



Inteligencia Colectiva

Modelos de enjambre aplicados a problemas de optimización

Oscar Cordon

oscar.cordon@softcomputing.es

Contenidos



- 1. INTELIGENCIA COLECTIVA Y SISTEMAS COMPLEJOS**
- 2. INTELIGENCIA DE ENJAMBRES**
- 3. OPTIMIZACIÓN BASADA EN NUBES DE PARTÍCULAS**
- 4. ALGORITMOS BASADOS EN COLONIAS DE HORMIGAS**
- 5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN**
- 6. CONCLUSIONES**



1. Inteligencia Colectiva y Sistemas Complejos



- “An individual ant is not very bright, but ants in a colony, operating as a collective, do remarkable things.

A single neuron in the human brain can respond only to what the neurons connected to it are doing, but all of them together can be Albert Einstein”

Deborah M. Gordon (Stanford University)



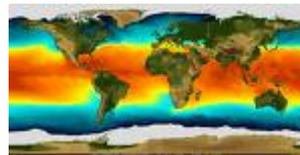
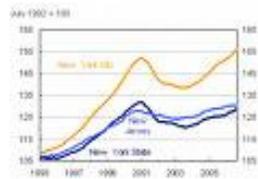
- La **Inteligencia Colectiva** es la disciplina que estudia aquellos **sistemas formados por unidades simples** que son capaces de presentar **comportamientos muy complejos**



Sistemas Complejos



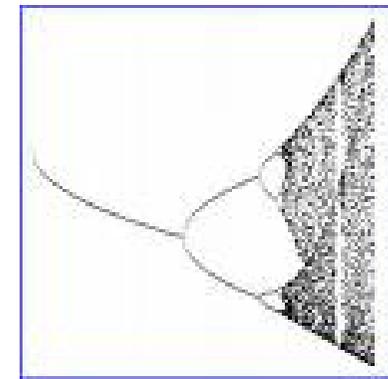
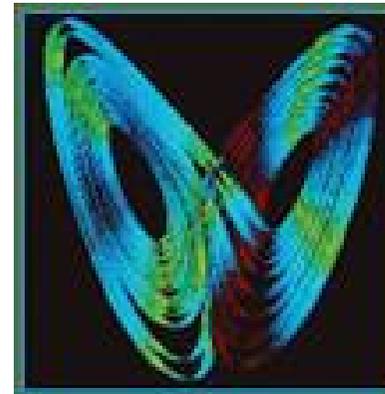
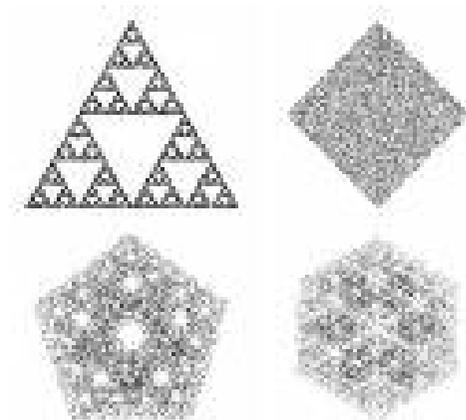
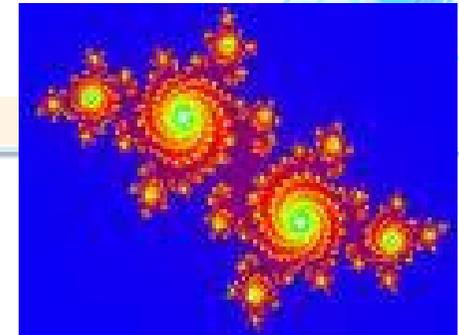
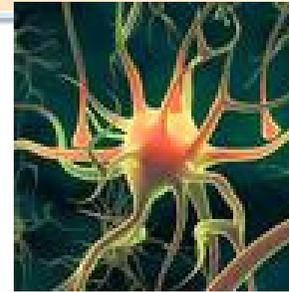
- Comprenden aquellos sistemas que presentan un gran número de grados de libertad fuertemente interrelacionados
- Muchos sistemas naturales y artificiales, así como objetos abstractos y redes son considerados como **sistemas complejos**
- El estudio de la complejidad es altamente interdisciplinar
- Como ejemplos tenemos las sociedades de insectos, los sistemas económicos humanos, los sistemas nerviosos, las células y los organismos vivos, incluyendo los seres humanos, así como las estructuras modernas de telecomunicaciones





Sistemas Complejos

- Inteligencia Artificial
- Redes Neuronales
- Teoría del Caos
- Efecto Mariposa
- Atractores
- Teoría de Fractales
- Sistemas no lineales
- Auto-organización
- Emergencia
- Inteligencia Colectiva





Sistemas Complejos



Todos los sistemas complejos comparten una serie de características estructurales y de comportamiento:

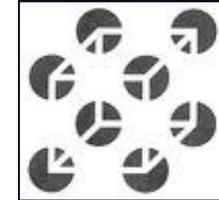
- Las relaciones existentes son no lineales
- Dichas relaciones presentan ciclos de realimentación
- Tienen un **comportamiento histerético**: los sistemas complejos cambian con el tiempo y sus estados anteriores pueden influir en los actuales
- Pueden estar **anidados**: los componentes de un sistema complejo pueden ser a su vez sistemas complejos (célula-organismo-colonia-ecosistema-Gaia)
- Pueden provocar **fenómenos o comportamientos emergentes**



Emergencia



- “El todo es más que la suma de las partes”
Aristóteles



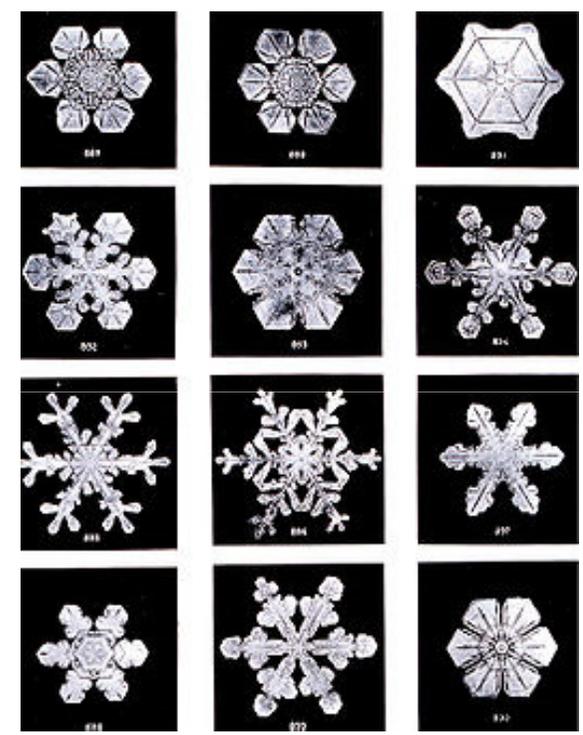
- **Definición:** “the arising of novel and coherent structures, patterns and properties during the process of self-organization in complex systems” Jeffrey Goldstein (Adelphi University)
- “Superficial complexity that arises from a deep simplicity”
Murray (Premio Nobel por el modelo quark)
- **Comportamiento “bottom-up”:** agentes simples, guiados por una serie de reglas muy simples, que generan estructuras y/o comportamientos complejos
- **Sin control centralizado:** los agentes no obedecen a ningún líder



Emergencia: Ejemplos



“**Catedral**” producida por una colonia de termitas. Ejemplo clásico de comportamiento emergente en la naturaleza



Copos de nieve que forman patrones simétricos complejos. Ejemplo de comportamiento emergente en un sistema físico



Emergencia: Ejemplos

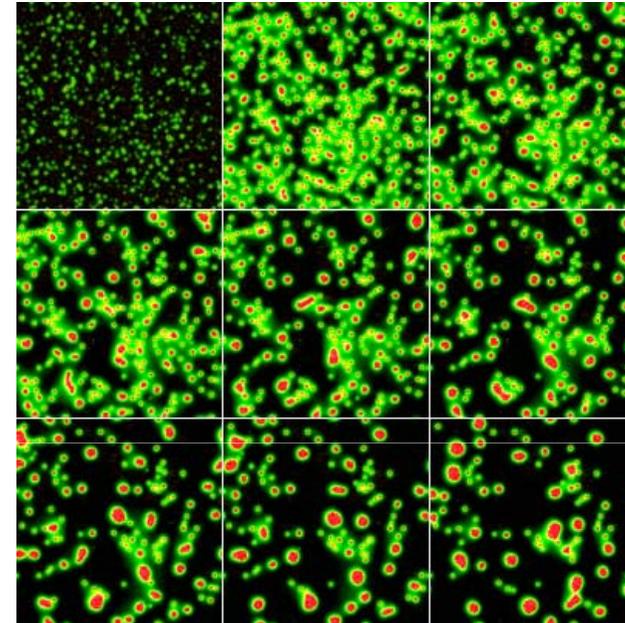


Biología: El **hongo mucoso** es un organismo unicelular que suele tomar la forma de una ameba individual

Pero en estados de stress se agregan para formar un conjunto multicelular

Modelo:

- El hongo deposita continuamente una sustancia llamada **feromona**
- Reglas locales:
 - Moverse en la dirección de la mayor concentración de feromona
 - Si no hay feromona, moverse aleatoriamente
- La feromona se evapora con el tiempo



**Estimergia
reclutamiento de masas**

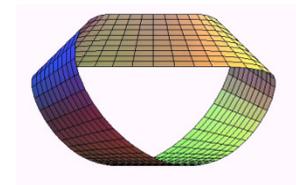


Emergencia: Ejemplos



- **Economía:** La **bolsa** regula de forma precisa los precios relativos de las compañías de todo el mundo aunque no tiene un líder definido
- **Telecomunicaciones:** La **web** es un sistema descentralizado que tiene propiedades emergentes. El número de enlaces a cada página web sigue una ley de potencia
- **Mathematics:** La **cinta de Moebius** muestra emergencia: puede construirse con un conjunto de superficies cuadradas de dos caras y cuatro lados. Pero el conjunto completo de cuadrados muestra una sola cara y un solo lado!
- **Neurología-Filosofía:** ¿Podría explicarse la **consciencia humana** como un comportamiento emergente proveniente de la interacción de las neuronas individuales?

INDICE	INDICE	INDICE	INDICE
INDICE NACIONAL	1433.19	-44.01	
INDICE 35	15973.75	-481.75	
INDICE MEDIO	1445.85	-210.35	
INDICE BOLSAS C	11884.55	-523.25	
INDICE TOP	4132.90	-177.40	
INDICE BOLSAS	11277.80	-443.40	
INDICE TOP 211	5130.90	-193.40	
INDICE INTERNACIONAL		-59.95	
DAX	8299.54	-423.63	
FTSE 100	4897.77	-219.83	





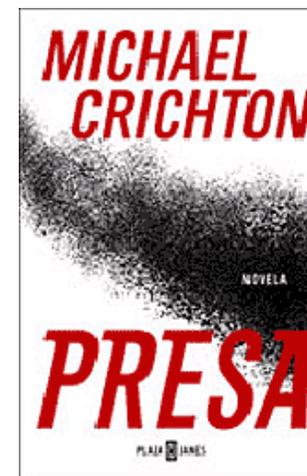
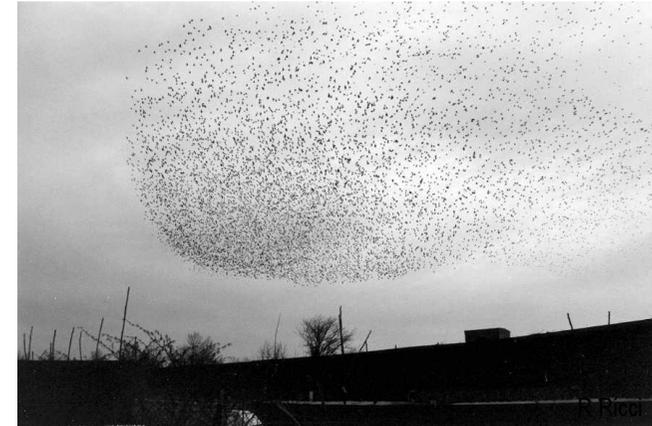
2. Inteligencia de Enjambres



SWARM INTELLIGENCE (INTELIGENCIA DE ENJAMBRES)

“Área de la IA dedicada al estudio de la inteligencia colectiva emergente de un grupo de agentes simples”

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





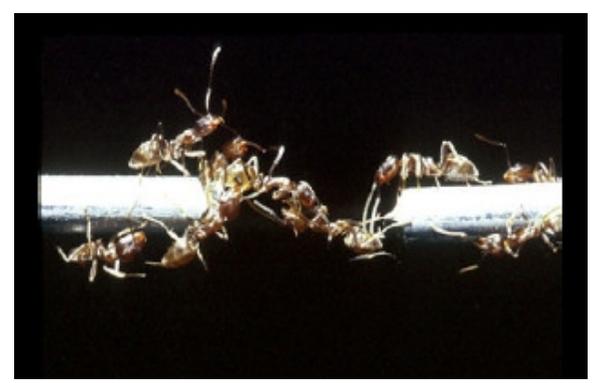
Inspiración Biológica



- ¡Aprender de la Naturaleza!
- Algunos **sistemas sociales** de la Naturaleza presentan un comportamiento colectivo inteligente a pesar de estar compuestos por individuos simples
- Las **soluciones** inteligentes a los problemas que se les plantean **emergen** de forma natural de la **auto-organización** y la **comunicación** entre dichos individuos
- Este tipo de sistemas aportan técnicas importantes que pueden ser empleadas para el desarrollo de sistemas distribuidos de inteligencia artificial (**sistemas inteligentes de enjambre**)



Inspiración Biológica



**sociedades de insectos
(abejas, avispas, hormigas, termitas)**



bandadas de aves



bancos de peces



manadas de mamíferos

Principios de los Sistemas Inteligentes de Enjambre



Principios biológicos:

- Comunicación:
 - Directa: contacto de antenas/mandíbulas, visual o químico, intercambio de comida/líquidos/olores, etc.
 - Indirecta: por modificación del entorno (*estimergia*)
- Auto-organización:
 - Refuerzo positivo/negativo
 - Amplificación de las fluctuaciones
 - Interacciones múltiples entre los individuos del sistema

Principios de ingeniería:

- Los agentes individuales son pequeños:
 - Pequeños en masa (con respecto al tamaño del entorno)
 - Pequeños en tiempo (memoria limitada)
 - Pequeños en alcance (percepción y comunicación locales)
- Descentralización
- Diversidad
- Redundancia

De las Sociedades Naturales a los Sistemas Inteligentes de Enjambre



Insectos:

- Son organismos muy simples. El repertorio de comportamientos de cada insecto es limitado
- Llevan a cabo actuaciones colectivas que no serían posibles para un único individuo
- No existe acceso individual al estado completo de la colonia (**control centralizado**). Individualmente:
 - No pueden hacer una división efectiva de la labor a realizar
 - No pueden garantizar el progreso de la colonia



De las Sociedades Naturales a los Sistemas Inteligentes de Enjambre

Características de un Enjambre:

- Compuesto de agentes *simples* (auto-organizado)
- **Descentralizado**: No existe un único supervisor, toma de decisiones colectivas
- No hay un plan global (**comportamiento emergente**)
- **Robusto**: Se completa la acción aunque falle un individuo
- **Flexible**:
 - Puede responder a cambios externos
 - Percepción del entorno (sentidos)
 - No existe un modelo explícito de entorno ni una habilidad para cambiarlo

De las Sociedades Naturales a los Sistemas Inteligentes de Enjambre

Ejemplo: Abejas:

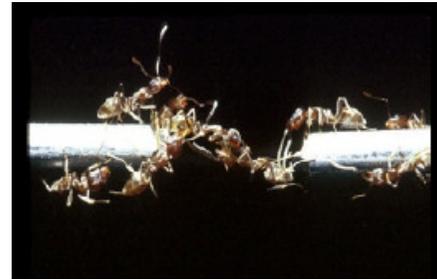


- Cooperación social
- Regulan la temperatura interna de la colmena
- Eficiencia vía especialización: división de la labor en la colonia
- Comunicación: Las fuentes de comida se explotan de acuerdo a la calidad y distancia desde la colmena

De las Sociedades Naturales a los Sistemas Inteligentes de Enjambre



Ejemplo: Hormigas:



- Cooperación social
- Realizan tareas complejas como: transportar objetos pesados, construir puentes, encontrar los caminos más cortos a la comida, etc.
- Especialización adaptativa:
 - Pueden realizar cuatro tareas distintas (buscar comida, patrullar y limpiar o mantener el nido)
 - Escogen su tarea en función de su historia, el estado del entorno y sus interacciones con otras hormigas

