



Computación Emergente: Modelos de Insectos

Jose Aguilar

Emergencia en el Reino Animal

Colonias de Hormigas

Búsqueda de Alimento

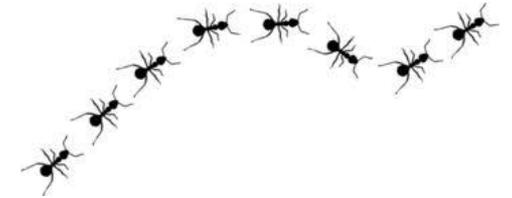
División del trabajo

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

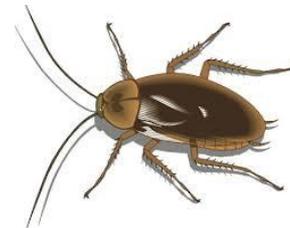
Búsqueda del Néctar

Comportamiento Defensivo

Construcción de Panales



Cucarachas



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**.



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.

cada hormiga que sobreestima el numero de hormigas haciendo algo, otra la subestima neutralizándose.

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*

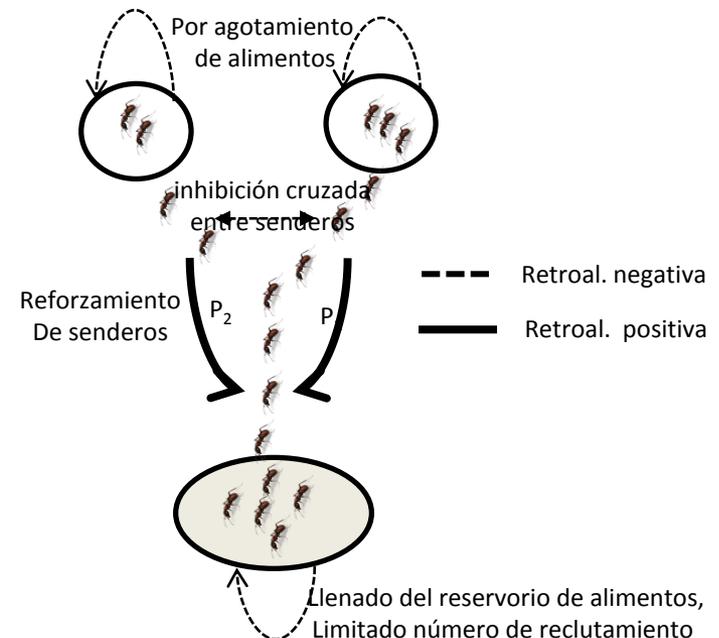
No somos tan diferentes que de los sistemas de insectos: la relación entre las células del cuerpo es realmente muy parecida a las de abejas en el panal

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

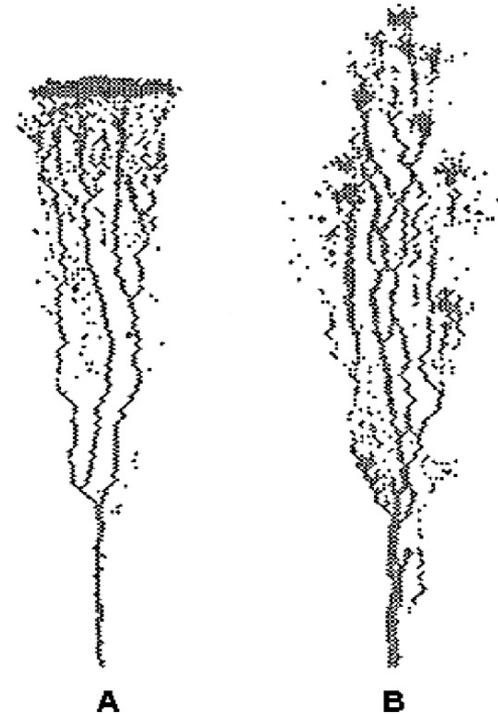
Ejemplo del **efecto de las retroalimentaciones positivas y negativas** en las colonias de hormigas buscando alimentos



Emergencia en el Reino Animal

Algunos aspectos interesantes del modelo no lineal presente en las hormigas

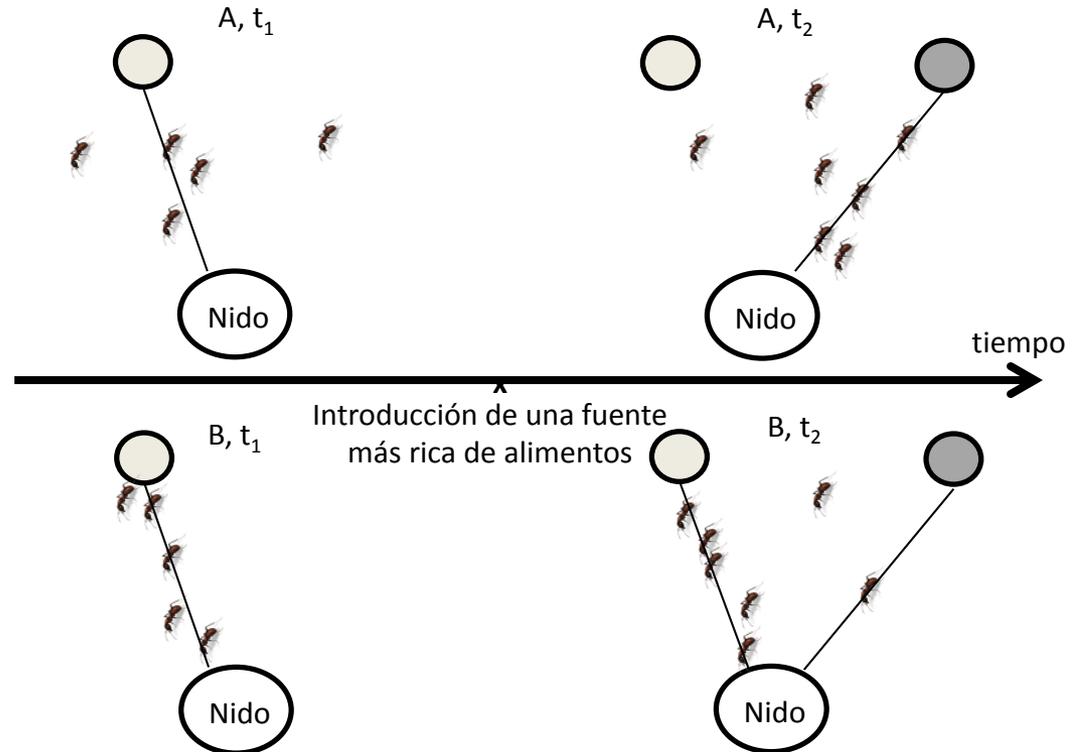
- Las fluctuaciones en las formaciones de patrones
- El tamaño de la población
- La sensibilidad al ambiente



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



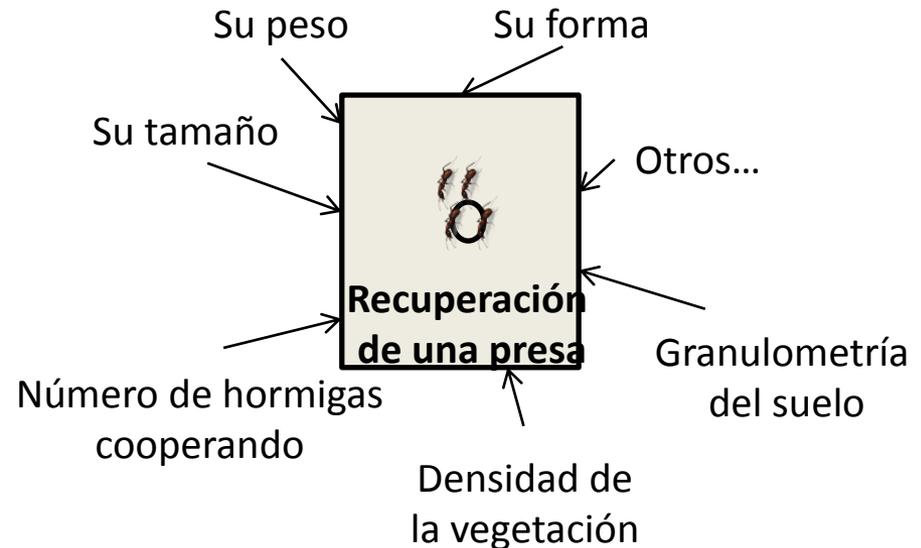
- ***El papel del ruido***

- 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

**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

Algoritmo de optimización basado en enjambre

- Se inspiran en los **métodos de la naturaleza** para una búsqueda de una solución óptima
- La diferencia clave de ellos y algoritmos de búsqueda directa como **Hill Climbing** es que usan una **población de soluciones**
- Si un problema de optimización tiene un **único óptimo**,
Se espera que la población se una a esa solución óptima
- Si un problema de optimización tiene **múltiples soluciones óptimas**,
Se aspira capturarlos en sus poblaciones finales

