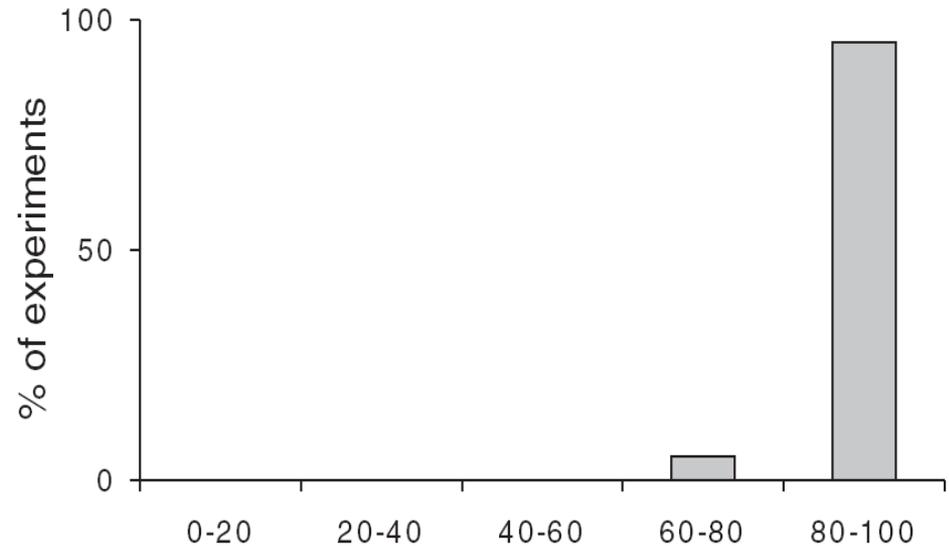
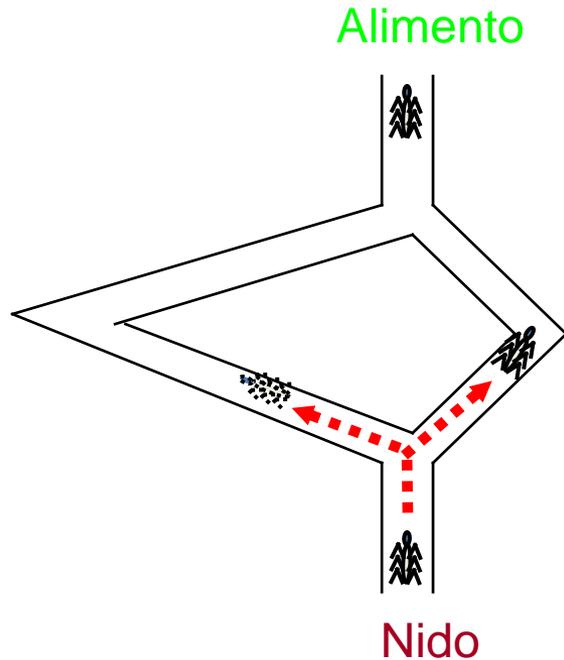
- Conexión entre la microconducta de hormigas individuales y el comportamiento general de las colonias
- **La reina no es una figura con autoridad:** pone huevos y es alimentada y cuidada por las obreras, pero no decide lo que hacen ellas
- Las hormigas que llevan a la reina a su refugio no lo hacen porque se los ordeno un líder, sino porque la reina engrenda a todos los miembros de la colonia, y por tanto es de interés de toda la colonia.

La matriarca no enseña a sus sirvientes que la protejan, la evolución si

Experimento de base



HORMIGAS REALES



LAS HORMIGAS COORDINAN SUS ACTIVIDADES EXPLOTANDO LA COMUNICACIÓN INDIRECTA MEDIADA POR MODIFICACIONES DEL AMBIENTE EN EL CUAL SE MUEVEN = COMUNICACIÓN *STIGMERGY*

Comportamiento como saqueo- forraje de las Hormigas

Auto-organización:

- Deposito de *feromona*
- Seguimiento de los *feromona*

Caso 1: Puente Binario

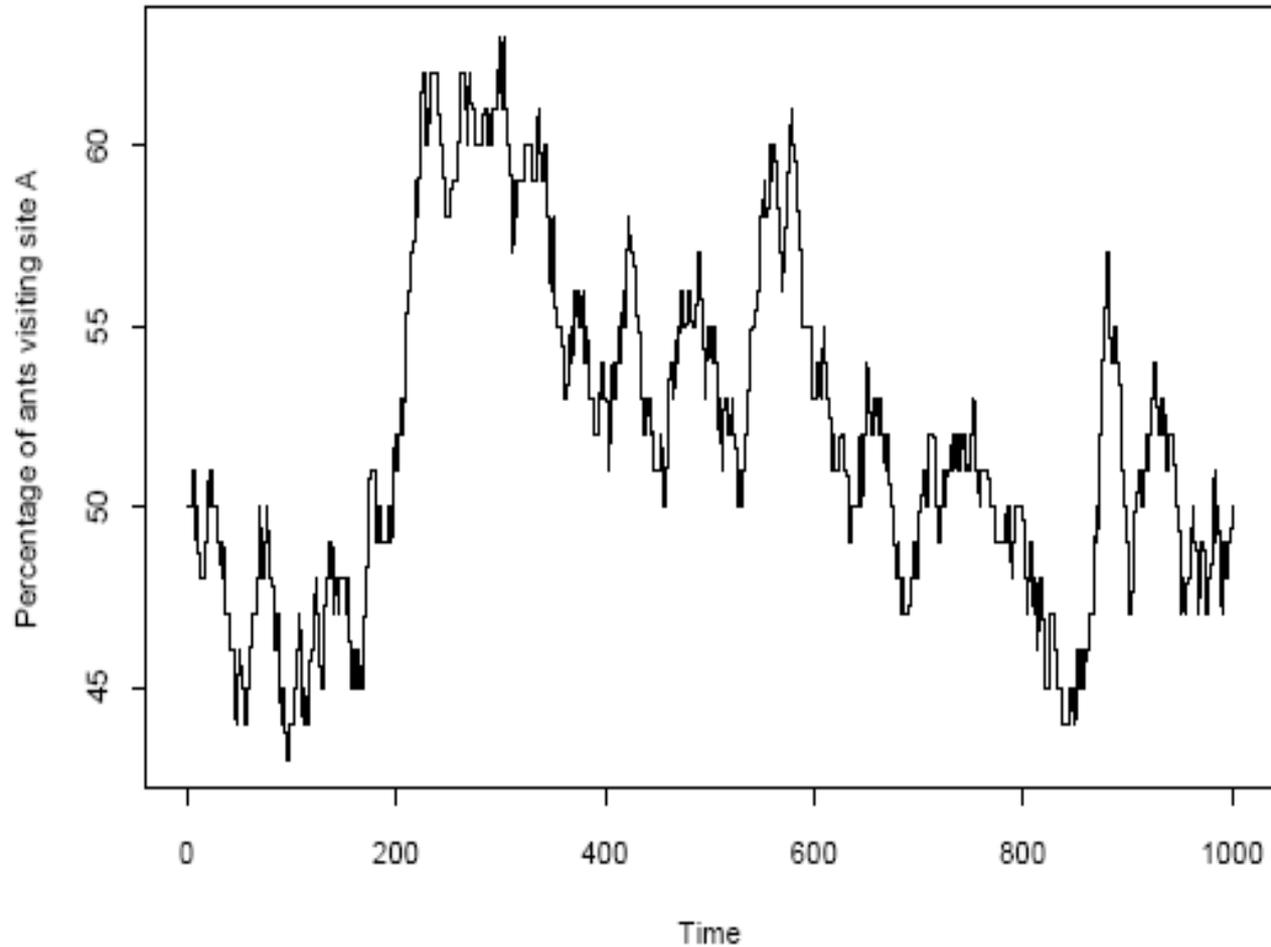
$$P_A = 1 - P_B = \frac{(k + A_i)^n}{(k + A_i)^n + (k + B_i)^n}$$

A_i : Numero de hormigas que toman camino A

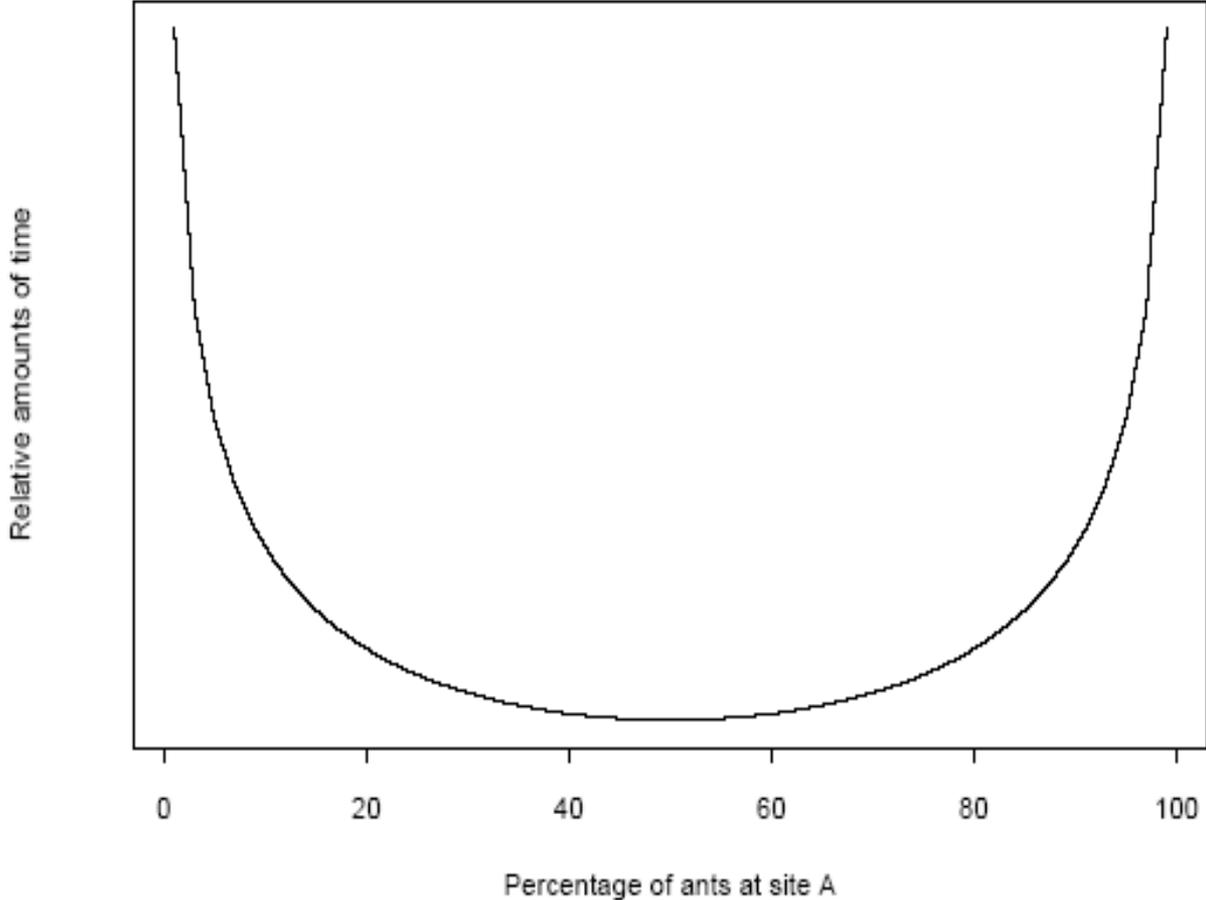
k: grado de atracción

n: grado de no linealidad

Distribución de la población de hormigas en las fuentes de alimentos



Frecuencia relativa del porcentaje de hormigas en la fuente A



Comportamiento como saqueo- forraje de las Hormigas

Caso 2: Los Patrones de incursión/ataques de grupos/armadas de hormigas

Probabilidad de moverse:
$$P = \frac{1}{2} \left[1 + \tan g \left(\frac{F_i + F_d}{100} - 1 \right) \right]$$

$F_d(i)$: cantidad feromona a la derecha (*izquierda*)

Probabilidad de moverse a la izquierda:

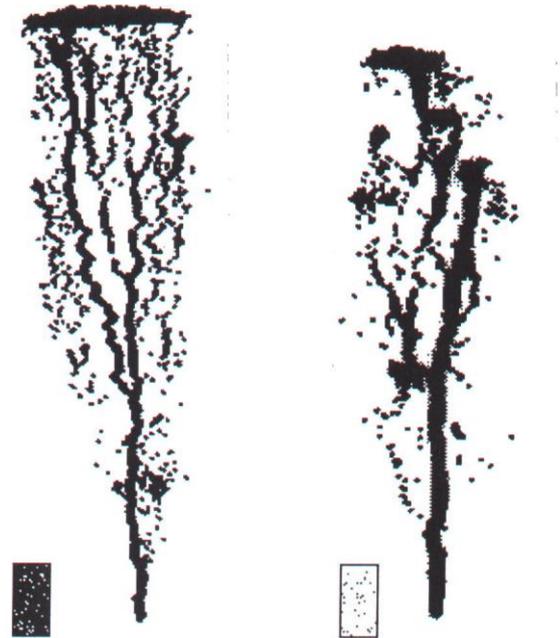
$$P_i = \frac{(4 + F_i)^2}{(4 + F_i)^2 + (4 + F_d)^2}$$

Comportamiento como saqueo- forraje de las Hormigas

- Sistemas Reales



- Simulaciones



MODELADO

- Rutas
- Toma de decisiones
- Actualización de los rastros de feromona
- Evaporación

Ant Colony Optimization (ACO)

El enfoque ACO engloba a todos aquellos algoritmos cuyo diseño está basado en el comportamiento de las colonias de hormigas reales.



Ant Colony Optimization (ACO)

- Las hormigas reales (ciertas especies) dejan un rastro (**feromona**) que puede ser detectado por el resto de la colonia (**comunicación indirecta o stigmergy**)
- Un Algoritmo ACO es un proceso distribuido en el que un conjunto de **agentes** (reactivos) actúan en forma independiente, pero **cooperan esporádicamente en forma indirecta** para llevar a cabo un objetivo común.

Consideraciones para su aplicación

- El enfoque ACO es particularmente adecuado para ser aplicado a problemas que acepten una **representación vía grafo** (necesario para imitar la búsqueda de un camino)
- **Representación del rastro** de feromona y su asociación a las conexiones entre las componentes del problema.
- Posibilidad de añadir **conocimiento del problema (heurística local)** para guiar junto con el rastro la construcción de las soluciones.