Definiciones de Inteligencia de Enjambres



- “Any attempt to design algorithms or distributed problem-solving devices inspired by the collective behavior of social insect colonies and other animal societies” **Bonabeau et al. [1999]**
- “The property of a system whereby the collective behaviors of unsophisticated agents interacting locally with their environment cause coherent functional global patterns to emerge” **Engelbrecht [2005]**
- “The discipline that deals with natural and artificial systems composed of many individuals that coordinate using decentralized control and self-organization” **Dorigo & Birattari [2007]**

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

Ejemplos de Sistemas Inteligentes de Enjambre



OPTIMIZACIÓN BASADA EN NUBES DE PARTÍCULAS (PARTICLE SWARM OPTIMIZATION)

Técnica de optimización numérica inspirada en el comportamiento social de bandadas de aves o bancos de peces



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

Ejemplos de Sistemas Inteligentes de Enjambre

OPTIMIZACIÓN BASADA EN COLONIAS DE HORMIGAS (ANT COLONY OPTIMIZATION)

Técnica de optimización basada en la simulación del comportamiento de las colonias de hormigas cuando recogen comida



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

Ejemplos de Sistemas Inteligentes de Enjambre



ROBÓTICA DE ENJAMBRES (SWARM ROBOTICS)

Enfoque novedoso para la coordinación de sistemas multi-agente formados por un gran número de robots simples. Se basa en la emergencia de un comportamiento colectivo a partir de las interacciones locales entre robots y de robots con su entorno

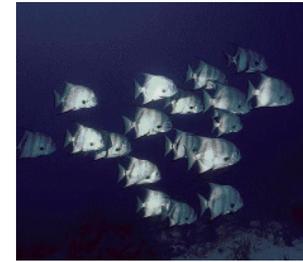


<http://www.swarm-robotics.org>



4. Optimización Basada en Nubes de Partículas

- La sincronía del “comportamiento de bandada” es una consecuencia del esfuerzo de los pájaros para mantener la distancia óptima con sus vecinos



- Los pájaros y los peces ajustan su movimiento para evitar a los depredadores y buscar comida y compañeros (**biología**)

“Individual members can profit from the discoveries and previous experience of other members during the search for food. This advantage can become decisive , overweighting the disadvantages of competition for food”

- De igual modo, los seres humanos tienden a ajustar sus creencias y actitudes para acercarlas a las de sus congéneres (**sociología**)





4. Optimización Basada en Nubes de Partículas



- Supongamos que una bandada de pájaros busca comida en una zona donde sólo hay una fuente de comida
- Los pájaros no saben donde está la comida pero sí conocen su distancia a la misma
- La estrategia más eficaz para hallar la comida es seguir al ave que se encuentre más cerca de ella
- La **Optimización Basada en Nubes de Partículas (PSO)** simula este comportamiento para diseñar algoritmos avanzados de **optimización numérica**
- Muestra similitudes con los procesos sociales y cognitivos seguidos por los seres humanos para la toma de decisiones



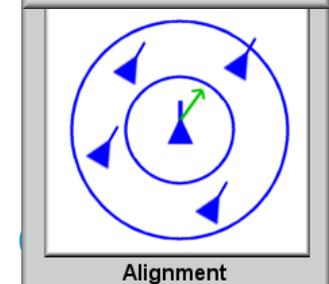
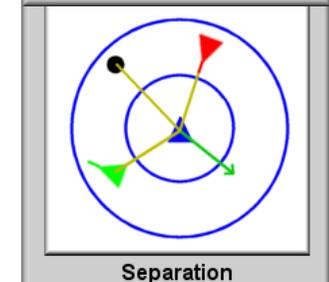
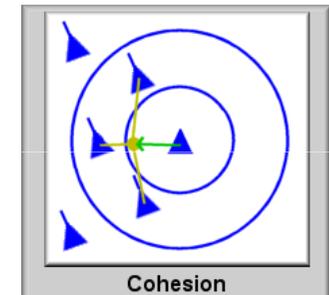
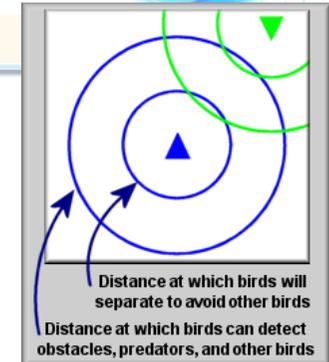
Inspiración Biológica: Modelado del Vuelo de una Bandada de Pájaros

Definiciones:

- Una **bandada** es un grupo de objetos que realizan un tipo general de movimiento agregado, alineado y sin colisiones
- Un **boid** es cada agente artificial que imita a un pájaro y que exhibe el comportamiento anterior

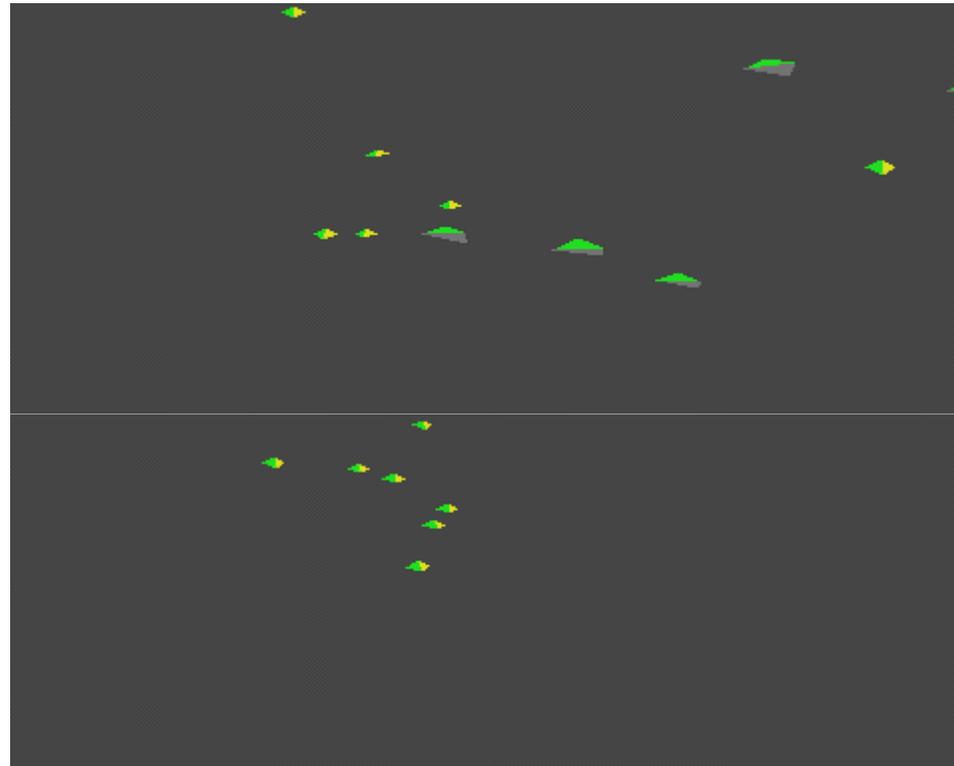
Reglas locales para el "comportamiento de bandada":

- **Cohesión:** Cada boid vuela en dirección al centroide de las posiciones de sus vecinos
- **Separación:** Cada boid guarda una cierta distancia con sus vecinos para evitar colisiones
- **Alineación:** Cada boid alinea su vector velocidad y cuadra la magnitud de éste con de la bandada local





Inspiración Biológica: Modelado del Vuelo de una Bandada de Pájaros



Behavioral Animation and Evolution of Behavior
Craig Reynolds, Silicon Graphics
<http://tralvex.com/pub/nap/video/cr-boid2.avi>



De las Bandadas de Pájaros a la Optimización Basada en Nubes de Partículas



- Cada solución (**partícula**) es un "ave" que está siempre en continuo movimiento en el espacio de búsqueda ("vuela")
- La **nube de partículas** es un **sistema multiagente**. Las partículas son agentes simples que guardan (y **comunican**) la mejor solución que han encontrado
- Cada partícula tiene un **fitness** (calidad de la solución), una **posición** y un **vector velocidad** que dirige su "vuelo"
- El movimiento de las partículas por el espacio está guiado por su **mejor estado** y por el de las partículas de su entorno (**interacción social**)



Anatomía de una Partícula



Una partícula está compuesta por:

- Tres vectores:
 - El **vector X** almacena su posición actual,
 - El **vector pBest** almacena la posición de la mejor solución que encontró hasta ahora, y
 - El **vector V** almacena el gradiente (dirección) según el cuál se moverá
- Dos valores de fitness:
 - El **x_fitness** almacena la calidad de la solución actual (vector X), y
 - El **pBest_fitness** almacena la calidad de la mejor solución encontrada (vector *pBest*)

p_i

$$X_i = \langle X_{i1}, \dots, X_{in} \rangle$$

$$pBest_i = \langle p_{i1}, \dots, p_{in} \rangle$$

$$V_i = \langle V_{i1}, \dots, V_{in} \rangle$$

$$x_fitness = ?$$

$$pBest_fitness = ?$$



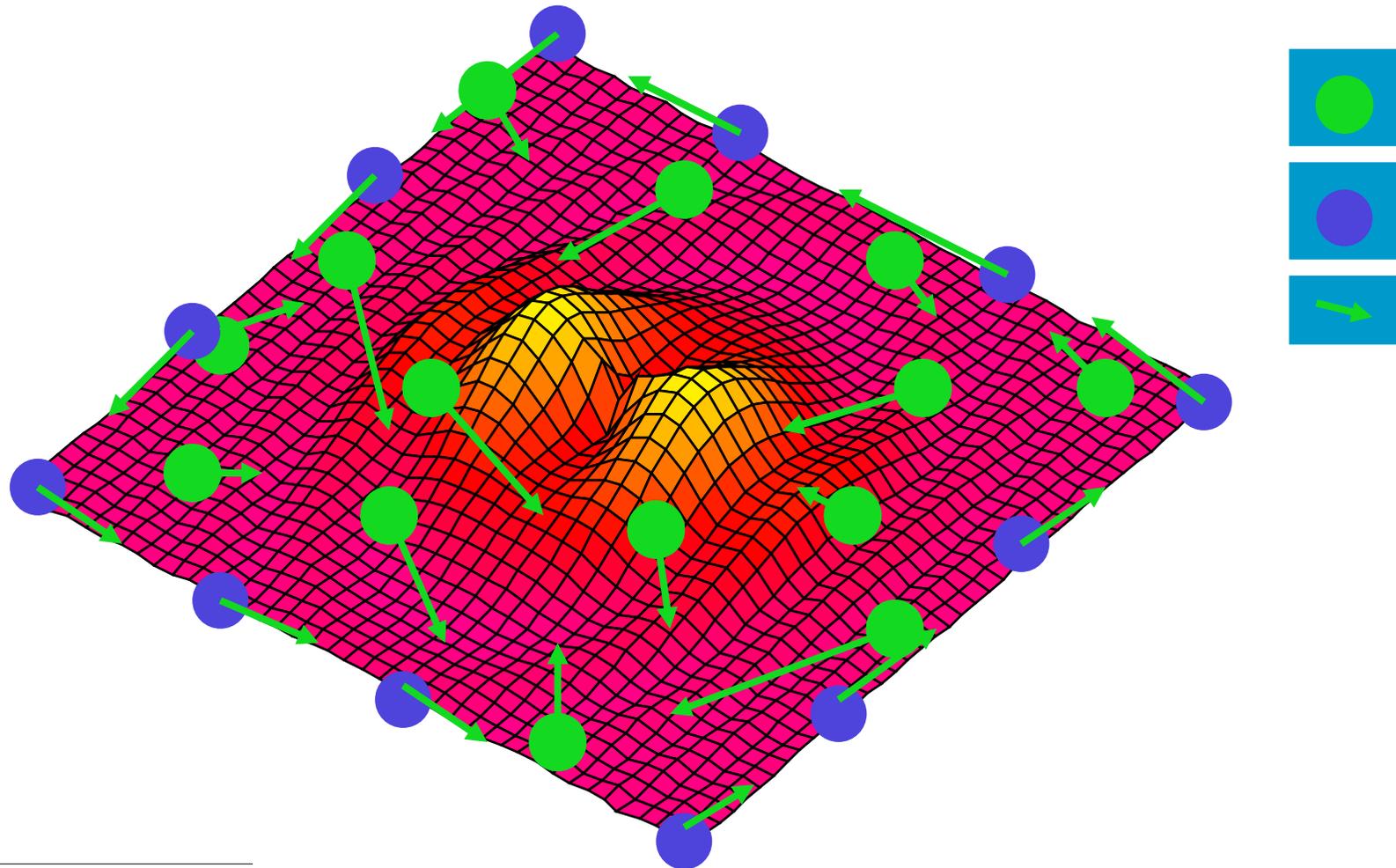
Inicialización de la Nube de Partículas



- La nube se inicializa generando las posiciones y las velocidades iniciales de las partículas
- Las posiciones se pueden generar aleatoriamente en el espacio de búsqueda, de forma regular o con una combinación de ambas
- Las velocidades se generan aleatoriamente, con cada componente en el intervalo $[-V_{max}, V_{max}]$
Vmax será la velocidad máxima que pueda tomar una partícula en cada movimiento



Inicialización de la Nube de Partículas





Movimiento de las Partículas



¿Cómo se mueve una partícula de una posición del espacio de búsqueda a otra?

- Se hace simplemente añadiendo el vector velocidad V_i al vector posición X_i para obtener un nuevo vector posición:

$$X_i \leftarrow X_i + V_i$$

- Una vez calculada la nueva posición de la partícula, se evalúa ésta. Si el nuevo fitness es mejor que el que la partícula tenía hasta ahora, $pBest_fitness$, entonces:

$$pBest_i \leftarrow X_i \quad ; \quad pBest_fitness \leftarrow x_fitness$$



Movimiento de las Partículas



- De este modo, el primer paso es ajustar el vector velocidad, para después sumárselo al vector posición
- Las fórmulas empleadas son las siguientes:

$$v_{id} = \omega \cdot v_{id} + \underbrace{\varphi_1 \cdot \text{rnd}() \cdot (pBest_{id} - x_{id})}_{\text{COGNITIVO}} + \underbrace{\varphi_2 \cdot \text{rnd}() \cdot (g_{id} - x_{id})}_{\text{SOCIAL}}$$
$$x_{id} = x_{id} + v_{id}$$

donde:

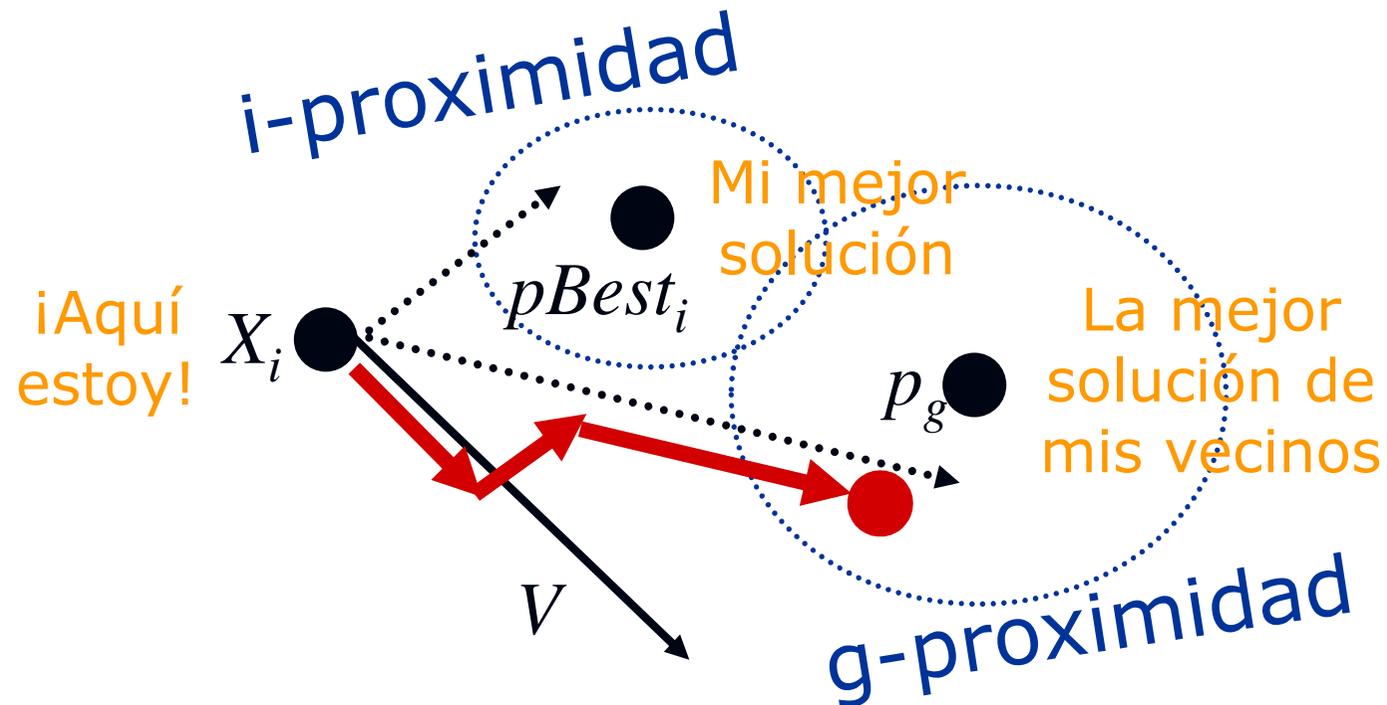
- p_i es la partícula en cuestión,
- φ_1, φ_2 son ratios de aprendizaje (pesos) que controlan los componentes **cognitivo** y **social**,
- g es la partícula con el mejor $pBest_fitness$ del entorno de p_i ($lBest$) o de toda la nube ($gBest$),
- los **rnd()** son números aleatorios generados en $[0,1]$, y
- d es la d -ésima dimensión del vector



