

# **Sistemas Emergentes**



# Noción de “emergencia”

Término utilizado de forma diferente por diversos autores.

- Dicha idea la asociaremos a un comportamiento de un sistema, que "emerge" de las interacciones entre sus componentes, difíciles o imposibles de predecir.
- Es un concepto que típicamente se define como una característica de un sistema, la cual no se limita a la suma de las características de los componentes individuales de dicho sistema.



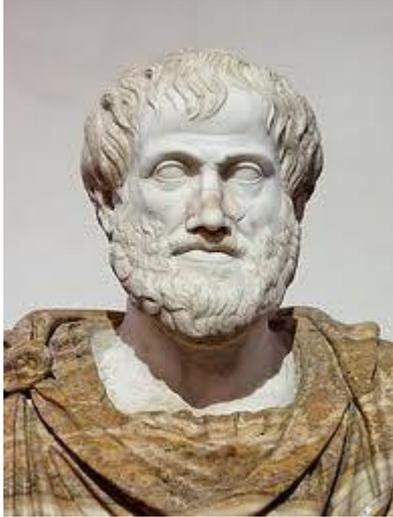
# Noción de “emergencia”

**Término utilizado de forma diferente por diversos autores.**

La emergencia de orden y de organización en los sistemas compuestos de muchas entidades autónomas, tiene que ver con la pregunta fundamental:

"¿Cómo un sistema llega a existir?"

# Antecedentes Noción de “emergencia”



El todo es más que la suma de sus partes

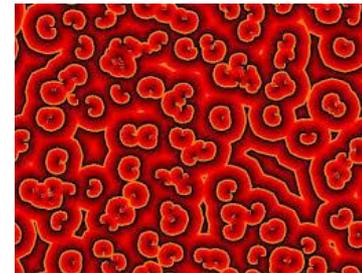
Aristóteles, *Metafísica*

## Holismo o enfoque holista

Opuestos:

- En el mundo científico: el reduccionismo.
- En las ciencias sociales: el individualismo

**Holismo a veces se usa como sinónimo del enfoque sistémico o de pensamiento complejo.**



Pueden servir para intentar justificar posiciones poco formales!!

**Cerebro y colonia de hormigas son la suma de miles de decisiones de sus componentes interactuando**

Hormigas



*Neuronas*

feromonas



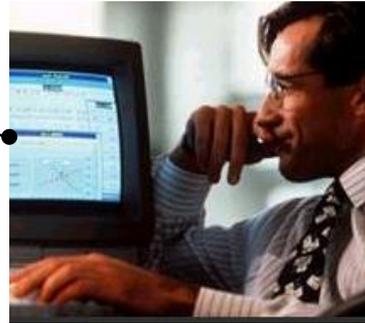
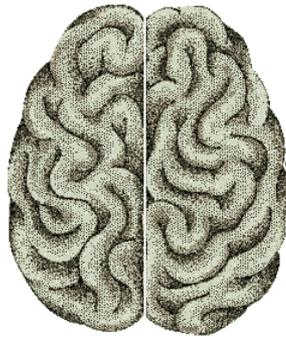
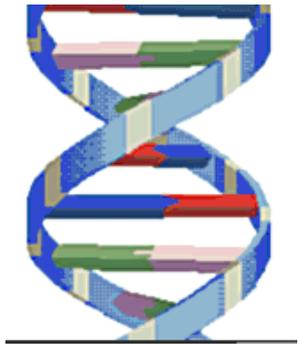
*Neurotransmisores*

Colonia de hormigas



*Cerebro humano*

**La emergencia** como una forma de **reflexión, modelado y análisis** de nuestro entorno, que transforma nuestra comprensión del desarrollo biológico y social, impactando áreas como la neurociencia, diseño de software, estudios urbanísticos, entre otros.