Sistemas Artificiales de Hormigas

Regla de Transición:

$$P_{rs}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\gamma_{rs}(t)]^\alpha [\eta_{rs}]^\beta}{\sum_{u \in J_r^k} [\gamma_{ru}(t)]^\alpha [\eta_{ru}]^\beta} & \text{Si } s \in J_r^k \\ 0 & \text{De lo contrario} \end{cases}$$

$\gamma_{rs}(t)$: Cantidad de feromona,
 $J_k(r)$: nodos aun no visitados,

η_{rs} : inverso de la distancia
 β y α : parámetros

Regla de actualización de las trazas:

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

$(1-\rho)$: tasa de evaporación, m : numero de hormigas
 $\Delta\gamma_{rs}^k(t)$: cantidad de traza que se deja por unidad de longitud

Sistemas Artificiales de Hormigas

Cantidad dejada de *feromona*

$$\Delta\gamma_{rs}^k(t) = \begin{cases} 1/L_k(t) & \text{Si arco } (r,s) \in \text{tour completado por hormiga } k \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

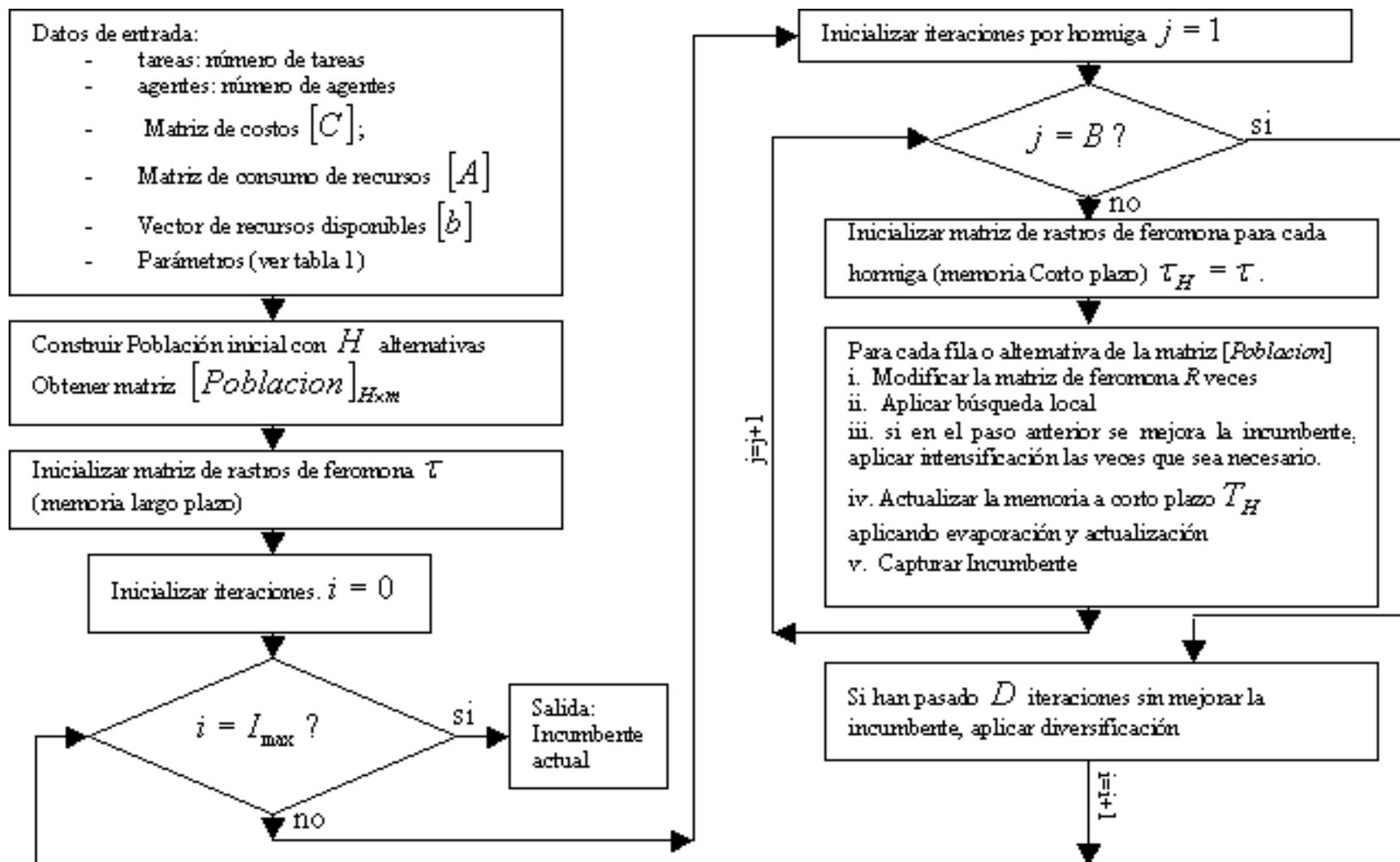
Extensiones

- Exploración vs. Explotación
- Regla Actualización global vs. Local

Sistemas Artificiales de Hormigas

- **Retroalimentación Positiva**
 - Reforzar buenas soluciones
- **Retroalimentación Negativa**
 - Evaporación
- **Comportamiento Colectivo Paralelo**
- **Apropiado para problemas dinámicos**
(no convergencia)

ALGORITMO

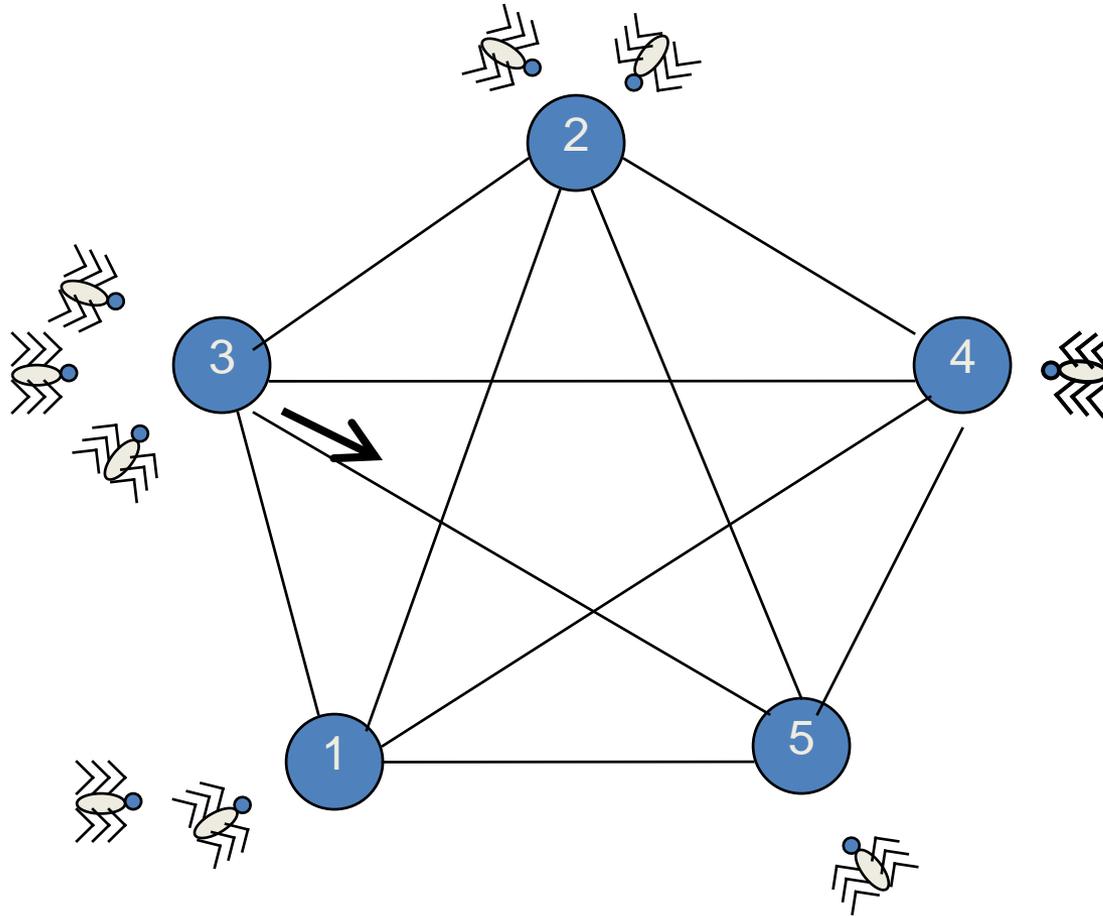


Aplicación

Ejemplo clásico el problema TSP

- **Representación del rastro** de feromona puede ser realizado a través de una matriz de números reales (τ) de $n \times n$.
- **Heurística local:** $1/d_{ij}$, es decir, un valor inversamente proporcional a la distancia entre las ciudades i y j .

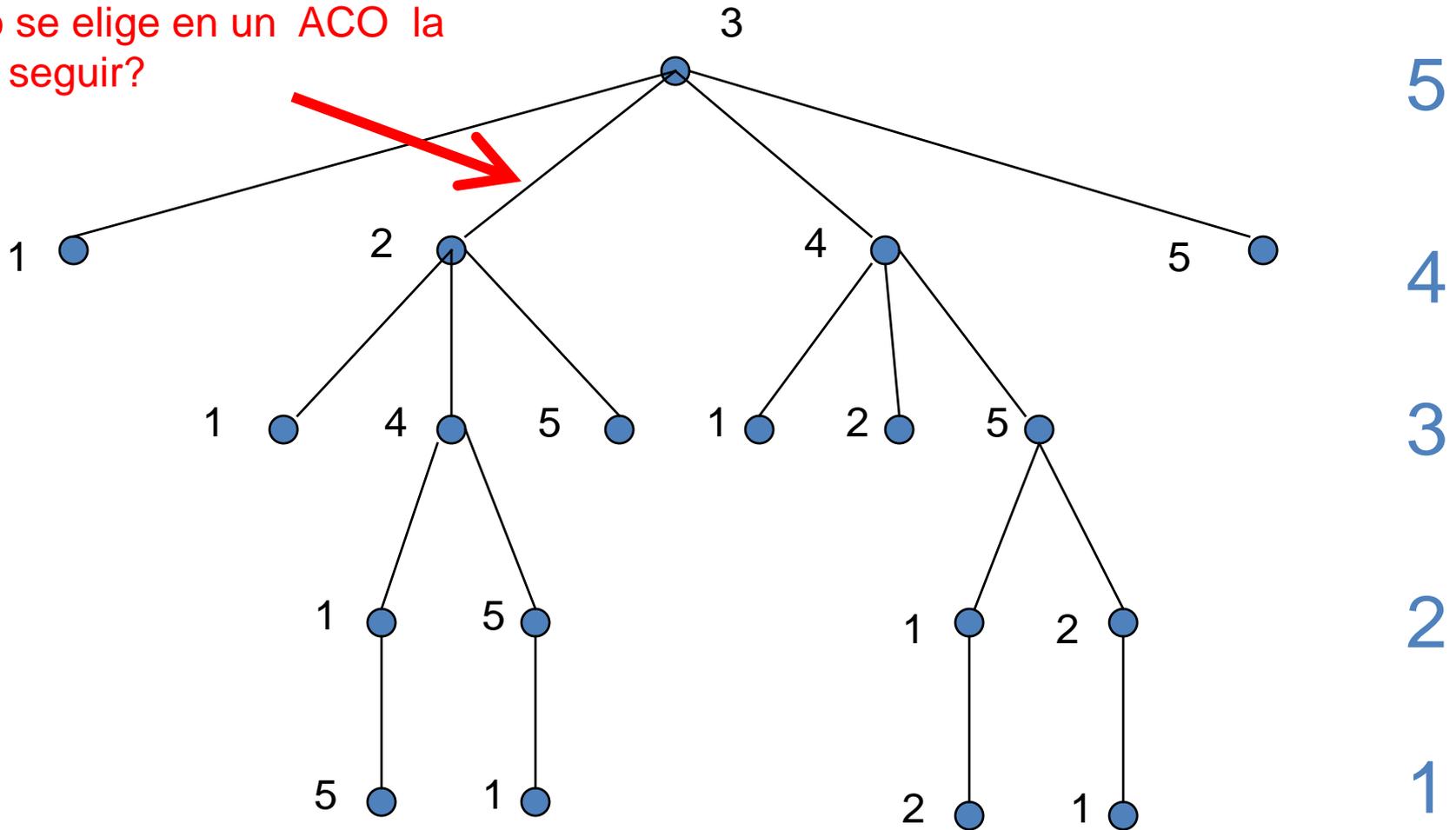
ACO aplicado a TSP



Espacio de Búsqueda - TSP

Algoritmo ACO

¿Cómo se elige en un ACO la rama a seguir?



El primer algoritmo ACO (Ant System o AS)

```
Inicializar();  
for c=1 to Nro_ciclos  
{  
  for k=1 to Nro_ants  
    ant-k construye solución k;  
  Guardar la mejor solución;  
  Actualizar Rastro (i.e.,  $\tau_{ij}$ );  
  Reubicar hormigas para el próximo  
  ciclo;  
}  
Imprimir la mejor solución encontrada;
```

El primer algoritmo ACO (Ant System o AS)

```
Inicializar();  
for c=1 to Nro_ciclos  
{  
  for k=1 to Nro_ants  
    ant-k construye solución k;  
  Guardar la mejor solución;  
  Actualizar Rastro (i.e.,  $\tau_{ij}$ );  
  Reubicar hormigas para el próximo  
  ciclo;  
}  
Escoger mejor solución encontrada;
```

La construcción se realiza
paso a paso en forma
probabilística considerando

τ_{ij} y η_{ij}

AS - Construcción de una solución para TSP

/* S_k : Solución o permutación construida por la hormiga k */

$S_k = \text{Ciudad_Inicial}$; (escogida de acuerdo a algún criterio)

mientras no se haya completado el tour

{

 Seleccionar próx. Ciudad (j) con probabilidad
 (i es la última ciudad incluida)

}

$$P_{ij}(k) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \cdot \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{h \in \text{No Visitadas}} \tau_{ih}^{\alpha} \cdot \eta_{ih}^{\beta}} & j \in \text{No Visitadas} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

El primer algoritmo ACO (Ant System o AS)

```
Inicializar();  
for c=1 to Nro_ciclos  
{  
  for k=1 to Nro_ants  
    ant-k construye solución k;  
  Guardar la mejor solución;  
  Actualizar Rastro (i.e.,  $\tau_{ij}$ );  
  Reubicar hormigas para el próximo  
  ciclo;  
}  
Escoger mejor solución encontrada;
```

Se puede hacer considerando todas las soluciones encontradas o un subconjunto de ellas

Actualización del Rastro en AS

Acumulación de rastro proporcional a la calidad de las soluciones
(i.e., $NroAnts$ soluciones):

$$\Delta \tau_{ij}(t+1) = \sum_{k=1}^{NroAnts} \Delta^k \tau_{ij}$$

Este valor es calculado directamente proporcional a la calidad de la solución

Actualización Efectiva (ρ es el factor de persistencia del rastro)

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}(t+1)$$

Sistemas Artificiales de Hormigas

- Viajero de Comercio

Grafo	CAS	ACS	GA	Optimo
ry48p	14430	14422	14422	14422
kro124p	36230	36230	36230	36230
ftv170	2755	2755	2755	2755

- Partición de Grafos

Grafo	Mejor	RRTS	CAS
G500.2.5	49	49 (2)	49 (74)
G500.05	218	218 (2.5)	218 (64)
G1000.05	445	445 (6.5)	445 (73)
G1000.20	3382	3382 (14.7)	3384 (91)
U500.05	2	2 (1.7)	2 (65)
U500.40	412	412 (10.2)	412 (65)

Importancia de Rastro (τ)

- Como todo método heurístico constructivo, un algoritmo ACO tiene su **bloque de construcción** a partir del cual se generan nuevas soluciones del espacio de búsqueda.
- El **bloque de construcción depende de τ** dado que incide directamente en las componentes a seleccionar.