Algoritmo de optimización basado en enjambre



The Ant Colony Optimisation (*ACO*) algorithm



The Genetic Algorithm (*GA*)



The Particle Swarm Optimisation (*PSO*) algorithm

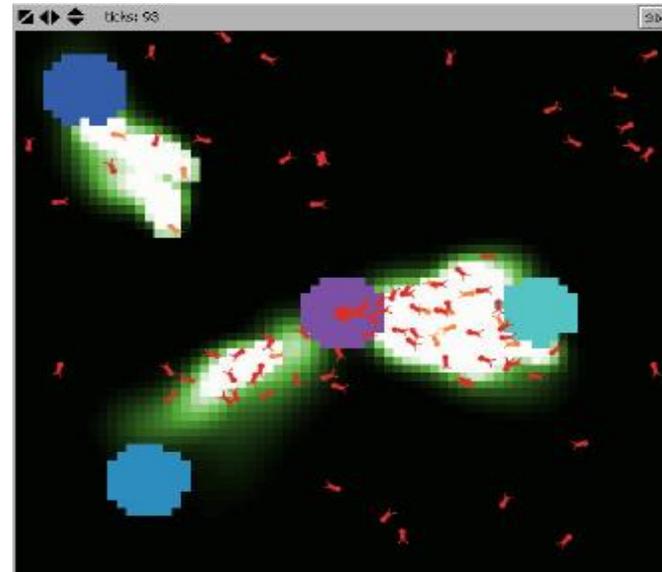
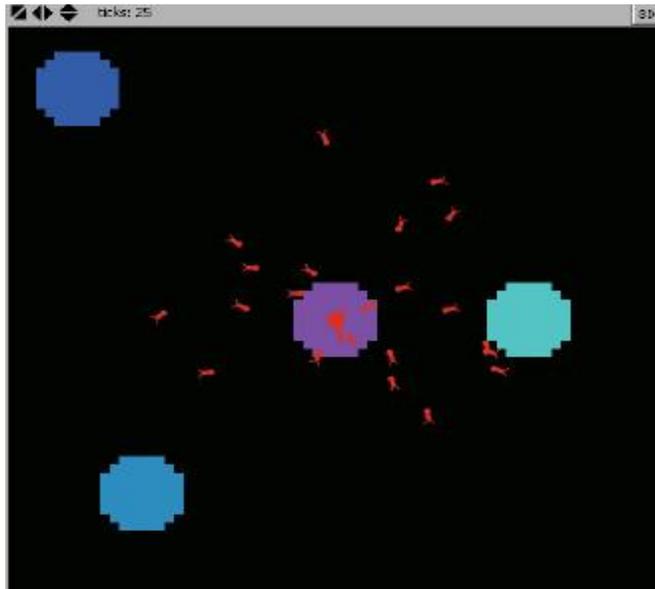


Others.....(Bees Algorithm (*BA*))

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)



Comportamiento de las Hormigas



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

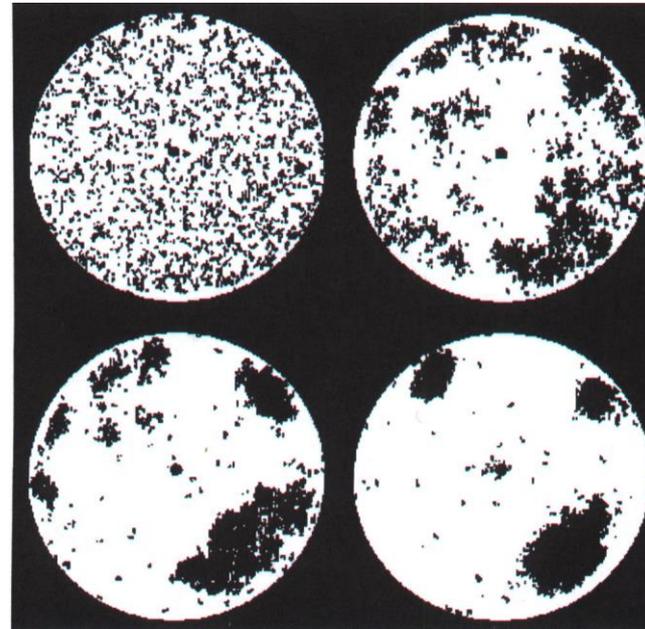
- **Agrupar cadáveres**
 - cadáveres distribuidos aleatoriamente
 - Retro-alimentación positiva
 - => feromona de agregación
- **Ordenar larvas**
 - Trabajadores depositan larvas según tamaños:
 - Larvas grandes en la periferia y pequeñas en el centro
 - Diferente cantidad de espacio es asignado a cada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

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

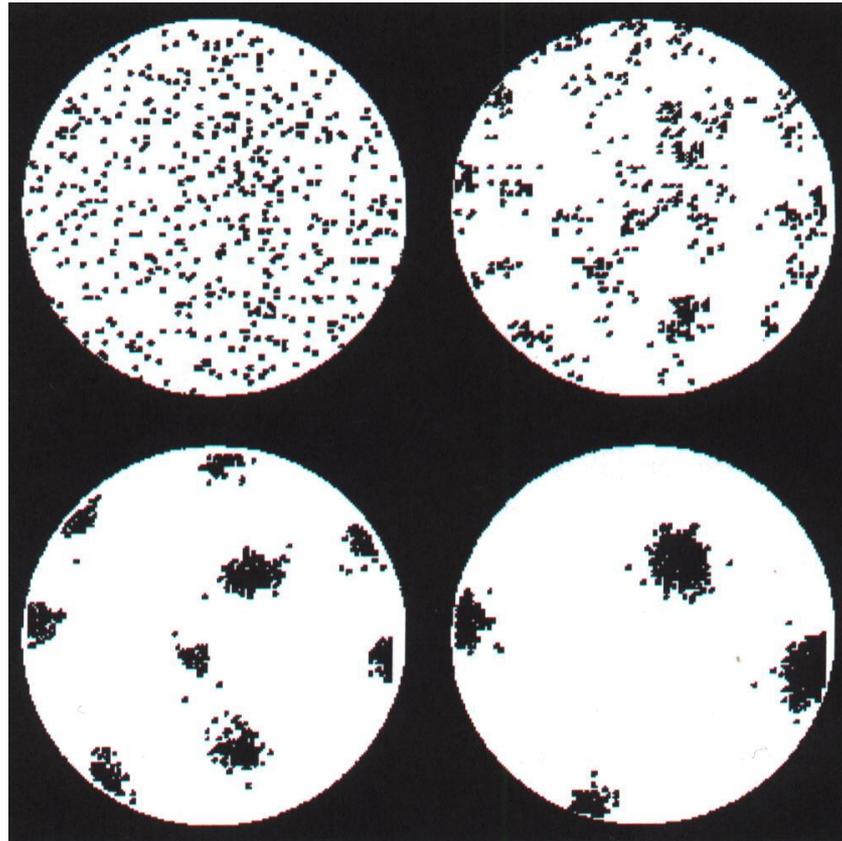
- Probabilidad para un agente con carga deposite un objeto