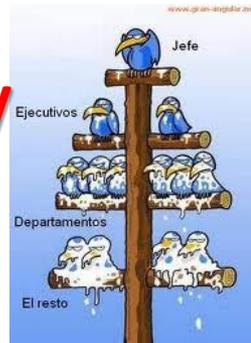
# Sistema Emergentes

- Estamos naturalmente predispuestos a pensar en términos de “marcapasos”, tanto si hablamos de hongos como de sistemas políticos o de nuestro propio cuerpo.
- La mayoría de nuestros actos parecen gobernados por las células “marcapasos” del cerebro, y durante milenios hemos construido células “marcapasos” para nuestras organizaciones sociales, tanto si toman la forma de reyes como de dictadores o alcaldes.

**Buena parte del mundo que nos rodea puede explicarse en términos de sistemas de mando y jerarquías**



J. Aguilar



Ese mito de la **hormiga reina** es la creencia mágica desde los tiempos antiguos de que el bienestar de la sociedad depende del bienestar del monarca



# Sistema Emergentes

- Segel y Keller probaron que las células del moho de fango se organizaban desde abajo: “en términos de un fenómeno colectivo”



simulación del moho de fango:  
<http://ilk.media.mit.edu/projects/emergence/contents.html>

La agregación del moho de fango es reconocida como un caso clásico para el estudio de la conducta ascendente

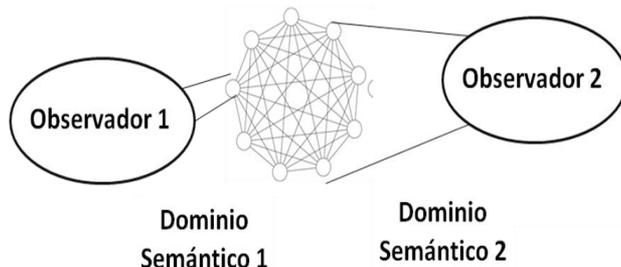
- Algunas de las grandes mentes de los últimos siglos que intentaron comprender las **leyes de la emergencia** : Adam Smith, Friedrich Engels, Charles Darwin, Alan Turing.

# Noción de “emergencia”

- Algo será considerado emergente si tenemos indicadores del fenómeno en un nivel macro (es observable).

**Clásico indicador de emergencia son *patrones* observables en un nivel superior, con características temporales y espaciales específicas**

- Un sistema emerge en un ambiente dado capaz de detectarlo, tal que esa detección le es útil.

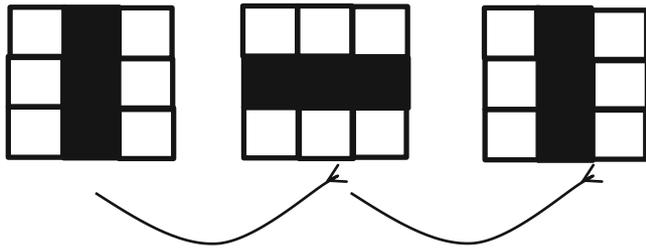


**Doble lectura del fenómeno de emergencia**

# Noción de “emergencia”

**Simulación de un Autómata Celular en el caso del Juego de la Vida, basado en 3 reglas simples que generan un efecto de oscilación**

1. Si el color actual de la casilla es negro, y 2 o 3 de sus 8 casillas vecinas son negros, su siguiente color es negro
2. Si el color actual de la casilla es blanco, y 3 de sus 8 casillas vecinas son negros, él cambia a negro
3. En el resto de casos cambia a blanco



**patrones complejos pueden provenir de la implementación de reglas muy sencillas**

# Noción de “emergencia”

- Son muchos los sistemas naturales que muestran las características antes nombradas

**estructura, funcionamiento u organización aparece a un nivel macro.**

- Se encuentra en la encrucijada de varias disciplinas y prácticas
- La idea de emergencia la encontramos en todos los ámbitos científicos, biológicos, filosofía, etc.

**Emergencia de la vida, de la conciencia, etc.**



# Características de la emergencia

- Según (Clayton, 2004):

- la **complejidad jerárquica**,
- la no existencia de una **ley monolítica de emergencia**,
- la **aparición de patrones** en todos los niveles, y
- el **pluralismo emergente**.