Propiedades de convergencia de los algoritmos ACO

Proposición 4.1. Para cualquier τ_{ij} se tiene que:

$$\lim_{\theta \rightarrow \infty} \tau_{ij}(\theta) \leq \tau_{\max} = \frac{qf(s^*)}{\rho}$$

- Donde qf es una función de calidad, que debe ser de tipo no-creciente con respecto a f (función objetivo del problema bajo estudio), es decir si $f(s_1) > f(s_2)$ entonces $qf(s_1) \leq qf(s_2)$.
- la proposición 4.1 es válida debido a que la máxima cantidad posible de feromona añadida a cualquier arco (i, j) , después de cualquier iteración, es $qf(s^*)$, donde s^* es la solución óptima.

$$\tau_{ij}^{\max}(\theta) = (1 - \rho)^\theta \tau_0 + \sum_{i=1}^{\theta} (1 - \rho)^{\theta-i} qf(s^*)$$

Propiedades de convergencia de los algoritmos ACO

Proposición 4.2. Una vez que una solución óptima s^* se ha encontrado, se tiene que:

$$\forall i,j \in s^*: \lim_{\theta \rightarrow \infty} \tau_{ij}^*(\theta) = \tau_{\max} = \frac{qf(s^*)}{\rho}$$

Donde, τ_{ij}^* es el valor del rastro de feromona en la conexión $(i,j) \in s^*$.

Lo anterior quiere decir que, una vez que se ha encontrado una solución óptima, es válida la proposición 1, pero ahora solo en los arcos de la solución óptima, ya que son los únicos arcos que se actualizan con el feromona dejado por la solución optima

Propiedades de convergencia de los algoritmos ACO

Proposición 4.3. Una vez que una solución óptima ha sido encontrada, para cualquier τ_{ij} , tal que $(i,j) \notin s^*$, se da que:

$$\lim_{\theta \rightarrow \infty} \tau_{ij}(\theta) = 0$$

La proposición 4.3 es válida, ya que τ_{ij} empezará a decrecer para $(i,j) \notin s^*$, porque esos arcos dejarán de recibir feromonas, una vez encontrada la solución óptima (solo se evapora el feromona).

Sistema Combinatorio de Hormigas

1. Construir el Grafo de las hormigas
2. Definir las ecuaciones de la función de transición y de actualización de *feromona* según función objetivo del problema

$$\text{Tf}(\gamma_{rs}(t), \text{Cf}_{r \rightarrow s}^k(z)) = \gamma_{rs}(t)^\alpha / \text{Cf}_{r \rightarrow s}^k(z)^\beta$$

$$\Delta\gamma_{rs}^k(t) = \begin{cases} 1 / \text{C}_f^k(t) & \text{Si arco (r,s) ha sido visitado por hormiga } k \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

Sistema Combinatorio de Hormigas

Generar el grafo AS.

Definir la regla de transición y la fórmula de actualización de feromona según el problema de optimización combinatoria.

Repetir hasta que el sistema llegue a una solución estable

Colocar cada una de las m hormigas en algunos de los nodos del grafo AS.

Para $i = 1, n$

Para $j = 1, m$

Seleccionar el nodo s adonde se moverá hormiga j usando la probabilidad de transición.

Mover la hormiga j al nodo s .

Actualizar el feromona usando ecuaciones respectivas.

Aplicación en Problemas Dinámicos (Enrutamiento)

- Problema Distribuido y Cambiante en el tiempo
- Selección de caminos maximizando objetivos y minimizando costos
- Construir tablas de enrutamiento

$$R_i = [r_{n,d}^i(t)]_{k_i, N-1}$$

$r_{n,d}^i(t)$: probabilidad de que una hormiga cuyo destino es d sea enviado desde el actual sitio i a su sitio vecino n

k_i filas: nodos vecinos a i $N-1$ columnas: numero de sitios

Aplicación en Problemas Dinámicos (Enrutamiento)

- *Reforzamiento* de la Probabilidad

$$r_{i-1,d}^i(t+1) = \frac{r_{i-1,d}^i(t) + \delta r}{1 + \delta r}$$

- *Debilitamiento* de la Probabilidad

$$r_{n-1,d}^i(t+1) = \frac{r_{n-1,d}^i(t)}{1 + \delta r}$$

δr : parámetro de reforzamiento

Tal que se conserve: $\sum_n r_{n,d}^i(t) = 1$

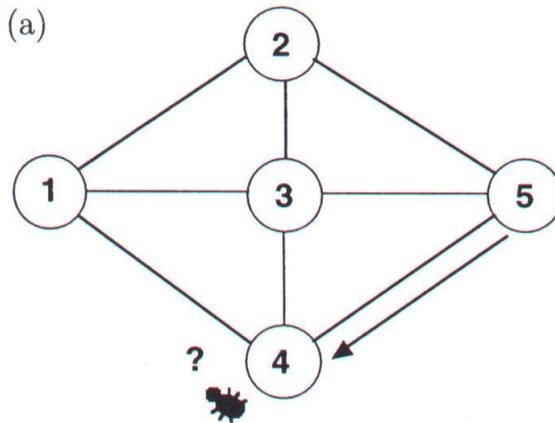
Aplicación en Problemas Dinámicos (Enrutamiento)

- Calculo de δr

$$\delta r = \frac{a}{T} + b$$

a, b: parámetros

T: tiempo pasado en la red



(b)

		Destination nodes			
		1	2	3	5
Neighbor nodes	1	0.8	0.3	0.1	0.1
	3	0.1	0.4	0.8	0.1
	5	0.1	0.3	0.1	0.8

Otros algoritmos ACO

Surgen como respuesta a ciertos problemas observados en AS y básicamente se diferencian en cómo usan y/o modifican el rastro de feromona.

- MinMax-AS (control sobre los valores del rastro)
- AS-rank (ranking de soluciones)
- AS-elitism (solo la mejor solución)
- Ant Colony System (ACS)
- Ant-Q (basado en Q-Learning)

Aplicaciones de ACO

- TSP
- Scheduling
- Vehicle Routing Problem (VRP)
- Data Mining (Ant-Miner & Ant-Tree)
- Problemas de Grafos (Clique, Coloreo, etc.)
- Ruteo Dinámico (ANT-Net)
- Problemas con funciones continuas y restricciones
- Geometría Computacional (Algunas ideas)

División del Trabajo y Asignación de Tareas

División del Trabajo y Asignación de Tareas

- Elasticidad del comportamiento de los individuos
- Reacción a estímulos asociados a tareas
- Especialización
- Plasticidad
- Robustez/Elasticidad

Modelo de Umbral de Respuesta y Aprendizaje

Mecanismo de División del Trabajo

- Trabajos Temporales (castas por edad)
- Trabajadores Polimorfos (castas morfológicas)
- Variabilidad Individual (castas comportamentales)

Umbral de Respuesta

- Cada Individuo:
umbral de respuesta por tarea
- Caso individuo que hace una tarea desaparece:
estimulo asociado a la tarea aumenta en intensidad en el resto de los individuos
- Tarea hecha por un individuo:
reduce intensidad del estimulo asociado a esa tarea

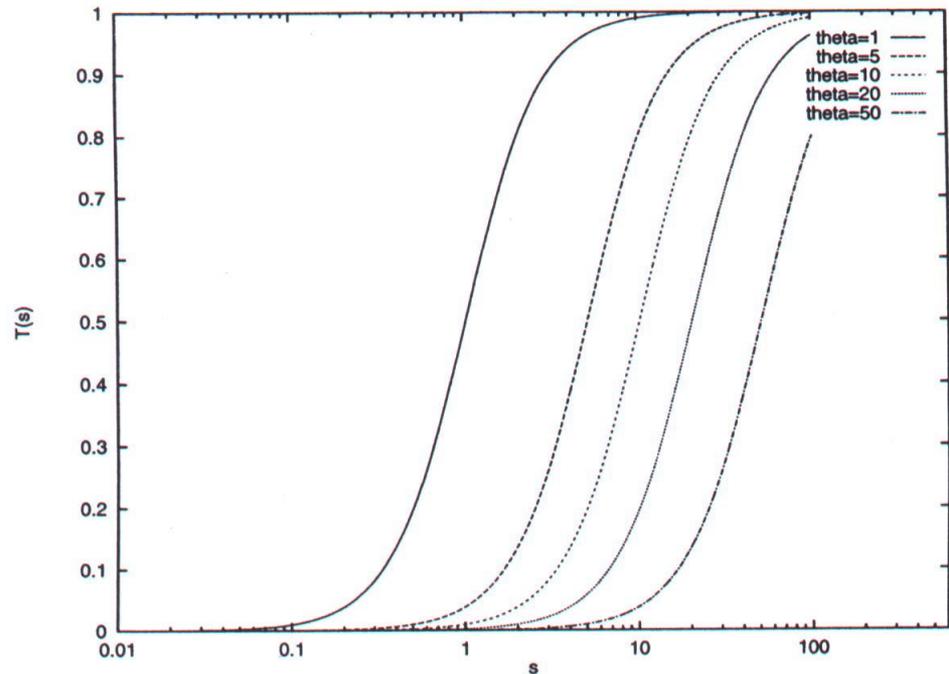
Umbral de Respuesta

- Función de Respuesta: *probabilidad de realizar la tarea en función de la intensidad del estímulo s*

$$T_{\theta}(s) = \frac{s^n}{s^n + \theta^n}$$

θ : umbral de respuesta

n : grado de no linealidad
del modelo



Modelo con m tareas y varios tipos de trabajadores

- Dinámica de los x_{ij}
$$\partial_t x_{ij} = \frac{s_j^n}{s_j^n + \theta_{ij}^n} \left(1 - \sum_{k=1}^m x_{ik} \right) - p x_{ij}$$

p : probabilidad que un individuo activo pase a inactivo

x_{ij} : fracción de individuos del tipo i realizando la tarea j (N_{ij}/n_i)

- Dinámica de s (caso $i=1, 2$)
$$\partial_t s_j = \delta_j - \alpha_j \sum_{i=1}^N x_{ij}$$

N : Números de tipos de individuos en la colonia ($N = \sum n_i$)

α_j : valor escalar que mide la dificultad de la tarea j

δ_j : aumento de la intensidad del estímulo por unidad de tiempo

Especialización

Probabilidad que individuo i haga tarea j

$$T_{\theta_{ij}}(s_j) = \frac{s_j^n}{s_j^n + \theta_{ij}^2}$$

Actualización de θ_{ij} es

β : tazas de aprendizaje

$$\theta_{ij} = \theta_{ij} - x_{ij}\beta\Delta t + (1 - x_{ij})\lambda\Delta t$$

λ : tasa de olvido

Aplicación: Asignación de Tareas Adaptativa

- Probabilidad que individuo i localizado en la zona $z(i)$ responda a la demanda s_j en zona j

$$P_{ij} = \frac{s_j^n}{s_j^n + \alpha \theta_{ij}^2 + \beta d_{z(i),j}^n}$$

β, α : coeficientes positivo

$d_{z(i),j}$: distancia entre la zona $z(i)$ y j o cualquier factor como embotellamiento

- Actualización del Umbral de Respuesta

$$\theta_{i,j} = \theta_{i,j} - \xi_0$$

$$\theta_{i,n(j)} = \theta_{i,n(j)} - \xi_1 \quad \forall n(j)$$

$$\theta_{i,k} = \theta_{i,k} + \lambda \quad \forall k \neq j \text{ y } k \notin n(j)$$

ξ_0, ξ_1 : coeficientes de aprendizaje

λ : coeficiente de olvido

$n(j)$: conjunto de zonas alrededor de j

Ordenamiento y Agrupamiento

Ordenamiento y Agrupamiento

- Comportamientos en sociedades de insectos:
 - Agrupar cadáveres para formar cementerios
 - ordenar larvas para formar pilas
- Agentes caminan aleatoriamente y depositan objetos según información local

Ordenamiento y Agrupamiento

- Hay hormigas que son **basureras**: recogen las sobras del alimento que han recolectado y las colocan en un vertedero
- Pero del otro lado esta el **cementerio**: cientos de cadáveres de hormigas apilados cuidadosamente
- Tanto el vertedero como el cementerio están en un **lugar alejado de la colonia**, siguiendo una *regla*: colocar las hormigas muertas y el vertedero lo mas lejos posibles, pero separados entre si maximizando la distancia entre los 3
- Quién hace el calculo de este problema de matemática espacial?

La inteligencia emergente de los sistema de auto-organización

Ordenamiento y Agrupamiento

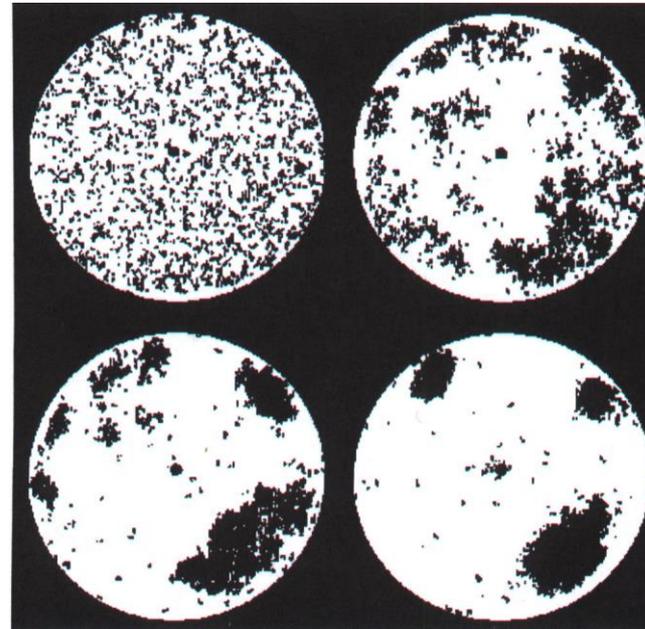
- **Agrupar cadáveres**
 - cadáveres distribuidos aleatoriamente
 - Retro-alimentación positiva
 - => feromona de agregación
- **Ordenar larvas**
 - Trabajadores depositan larvas según tamaños:
 - Larvas grandes en la periferia y pequeñas en el centro
 - Diferente cantidad de espacio es asignado a cada tipo de larva