Movimiento de las Partículas



REPRESENTACIÓN GRÁFICA:





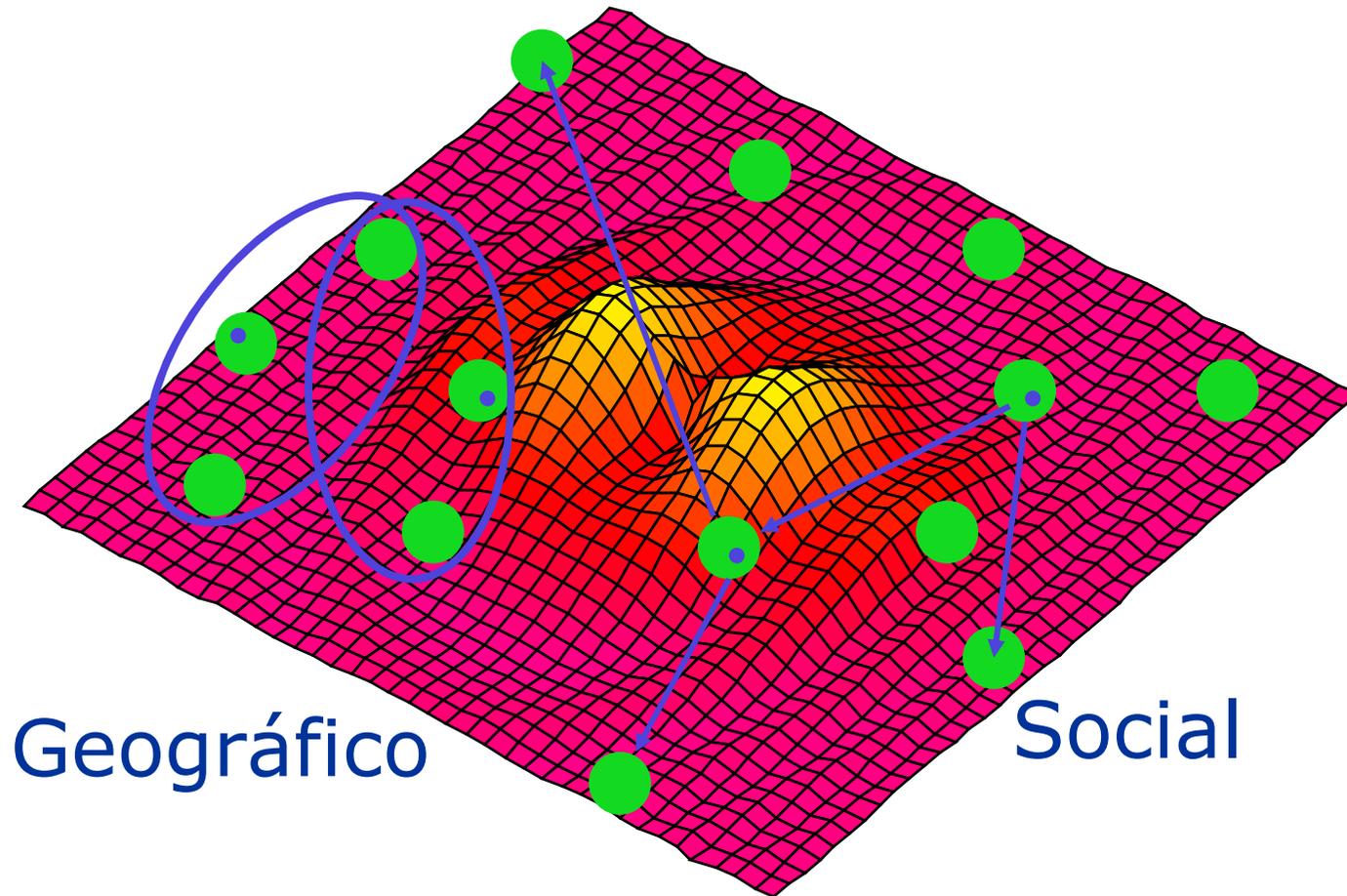
Topologías de la Nube de Partículas



- Las topologías definen el entorno de cada partícula individual. La propia partícula siempre pertenece a su entorno
- Los entornos pueden ser de dos tipos:
 - Geográficos: se calcula la distancia de la partícula actual al resto y se toman las más cercanas para componer su entorno
 - Sociales: se define a priori una lista de vecinas para cada partícula, independientemente de su posición en el espacio
- Los entornos sociales son los más empleados
- Una vez decidido el entorno, es necesario definir su tamaño. El algoritmo no es muy sensible a este parámetro
- Cuando el tamaño es toda la nube de partículas, el entorno es a la vez geográfico y social, y tenemos la PSO global