- Según (Aguilar, 2014):

- Las entidades emergentes obedecen **leyes de orden superior**.
- Las entidades emergentes son caracterizadas por **lo imprevisible**.
- Las **entidades emergentes se componen** necesariamente de **entidades de nivel inferior**.
- Algunas entidades emergentes son capaces de **la causalidad de arriba hacia abajo**.
- Las entidades emergentes se realizan de **formas múltiples**.



# Noción de “emergencia”

**procesos emergentes: tres aspectos importantes.**

- **La estructura del proceso.** Los procesos de interés son los semi-estructurados y no estructurados,
- **Los usuarios del proceso.** Un proceso emergente significa que es casi imposible que un diseñador del sistema sepa por adelantado la clase de gente que será su usuario.
- **Los requisitos de información.** son absolutamente diferentes al de los procesos de negocio clásicos.
  - En un proceso emergente los usuarios deben **buscar a menudo la información que necesitan** (muchas veces mal indicada), etc.
  - Muchos **conocimientos implícitos en dichos procesos son tácitos, no explícitos**. Consecuentemente, es difícil capturarlos y compartirlos.
  - **El conocimiento se distribuye en mucha gente**. Algo del conocimiento es local y algo es general.

# Noción de “emergencia”

**enfoque emergente desde la teoría de los sistemas multiagentes,**

- La descripción formal del fenómeno global que el sistema multiagentes modelará.
- La proyección de este fenómeno global sobre la estructura de interacciones a nivel microscópico, para determinar la identidad de los agentes y la dinámica de las interacciones.
- La especificación de los comportamientos individuales de los agentes para producir las interacciones que generan el fenómeno global que se quiere modelar.

# Sistema Emergentes

## ¿Qué características comparten estos sistemas?

- Resuelven problemas recurriendo a masas de elementos relativamente no inteligentes en lugar de hacerlo recurriendo a un solo “brazo ejecutor” inteligente.
- Son sistemas ascendentes, no descendentes. Extraen su inteligencia de la base.
- En estos sistemas, los agentes que residen en una escala comienzan a producir comportamientos que yacen en una escala superior a la suya

**Son sistemas complejos de adaptación que despliegan comportamientos emergentes**

# Sistema Emergentes

- Un sistema no es considerado *emergente* si las interacciones locales no son, en alguna forma, de **macroconducta observable**.

*Eso indicaría el comienzo de la emergencia, un patrón de un nivel superior que surge de interacciones complejas paralelas entre agentes locales.*

- La complejidad emergente sin adaptación es como los intrincados cristales que forman un copo de nieve: **un bello diseño que no tiene ninguna función**.

*Las formas de comportamiento emergente interesantes exhiben la cualidad peculiar de hacerse más inteligentes con el tiempo y de responder a necesidades cambiantes y específicas de su entorno.*

# Extensiones Conceptuales

## Características de la emergencia:

1. Las entidades emergentes obedecen leyes de orden superior.
3. Las entidades emergentes son caracterizadas por lo imprevisible.
4. Las entidades emergentes se componen necesariamente de entidades de nivel inferior.
5. Algunas entidades emergentes son capaces de la causalidad de arriba hacia abajo.
6. Las entidades emergentes se realizan de formas múltiples.



# Tipos de Emergencias

## Basadas en la amplificación de los patrones o configuraciones:

- **emergencias de *primer orden***; como relaciones de supervivencia, tal que las propiedades de los sistemas de orden superior dependen de su nivel inferior.

Un ejemplo es el caso de la lluvia

- **emergencia de *segundo orden***, la cual se lleva a cabo a través del caos y la auto-organización, donde las condiciones ambientales juegan un papel formativo, en combinación con la historia concreta del sistema.

Un ejemplo, es la formación de cristales de nieve,

- **emergencia de *tercer orden***, se observa la evolución, al "recordarse" su historia mediante su inclusión en su programa de organización.