Ordenamiento y Agrupamiento

- Ordenamiento



- Agrupamiento



Agrupamiento

- **Objetivo:** Objetos aislados deben ser recogidos y depositados en sitios donde hallan mas del mismo tipo
- **Modelo para un solo tipo de objeto**
 - Probabilidad para un agente sin carga recoja un objeto

$$P_R = \left(\frac{K_1}{K_1 + f} \right)^2$$

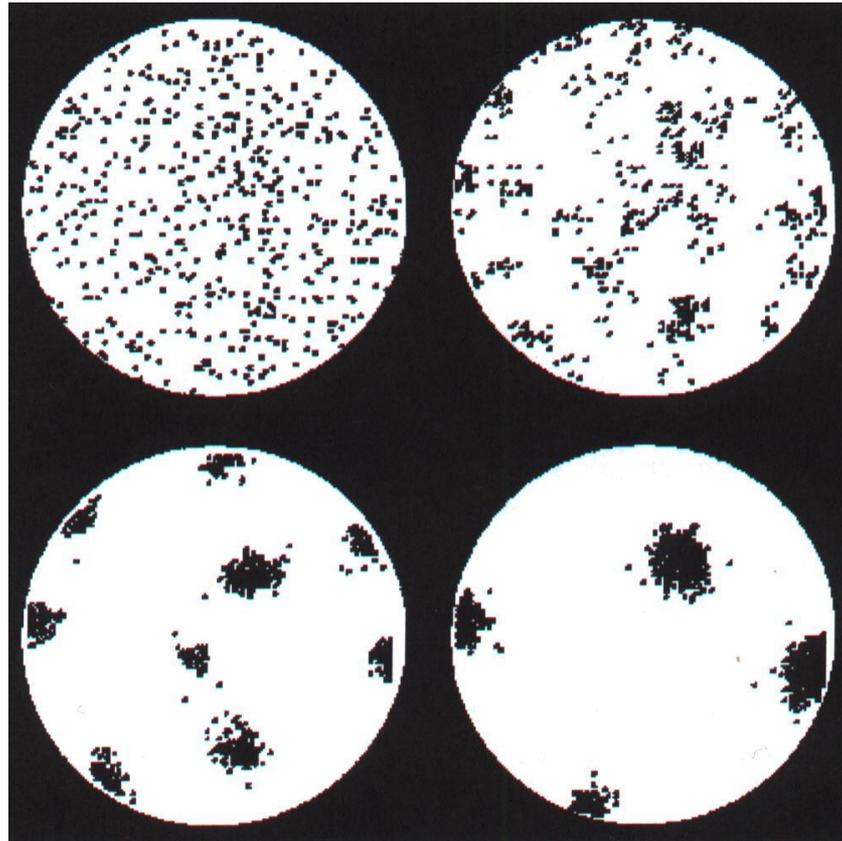
- Probabilidad para un agente con carga deposite un objeto

$$P_d = \left(\frac{f}{K_2 + f} \right)^2$$

K_1, K_2 : umbral (constante)

f : fracción de objetos percibidos en la vecindad del agente (f : numero de objetos durante los últimos T unidades de tiempo dividido por el numero de objetos máximo que se puede encontrar durante ese lapso de tiempo)

Agrupamiento: Resultados Simulaciones



Ordenamiento

- Suponga dos tipos de elementos A y B

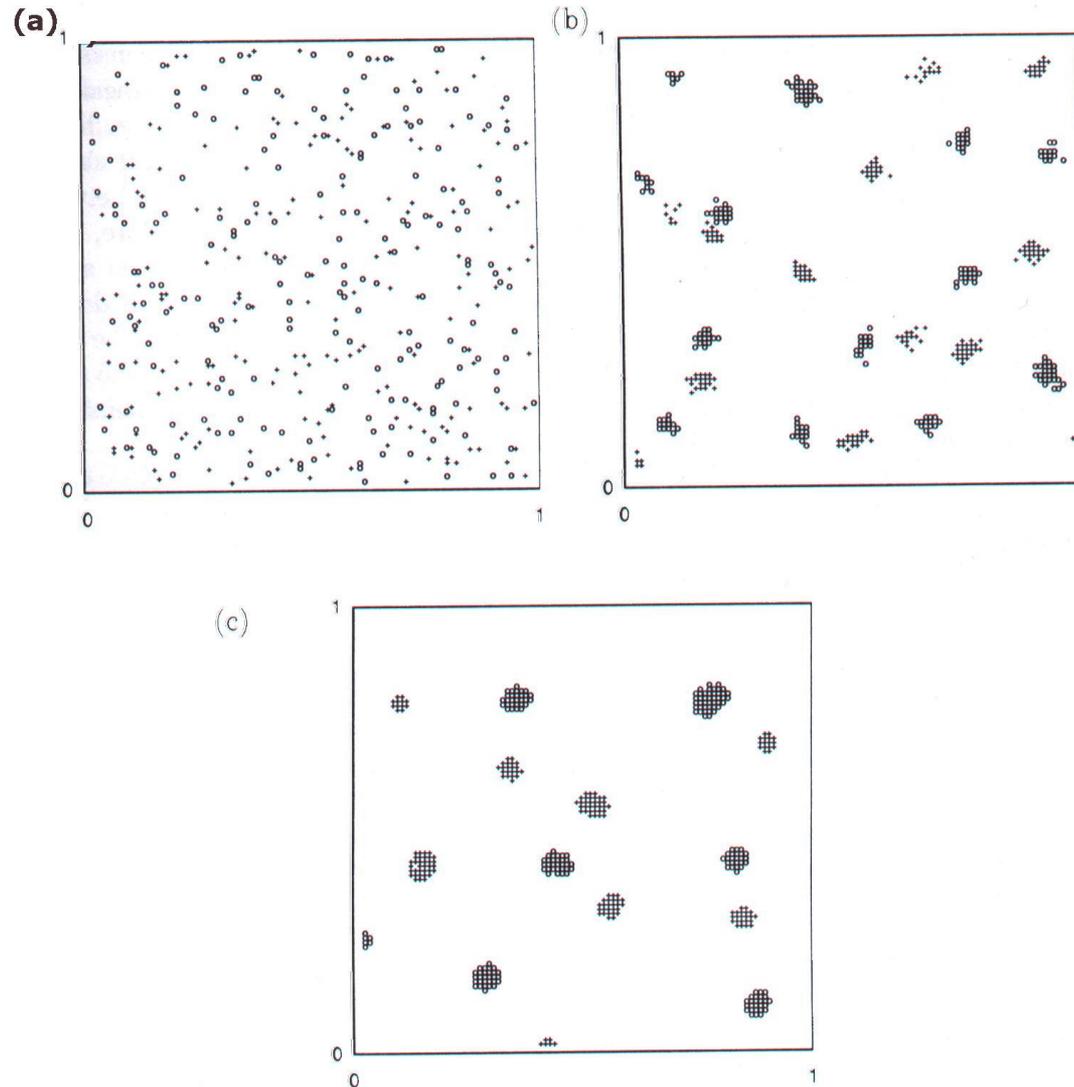
$$P_R(A) = \left(\frac{K_1}{K_1 + f_A} \right)^2$$

$$P_R(B) = \left(\frac{K_1}{K_1 + f_B} \right)^2$$

$$P_d(A) = \left(\frac{f_A}{K_2 + f_A} \right)^2$$

$$P_d(B) = \left(\frac{f_B}{K_2 + f_B} \right)^2$$

Ordenamiento: Resultados Simulaciones



Aplicación: Análisis de Datos

- **Probabilidad de Recolección y Deposito**

$$P_R(o_i) = \left(\frac{K_1}{K_1 + f(o_i)} \right)^2 \quad P_d(o_i) = \begin{cases} 2f(o_i) & \text{si } f(o_i) < k_2 \\ 1 & \text{si } f(o_i) \geq k_2 \end{cases}$$

$f(o_i)$: similaridad promedio del objeto o_i con otros objetos o_j presentes en la vecindad de o_i (densidad local)

$$f(o_i) = \begin{cases} \frac{1}{s^2} \sum_{o_j \in \text{Vecino}_{(sxs)}(r)} \left[1 - \frac{d(o_i, o_j)}{\alpha} \right] & \text{si } f > 0 \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

$d(o_i, o_j)$: distancia entre objetos o_i y o_j

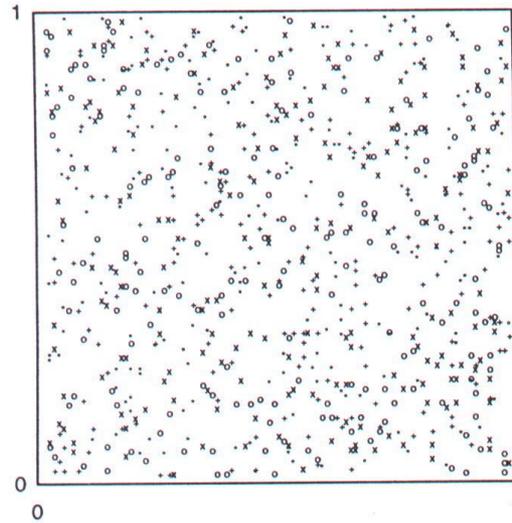
(distancia inter-grupo >> distancia intra-grupo)

α : factor de disimilaridad r : sitio donde esta agente

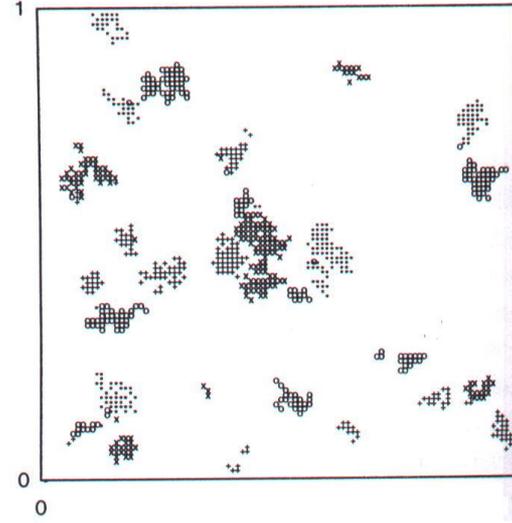
s^2 : sitios alrededor de r ocupados por objetos parecidos a o_i

Aplicación: Análisis de Datos

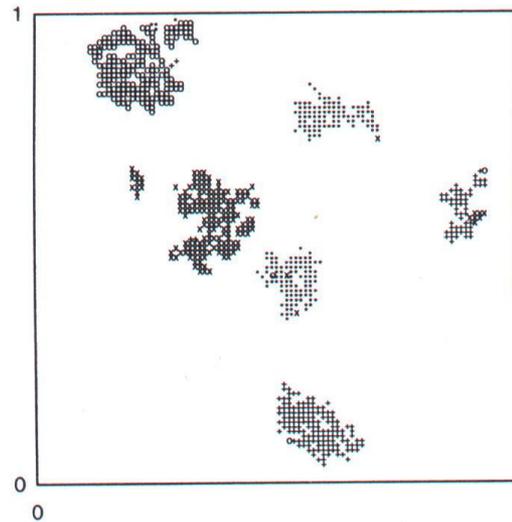
(a)



(b)



(c)



Aplicación: Partición de Grafos

- Objetivo:

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^n a_{ij} (x_{im} - x_{jm})$$

a_{ij} : matriz de adyacencia

x_{im} : coordenadas vértice i en R^n

- Distancia:

$$d(v_i, v_j) = \frac{\sum_{k=1}^n |a_{ij} - a_{jk}|}{\sum_{k=1}^n |a_{ik}| + \sum_{k=1}^n |a_{jk}|}$$

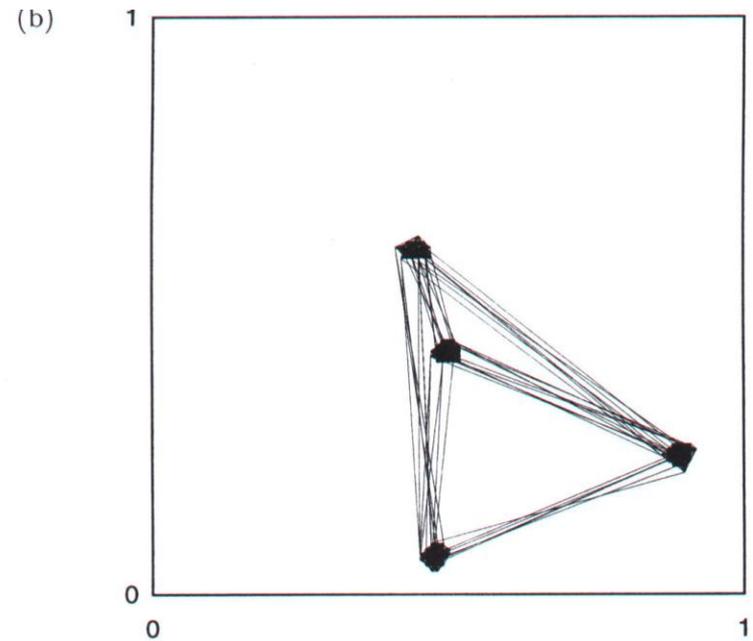
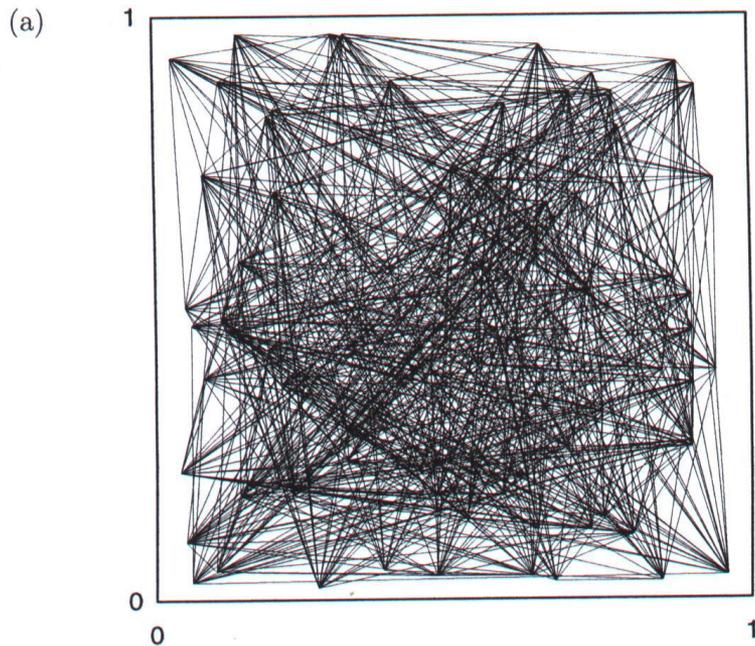
- Densidad Local

$$f(v_i) = \begin{cases} \frac{1}{s^2} \sum_{v_j \in \text{Vecino}_{(sxs)}(r)} \left[1 - \frac{d(v_i, v_j)}{\alpha} \right] & \text{si } f > 0 \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

- Probabilidad de tomar o depositar

$$P_R(v_i) = \left(\frac{K_1}{K_1 + f(v_i)} \right)^2 \quad P_d(v_i) = \left(\frac{f(v_i)}{K_2 + f(v_i)} \right)^2$$

Aplicación: Partición de Grafos



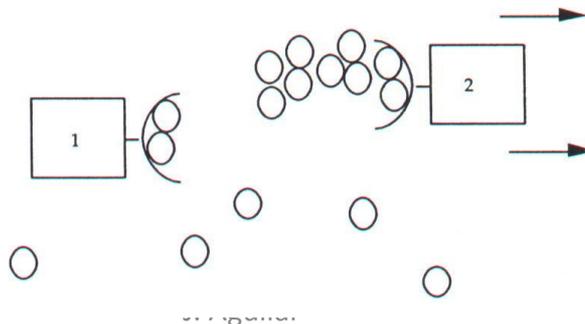
Aplicación: Robótica

- Agrupamiento Distribuido

=> forma descentralizada

- Movimientos

- Movimiento en línea hasta que conseguir obstáculo
- Al detectar obstáculo, gira aleatoriamente y comienza de nuevo mov. en línea
- Cuando Robot tiene 3 o mas objetos, robot se vacía, retrocede, ejecuta un giro aleatoria y comienza mov. en línea vacío



Reclutamiento

Ordenamiento y Agrupamiento

- Algunas características de las estrategias de reclutamiento son:
 - **La existencia de un líder** capaz de guiar a un grupo de reclutas hacia la nueva fuente de alimento, sin prestar atención a otros senderos que llevan a otra fuente; y
 - **los trabajadores son capaces de modular la cantidad de feromona depositada**, en función de la concentración de la fuente.