Topologías de la Nube de Partículas

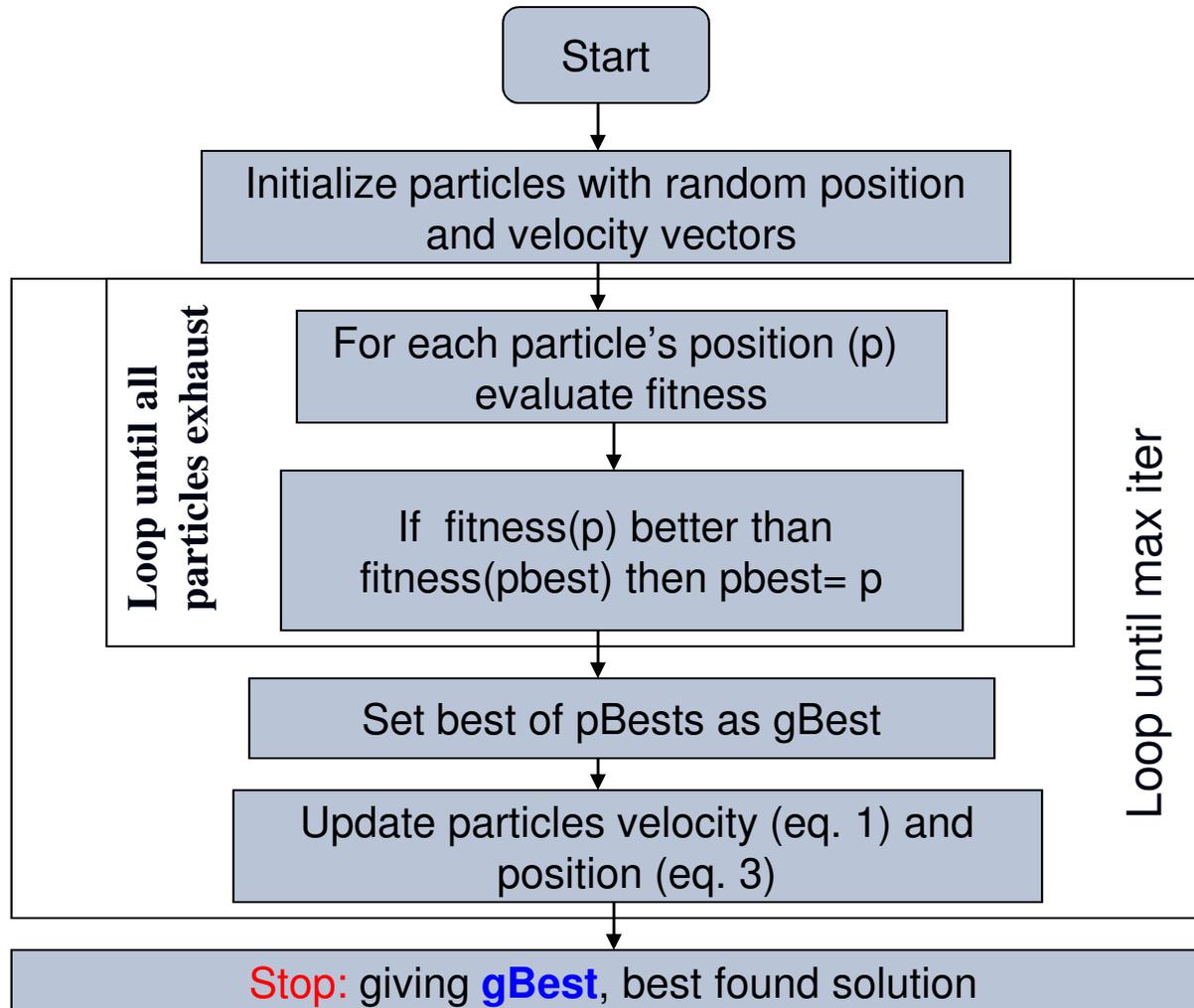


Geográfico

Social

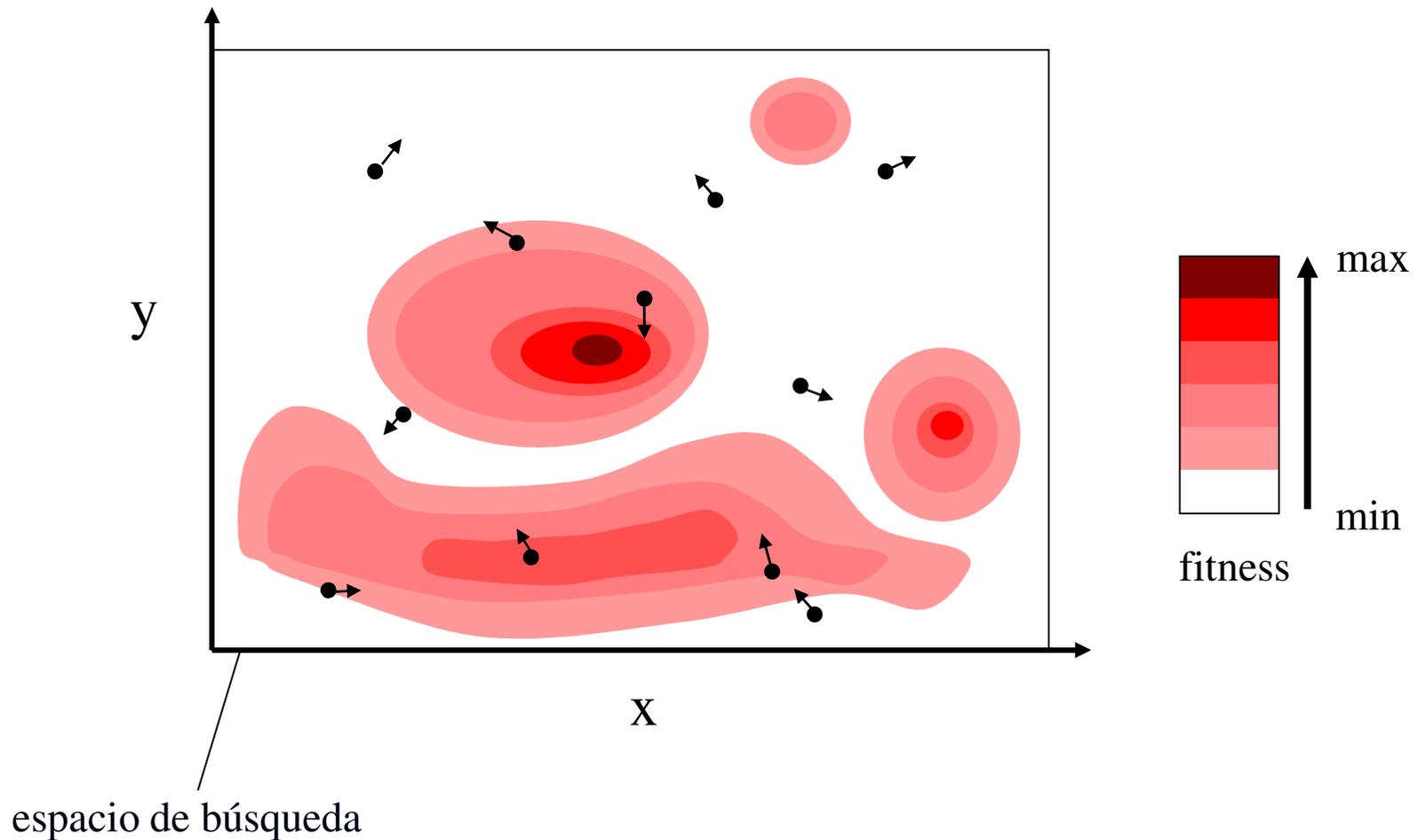


Algoritmo PSO Genérico



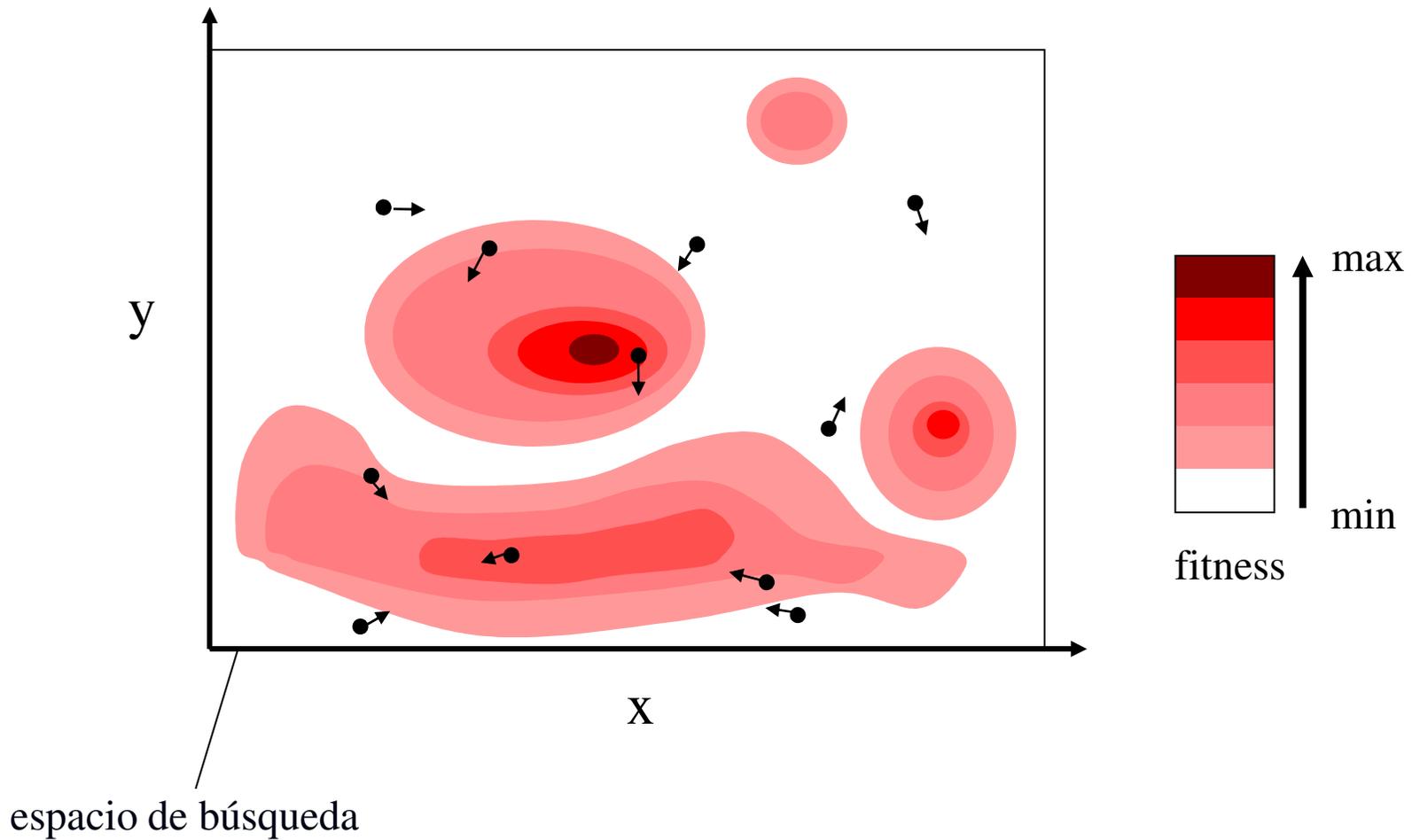


Ejemplo de Simulación



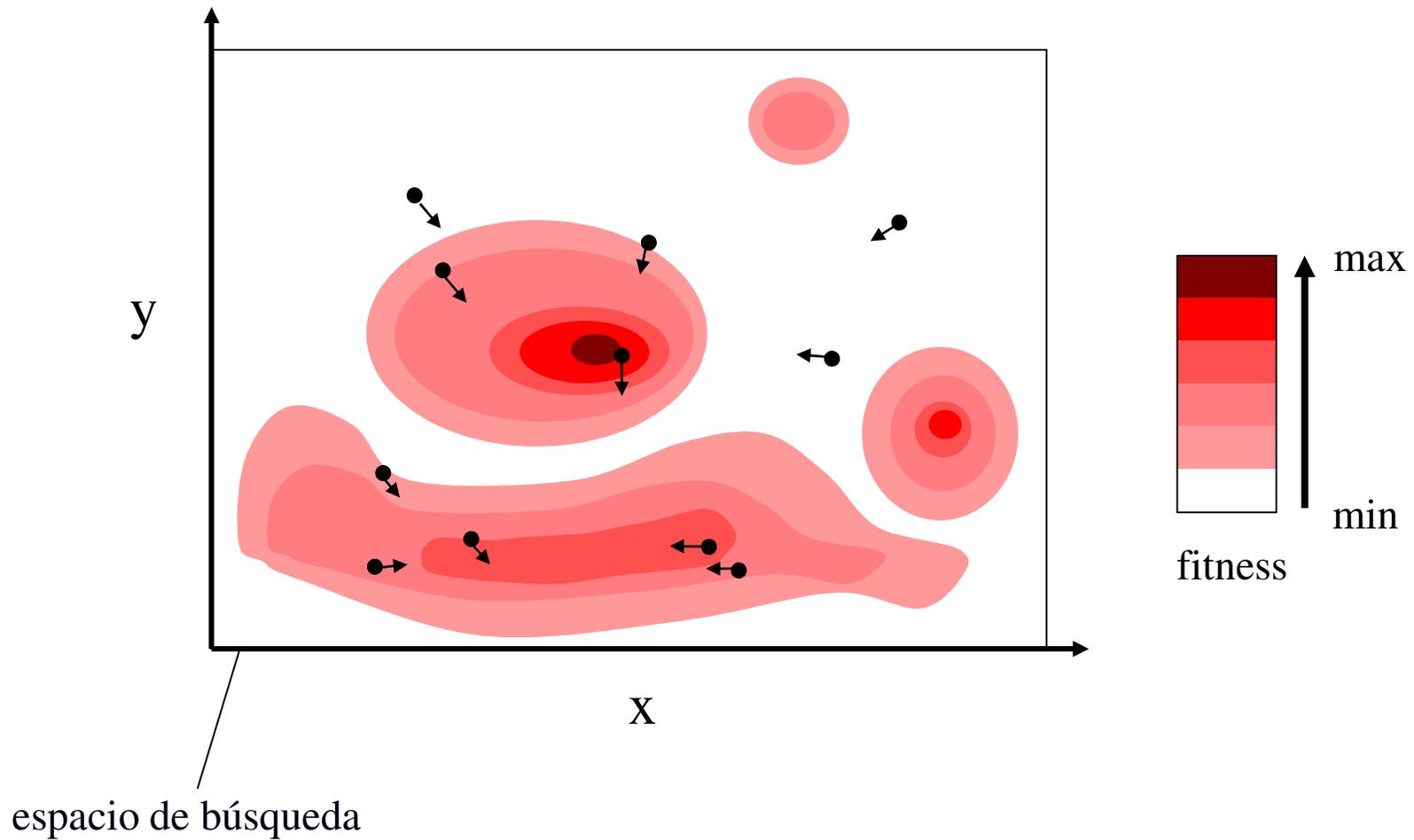


Ejemplo de Simulación



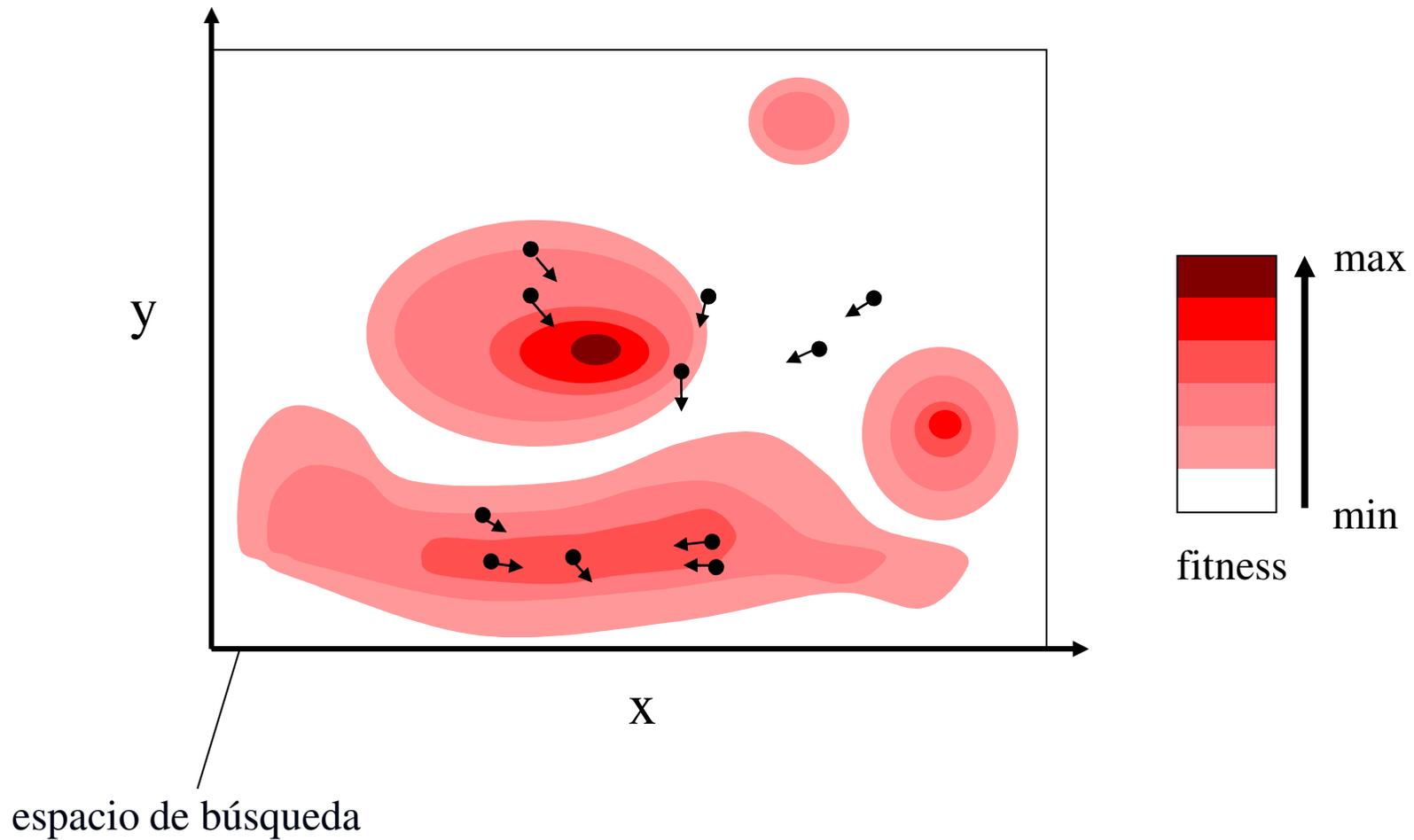


Ejemplo de Simulación



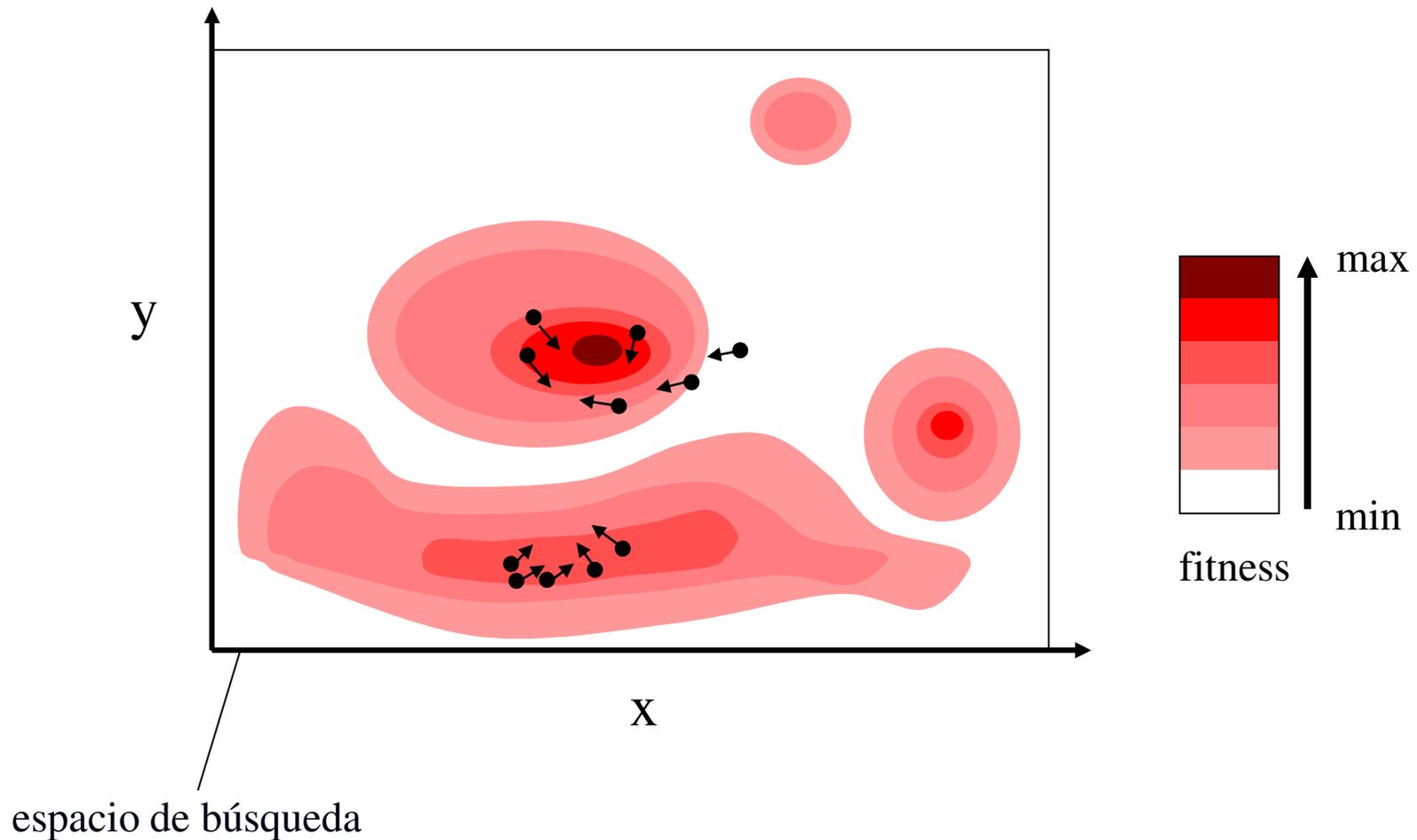


Ejemplo de Simulación



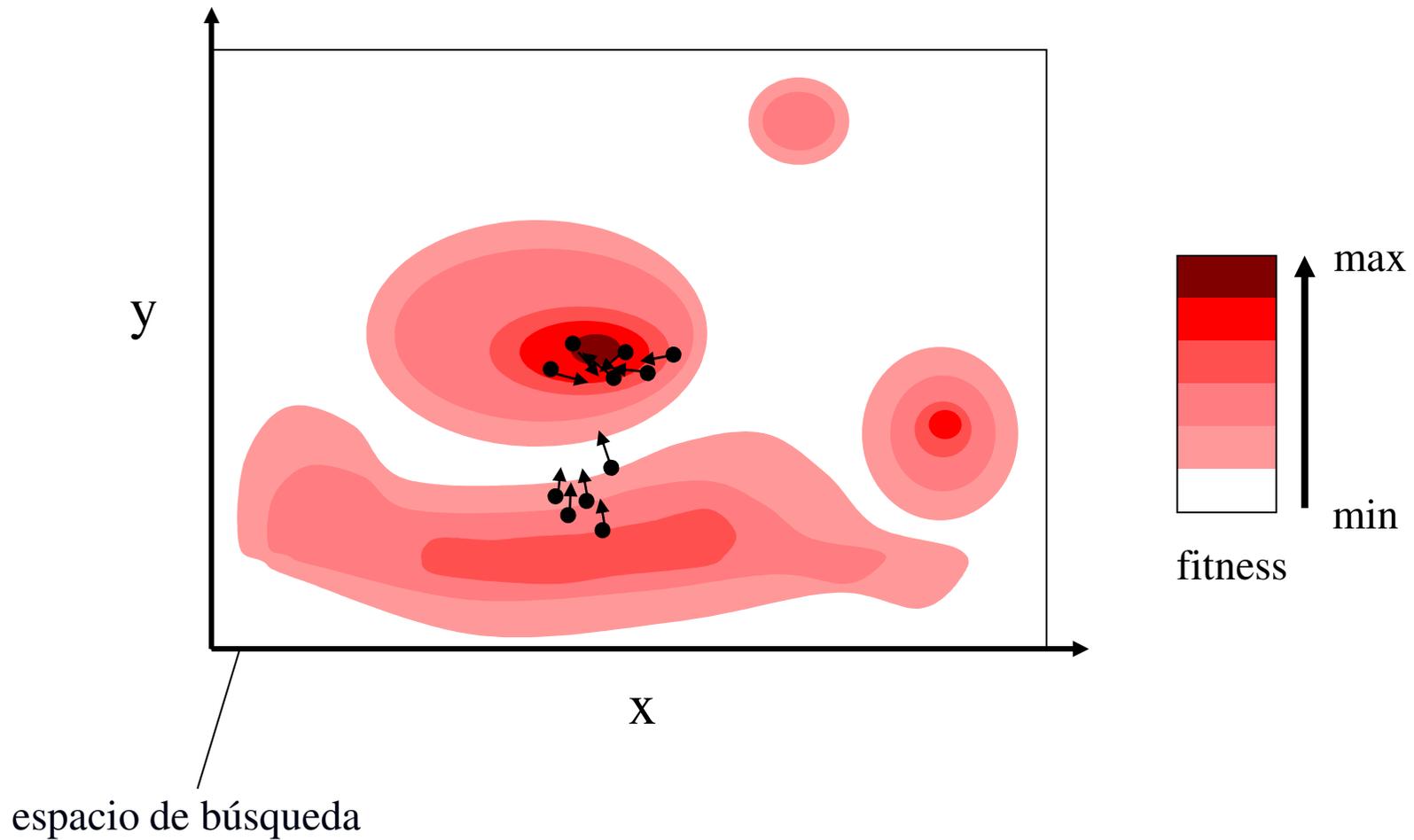


Ejemplo de Simulación



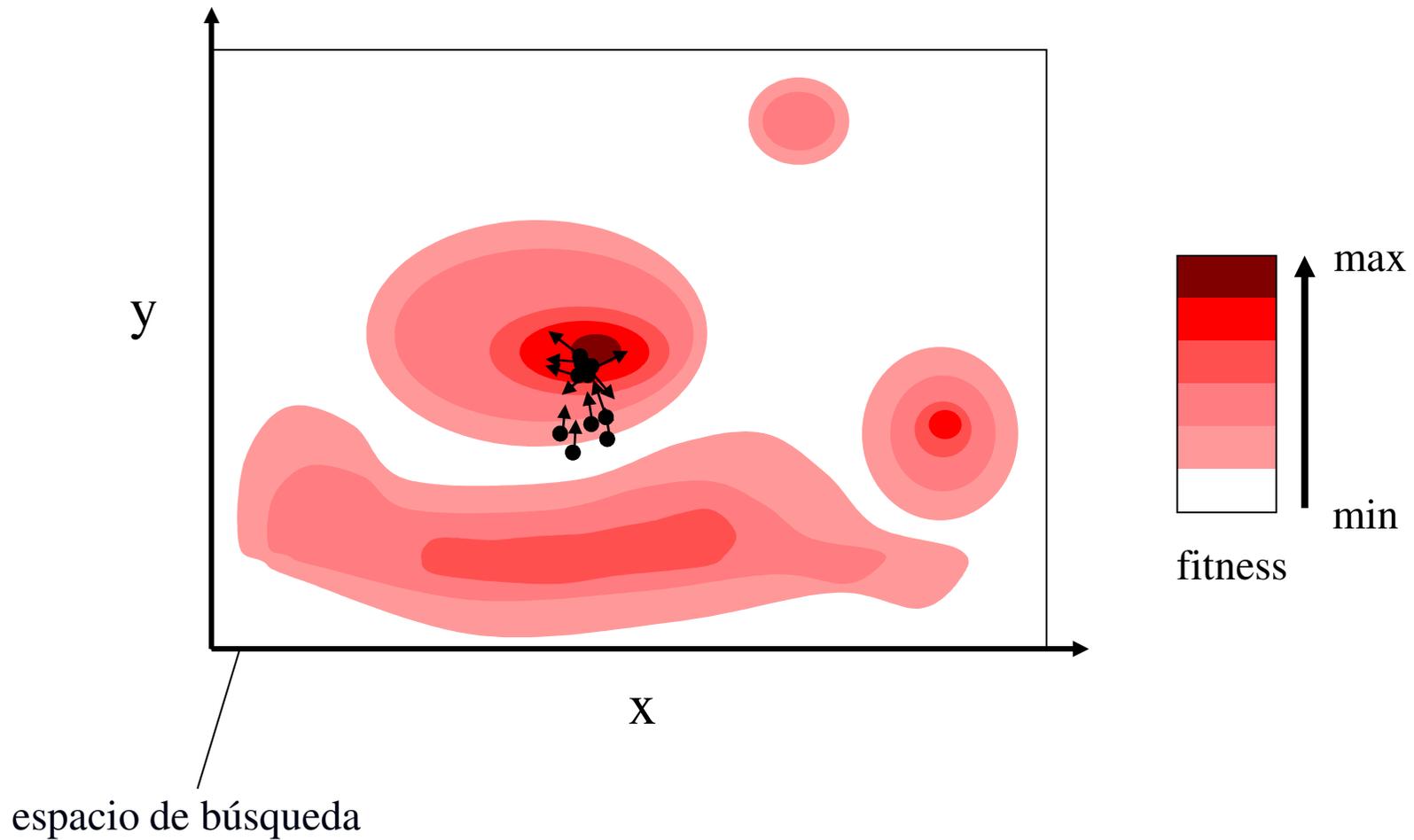


Ejemplo de Simulación



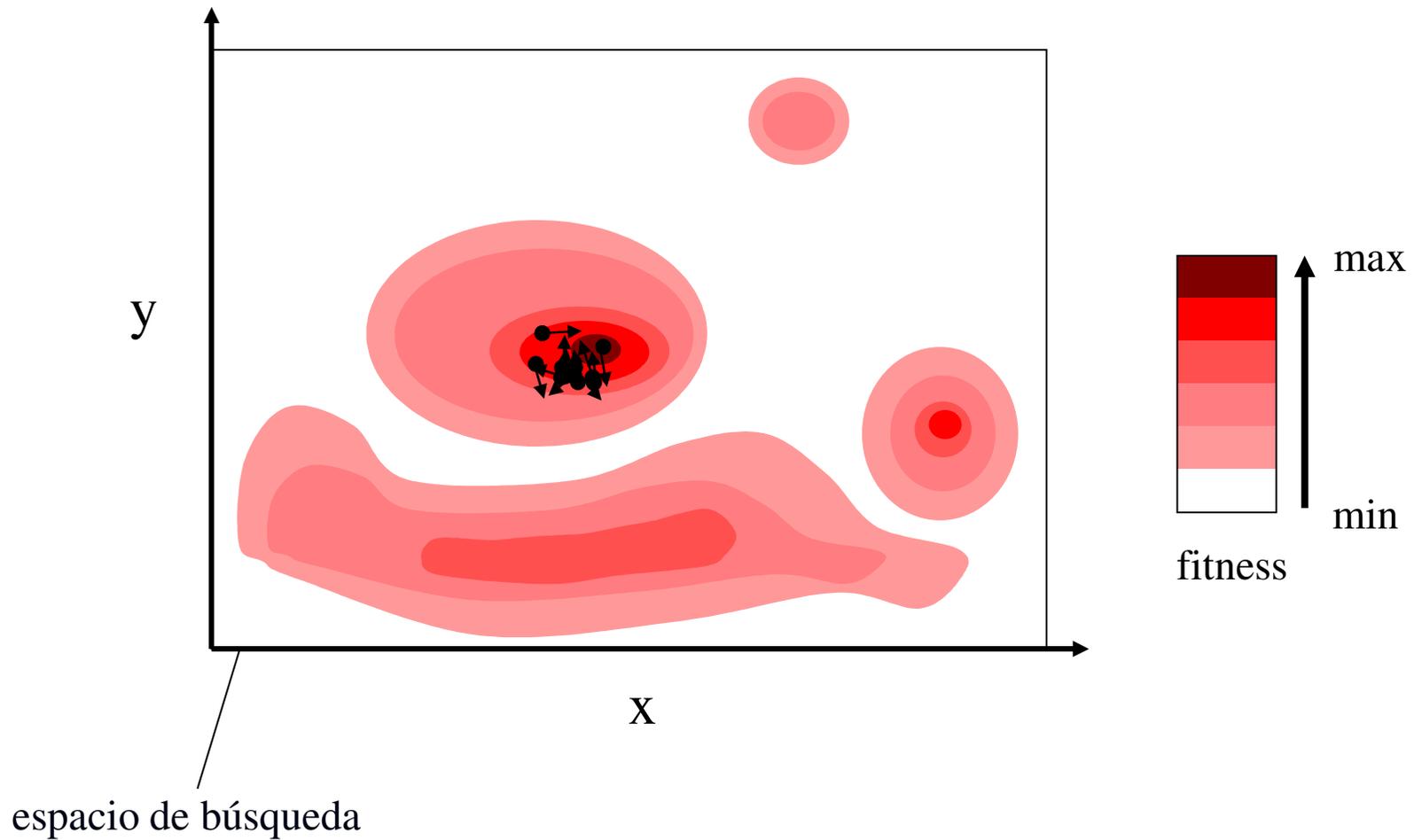


Ejemplo de Simulación





Ejemplo de Simulación





Aplicaciones de la Optimización Basada en Nubes de Partículas



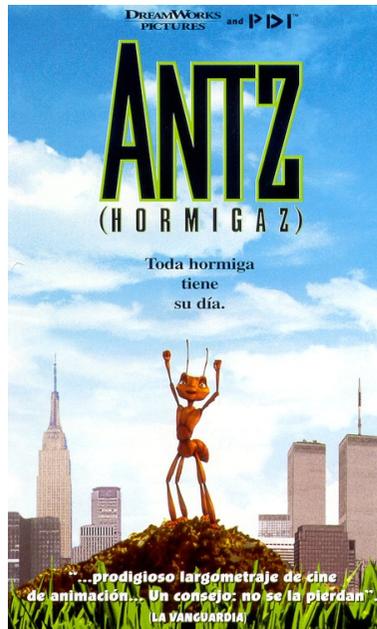
- Los algoritmos de PSO se han empleado en diversos campos de aplicación:
 - Diseño de redes neuronales
 - Teoría de juegos
 - Clustering
 - Diseño
 - Secuenciación y planificación
 - Control de sistemas
 - Matemática aplicada
 - Sistemas eléctricos
 - ...



5. Optimización Basada en Colonias de Hormigas



- 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!





Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



- 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?

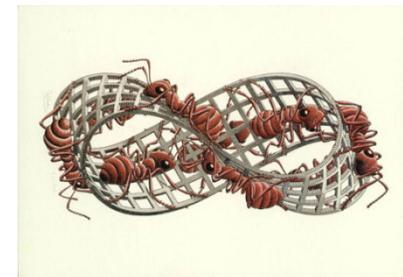




Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



- La mejor forma posible de hacerlo es **tener una hormiga en cada sitio en todo momento**
- Si la comida no se encuentra cerca de una hormiga, la colonia, la colonia no se va saber dónde se encuentra