Ejemplo de ello son todos los casos de aprendizaje evolutivo

# Tipos de Emergencias

**Desde la Inteligencia Artificial se pueden definir cuatro formas de emergencia:**

- ***Forma puramente lógica de la emergencia.*** Ejemplos de ello son los patrones fractales emergentes en la pantalla del computador, o autómatas celulares capaces de producir estructuras muy complejas.
- ***Casos en que la emergencia es vista como la aparición de nuevas propiedades físicas.*** Las propiedades no son más que atributos de la física. Un ejemplo concreto es la aparición de agua basada en las propiedades químicas intrínsecas de H<sub>2</sub>O.

# Tipos de Emergencias

**Desde la Inteligencia Artificial se pueden definir cuatro formas de emergencia:**

- ***Casos en que las nuevas propiedades emergentes surgen sobre la base de nuevas configuraciones (espaciales, funcionales, etc.).*** La idea es visualizar características en el contexto de los sistemas, relativamente perdurables, de orden superior. Lo que es importante, es que los sistemas emergentes no caigan presos de sus entornos cambiantes (como los copos de nieve hacen).
- ***Casos muy especiales donde las nuevas propiedades emergentes, sobre la base de nuevas configuraciones, dará lugar a nuevas causalidades en el contexto de los sistemas de orden superior,*** eso permite procesos de auto-referencia, auto-reflexión lo que genera características tales como la conciencia humana

# Tipos de Emergencias

## Desde las ciencias cognoscitivas:

- Emergencia como el paso desde un punto de vista micro a una opinión macro;
- Emergencia como la reestructuración de una explicación de un sistema a raíz de un acontecimiento;
- Emergencia como la adscripción de un sistema A en un sistema B en interacción con A.

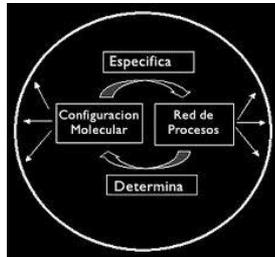
# Conceptos que coadyuvan a la Emergencia

**Lógica del Enjambre**

**Auto-organización**

**Auto-poyesis**

**Estigmergia**



**Retroalimentación**

**Inteligencia Colectiva o Social**

**Sabiduría de la Multitud**

# Conceptos que coadyuvan a la Emergencia



## *Lógica del Enjambre*

Comunidades que intentan resolver colectivamente problemas que requieren de mucha flexibilidad e improvisación

- Entre más miembros es mejor.
- La ignorancia es útil.
- Se deben provocar encuentros casuales.
- Se deben buscar patrones en los signos.
- Es importante prestar atención a sus vecinos.



# Conceptos que coadyuvan a la Emergencia

## Inteligencia Colectiva o Social

También llamado *Inteligencia de Enjambre*, es un paradigma relativamente nuevo que se aplica en una serie de entornos compuesto de entidades distribuidas que interactúan entre sí.

El concepto de *enjambre* sugiere multiplicidad, aleatoriedad y desorden; y el concepto de *inteligencia* sugiere que es un método racional de resolución de problemas



También conocida como **sabiduría global**, asociada a la “**Paradigma de la Sabiduría de las Multitudes**”,

# Conceptos que coadyuvan a la Emergencia

## Sabiduría de la Multitud

### Principios:

Diversidad de Opinión  
Independencia de Opinión  
Descentralización  
Agregación



### Fallas

- Demasiada centralización
- Demasiada división
- Demasiada imitación

### Recomendaciones

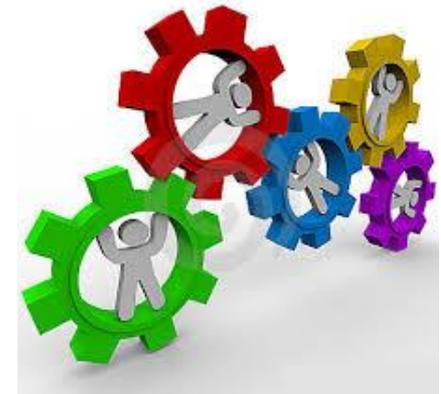
- Lazos flojos entre los miembros
- Cada miembro debe estar expuesto a tanta información como sea posible
- Grupos cuyos miembros sean lo más diversos posibles, que procedan de diferentes ámbitos, jerarquías, etc.