Ordenamiento y Agrupamiento

Un modelo:

- En un tiempo t del reclutamiento en curso hacia una fuente i , N forrajeros de la colonia se pueden subdividir en tres grupos:
 - E , el número de trabajadores que exploran la zona de forrajeo;
 - X_i , el número de trabajadores alimentándose en la fuente i ; y
 - $N - E - \sum_i X_i$, el número de trabajadores en espera en el nido.
- En cualquier momento, el flujo saliente del nido es una función de:
 - la tasa de reclutamiento (a_i),
 - el número de trabajadores en el nido, y
 - el número de trabajadores involucrados en el proceso de búsqueda de alimentos.
- De estos últimos trabajadores,
 - sólo una fracción (F_i) llega a la comida.
 - Los otros ($1 - F_i$) pierden la pista y llegan a ser exploradores.
- Estos exploradores pueden
 - volver al nido después de un tiempo de búsqueda (l/p), o
 - descubrir la fuente al azar (con una probabilidad c)

Ordenamiento y Agrupamiento

Un modelo:

- Si el tiempo medio de residencia en la fuente es de $1/b$, tenemos que

$$\frac{dX_i}{dt} = a_i X_i \left(N - E - \sum_{i=1}^n X_i \right) F_i + cE - bX_i$$

$$\frac{dE}{dt} = a_i X_i \left(N - E - \sum_{i=1}^n X_i \right) (1 - F_i) - ncE - pE$$

donde n es el número de fuentes de alimento.

- En el caso de reclutamiento por masa, las hormigas que reclutan refuerzan el rastro, en consecuencia, F_i puede ser representada como una función de X_i :

$$F_i = \frac{g_i + X_i^2}{h_i + X_i^2}$$

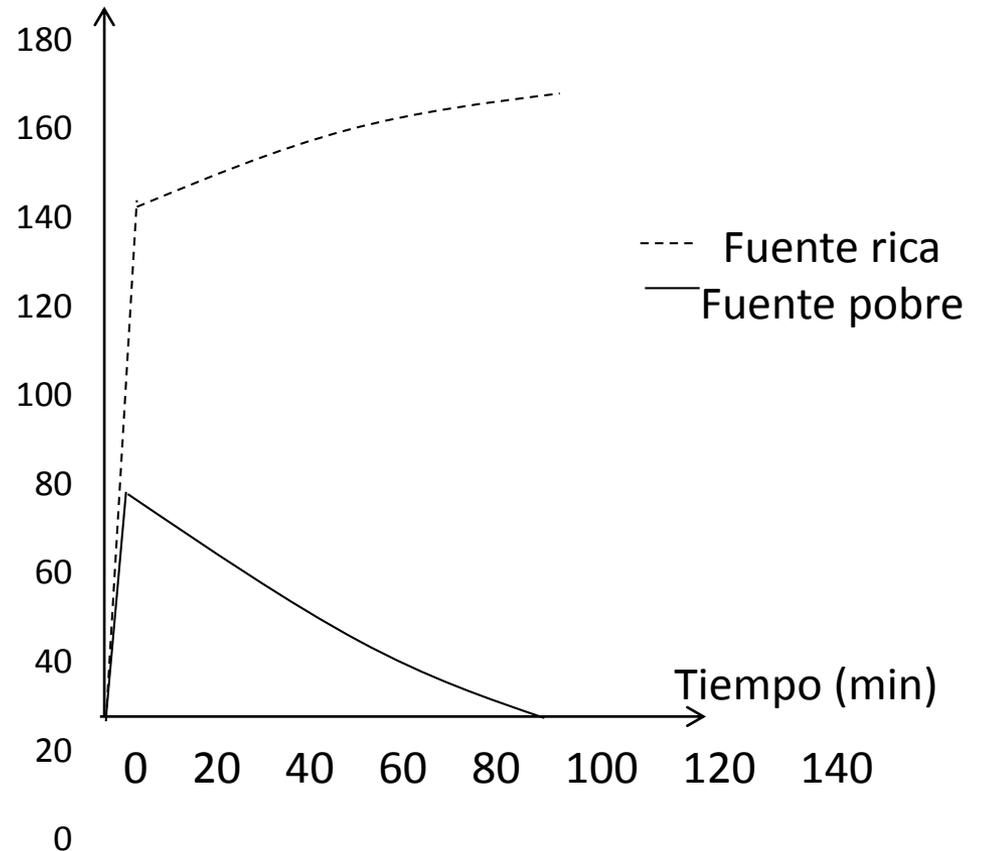
Donde las constantes g_i y h_i caracterizan la eficiencia de la pista al inicio del reclutamiento ($g_i > h_i$).

Ordenamiento y Agrupamiento

En una fuente rica de alimento, a_i y F_i son mayores que en una pobre fuente de alimento:

- a_i es mayor porque la tasa de reclutamiento aumenta con la calidad de los alimentos y;
- F_i es mayor porque se supone que las hormigas dejan más rastro, y por lo tanto, menos reclutas perderán la pista.

Número de trabajadores



Auto-organización y Patrones

Auto-organización y Patrones

- **Plantilla:** patrón para construir otro patrón. Usado por insectos para organizar sus actividades
- **Dinámica Auto-organizativo restringido por plantilla**
- **Ejemplo en la construcción de muros**
 - Cuerpo de las reinas termitas para el aposento real
 - Camada de hormigas para el nido

Auto-organización y Patrones

- Mezcla de ambos generan:
 - Efecto bola de nieve
 - Multi-estabilidad
 - Perfecto patrón predecible que sigue al template
- Aplicación
 - Número de grupos y la localización de los mismos son conocidos desde el inicio

Auto-organización y Patrones

- **Plantilla:** gradientes (de temperatura, humedad, etc.), cuerpos de un animal
- **Efecto bola de nieve:** más grande es un grupo, este es más atractivo para atraer a más objetos
- **Elementos de reclutamiento, coordinación, orientación y forma:**
 - Ventana de concentración (umbral)
 - Feromona de construcción de la reina (plantilla químico)
 - Estimulo táctil, rastros de cemento y de seguir el rastro

Auto-organización en Construcción del aposento de la reina

- $H(r,t)$: concentración en sitio r en el momento t

$$\partial_t H = k_2 P - k_4 H + D_H \nabla^2 H$$

D_H : coeficiente difusión k_2 : cant. feromone emitido/unid. dep.

- Dinámica densidad termitas cargadas

$$\partial_t C = \Phi - k_1 C + D_C \nabla^2 C - \gamma \nabla \cdot (C \nabla H)$$

γ : intensidad de atractividad

D_C : constante difusión

k_1 : tasa de descarga por termita

Φ : flujo constante termitas cargadas

- Dinámica del material depositado

$$\partial_t P = k_1 C - k_2 P$$

Auto-organización y Patrones

- **Plantilla de feromona creado por reina**

$$T(x, y) = e^{-\left[\frac{(x-x_0)^2}{\lambda_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\lambda_y^2}\right]}$$

x_0, y_0 : centro geométrico reina λ_x, λ_y : distancia para el decaimiento de la plantilla del feromona

- **Dinámica densidad termitas cargadas** (efecto de atracción del feromona de cementación)

$$\partial_t P = Fk_1 C - k_2 P$$

v : fuerza de atracción de la plantilla del feromona de la reina $F((x,y))=1-T(x,y)$

- **Dinámica del material depositado**

$$\partial_t C = \Phi - Fk_1 C + D_C \nabla^2 C - \gamma \nabla \cdot (C \nabla H) - v \nabla \cdot (C \nabla T)$$

Aplicaciones

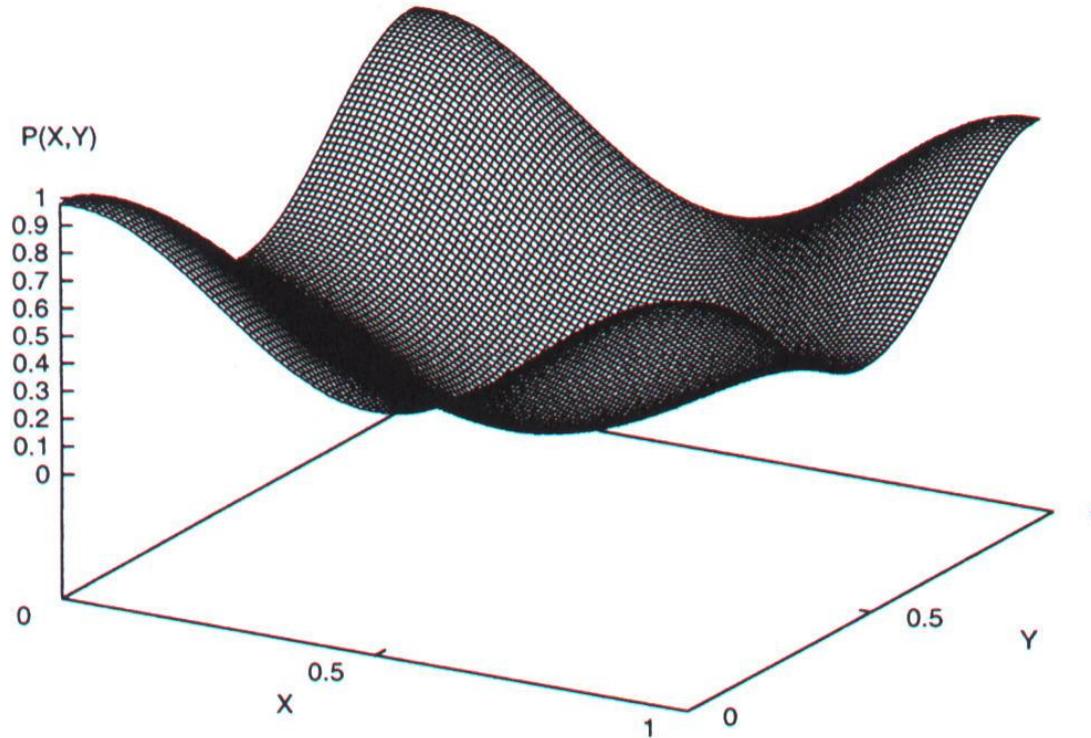
- Convierte a problemas anteriores (Partición de Grafos y Análisis de Datos) parametrizables
- Para introducir plantillas
 - $P_t(x,y)$: probabilidad plantilla
 - x,y : coordenadas actuales del agente
 - Espacio agrupamiento $[0,1]*[0,1]$

$$P_t(x,y) = a \left[e^{-\frac{x^2+y^2}{\sigma^2}} + e^{-\frac{(x-1)^2+y^2}{\sigma^2}} + e^{-\frac{(x-1)^2+(y-1)^2}{\sigma^2}} + e^{-\frac{x^2+(y-1)^2}{\sigma^2}} - b \right]$$

a, b : parámetros a optimizar

σ^2 : paso de la plantilla

Aplicaciones

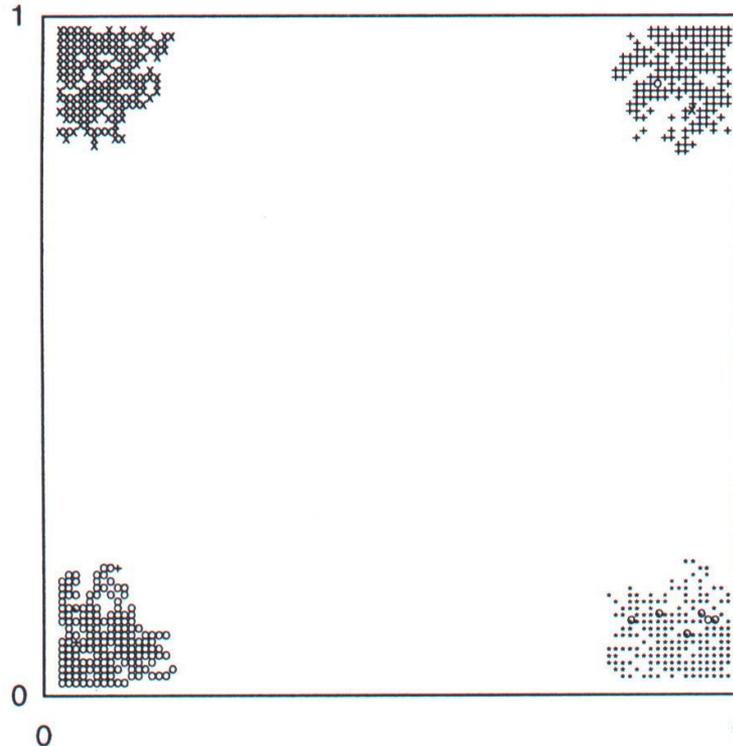


Función de la plantilla $P_t(x,y)$ para $a=1.9$, $b=0.5$ y $\sigma^2:0.1$

Aplicaciones: Análisis de Datos

$$P_R(o_i) = 0.7 \left(\frac{K_1}{K_1 + f(o_i)} \right)^2 + 0.3(1 - P_t(r_i)) \quad P_d(o_i) = \begin{cases} 2P_t(r_i)f(o_i) & \text{si } f(o_i) < k_2 \\ P_t(r_i) & \text{si } f(o_i) \geq k_2 \end{cases}$$

$r_i = (x_i, y_i)$

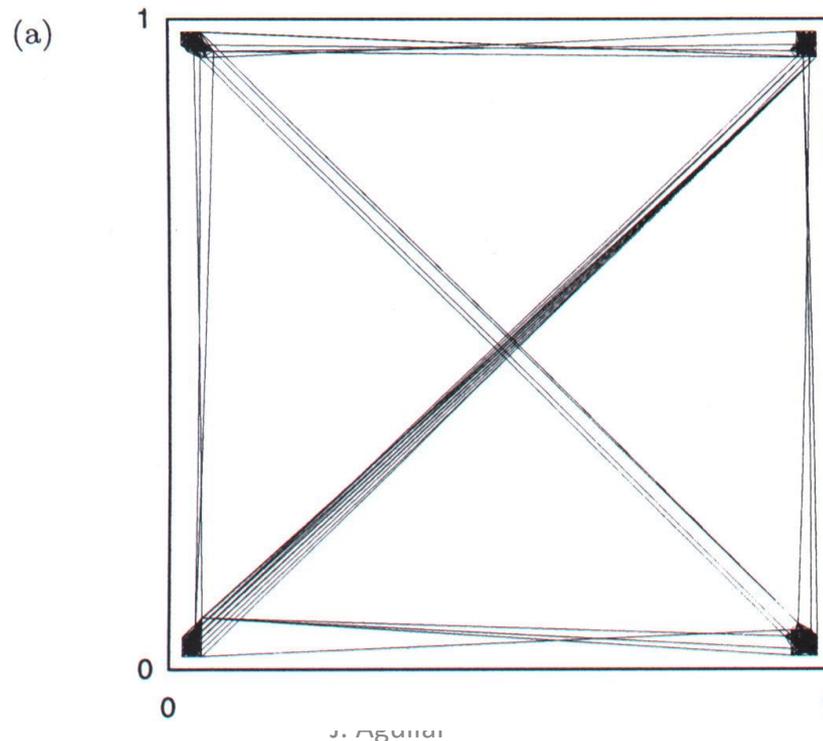


Aplicaciones: Partición de Grafos

$$P_R(v_i) = 0.7 \left(\frac{K_1}{K_1 + f(v_i)} \right)^2 + 0.3(1 - P_t(w_i))$$

$$P_d(v_i) = P_t(w_i) \left(\frac{f(v_i)}{k_2 + f(v_i)} \right)^2$$

w_i : localización del vértice v_i en el plano



Transporte Cooperativo

Transporte Cooperativo

- Una Hormiga consigue un botín/presa
 - Si puede mover lo lleva al nido
 - de lo contrario recluta a otras
- Mecanismo cooperativo:
 - cuando y como las hormigas se organizan para mover el botín/presa?
- No existe aun una descripción formal del fenómeno biológico