- Por supuesto, no existen suficientes hormigas en la colonia para cubrir todo el espacio así que lo que hacen es moverse siguiendo un patrón que **les permite ocuparlo de forma eficiente**
- Este concepto es el fundamento de la Optimización basada en Colonias de Hormigas





Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



- 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



¡Desastre, me he perdido,
no puedo seguir el rastro!

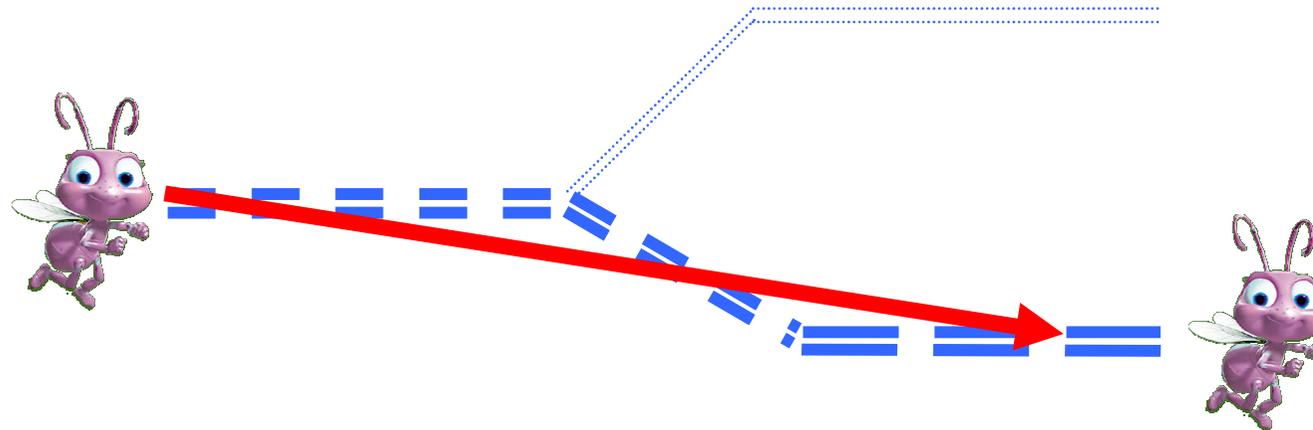




Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



- 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



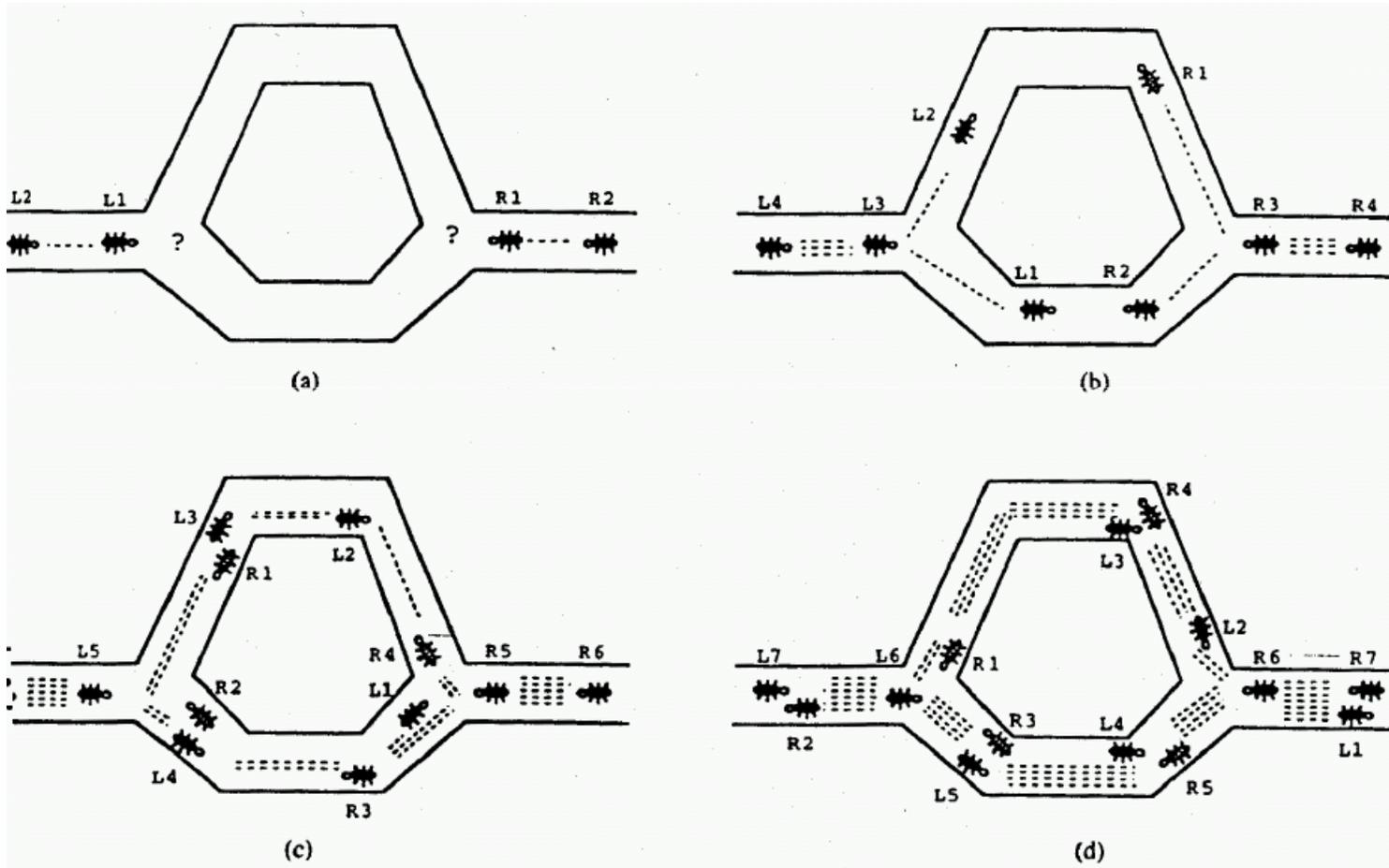
Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



- 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 que permite a las hormigas encontrar un camino cada vez más corto desde el hormiguero a la comida



Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida





Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida

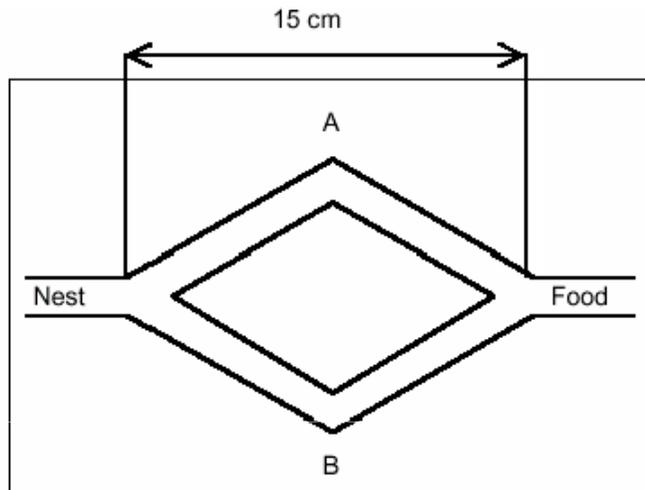


Experimentos del doble puente:

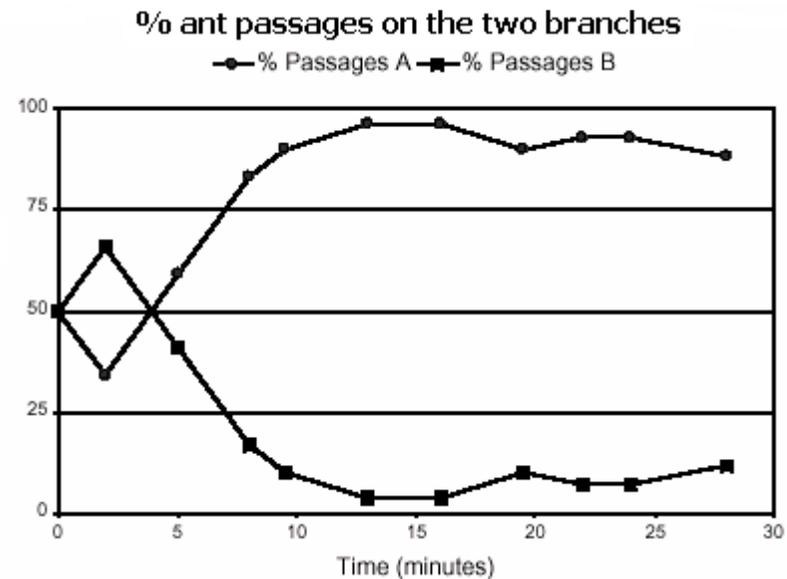
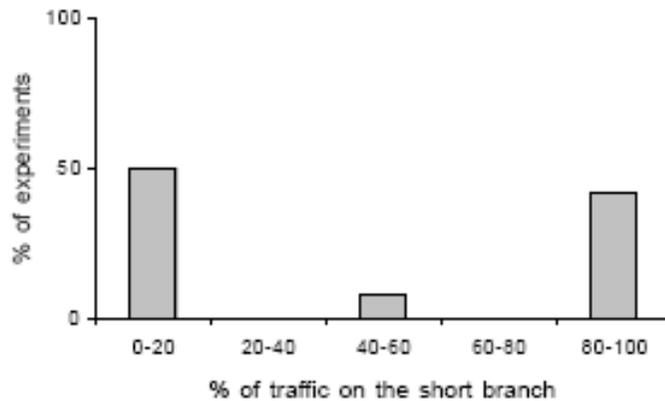
- **Deneubourg et al.** realizaron un experimento de laboratorio con un tipo concreto: *Iridomyrmex humilis* (**hormigas argentinas**)
- Usaron dos tipos de circuitos (**puentes**). En el primero, las dos ramas del puente tenían la misma longitud. En el segundo, una rama era el doble de larga que la otra
- Después, unieron dos puentes cruzados del segundo tipo



Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida

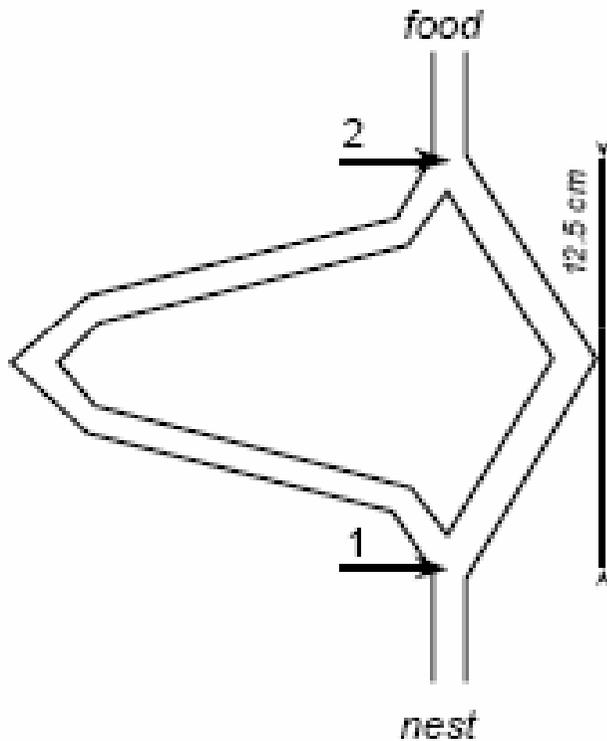


- En el primer puente, las hormigas terminaban por converger a una sola rama (cualquiera de las dos)

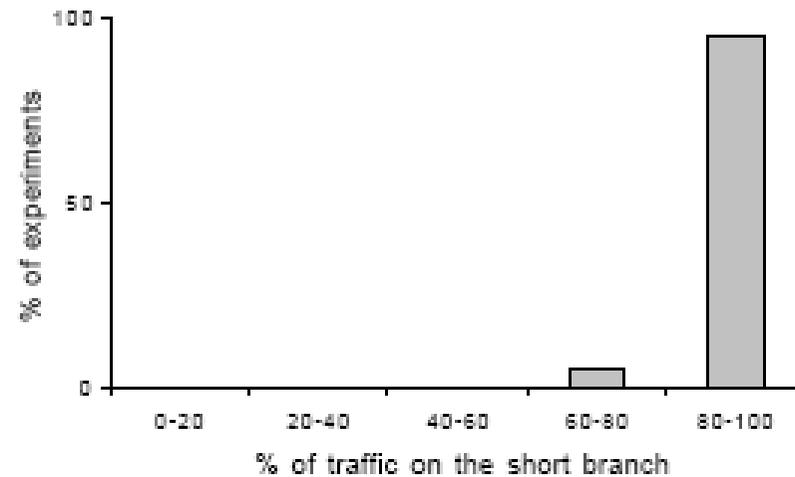




Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



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

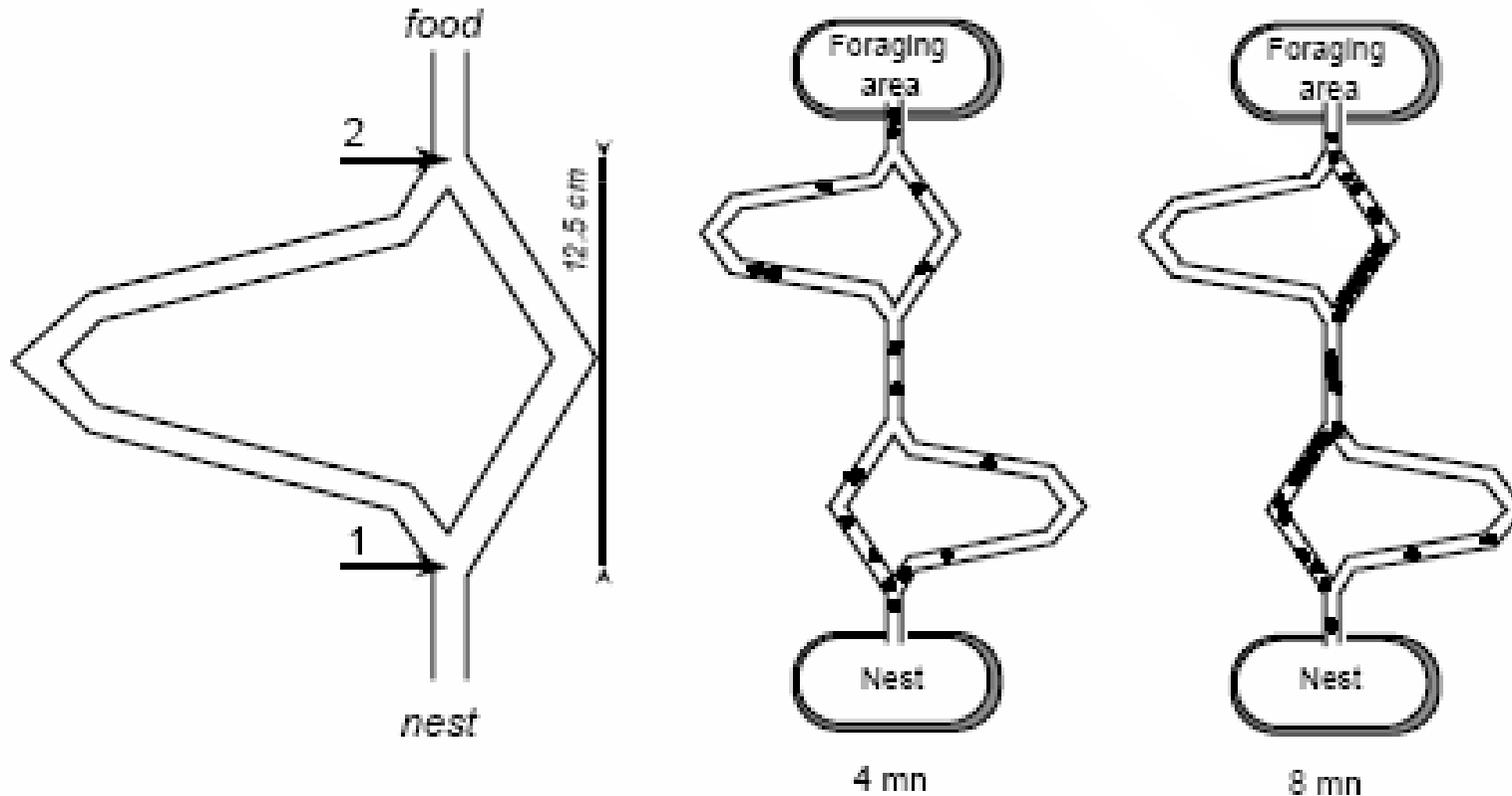




Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



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





Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



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

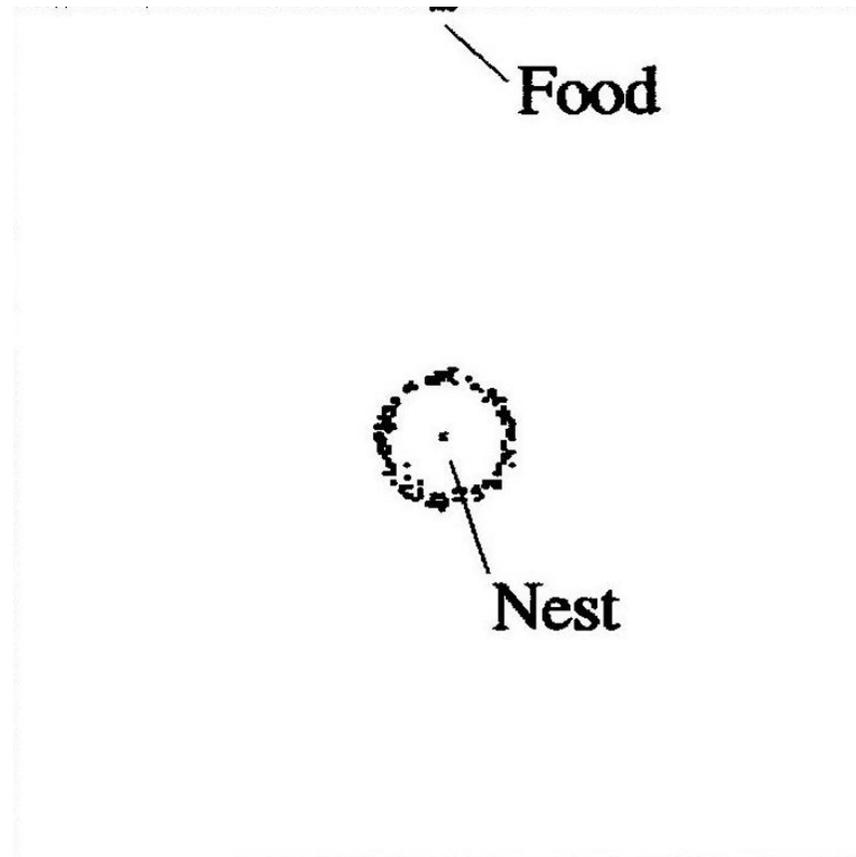
$$p_{i,a} = \frac{[k + \tau_{i,a}]^\alpha}{[k + \tau_{i,a}]^\alpha + [k + \tau_{i,a'}]^\alpha}$$

donde:

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

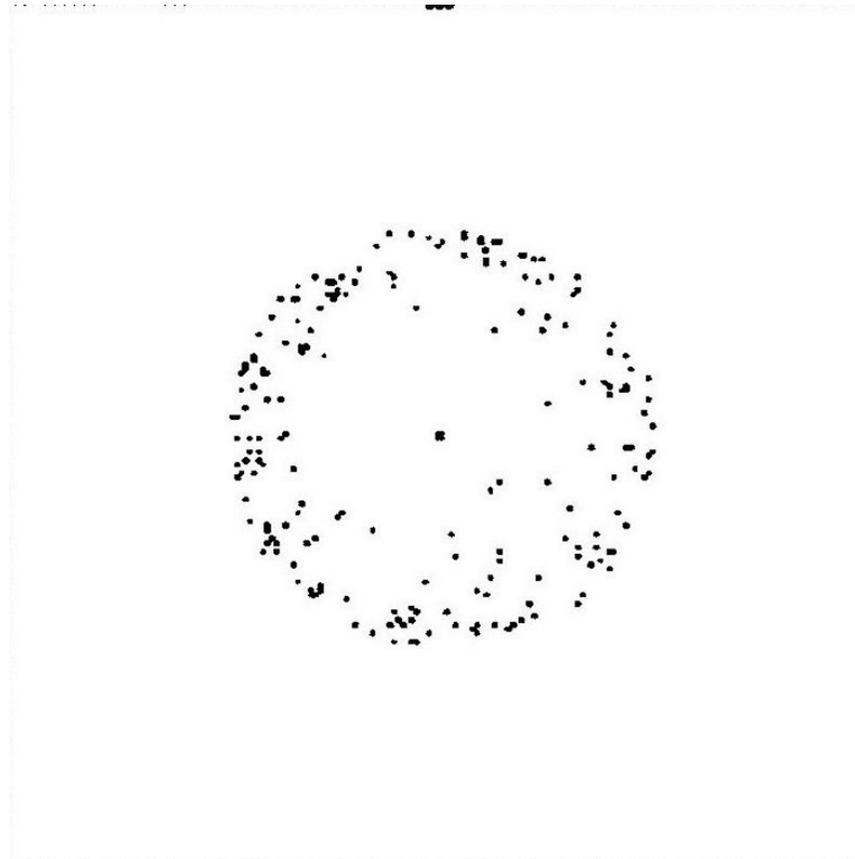


Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



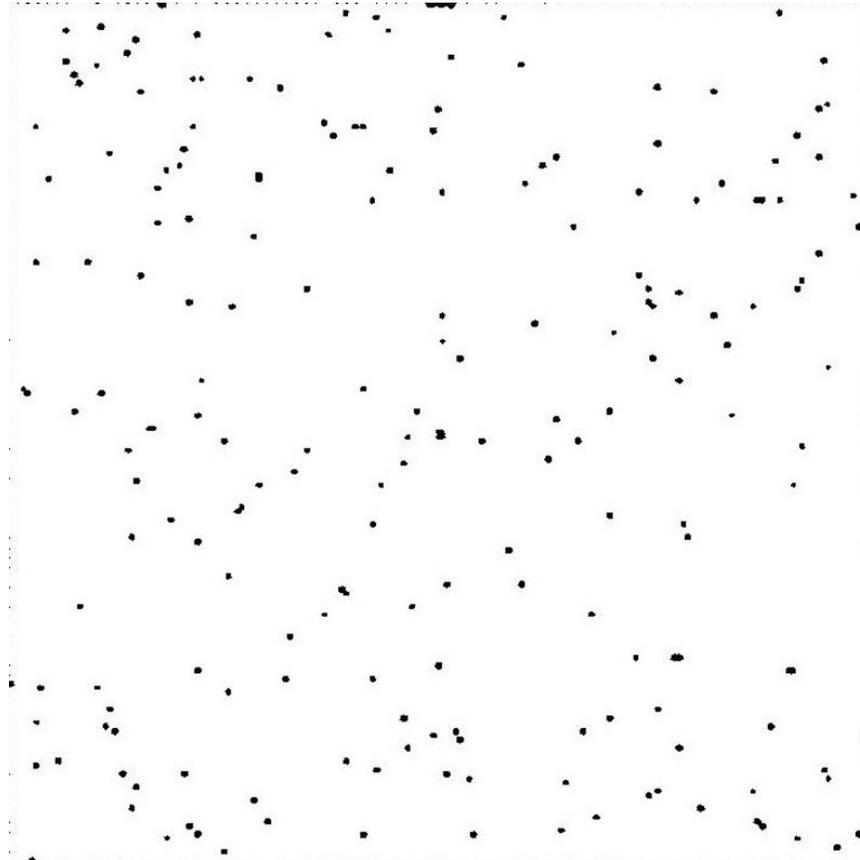


Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



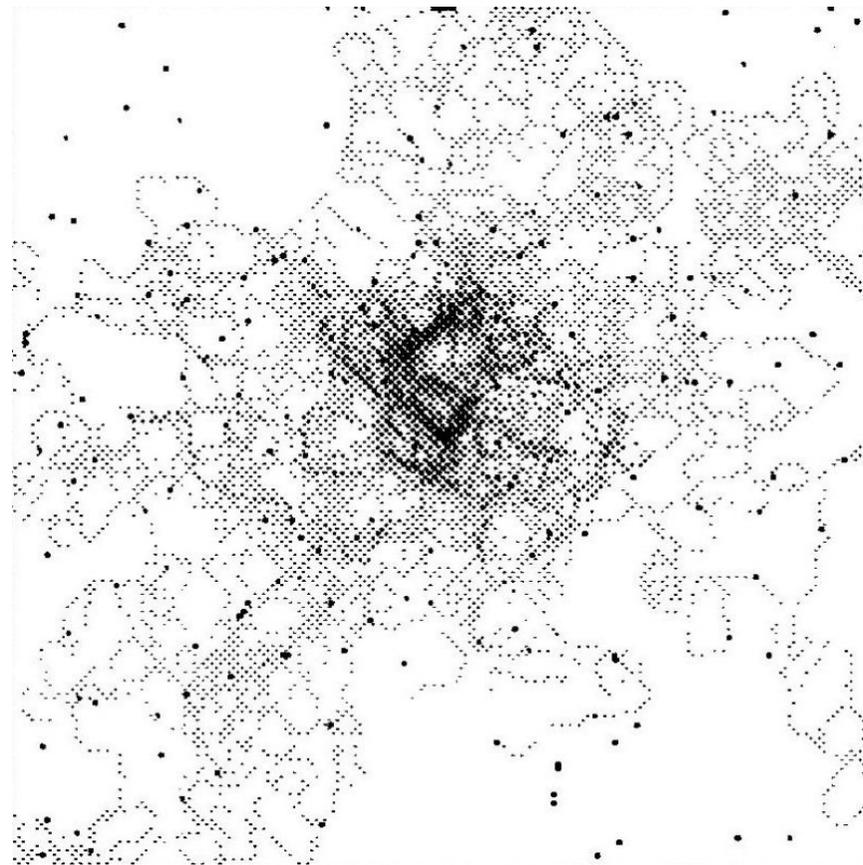


Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



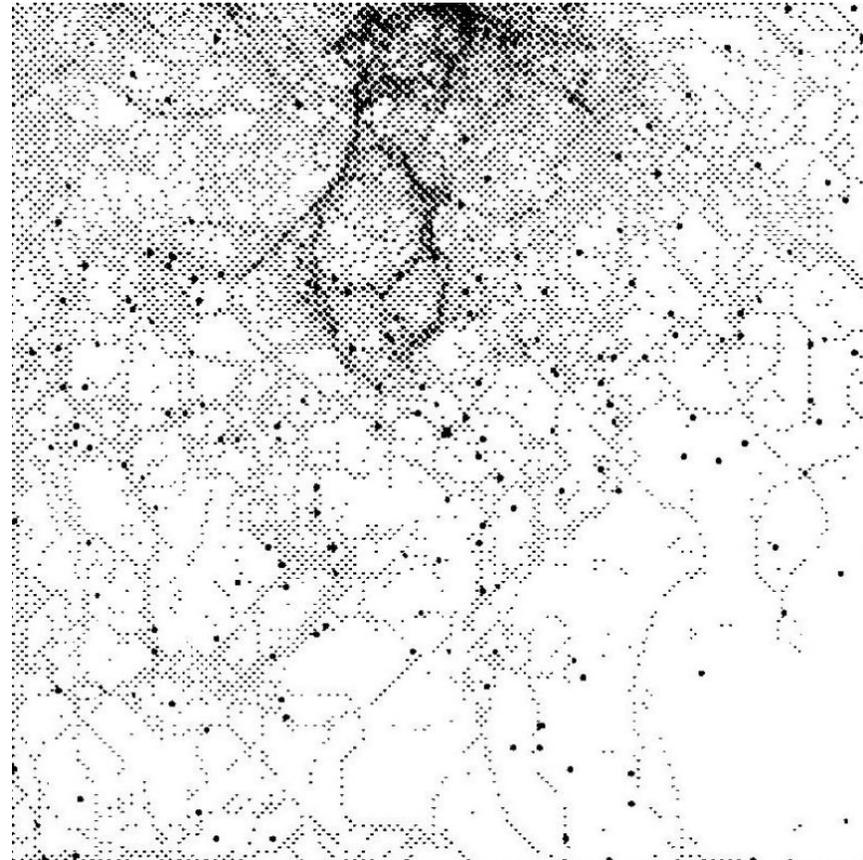


Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



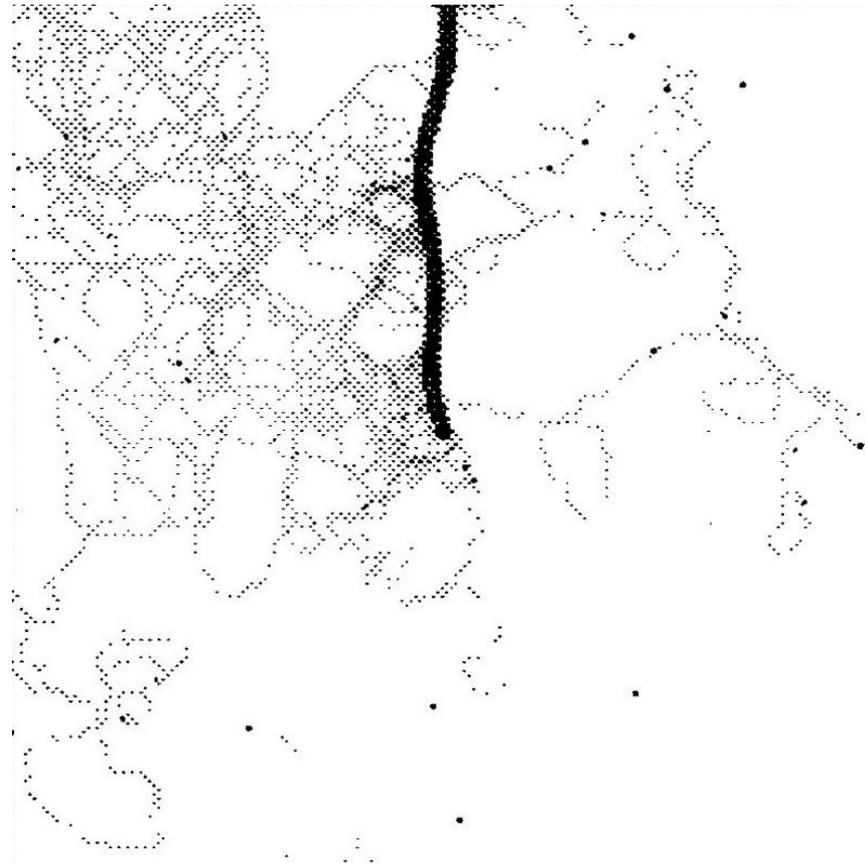


Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



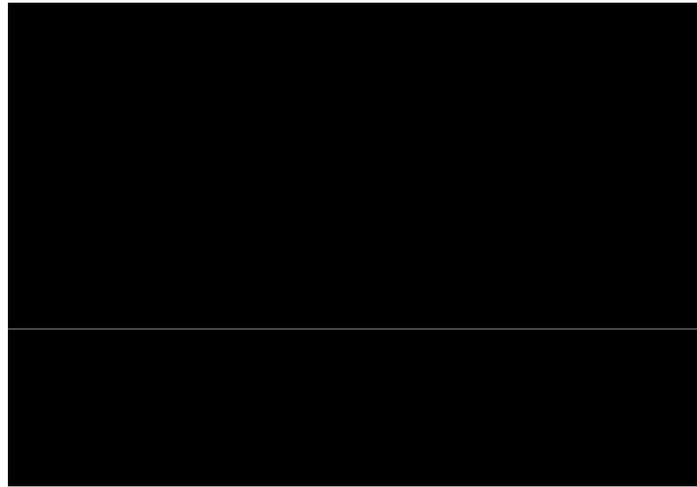


Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida





Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



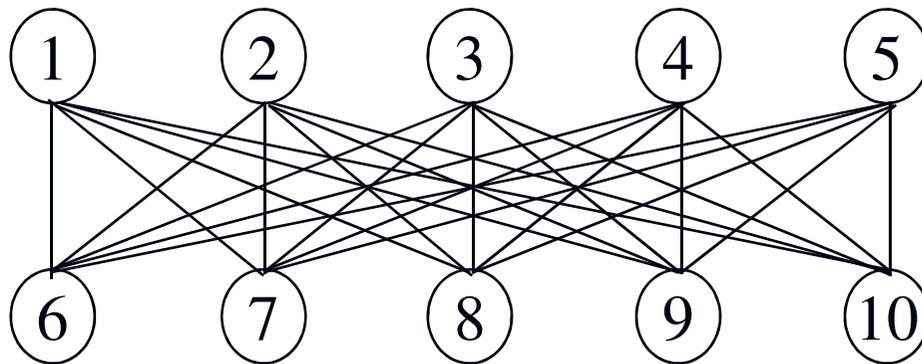
How the ants can find the shortest path
Hadi Nobahari, Sharif University of Technology, Iran
[http://video.google.com/videoplay?docid=-
4748362485426843791&hl=en](http://video.google.com/videoplay?docid=-4748362485426843791&hl=en)



De las Sociedades de Hormigas a la Optimización Basada en Colonias de Hormigas



- Para aplicar la Optimización basada en Colonias de Hormigas (OCH) a un problema, es necesario que pueda ser representado en forma de **grafo con pesos**



Pesos =

	<i>1</i>	<i>2</i>	...	<i>10</i>
<i>1</i>	-	-		p_{1-10}
<i>2</i>	-	-		p_{2-10}
...				
<i>10</i>	p_{1-10}	p_{2-10}		-



De las Sociedades de Hormigas a la Optimización Basada en Colonias de Hormigas



- Cada arco del grafo contiene dos tipos de información:
 - **Rastro artificial de feromona:** medida de la "deseabilidad" del arco representada por la cantidad de feromona depositada en él y modificada durante el algoritmo
 - **Información heurística:** preferencia heurística del arco, dependiente del problema concreto. Las hormigas no la modifican durante la ejecución del algoritmo



De las Sociedades de Hormigas a la Optimización Basada en Colonias de Hormigas



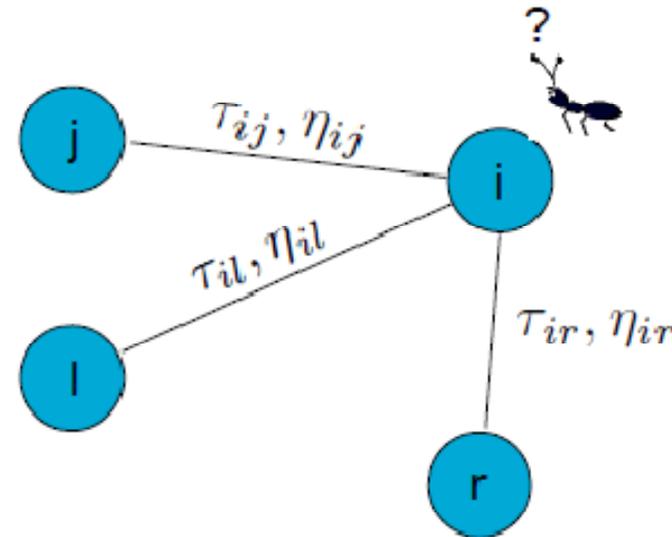
- Los algoritmos de OCH reproducen el comportamiento de las hormigas reales en una **colonia artificial de hormigas**
- En cada iteración, cada hormiga artificial recorre el grafo generando un **camino completo** (solución al problema)
- En cada paso, elige hacia qué nodo moverse según una **regla probabilística de transición**
- La **bondad de estas soluciones determina el aporte de feromona** que realiza cada hormiga en el camino recorrido
- Se incorpora un **mecanismo de evaporación de feromona más activo que el natural**, lo que evita la perduración de los rastros de feromona y, por tanto, el estancamiento en óptimos locales



De las Sociedades de Hormigas a la Optimización Basada en Colonias de Hormigas



- El proceso constructivo de la hormiga se basa en una **regla probabilística de transición** sesgada por:
 - La información heurística existente sobre el problema (grado de "deseabilidad" del arco)
 - Las bondad de las decisiones que otras hormigas tomaron en el pasado (representada en los rastros de feromona)



$$P_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} \cdot [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{q \in J} [\tau_{iq}]^{\alpha} \cdot [\eta_{iq}]^{\beta}}$$



Aplicaciones de la Optimización Basada en Colonias de Hormigas



- Los algoritmos de OCH se han aplicado a muchos problemas reales:
 - Logística (enrutamiento de vehículos): American Air Liquide, Carnini, Number 1, Pina Petroli, Migros, ...
 - Asignación de puertas de embarque a aviones: Southwest Airlines (aeropuerto de Phoenix)
 - Recogida de basuras: Sant Boi del Llobregat
 - Líneas de producción de automóviles: Nissan (Barcelona)
 - Sistemas de recomendaciones en Internet: RightNow Technologies
 - Enrutamiento en redes de telecomunicaciones
 - “Pooling” de vehículos
 - Bioinformática: plegado de proteínas 2D
 - ...



6. Ejemplos de Aplicación

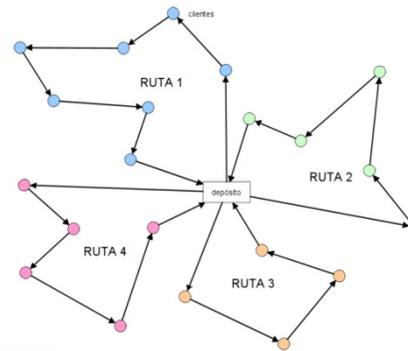
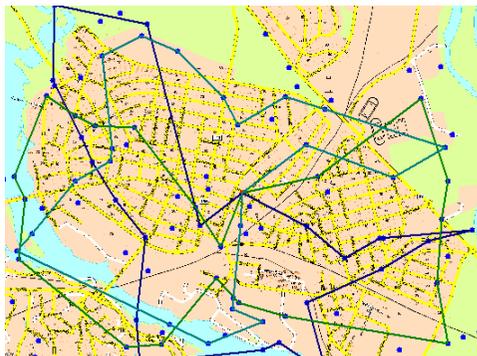


- 1. Planificación de Rutas para Transporte de Mercancías**
- 2. Enrutamiento de Paquetes en Redes de Telecomunicaciones**
- 3. Equilibrado de Líneas de Montaje en Automoción**

Planificación de Rutas para Transporte de Mercancías



- Hoy en día es difícil encontrar empresas que gestionen las **operaciones de logística** sin la ayuda del ordenador
- El problema típico es **diseñar las rutas más adecuadas de transporte/recogida de productos** entre un almacén central y unos destinos dispersos geográficamente



- Su resolución de forma adecuada puede suponer **ahorros muy significativos para la empresa**

Planificación de Rutas para Transporte de Mercancías



- Esta tarea se lleva a cabo empleando una **flota de vehículos** pertenecientes o no a la empresa



- Un **sistema de planificación de vehículos** debe proporcionar un conjunto de **rutas de reparto** a los conductores
- Las mercancías deben ser entregadas cuándo y donde se requieran, con el mínimo coste posible y verificando todas las restricciones legales y políticas de la empresa
- Los **algoritmos de hormigas (AntRoute)** son una herramienta muy potente para la planificación de rutas



Planificación de Rutas para Transporte de Mercancías



- **AntRoute** planifica diariamente las rutas de reparto desde el almacén central de **Migros**, una gran cadena suiza con 600 supermercados, localizado en **Suhr (AG)**, a **toda Suiza**
- Migros dispone de una **flota de entre 150 y 200 vehículos** con tres tamaños: camiones (capacidad de 17 palés), trailers (35 palés) y unidades tractoras (33 palés)
- Esto provoca restricciones de acceso a los almacenes de los supermercados, restricciones de uso de ciertas carreteras, ...
- Los repartos tienen de realizarse a horas específicas, todos ellos en un solo día (**productos perecederos**) y el último tiene que hacerse lo más lejos posible del almacén (**servicios extra**)



Planificación de Rutas para Transporte de Mercancías



- Por ejemplo, en un reparto de 52000 palés a 6800 clientes en un periodo de 20 días, AntRoute obtuvo el diseño diario de rutas en menos de 5 minutos en un PC estándar
- Los expertos de la empresa necesitaron tres horas...
- Las soluciones de AntRoute fueron de mucha mejor calidad en cuanto al número de rutas necesario, la distancia total recorrida y al aprovechamiento de los vehículos:

	Human Planner	AR-RegTW	AR-Free
Total number of tours	2056	1807	1614
Total km	147271	143983	126258
Average truck loading	76.91%	87.35%	97.81%

Enrutamiento de Paquetes en Redes de Telecomunicaciones



- El **enrutamiento** es la tarea consistente en determinar el camino que seguirán los paquetes en una red de telecomunicaciones cuando llegan a un nodo para alcanzar su nodo destino de la forma más rápida posible
- **AntNet** es un algoritmo de hormigas adaptativo y distribuido para enrutamiento de paquetes en redes