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

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

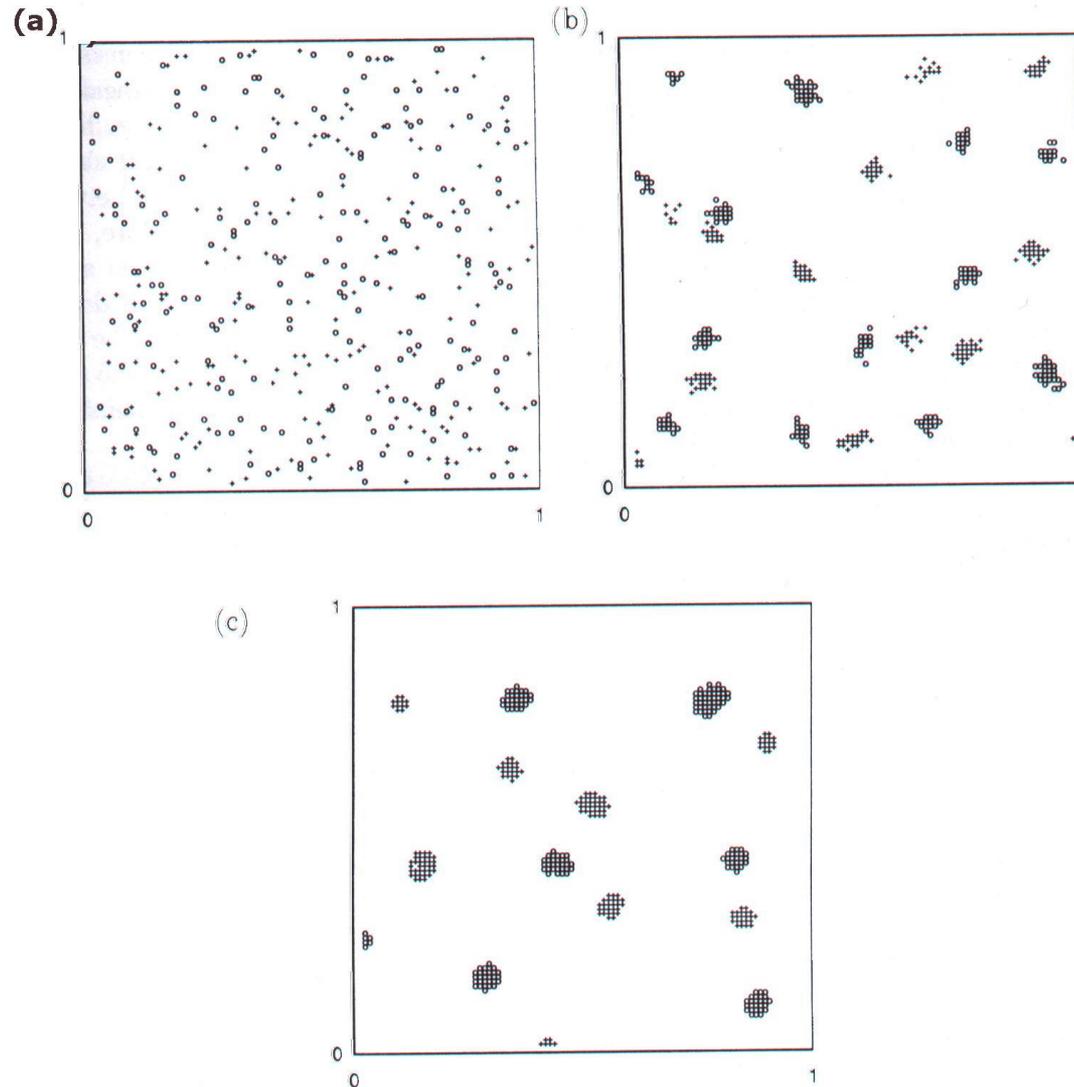
$$P_R(A) = \left(\frac{K_1}{K_1 + f_A} \right)^2$$

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

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

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

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

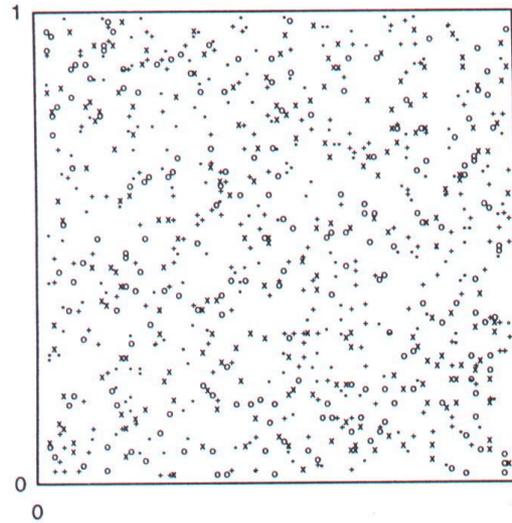
(distancia inter-grupo >> distancia intra-grupo)

α : factor de disimilaridad r : sitio donde esta agente

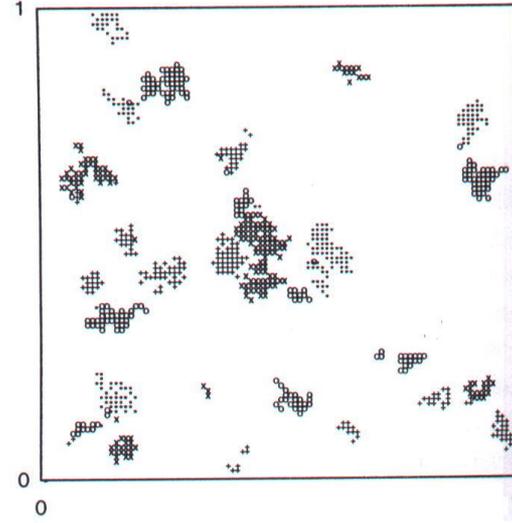
s^2 : sitios alrededor de r ocupados por objetos parecidos a o_i

Aplicación: Análisis de Datos

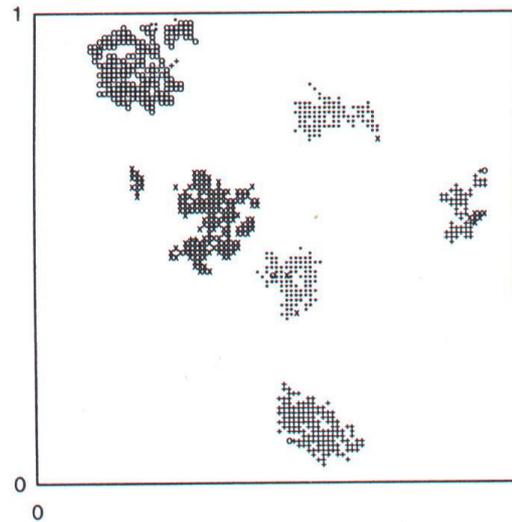
(a)



(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 \mathbb{R}^n

- Distancia:

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

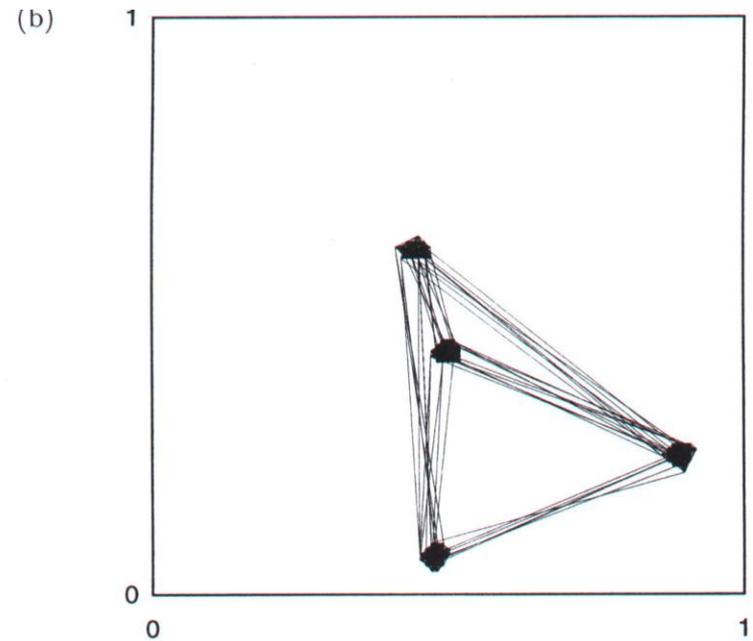
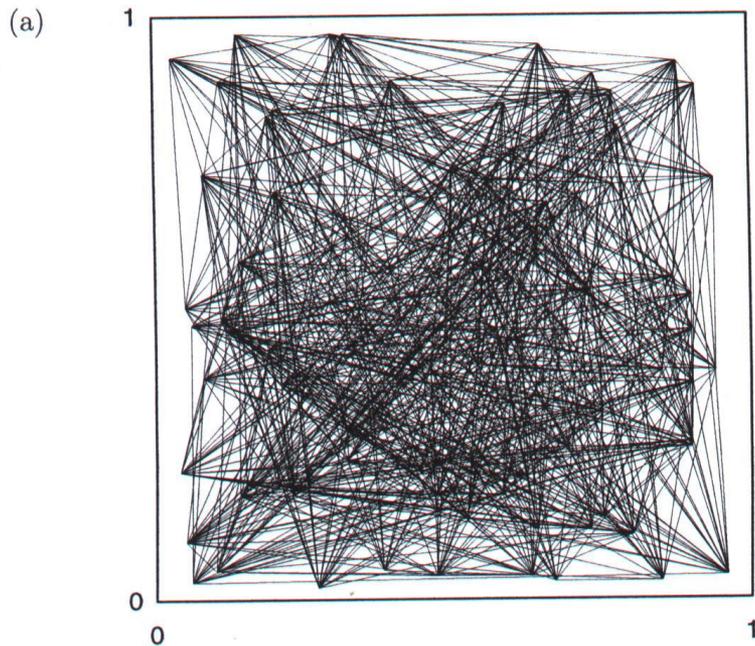
- Densidad Local

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

- 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



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
- Numero 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 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. Algo similar se observa en muchas familias de hormigas, en el caso de las colonias de abejas, la mayor 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:

- *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

Construcción de Nidos y Auto-Ensamblaje

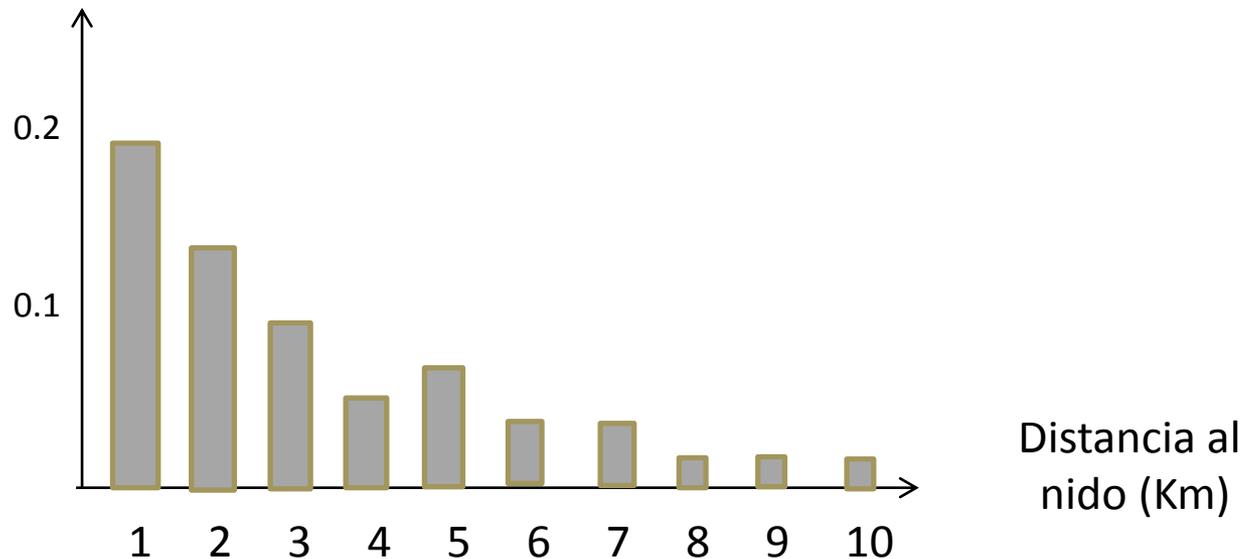
algunas de las características que la asemejan a una entidad supraorganizacional:

- *Analogía en el papel de las estructuras jerárquicas de control en la coordinación.* el control neuronal es un mecanismo de decisión jerárquica. En comparación con ese control central de muchos organismos superiores, esto es poco desarrollado en las sociedades de abejas. Un ejemplo de tales señales jerárquicas en las abejas es la reina.
- *Analogía en la diferenciación y especialización en la división del trabajo.*

Escogencia del sitio para construir el Nido

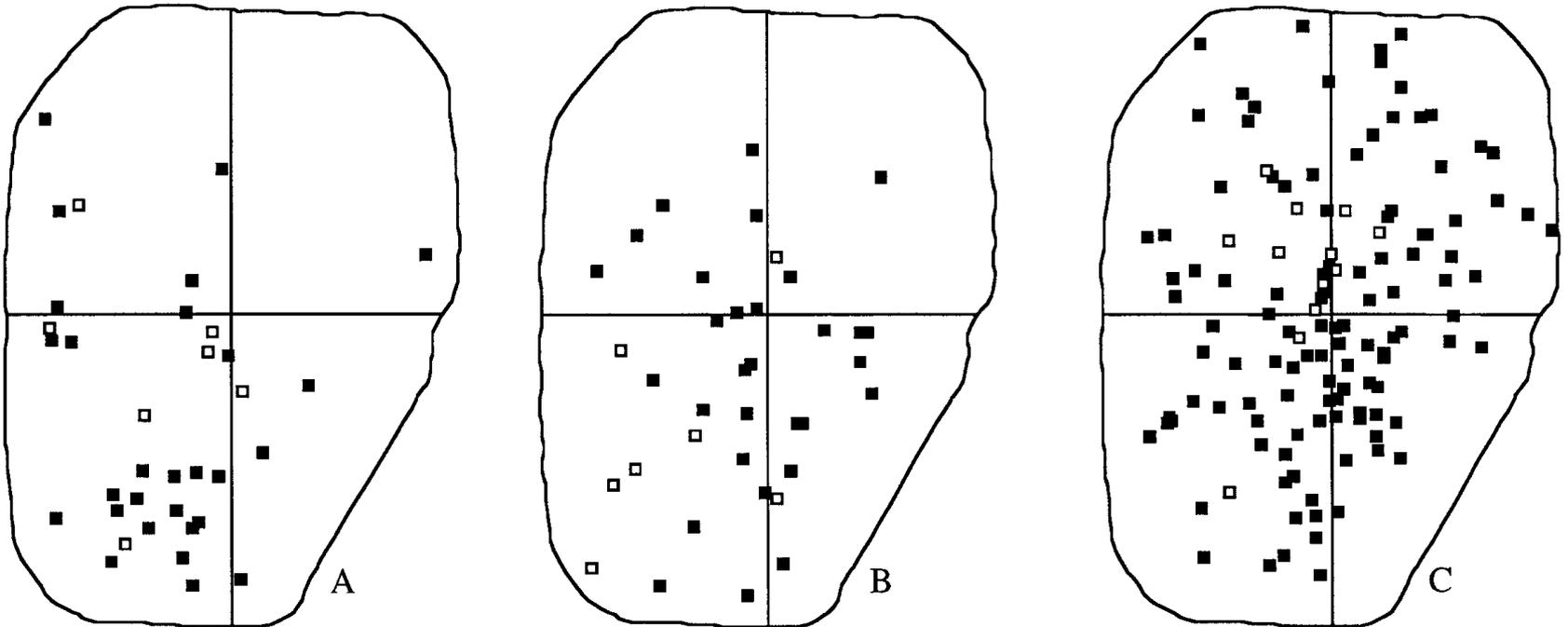
el fenómeno de la danza en un enjambre de abejas, para conseguir un nuevo nido en un bosque.