Transporte Cooperativo

- Hay alguna ventaja en el transporte colectivo con respecto al solitario?
- Cuando y como una hormiga reconoce que no puede cargar un objeto solo?
- Como las hormigas cooperan y coordinan sus acciones?
- Como son reclutadas?
- Como las hormigas saben que tiene el numero correcto de ellas para el transporte

Transporte Cooperativo

- Peso total (P) cargado por un grupo de N hormigas (según Moffet, 1980)

$$P = N^{2.044}$$

- Reclinación y Reposición alrededor de los objetos para ver si pueden moverlos
- Reclutamiento de dos tipos
 - Corto Rango (segregación en el aire)
 - Largo Rango (rastros químicos)

Transporte Cooperativo

- Coordinación: pareciera que fuera a través del ambiente
- Número de Hormigas

$$N = P^{0.489}$$

- Bloqueo
 - Obstáculos o fuerzas opuestas
 - Realineamiento o Reposicionamiento

Modelos de abejas

Construcción de Nidos y Auto-Ensamblaje

algunas de las características que la asemejan a una entidad supraorganizacional:

- *Analogías en la estructura de base.* Ambas se componen de unidades individuales, las células y las abejas, respectivamente, y que dependen del funcionamiento de ellas para su supervivencia.
- *Analogía en la diferenciación de sus miembros.* Durante el desarrollo de un organismo, las células son extremadamente versátiles, y se especializan en una variedad asombrosa de tareas diferentes. Aunque algo similar se observa en muchas familias de hormigas, en el caso de las colonias de abejas, la única diferenciación es entre las trabajadoras y las reproductoras.
- *Analogía estructural entre las trabajadoras en una colonia y las células somáticas en un organismo.* Ambas sacrifican su aptitud física directa en apoyo a otras entidades.

Construcción de Nidos y Auto-Ensamblaje

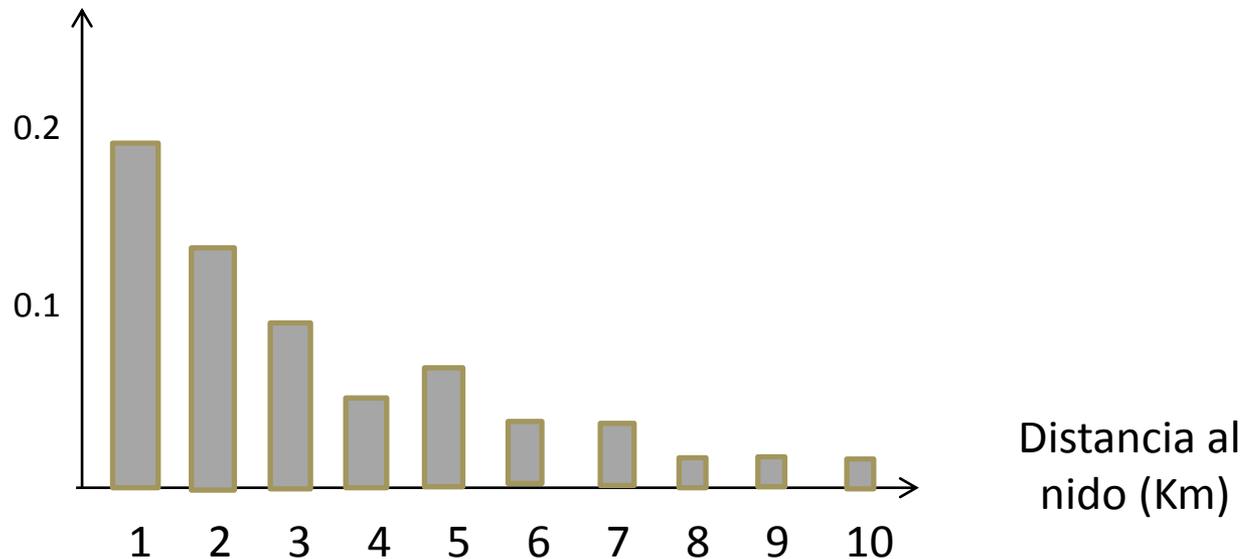
algunas de las características que la asemejan a una entidad supraorganizacional:

- *Analogía en los mecanismos evolutivos.*
- *Analogías en los principios organizacionales.* Dos principios de organización se pueden observar: una de ellas es la **coordinación de las funciones**, la otra es la **especialización de grupos**
- *Analogía en la coordinación basada en la auto-organización y en decisiones locales.*
- *Analogía en la coordinación basada en bucles/lazos de retroalimentación e interacciones no lineales.* Bucles de retroalimentación simples, pueden emerger como una característica de las estructuras auto-organizadas
- *Analogía en la diferenciación y especialización en la división del trabajo*

Escogencia del sitio para construir el Nido

el fenómeno de la danza en un enjambre de abejas, para conseguir un nuevo nido en un bosque.

Proporción de danzas



Escogencia del sitio para construir el Nido

Lugares de baile en el proceso de buscar un nido en tres momentos distintos



A) al inicio



B) un momento posterior



C) hacia el final del proceso de selección

Escogencia del sitio para construir el Nido

El proceso para llegar a una decisión unánime requiere de tres aspectos

- Debe existir la **comunicación de hallazgos**, para que la información sobre los sitios se familiarice.
- Debe haber algún mecanismo, por el cual el **reclutamiento y las visitas a los sitios no-elegido cese**.
- Debe **haber reconocimiento**, de que el proceso se ha completado.

Escogencia del sitio para construir el Nido

fuentes de diferenciación de sitios, que permite el reclutamiento diferenciado dinámico entre dos sitios:

- Una tiene que ver con la **calidad de los sitios**, que determina la intensidad de la danza.

La diferenciación por la calidad que hacen las abejas al bailar, depende de la percepción de la calidad de los sitios que ellas determinan. **Seeley menciona, que esa diferenciación se plasma en la duración y vigor del baile.**

- Otra tiene que ver con el momento del descubrimiento.

Un sitio que se descubrió antes, puede tener varios ciclos de selección, para el momento en que otro sitio de la misma calidad se descubre, lo que le permite **constituir una mayoría**, antes de que el segundo sitio pueda atraer suficientes reclutas para competir.

Escogencia del sitio para construir el Nido

requisitos, que un enjambre de abejas debe cumplir, para tener éxito en esa difícil tarea de elegir una casa

- *Debe alcanzar una decisión correcta.* El éxito de una colonia depende fundamentalmente de ocupar una buena cavidad.
- *Debe lograr una decisión rápida.* Cada hora adicional que un enjambre pasa como un grupo expuesto, baja sus reservas de energía, y aumenta sus posibilidades de ser afectada por la lluvia, depredadores, etc.
- *Es preciso llegar a una decisión única.* Una decisión dividida conduciría a la fragmentación del enjambre, lo que sería desastroso en la mayoría de los casos, dado que, por lo general, un enjambre tiene una sola reina.

Escogencia del sitio para construir el Nido

Las características genéricas del proceso de decisión incluyen

- Las abejas exploradoras localizan posibles sitios para **anidar** en todas las direcciones, y a distancias de hasta varios kilómetros del enjambre,
- Las abejas exploradoras anuncian una docena, o más, de potenciales sitios de anidación, pero **con el tiempo anuncian un solo sitio**,
- Al rato de **aparecer la unanimidad entre ellas**, el enjambre despega al nuevo sitio.

Escogencia del sitio para construir el Nido

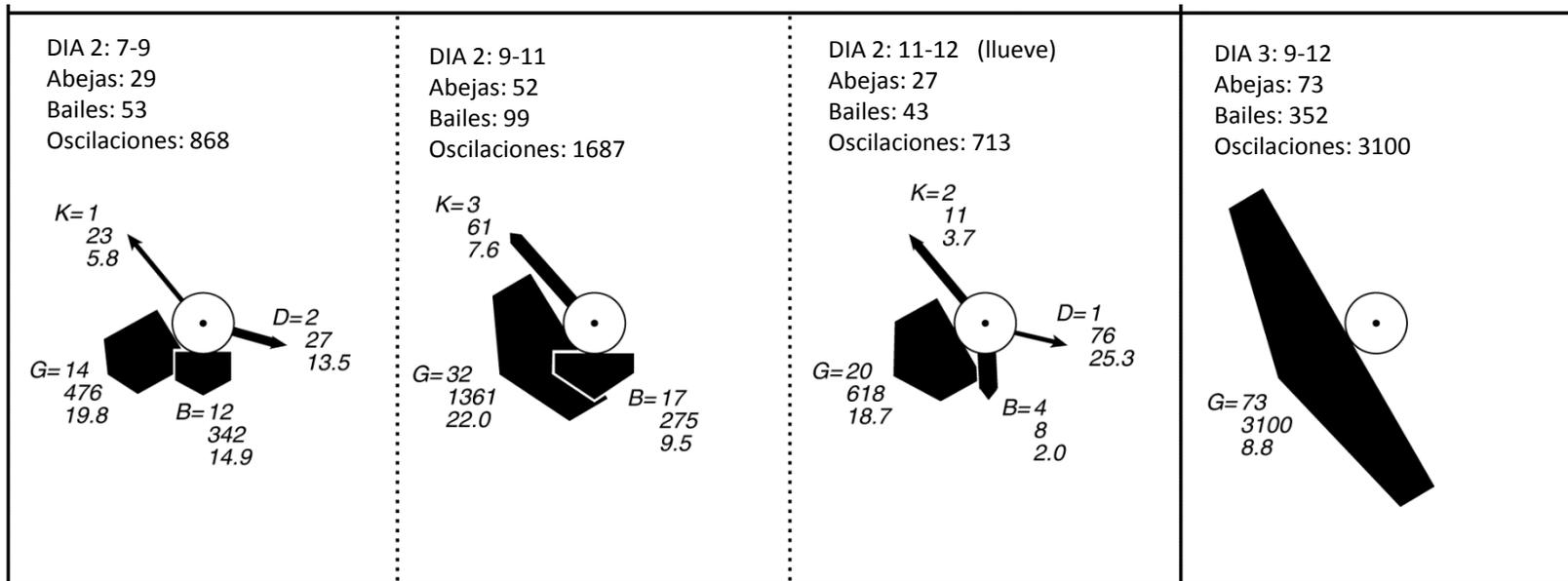
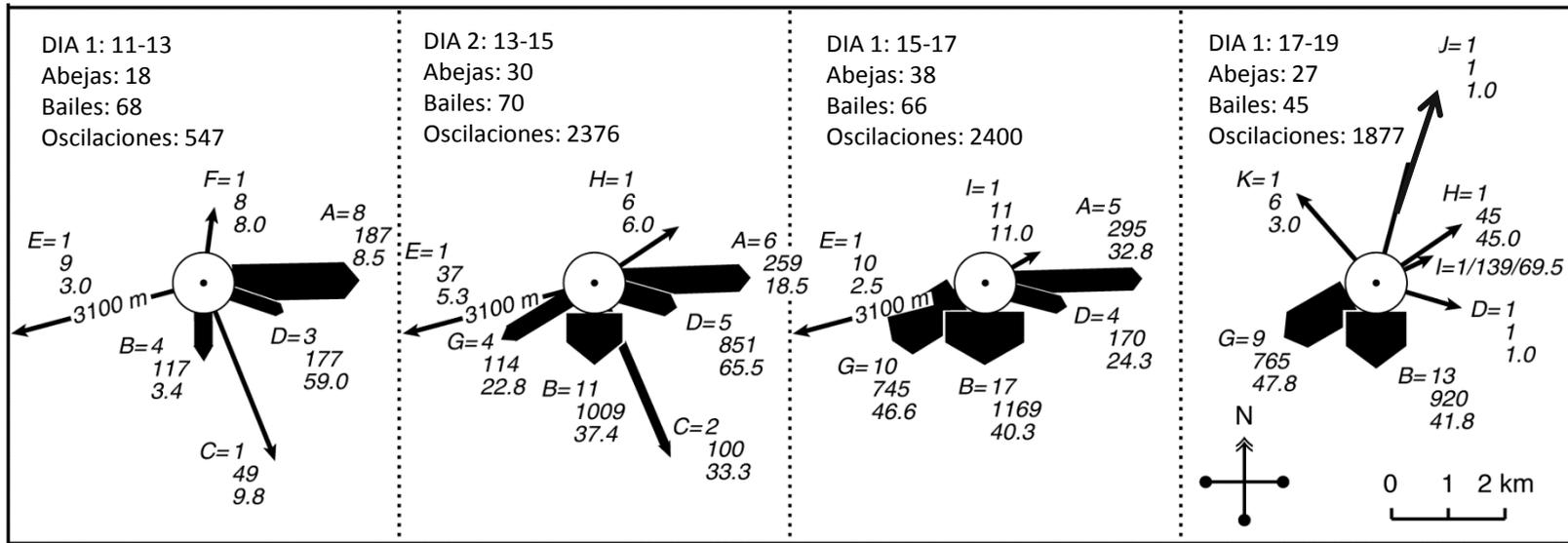
Cada coalición de exploradoras comprometidas con un sitio en particular, compite con otras coaliciones para anexar exploradoras no comprometidas. Este proceso de toma de decisiones, puede ser conceptualizado por el par de ecuaciones propuestas por Winsor, en su *teoría de la competencia ecológica*

$$dN_1/dt = r_1 N_1 U - a_1 N_1$$

$$dN_2/dt = r_2 N_2 U - a_2 N_2$$

Donde, N_i es el número de exploradoras comprometidas con el sitio i ,
 U es el número de exploradoras no comprometidas (el recurso que se disputan), r_i es la tasa de reclutamiento de las exploradoras del sitio i , y
 a_i es la tasa de abandono ("desistimiento") de las exploradoras comprometidas con el sitio i .