Enrutamiento de Paquetes en Redes de Telecomunicaciones

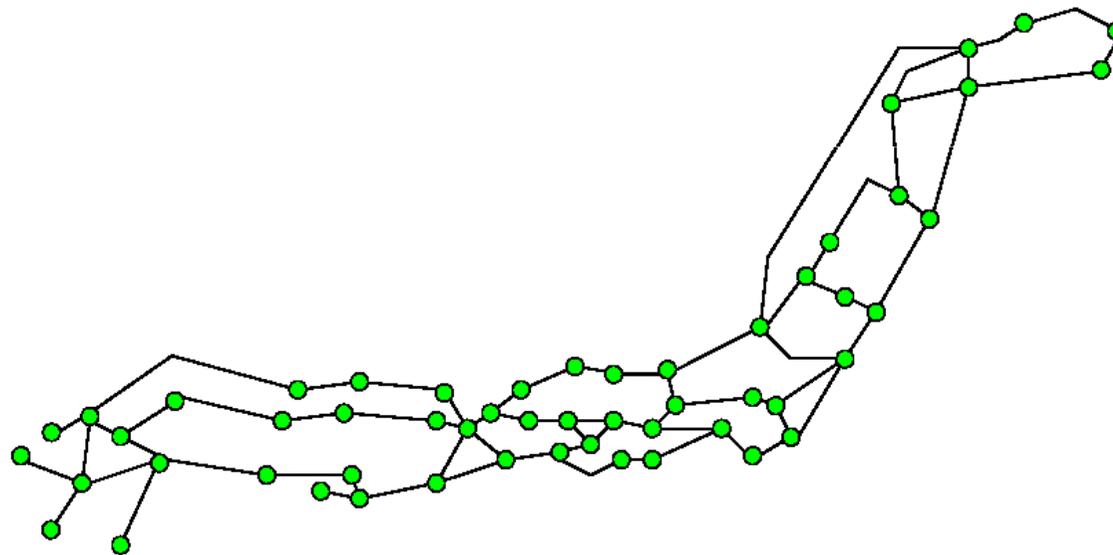


- Las redes se modelan mediante un grafo dirigido con N nodos de procesamiento/destino
- Los arcos del grafo están caracterizados por el ancho de banda (bits/segundo) y el retardo de transmisión (segundos) del enlace físico
- Se consideran dos tipos de paquetes: enrutamiento y datos. Los de enrutamiento tienen una mayor prioridad

Enrutamiento de Paquetes en Redes de Telecomunicaciones



- Una de las redes consideradas, la NNTnet de Japón:



Enrutamiento de Paquetes en Redes de Telecomunicaciones



- Las hormigas (paquetes de enrutamiento) se lanzan asíncronamente a la red hacia nodos destino aleatorios
- Cada hormiga busca un camino de coste mínimo entre su nodo de partida y su nodo destino
- Se mueve paso a paso por la red (grafo). En cada nodo intermedio, lanza la regla de transición para decidir a qué nodo se dirige
- Para ello, considera la feromona (almacenado en los nodos y función del tiempo consumido en el envío de los paquetes) y la preferencia heurística (dependiente del estado actual) de los enlaces de la red

Enrutamiento de Paquetes en Redes de Telecomunicaciones



- El estado de la red varía con el tiempo (caída de enlaces, congestión, ...). El algoritmo lo maneja adecuadamente gracias a su naturaleza distribuida y su capacidad de adaptación
- Cuando la hormiga llega al nodo destino, vuelve sobre sus pasos y actualiza las tablas de enrutamiento de los nodos de acuerdo al tiempo que tardó en hacer el camino (**refuerzo positivo o negativo**)
- En un estudio experimental, AntNet proporcionó el mejor comportamiento al ser comparado con seis algoritmos de enrutamiento diferentes

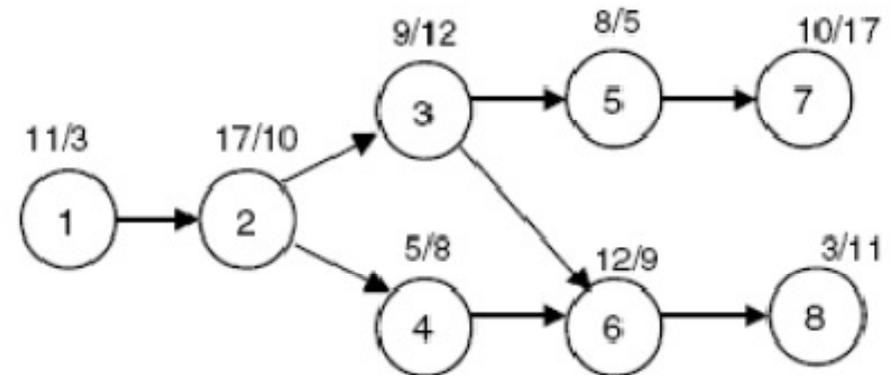


- La mayoría de los sistemas productivos actuales se basan en **líneas de montaje**
- La producción de un ítem se divide en un **conjunto de tareas** que tienen que llevarse a cabo según un **orden concreto** y respetando una serie de **precedencias**
- Cada tarea necesita un tiempo dado (más un área de trabajo) y tiene asociada un conjunto de **predecesores directos**
- El diseño (**equilibrado**) de la línea requiere **agrupar de forma eficiente las tareas necesarias en estaciones de trabajo** para maximizar la producción y reducir tiempos muertos





- El parámetro clave es el tiempo de ciclo que indica el máximo tiempo permitido para que una estación procese sus tareas. **A menor tiempo de ciclo, mayor capacidad productiva de la línea**
- Los objetivos del equilibrado son:
 - agrupar las tareas en el menor número posible de estaciones de trabajo satisfaciendo un tiempo de ciclo, o
 - obtener la agrupación que minimiza el tiempo de ciclo





Equilibrado de Líneas de Montaje en Automoción

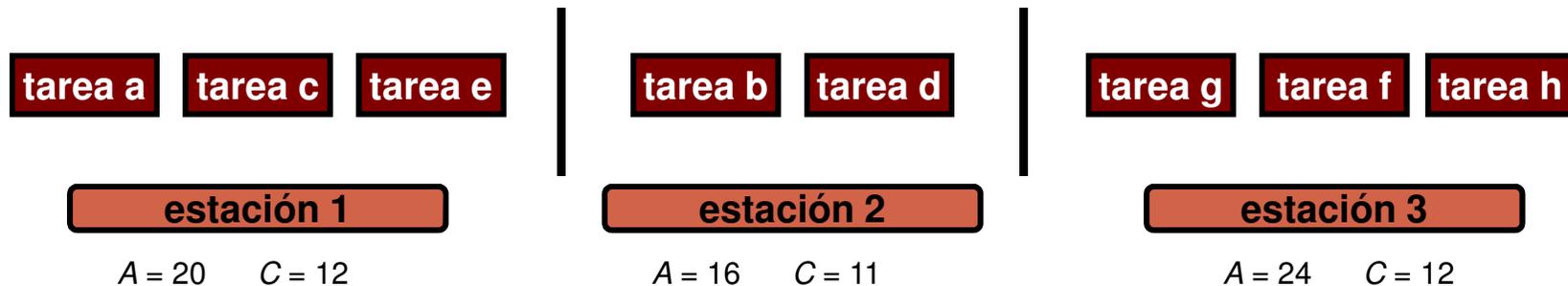


- Los algoritmos de hormigas se han aplicado con gran éxito al equilibrado de líneas de montaje, resolviendo problemas cada vez más complejos y realistas
- Nosotros trabajamos en colaboración con la **Cátedra Nissan de la UPC** para resolver el problema multiobjetivo de minimizar el número de estaciones y su área para un tiempo de ciclo dado
- Trabajamos con la línea de montaje del **motor del Nissan Pathfinder**





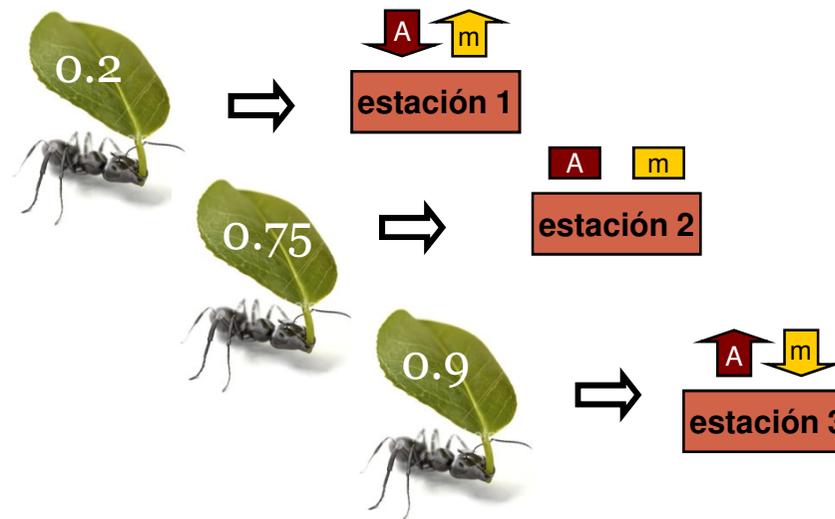
- Una solución a este problema (**TSALBP**) es una asociación de tareas a las distintas estaciones que cumpla las restricciones



- Hemos diseñado un **algoritmo de hormigas multiobjetivo** que proporciona varias soluciones con un equilibrio distinto entre el área y el número de estaciones al ingeniero de la planta
- El rastro de feromona se asocia al par (tarea, estación). Cuanto mejor sea asociar una tarea a una estación, más hormigas lo harán



- Introducimos una filosofía multicolonial para obtener un mayor abanico de soluciones posibles: cada hormiga utiliza distintos umbrales de llenado de estación

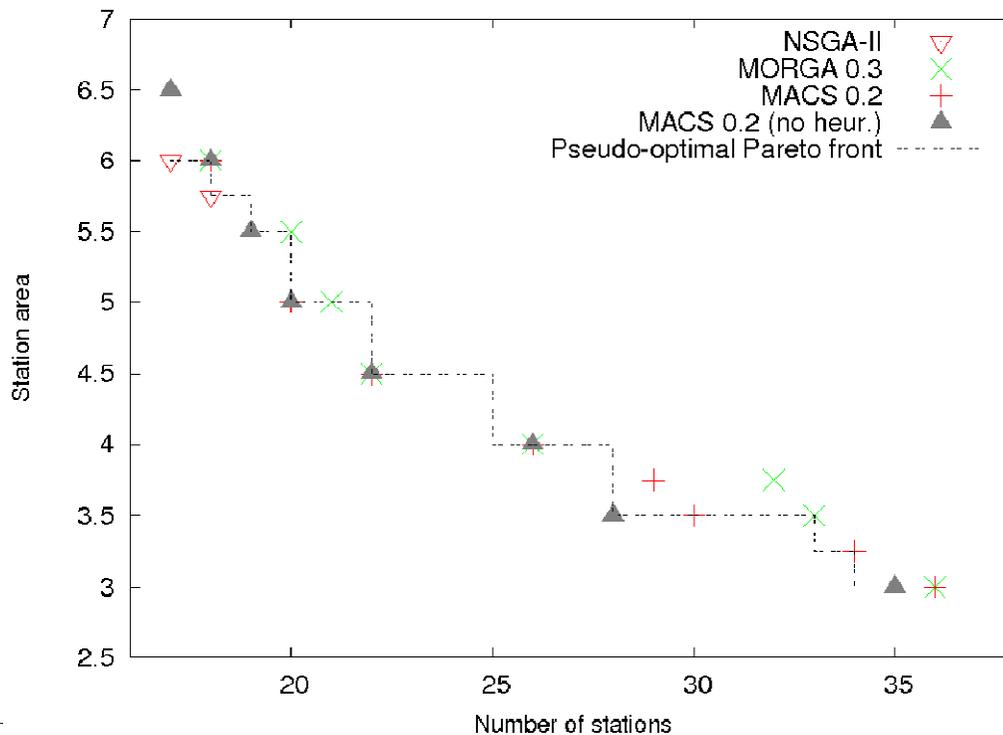


- Nuestra propuesta obtiene muy buenos resultados. El algoritmo de hormigas mejora a otras técnicas de búsqueda



Motor del Pathfinder:

- 747 piezas y 330 referencias en 6 versiones del motor diesel
- 378 operaciones de montaje (incluida la prueba rápida)
- 79 operarios para un turno de 301 motores





6. Conclusiones

- Es posible aprender de la Naturaleza y sacar provecho de los problemas resueltos en el entorno natural
- Las interacciones locales de muchos individuos simples pueden provocar la emergencia de un comportamiento global
- Las técnicas basadas en la imitación del comportamiento colectivo inteligente de un sistema natural (Inteligencia de Enjambres) son interesantes al ser simples, baratas y robustas
- Presentan una gran cantidad de aplicaciones reales
- La Inteligencia de Enjambres es un campo de investigación muy activo en Inteligencia Artificial



6. Conclusiones



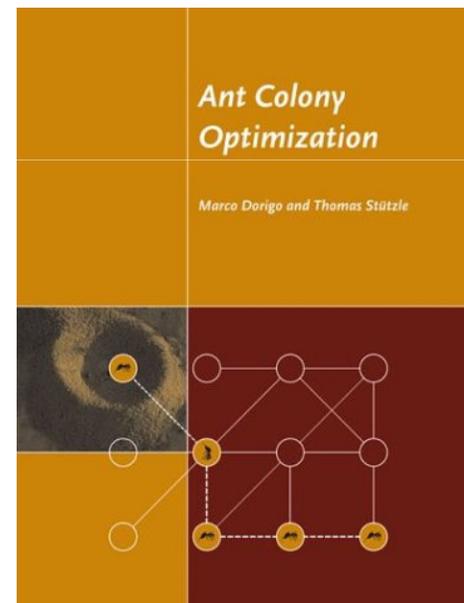
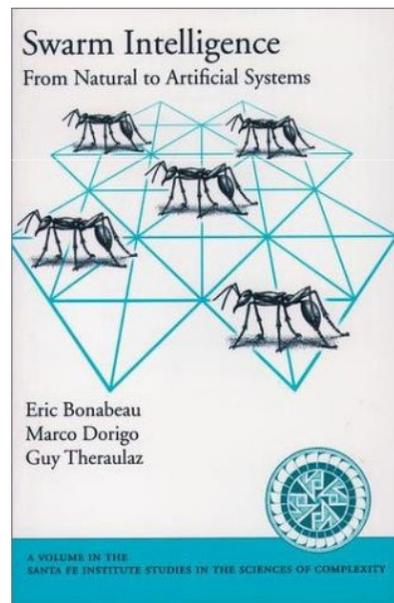
Partes de esta charla están tomadas de presentaciones realizadas por otros investigadores:

- Estel Pérez, **Collective Intelligence: from ants to neurons**, IFAE THURSDAY MEETINGS (<http://meetings.ifaes.es/>), Febrero 2007
- Marco Dorigo, Thomas Stützle, **Swarm Intelligence: A Brief Introduction**, MIBISOC European project on-line course, Julio 2010
- Yun-Chia Liang, **Particle Swarm Optimization**, Heuristic Optimization course, Yuan Ze University
- Maurice Clerc, **Particle Swarm Optimization**

6. Conclusiones

BIBLIOGRAFÍA:

- E. BONABEAU, M. DORIGO, G. THERAULAZ, *Swarm Intelligence. From Natural to Artificial Systems*, Oxford University Press, 1999



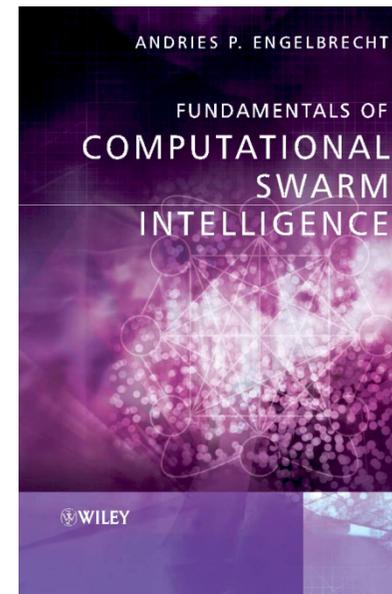
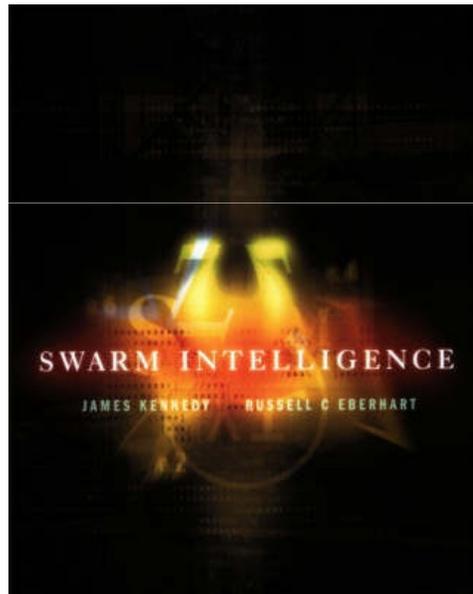
- M. DORIGO, T. STÜTZLE, *Ant Colony Optimization*, The MIT Press, 2004

6. Conclusiones



BIBLIOGRAFÍA:

- J. KENNEDY, R.C. EBERHART, Swarm Intelligence, Elsevier, 2001



- A.P. ENGELBRETCH, Fundamentals of Computational Swarm Intelligence, Wiley, 2006



Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



- 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





Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



- 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





Inspiración Biológica: Búsqueda del Camino más Corto a la Comida



- 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