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. **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.

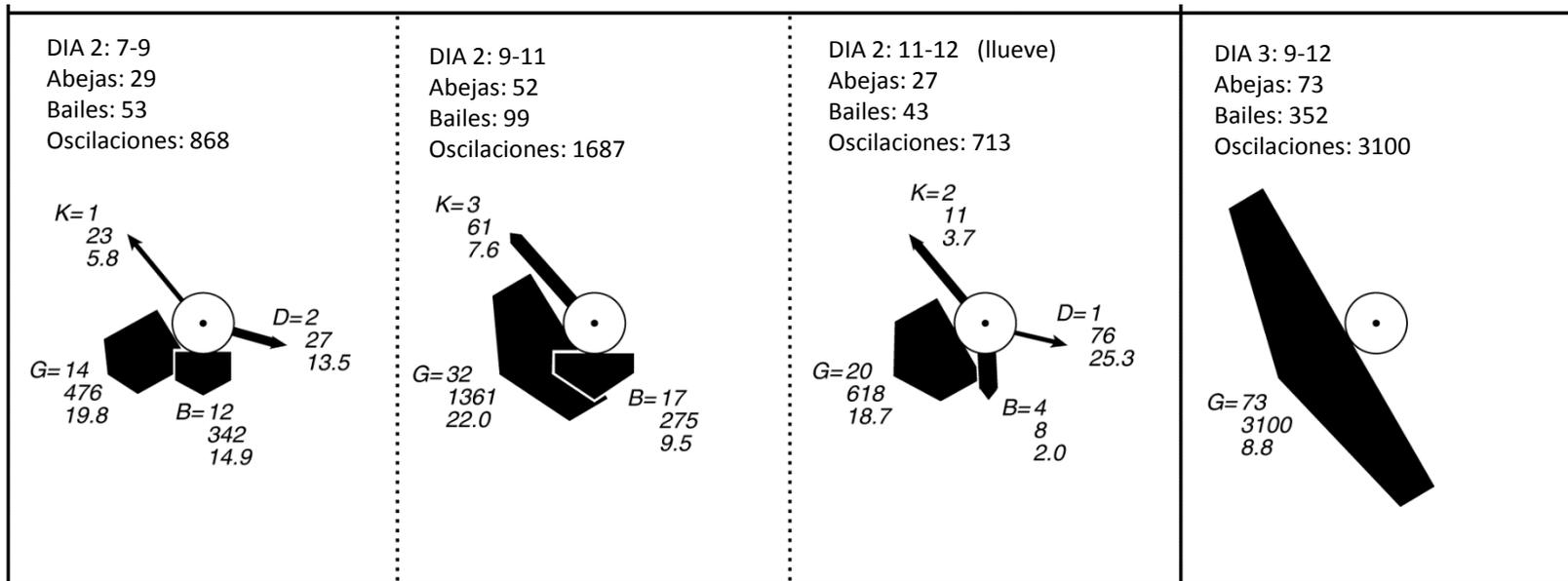
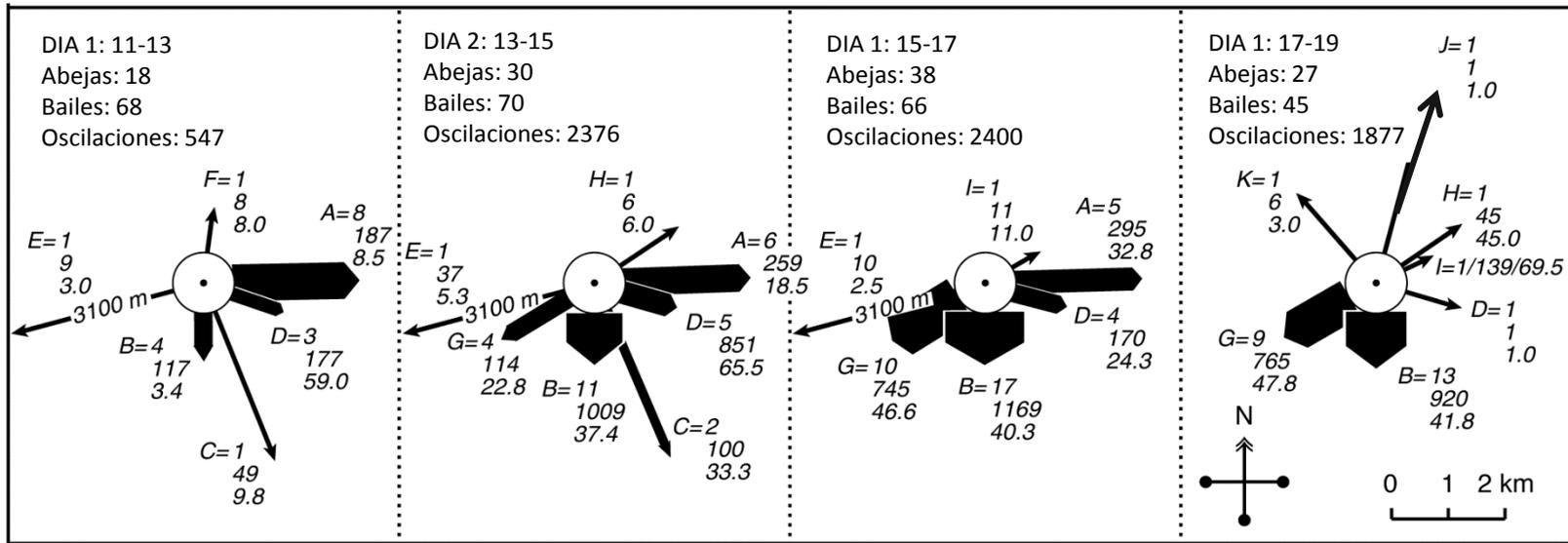
Este proceso de toma de decisiones, puede ser conceptualizado por la *teoría de la competencia ecológica*

$$dN_1/dt = r_1N_1U - a_1N_1$$

$$dN_2/dt = r_2N_2U - a_2N_2$$

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

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),

Descrito por:

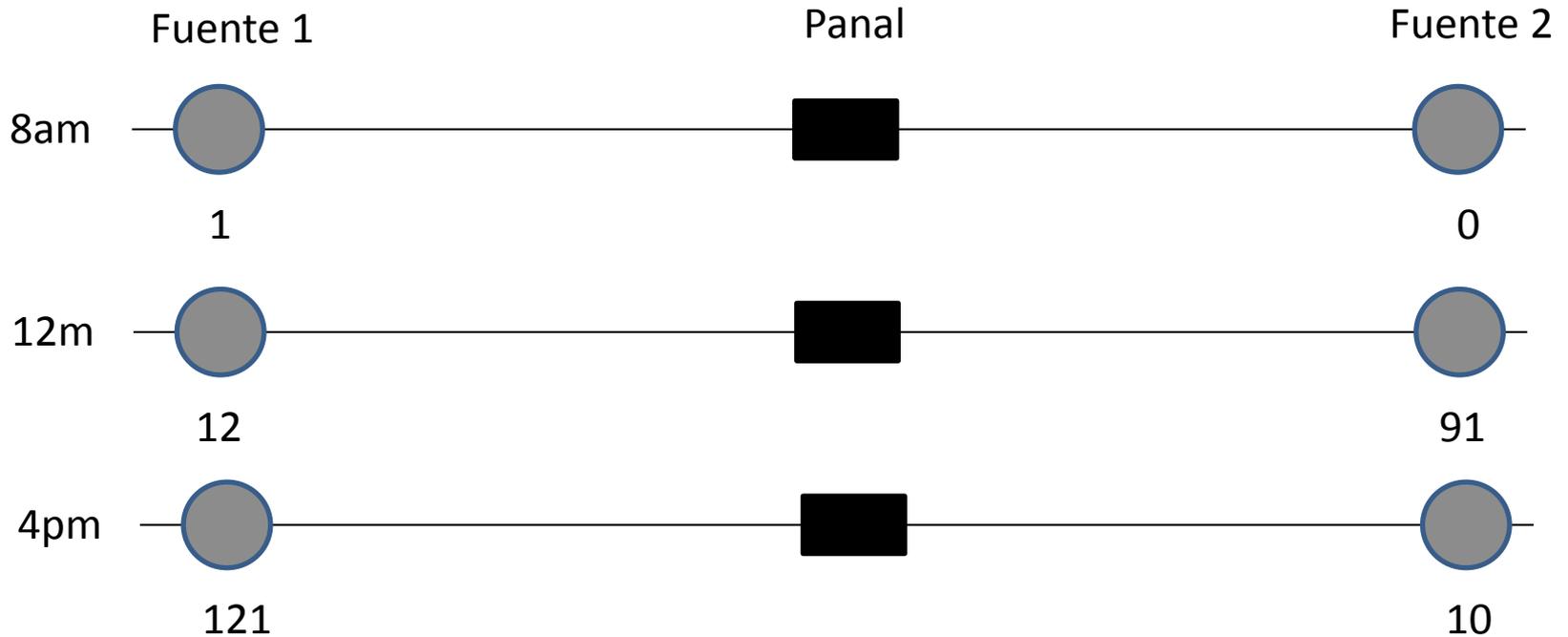
$$\frac{dX_1}{dt} = a_1 X_1 f_1 (N - X - E) - b X_1 + c E$$

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

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

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

Búsqueda de Néctar

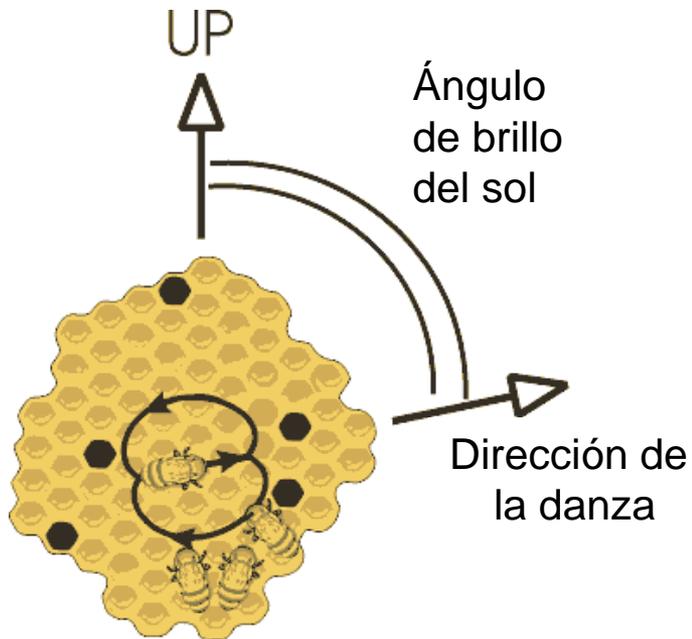


Patrón de explotación selectiva de fuentes de néctar.

- El número debajo de cada fuente, denota el número de abejas que han visitado a cada fuente de alimentos, 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

Las abejas se comunican a través de la danza que contiene la siguiente información:



La dirección de las flores
(ángulo entre el sol y el
néctar)

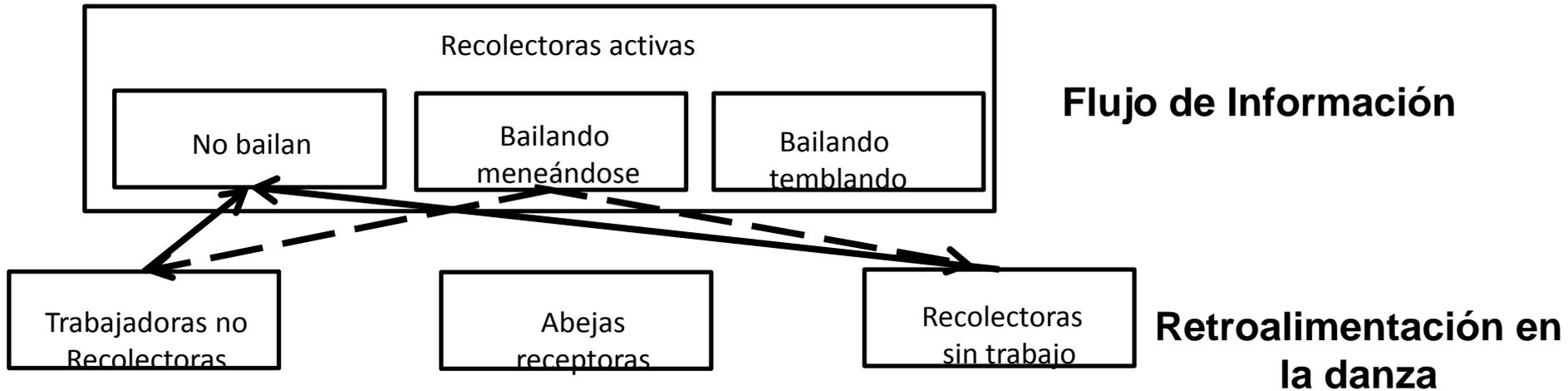


La distancia de la colmena
(duración de la danza)



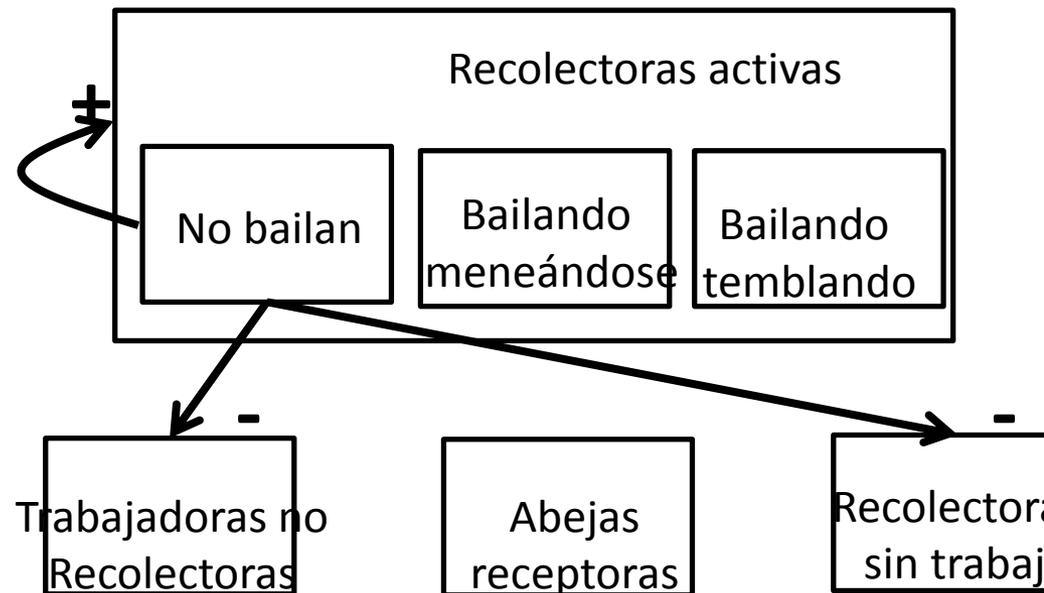
La calidad (frecuencia de la
danza)