Historia de toma de decisiones en un enjambre



Búsqueda de Néctar

En general, las danzas se caracterizan por :

- *Se producen a lo largo de la colmena, no sólo en la zona de descarga.*
- *Se producen en un contexto, donde una señal de comunicación especializada es necesaria.*
- *Las producen las abejas recolectoras de néctar, no las receptoras de néctar.*

Búsqueda de Néctar

Un modelo de reclutamiento auto-catalítico, que **describe el ajuste dinámico de los grupos de abejas**, que salen fuera del nido para hacer algunas de las tareas que requiere la colonia (buscar alimentos, buscar nuevos sitios para hacer su nido), es descrito por las expresiones siguientes

$$\frac{dX_1}{dt} = a_1 X_1 f_1 (N - X - E) - b X_1 + c E$$

$$\frac{dX_2}{dt} = a_2 X_2 f_2 (N - X - E) - b X_2 + c E$$

$$\frac{dE}{dt} = \left[\frac{a_1 + a_2}{2} \right] [(X_1(1 - f_1) + X_2(1 - f_2))] (N - X - E) - p E - 2c E$$

Donde, N es el número de trabajadoras en la colonia,

E la fracción de trabajadoras que pierden las pistas que conllevan a hacer algunas de las tareas, y por consiguiente, se mantiene explorando,

X_i el número de trabajadoras asociadas a la tarea i ($X = \sum_i X_i$),

a_i la tasa de reclutamiento de la tarea i,

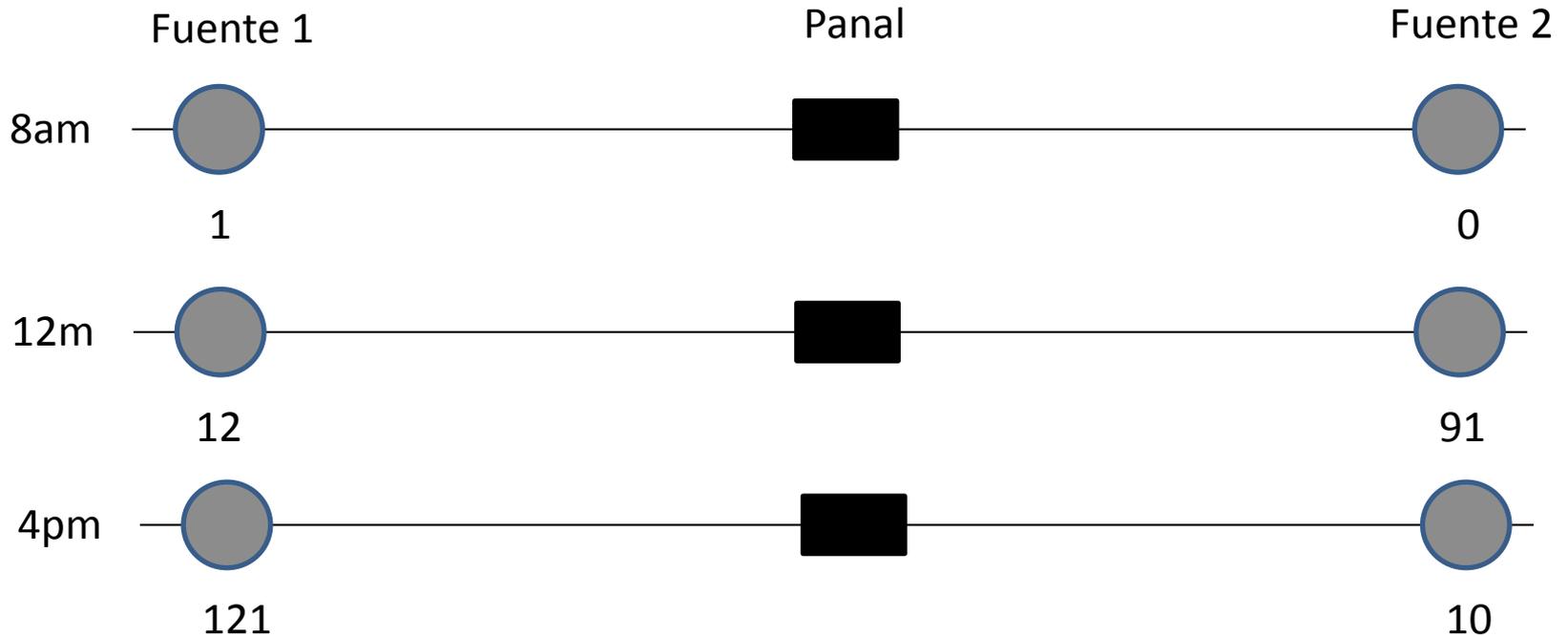
f_i es la fracción de trabajadoras que realmente logran realizar la tarea i,

$1/p$ es el número de trabajadoras perdidas que regresan al nido,

$1/c$ es el número de trabajadoras perdidas que logran de nuevo descubrir la pista para realizar alguna de las tareas, y

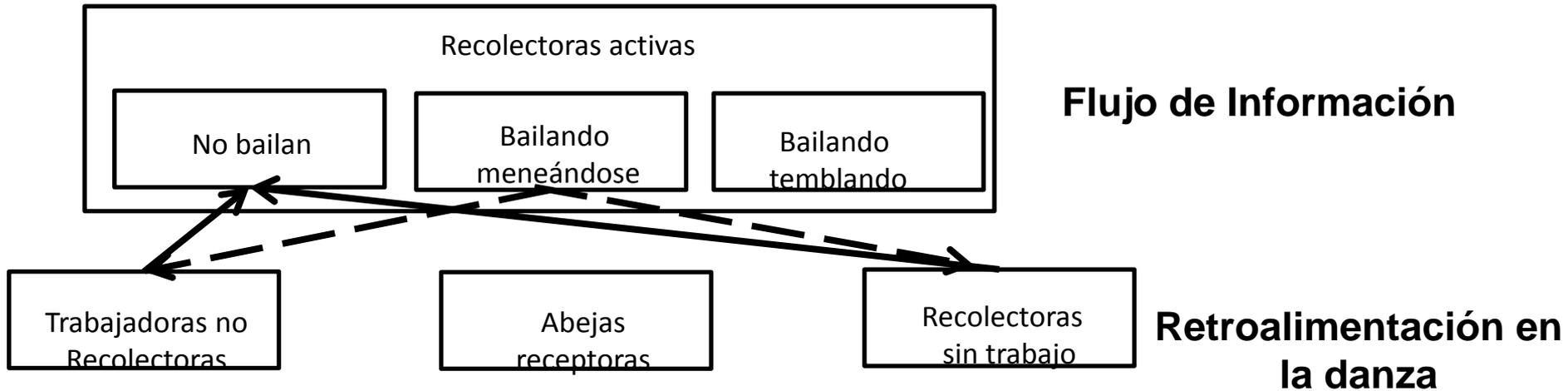
$1/b$ es el tiempo promedio que duran las trabajadoras en realizar la tarea antes de volver al nido.

Búsqueda de Néctar

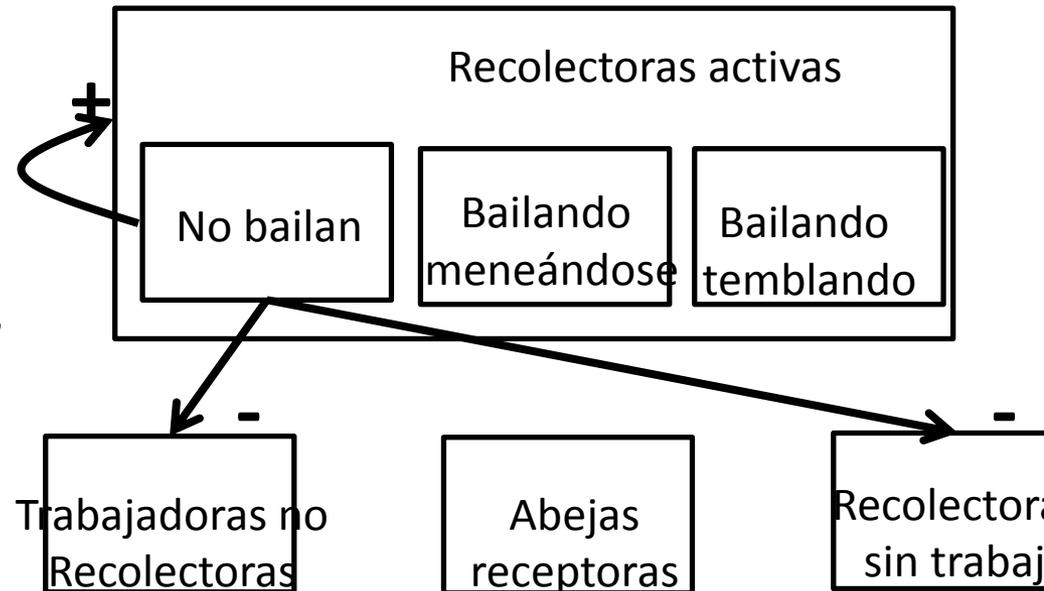


Patrón de explotación selectiva de fuentes de néctar. El número debajo de cada fuente, denota el número del **grupo de abejas que han visitado a cada fuente de alimentos**, media hora antes a la hora que se muestra a la izquierda. Las fuentes se encuentran a 400 metros de la colmena, y son idénticas, excepto por la **concentración de azúcar**

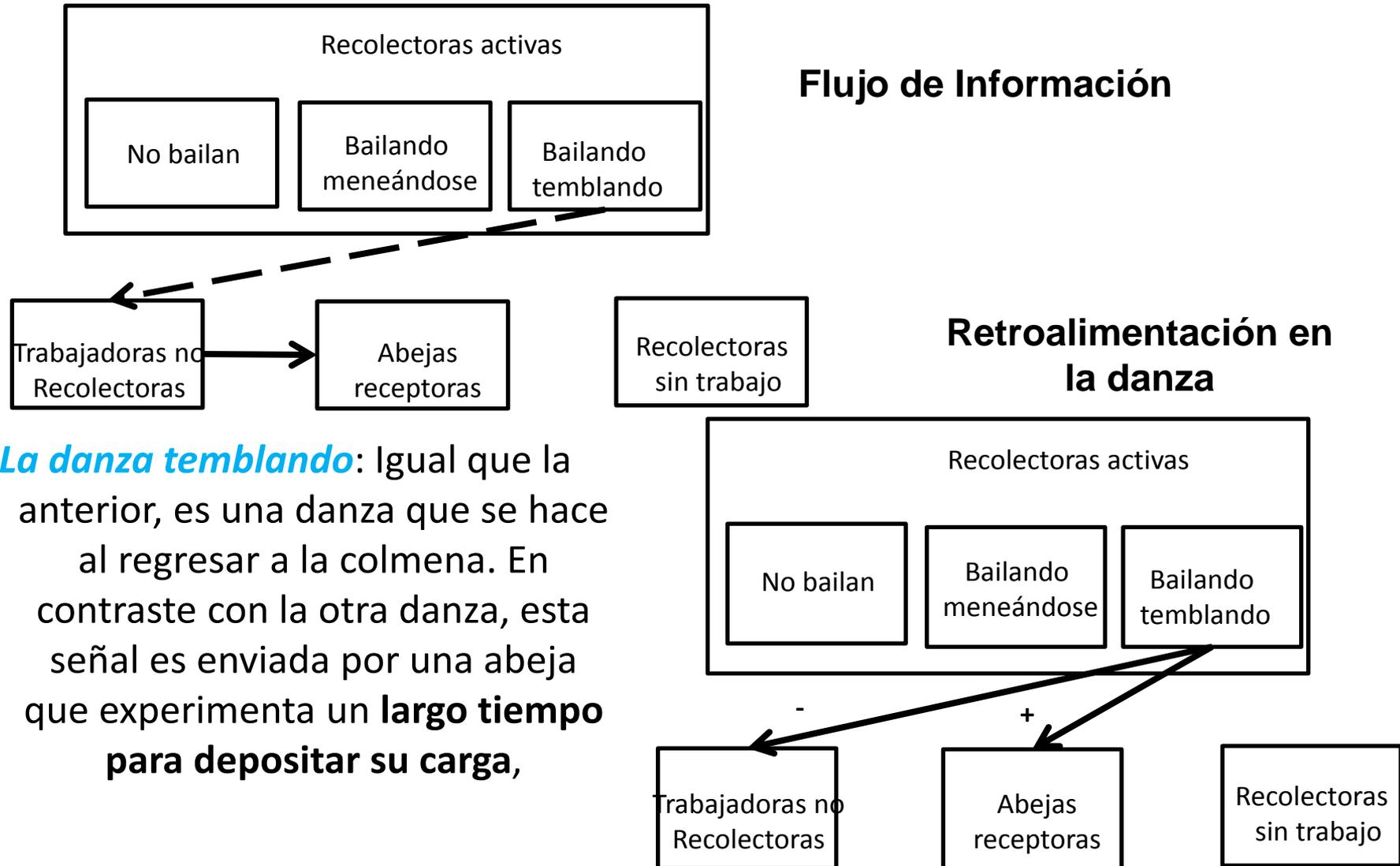
Búsqueda de Néctar



La danza de coleteo (meneo): Es probablemente la más conocida señal de las abejas. Se trata de una señal enviada por recolectoras de néctar, y está **dirigido a abejas desempleadas**, y, posiblemente, trabajadoras que participan en otras tareas



Búsqueda de Néctar



La danza temblando: Igual que la anterior, es una danza que se hace al regresar a la colmena. En contraste con la otra danza, esta señal es enviada por una abeja que experimenta un **largo tiempo para depositar su carga,**

Comportamiento Defensivo

- Capacidad de la colonia para localizar y centrar su ataque,
- Capacidad de la colonia para caracterizar la intensidad del ataque

una abeja tiene una probabilidad (P_i) de picar uno de los objetivos (blancos). Si B es el número de abejas que están vivas, capaces de picar, el número de picaduras por segundo que se producen en cada objetivo es $B \cdot P_i$. Debido a que cada vez que una abeja pica pierde su aguijón, el número total de abejas capaces de picar disminuye cada segundo por la cantidad de $B(P_1 + P_2)$ si se suponen 2 blancos. Para el cálculo de la probabilidad (P_i), se consideran las características del destino (color, movimiento, etc.) y el número total de picaduras previas (N_i) en el objetivo. Suponiendo dos objetivos.

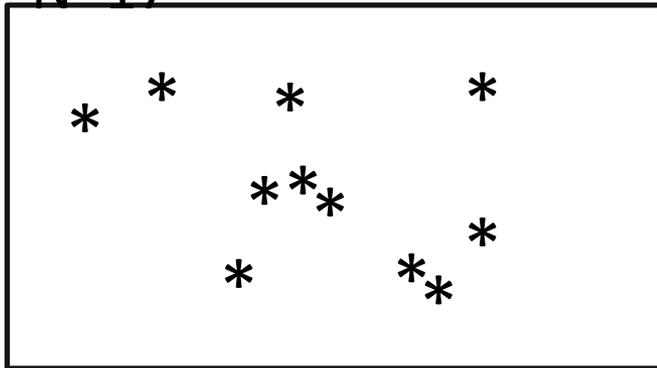
$$P_i = \frac{\gamma_i (a + bN_i^2)}{a' + N_i^2} \quad \forall i = 1, 2$$

Donde, γ_i es la probabilidad de estar dentro del alcance sensorial del blanco i , y a , a' y b son constantes.