# Conceptos que coadyuvan a la Emergencia

## Auto-organización

La emergencia y la auto-organización consideran diferentes propiedades en un sistema, representan aspectos diferentes de un sistema. Incluso, ambos fenómenos pueden existir de manera aislada.

**"La auto-organización se refiere a sistemas que pueden organizarse sin una dirección, manipulación o control externo".**



Dos aspectos claves para la auto-organización son la "autonomía" y "ajuste de la estructura".

# Conceptos que coadyuvan a la Emergencia

Reina

*Relación de dependencia y protección...*

**AUTOORGANIZACIÓN**

obrera

obrera

obrera

obrera

obrera



*...más no de control (dominio) y obediencia*

# Conceptos que coadyuvan a la Emergencia



La esencia de la **emergencia** es la existencia de *un comportamiento global nuevo*, diferente del de los elementos constitutivos del sistema.

*novedad radical*, efecto Micro-Macro, entre otros;

La **principal similitud** es que la emergencia y la auto-organización son **procesos dinámicos**, que le confieren **robustez** a un sistema.

La robustez en la emergencia consiste en que *la falla de una parte del sistema no resultará en una falla general* de la propiedad emergente,

La esencia de la **auto-organización** es un *comportamiento adaptable* que de forma autónoma adquiere y mantiene un orden (es decir, una estructura).  
en el otro caso **aumento del orden**, autonomía, entre otros).

La robustez en la auto-organización consiste en la **capacidad de adaptabilidad** al cambio y de **aumentar el orden**.

# Conceptos que coadyuvan a la Emergencia

## Auto-poyesis

- Proviene del griego 'auto' y 'poiesis' (producción, creación).

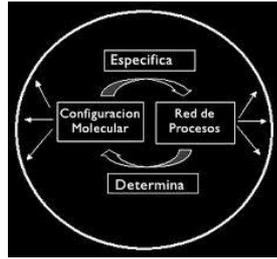
propiedad de un sistema para producirse por sí mismo (o también mantenerse, definirse a sí mismo).



- Maturana y Varela usaron el término para caracterizar sistemas que:
  - Mantienen la definición de su organización a pesar de perturbaciones del medio ambiente
  - Regeneran sus componentes en el curso de su operación

**La autopoyesis es más que la auto-organización**

# Conceptos que coadyuvan a la Emergencia



## Auto-poyesis

No toda emergencia es auto-poyetica ni todo proceso auto-poyetico es emergente.

- Un sistema emergente será auto-poyetico si lo que **emerge es su auto-creación** desde su **auto-referencia**,
- un sistema auto-poyetico será emergente si **la auto-creación es una novedad producto de las interacciones de sus componentes** (irreductible a ellos).

# Conceptos que coadyuvan a la Emergencia

## Estigmergia

- Forma de comunicación indirecta mediada por modificaciones al medio ambiente
- Viene de los términos griegos “marca” (stigma) y “trabajan” (ergon).
- Es la base del proceso de cooperación en las sociedades de insectos
- Permite concebir un mecanismo de retroalimentación basado en esas interacciones indirectas entre los agentes y el entorno