Búsqueda de Néctar

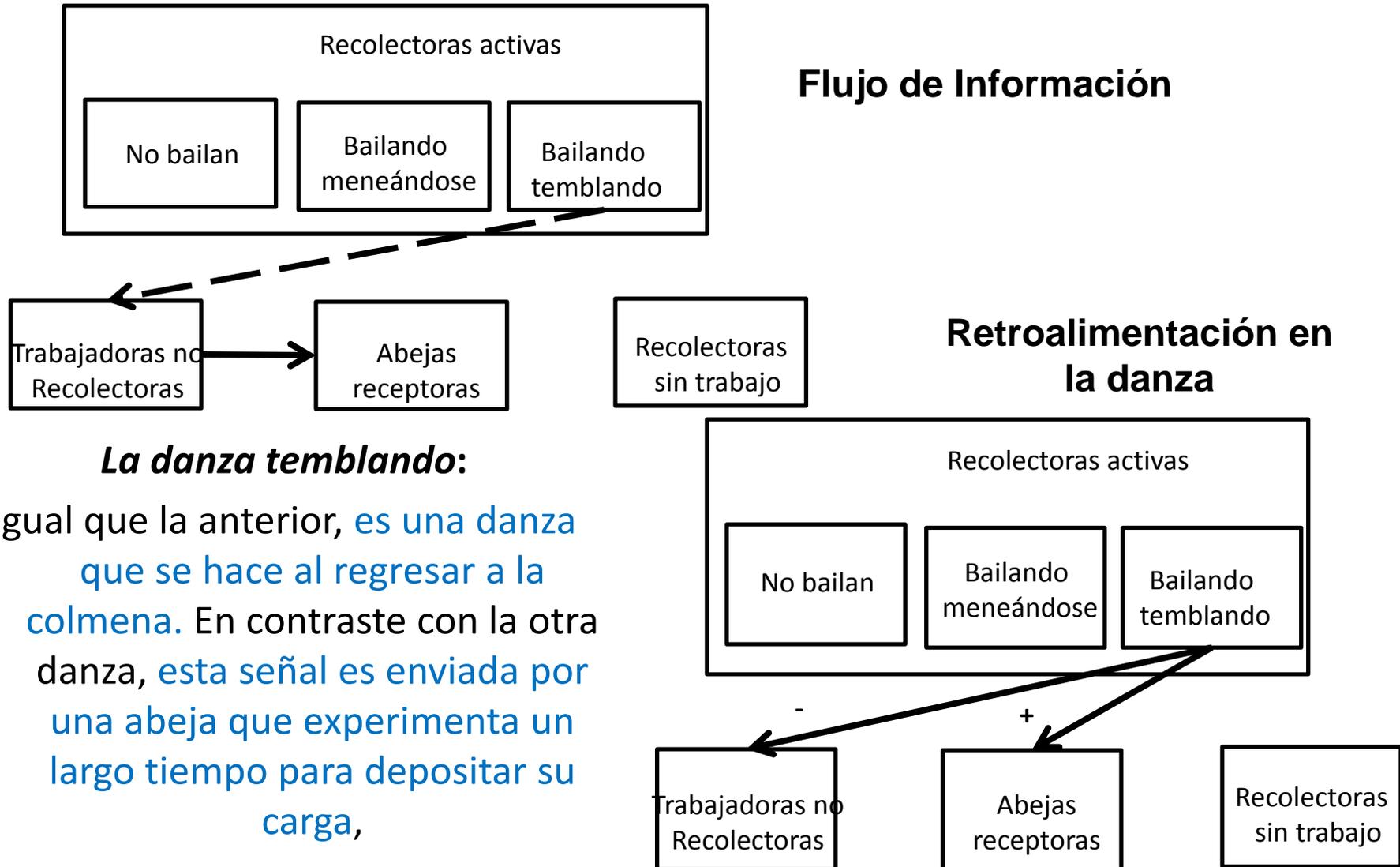


La danza de coleteo (meneo):

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.

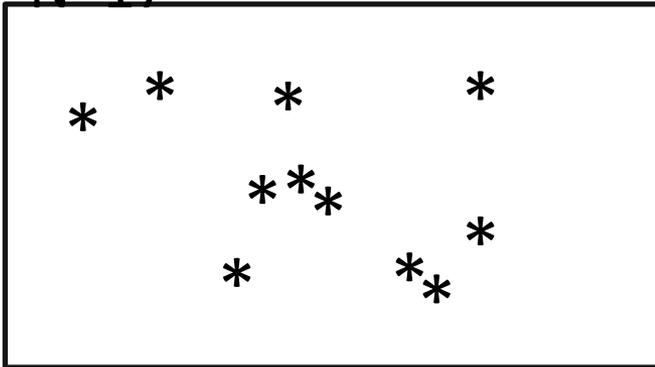
$$P_i = \frac{\gamma_i (a + bN_i^2)}{a' + N_i^2} \quad \forall i = 1, 2$$