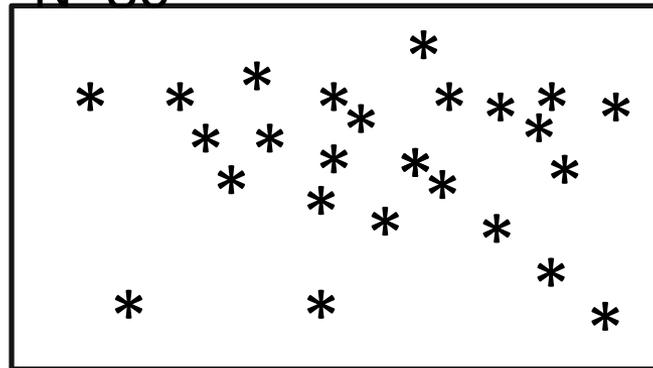
Comportamiento Defensivo

Distribución de las picaduras en un blanco, para diferentes valores de N

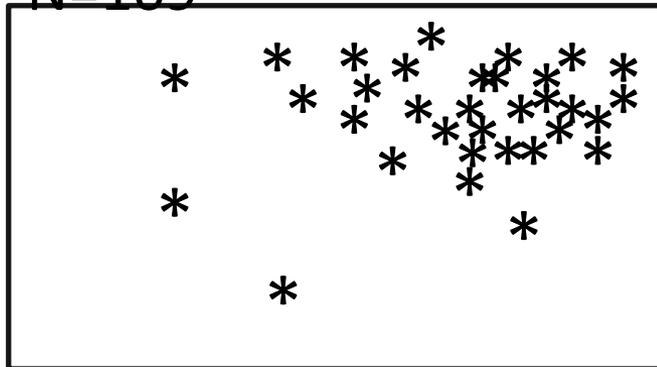
N=17



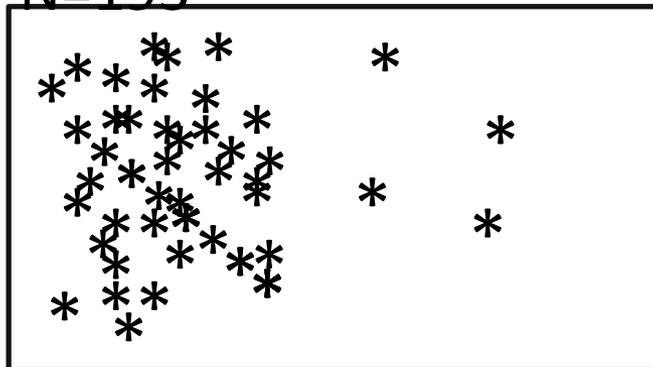
N=80



N=109



N=193



Colonia Artificial de Abejas (ABC)

El modelo tiene cuatro componentes principales:

- **Fuente de alimentos:** el valor de una fuente de alimentos depende de muchos factores, como su proximidad a la colmena, riqueza o la concentración de la energía, y la facilidad de extracción de esta energía.
- **Abejas exploradoras:** están en constante búsqueda de fuentes de alimentos. Se encargan de buscar en el entorno que rodea a la colmena, nuevas fuentes de alimentos.
- **Abejas en espera:** buscan una fuente de alimentos, a través de la información que le compartan las recolectoras o exploradoras.
- **Abejas recolectoras:** están asociadas a una fuente de alimentos en explotación. Ellas llevan información sobre esa fuente en particular (su distancia, ubicación y rentabilidad), para compartirla con sus demás compañeras.

Colonia Artificial de Abejas (ABC)

El intercambio de información entre las abejas, permite formar un conocimiento colectivo, que caracteriza los comportamientos de la colmena:

- ***Incorporación a una fuente de néctar:*** la danza de las abejas informa la calidad de las fuentes de alimentos, y a partir de esa información obtenida, sobre todas las fuentes de alimentos que están disponibles, se determina cuál es la más rentable, para así, incorporarse a ella.
- ***Abandono de una fuente:*** mediante la misma danza de las abejas, se determina si una fuente ya no es rentable, y por consiguiente, debe ser abandonada.

Colonia Artificial de Abejas (ABC)

pseudocódigo de ABC

Fase de inicialización

REPITA

Fase de Abejas Recolectoras

Fase de Abejas en Espera

Fase de Abejas Exploradoras

*Memorización de la mejor solución lograda
hasta ahora*

HASTA (Ciclo=Número de ciclo máximo)

Colonia Artificial de Abejas (ABC)

- **En la *fase de inicialización***, se establecen las abejas exploradoras, recolectoras, y en espera, y la población de fuentes de alimentos (soluciones).
- **En la *fase de abejas recolectoras***, esas abejas buscan nuevas fuentes de alimentos dentro de su vecindad. Al encontrar una vecina fuente de alimento la evalúan, y realizan una selección aleatoria entre esa fuente y la anterior. Después de eso, las abejas recolectoras comparten su información de fuente de alimentos con las abejas en espera en la colmena, bailando.
- **En la *fase de abejas espectadoras (en espera)***, esas abejas eligen probabilísticamente su fuente de alimentos, en función de la información proporcionada por las abejas recolectoras. Para ello se puede usar una técnica de selección basada en aptitud, como el método de selección de la ruleta.
- **En la *fase de abejas exploradoras***, las abejas recolectoras cuyas soluciones no pueden ser mejoradas a través de un número determinado de pruebas, denominado "límite", se convierten en exploradores, y sus soluciones son abandonadas. Luego, las exploradoras comienzan a buscar nuevas soluciones al azar. Estos tres pasos se repiten hasta que un criterio de culminación se cumple, por ejemplo, un máximo número de ciclos

Construcción de Nidos y Auto- Ensamblaje

Construcción de Nidos y Auto-Ensamblaje

- Conjunto de estímulos no estacionarios
 - se va formando un cada vez mas rico ambiente estimularío
- Estímulos provienen del ambiente o de sus compañeros
- Estímulos afectan comportamiento insectos dependiendo de la intensidad y contexto
- **Construcción:** como se organizan los estímulos en el espacio y tiempo para producir una robusta y coherente construcción?

Construcción de Nidos

- Dos Mecanismos:
 - Coordinación de actividades a través del ambiente
 - Auto-organización
- Principales elementos auto-organización
 - => múltiples interacciones
- Interacciones:
 - Directas
 - Indirectas
- Coordinación ambiental: implica indirectas interacciones a través del ambiente
- Combinación auto-organización y coordinación ambiental => Coordinación Cuantitativa

Coordinación Cualitativo

- Diferente tipo de estímulo
=> diferente respuesta
- No positiva retroalimentación
=> evitar amplificar intensidad del estímulo
- Ejemplo: Construcción en las avispas

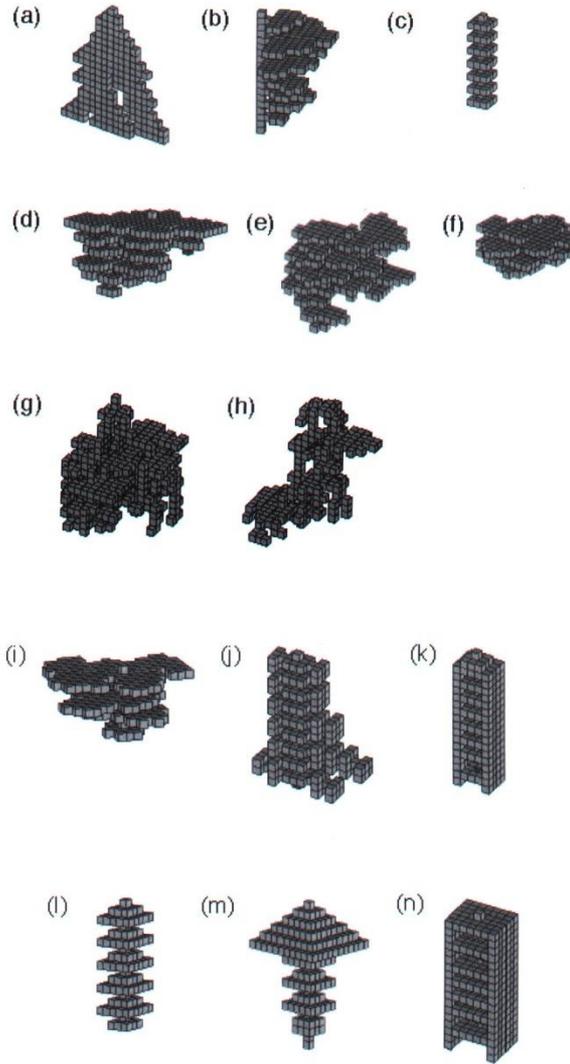
Construcción en las avispas

- Mas de 60 tipos de arquitecturas de nidos
- Pueden ir desde una celda a millones de ellas
- Modular: una estructura básica es repetida
- Algoritmo de construcción individual: serie de lazos de decisión si-entonces
- Varias acciones de construcción en paralelo
- Arquitectura impone restricciones para evitar conflictos: no aleatoria adición de celdas (a mas muros mayor probabilidad de ser añadido)
- Decisiones construcción: locales según configuración percibida

Modelo de Auto-Ensamblaje

- Autómatas asíncronos en un espacio tridimensional
- Comportamiento basado en sistema de estímulo-respuesta local en espacio y tiempo
- Cuando configuración estimulante (micro-reglas) se encuentra, se deposita objeto
- Algoritmo construcción: conjunto de micro-reglas compatibles
- Micro-reglas de diferentes etapas de la construcción no deben solaparse (Coordinación)

Modelo de Auto-Ensamblaje

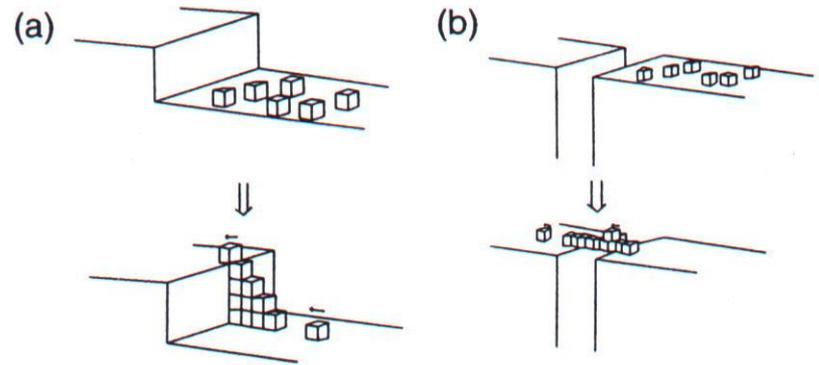


Aplicaciones Auto-Ensamblaje

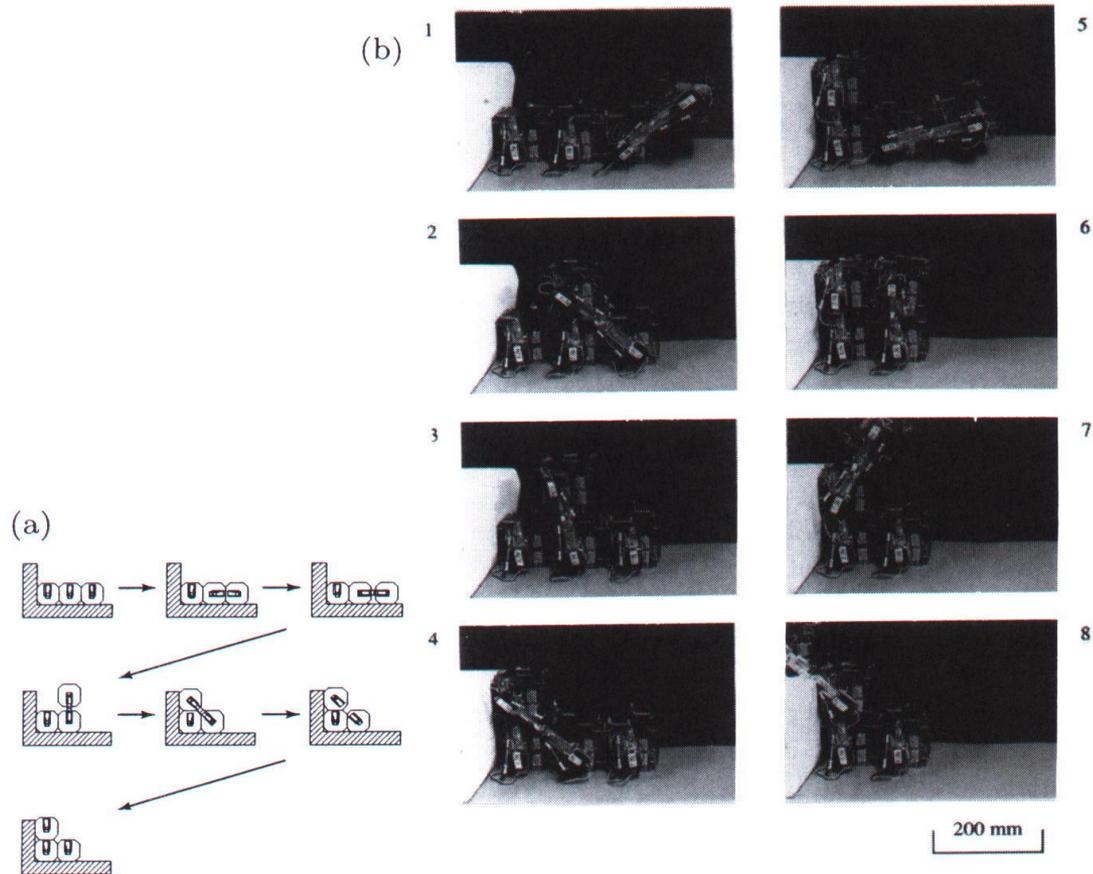
- Dado un cuerpo deseado, encontrar el algoritmo que pueda generarlo bajo algunas restricciones materiales
- Mecanismos generativos basados en la computadora: el usuario toma algunos patrones desde todos los generados por el computador según que tan atrayente es
- Evolucionar exitosos sistemas de auto-ensamblaje o formas de atractivas

Aplicaciones: Sistema Robótica de Auto-Ensamblaje

- Robots simples:
 - cubos con brazos para rotar o extenderse.
 - Comportamiento depende de su estado y el de los vecinos
- 2 Posibles Tareas
 - Construir Escaleras
 - Construir Puentes
- Movimiento de los Robot
 - Moverse hacia arriba
 - Moverse a la izquierda



Aplicaciones: Sistema Robótica de Auto-Ensamblaje



Modelo de enjambre

optimización por enjambre de partícula (PSO)

- La posición de la partícula i durante la iteración $t+1$, es definida por

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$$

donde, $x_i(t)$ es la posición actual de la partícula, y $v_i(t+1)$ es la velocidad que lleva la partícula.

$$v_{ij}(t+1) = v_{ji}(t) + c_1 r_{1j}(t) [y_{ij}(t) - x_{ij}(t)] + c_2 r_{2j}(t) [\hat{y}_j(t) - x_{ij}(t)]$$

c_1 y c_2 son constantes de aceleración, que definen la importancia del componente cognitivo y social, respectivamente, r_{1j} y r_{2j} son números aleatorios en el rango $[0, 1]$, y_{ij} es la dimensión j de la mejor posición alcanzada por la partícula i (componente cognitivo), y $\hat{y}_j(t)$ es la dimensión j de la mejor posición global alcanzada por el enjambre hasta la iteración

optimización por enjambre de partícula (PSO)

Crear e inicializar un enjambre n-dimensional;

Repetir hasta alcanzar condición de parada

por cada partícula $i = 1, n$

si $f(x_i) < f(y_i)$ entonces

$$y_i = x_i$$

si $f(y_i) < f()$ entonces

$$\hat{y} = y_i$$

por cada partícula $i = 1, n$

actualizar la velocidad

actualizar la posición