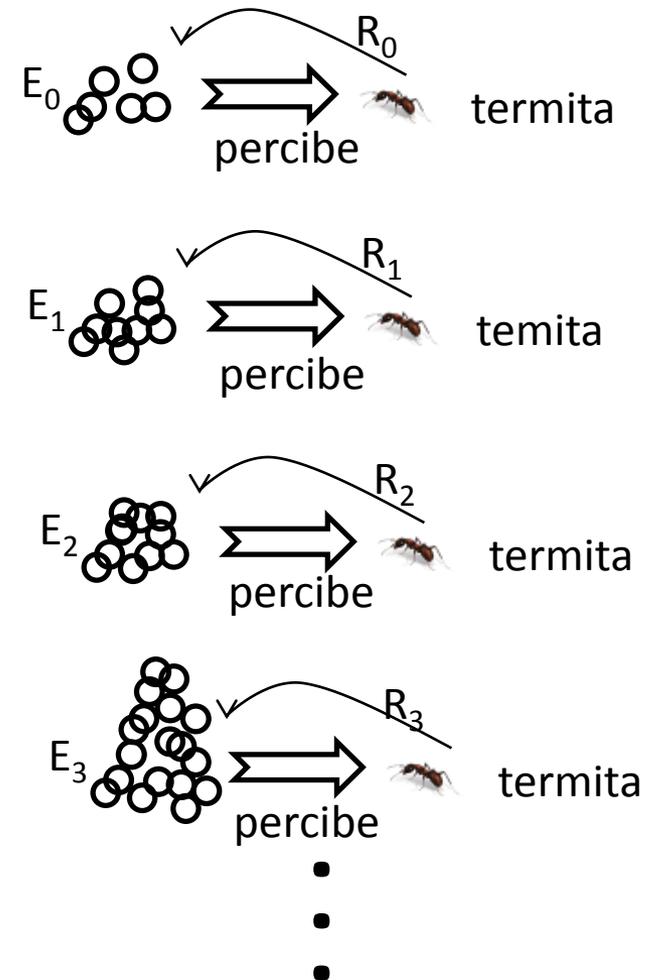
# Conceptos Vecinos que coadyuvan a la Emergencia

## Estigmergia

Proceso estigmérgico en la construcción de pilares en las termitas ( $E_i$ : estado actual,  $R_i$ : respuesta de la termita)

En la estigmergia se pueden dar dos situaciones

- La comunicación a través de la **modificación de un entorno físico**.
- La comunicación a través de una **marca de un mecanismo de señalización**.



# Conceptos Vecinos que coadyuvan a la Emergencia

Fuente de Alimento



Nido

Tiempo =  $n$

Fuente de Alimento



Nido

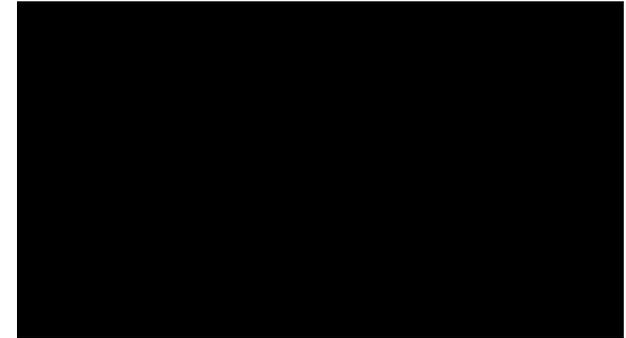
Tiempo =  $n+m$

Fuente de Alimento



Nido

Tiempo =  $n+m+p$



**Fenómeno de estigmergia en las colonias de hormigas**

# Conceptos Vecinos que coadyuvan a la Emergencia

## Retroalimentación

- En un sistema habitualmente hay una propagación de una señal externa desde la entrada hacia la salida,
- La retroalimentación describe la propagación de la señal en el sentido inverso.
- La retroalimentación ha sido usada para generar procesos autocatalíticos y de auto-reforzamiento.
- Existen clásicamente dos procesos de retroalimentación:
  - *Retroalimentación Positiva.*
  - *Retroalimentación Negativa.*

# ESCUCHAR A LA RETROALIMENTACIÓN

Todos los sistemas descentralizados dependen en gran medida de la retroalimentación, tanto para su crecimiento como para su regulación.

Hasta el incidente más pequeño puede convertirse en gran acontecimiento.