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

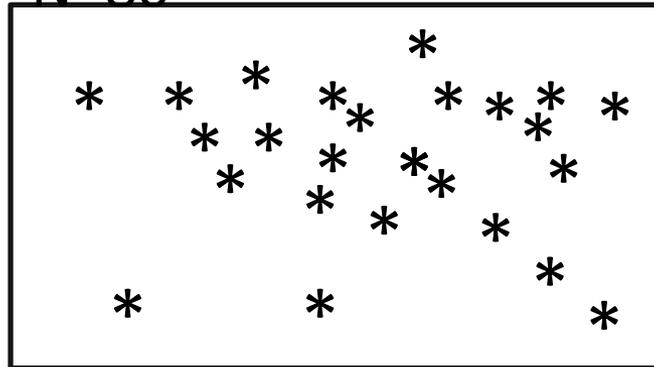
Comportamiento Defensivo

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

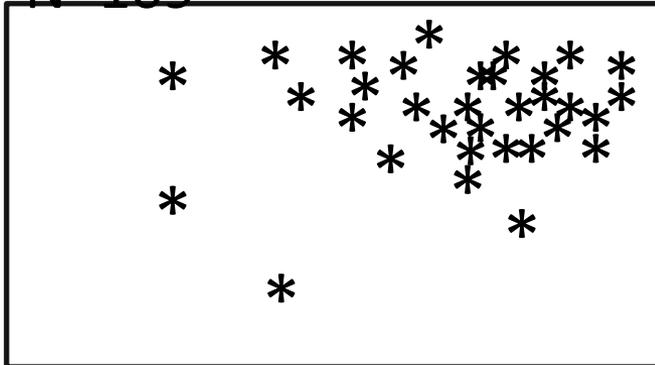
N=17



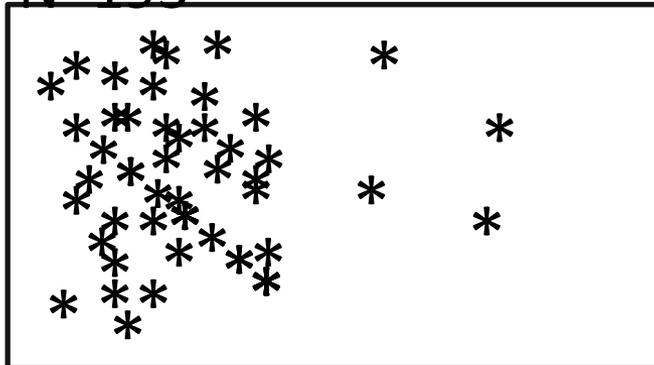
N=80



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 Exploradoras

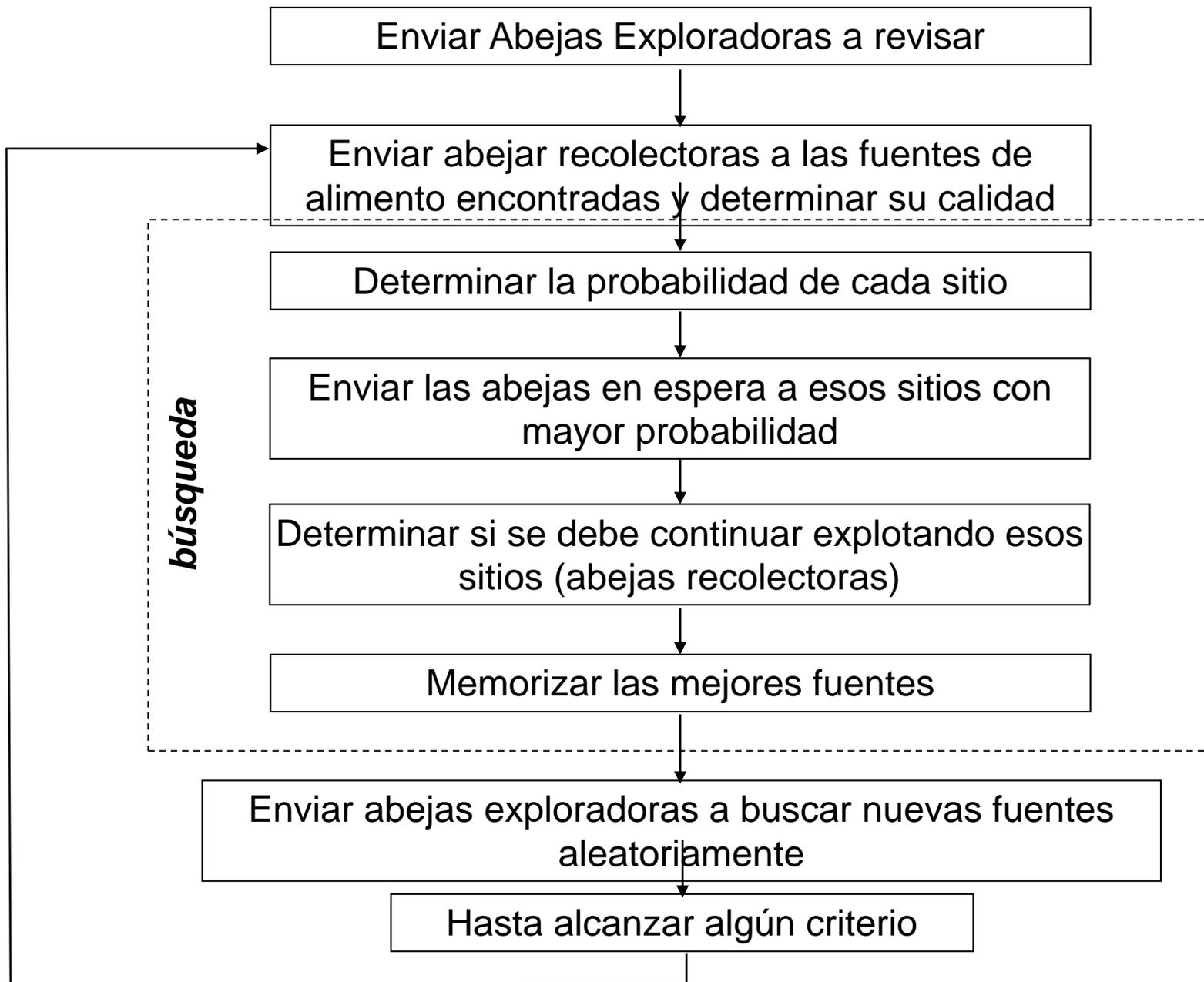
Fase de Abejas en Espera

*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 exploradoras*, esas abejas buscan nuevas fuentes de alimentos dentro de su vecindad. Al encontrar una vecina fuente de alimento **la evalúan, y realizan una selección** entre esa fuente y la anterior. Después de eso, las **abejas exploradoras 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 exploradoras.
- *En la fase de abejas recolectoras*, las abejas recolectoras **explotan una solución**. Las abejas recolectoras cuyas soluciones no pueden ser mejoradas después de un número determinado de veces, denominado "límite", se convierten en exploradores, y sus **soluciones son abandonadas**.



Algoritmo ABC

El algoritmo requiere que estos parámetros se establezcan:

- Número de sitios a recolectar,
- Número de abejas: incluyendo recolectoras, observadoras y exploradoras,
- Número de iteración,
- Proporción de abejas observadoras

Propiedades básicas de la auto-organización

- **Retroalimentación positiva:** A medida que la cantidad de néctar de fuentes de alimentos aumenta, el número de espectadores que visitan aumenta también.
- **Retroalimentación negativa:** El proceso de explotación de las fuentes de alimentos pobres es detenido por las abejas.
- **Fluctuaciones:** Los exploradores llevan a cabo un proceso de búsqueda aleatoria para descubrir nuevas fuentes de alimento.
- **Interacciones múltiples:** Las abejas comparten su información sobre las fuentes de alimento con sus compañeros de nido en el área de baile.

Las *espectadoras* y *recolectoras* realizan el **proceso de explotación** en el espacio de búsqueda. Las *exploradoras*, controlan el **proceso de exploración**

Modelo de las Cucarachas

- La **distribución espacial de los individuos** es un tema importante en muchos campos ya que determina el **nivel de interacciones entre ellos**, y en general, la **organización de la población**.
- En muchas especies **los individuos forman grupos**, por lo que la densidad de población es mayor en algunas zonas.
- La **cohesión espacial y temporal** de tales grupos de individuos, como su
- Específicamente, **una agregación** se define como cualquier **conjunto de individuos ubicados en una región con una mayor densidad de individuos que en sus alrededores**
- Una **agregación se puede formar por la**
 - atracción de los individuos a estímulos del medio ambiente, o
 - por mutua atracción entre miembros del grupo.

Modelo de las Cucarachas

- El comportamiento colectivo de agrupación que se produce en un amplio rango de animales es llamado de diferentes maneras : **rebaños, cardúmenes y enjambres son ejemplos de agregaciones.**
- **Hay dos tipos de agregación:**
 - Un tipo es la **agregación como resultado de respuestas individuales a la heterogeneidad ambiental.**
 - El segundo tipo de agregación es **resultado de las interacciones sociales** que involucran la atracción entre los miembros del grupo.

Modelo de las Cucarachas

Proceso de elección colectiva de las cucarachas del refugio de sus larvas

- Resultado de un **paseo aleatorio** y una **probabilidad P_i** de dejar el refugio i ($P_i=1/\text{tiempo_descanso}$).
- **Debido a la inter-atracción entre los individuos, esa probabilidad disminuye con el número de sus congéneres (X_i) en ese refugio:**

$$P_i = \frac{a}{1 + bX_i^2}$$

Modelo de las Cucarachas

- En situaciones naturales los refugios no son idénticos, y se caracterizan por diferentes parámetros.
- Cualquier parámetro del refugio que aumente el tiempo de reposo del individuo favorece la formación del grupo en ese refugio.
- Las interacciones entre los individuos aumenta la probabilidad de un individuo de permanecer en un sitio.
- La mayoría de los individuos se agregan en el sitio que posibilite el más largo tiempo de descanso.
- Las larvas prefieren el olor de su propia cepa que la de otras:

$$P_{1i} = \frac{a}{1 + b(X_{1i} + \beta X_{2i})^2}$$

$$P_{2i} = \frac{a}{1 + b(X_{2i} + \beta X_{1i})^2}$$

Donde P_1 (P_2) son las probabilidades de un individuo de la cepa 1 (2) deje el refugio i , X_{1i} y X_{2i} son, respectivamente, el número de individuos de la cepa 1 y 2 en ese refugio i , y β es la inter-atracción entre ambas cepas. Si $\beta=1$ no hay diferencia entre las cepas, y si $\beta=0$ no hay inter-atracción entre ellas.

Modelo de las Cucarachas

Comportamiento de Persecución en Enjambre

- Cada individuo $X(i)$ perseguirá a un individuo $P(i)$ dentro de su alcance visual o un individuo global P_g

$$X'(i) = \begin{cases} X(i) + step \cdot rand \cdot (P(i) - X(i)), & X(i) \neq P(i) \\ X(i) + step \cdot rand \cdot (P_g - X(i)), & X(i) = P(i) \end{cases}$$

Comportamiento de dispersión

- Cada cierto intervalo de tiempo, cada individuo puede dispersarse aleatoriamente

$$X'(i) = X(i) + rand(1, D), \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Comportamiento despiadado

- Actual mejor sustituye a un individuo seleccionado al azar
 $X(k) = P_g$