# Conceptos Vecinos a la Emergencia

## Algunos ejemplos de enjambres en la naturaleza y sus comportamientos colectivos

Tipo de Enjambre	Comportamiento
Bacterias, Moho Fangoso	Generación de patrones
Hormigas	Formación de caminos
Hormigas	Organización de nidos
Hormigas	Transporte cooperativo
Hormigas, Abejas	Selección de la fuente de alimentos
Abejas	Termo-regulación
Avispas	Asignación de tareas
Abejas, Avispas, Avispones, Termitas	Construcción de colmenas
Luciérnagas, bancos de peces, bandadas de aves	Sincronización
Arañas	Construcción de redes
Peces	Cardumen
Aves	Bandadas
Lobos	Asedio de presas

# Emergencia y Sociedad

La sociedad se configura a sí misma desde '*las pequeñas cosas*', desde aportes tecnológicos y médicos hasta artísticos y recreativos,

Gracias a la comunicación electrónica y a los medios de transportes, existe la posibilidad de conectar a toda la sociedad



Red descentralizada pero totalmente unificada de muchos sistemas.

# Emergencia y Sociedad

**La emergencia en una sociedad aparece en los procesos sociales que le dan vida a la misma.**

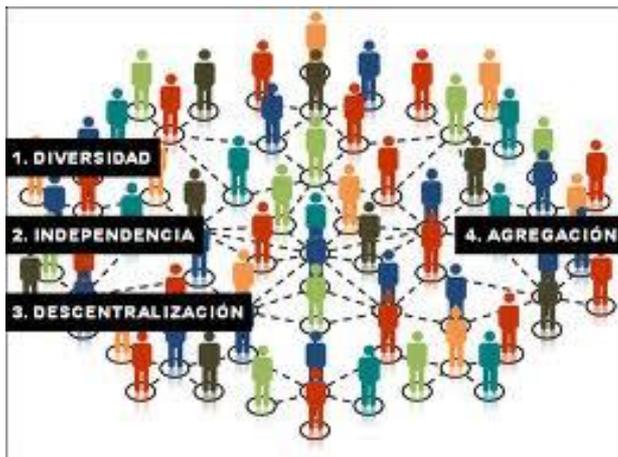
- Para N. Luhmann la dimensión social del comportamiento de los individuos es **la comunicación**
- la **inteligencia organizacional** como expresión de la inteligencia colectiva.

Un elemento fundamental para la inteligencia organizacional es el **método para alcanzar decisiones colectivas** y **evitar conflictos**, como parte de un proceso de **dialogo** y **concertación**



# Emergencia y Sociedad

N. Johnson y otros demostraron que usando expresiones matemáticas basadas en el **promedio de las funciones de preferencia**, en una gran cantidad de agentes, como forma de decisión “colectiva”, es mejor que la decisión tomada por un individuo al azar.



$$P_{col}(l_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i(l_j)$$



# Emergencia y Sociedad

## la emergencia en la geopolítica.

- la formación del *sistema de estados modernos* es el resultado de procesos de retroalimentación entre la economía, la sociedad, la política, entre otros.
- El modelo se basa en tres principios: la expansión de los estados se ve favorecida por el tamaño y la disponibilidad geográfica de recursos y por las ventajas geo-posicionales
- el poder militar de un Estado (P) en función de dos variables: la zona A y el perímetro F de un país.

$$P(A, F) = \frac{A}{\delta + \exp(\gamma F + \beta)}$$

El área A es simplemente el número de nodos de la red que ocupa el país, mientras que el perímetro es el número de nodos fronterizos de un país (suponiendo un modelado en un plano cuadrículado).

# Emergencia y Sociedad

## la emergencia en la *geopolítica*.

- una modificación, considerando ahora a las capitales de los países (centro de poder). De esa manera, ahora ellos hacen depender a P de la zona A y de una cantidad (D) que es la distancia promedio entre los puntos de frontera y el centro del poder. Físicamente, esta cantidad está asociada al momento de inercia de la frontera de un país en relación con su capital,

$$D_k = \sum_{b \in Q_k} [(i_b - i_{c_k})^2 + (j_b - j_{c_k})^2]^\alpha \quad P(A, D) = \frac{A}{\exp(\gamma D)}$$

Donde  $Q_k$  es la frontera del país k,  $i_b$  y  $j_b$  son las coordenadas del nodo fronterizo b, e  $i_{c_k}$  y  $j_{c_k}$  son las coordenadas de la capital. De esta manera, ellos redefinen al modelo de poder militar de un Estado (P) como:

# Emergencia y Sociedad

## Las *organizaciones sociales* como sistemas emergentes

### Aspectos que la caracterizan:

- *La construcción de la realidad compartida.*
- *La identidad y auto-referencia organizacional*
- *La capacidad de auto-reproducirse.*



### Los objetivos en las organizaciones emergentes:

- Son objeto de un análisis permanente.
- Son dinámicos y negociables.
- No son resultado de extensas fases de análisis y diseños.
- Satisfacer a los usuarios es improbable.
- Especificarlos completamente y sin ambigüedades es ineficaz.
- La moda tecnológica le es absurda.

# Emergencia y Ciudadanos

**Persona que convive en una sociedad  
Es aquel perteneciente o relativo a la  
ciudad**

- Emergencia del liderazgo
- Juego de poderes y emergencia de una "jerarquía"
- Método para alcanzar decisiones colectivas y evitar conflictos
- Derechos y políticas emergente

# Emergencia y Ciudadanos

## Emergencia del liderazgo

- “capacidad de reconocer un problema antes de que se sea una emergencia”. John Maxwell.
- “un líder es un hombre que sabe adónde quiere ir, se pone de pie y va”. John Erskine.
- “Si tus acciones inspiran a otros a soñar más, aprender más, hacer más y ser mejores, eres un líder”. Jack Welch.
- “Los líderes piensan y hablan sobre soluciones. Los seguidores piensan y hablan sobre problemas”. Brian Tracy.
- “El pesimista se queja del viento. El optimista espera que cambie. El líder arregla las velas”. John Maxwell.

# Emergencia y Ciudadanos

## Estilo de liderazgo

- *El ejercicio el poder.*
- Obtener y ejercer los privilegios de un alto rango.
- Ser el jefe.
- *Orientación de las labores.*
- El cuidado de las personas.
- *Empoderamiento.*
  - Proporcionar liderazgo moral.
  - Proveer una visión y trabajar para alcanzarla.

## Método de liderazgo

- Puro ejercicio del poder.
- Política de intrigas.
- Uso de las relaciones.
- Persuasión.
- *Compartir el poder.*
- Carisma.
- *Involucrar en la meta a los seguidores.*

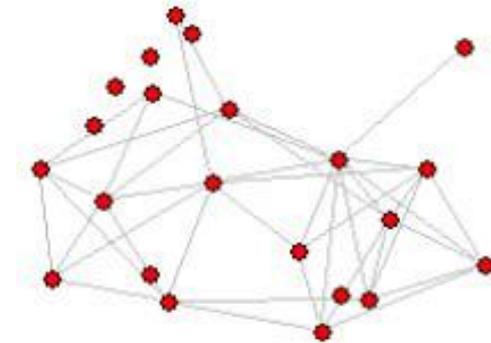


# Emergencia y Ciudadanos

## Juego de poderes y emergencia de una "jerarquía"

La emergencia del poder como resultado de la conjunción, el azar y las perturbaciones

- Conjugación de poderes
- Formación de una estructura disipativa
- Rizo-bucles de retroalimentación
- Emergencia del redes a partir de interacciones
- La Holonarquía



# Emergencia y Ciudadanos

## Juego de poderes y emergencia de una "jerarquía"

### La Holonarquía

toma de decisiones que emerge del todo, tal que los cuerpos colectivos son los que ejercen el poder y por lo tanto los que toman las decisiones

- Desaparece la dualidad que existía entre el poder formal e informal
- Las diferencias se tienen en cuenta, porque las decisiones no se toman por mayoría,  
**se acepta la presencia de éstas como potencialidades**
- La participación no es de fachada, no se suscribe solamente a oír, celebrar reuniones, pedir opiniones, etc.;  
**respeto profundo a los procesos de construcción colectiva,**
- Tiene como premisa que todos piensan de manera diferente, y no se oculta la existencia de la crítica,  
**no hay cabida para el sometimiento ni consensos absolutos,**

# Emergencia y Ciudadanos

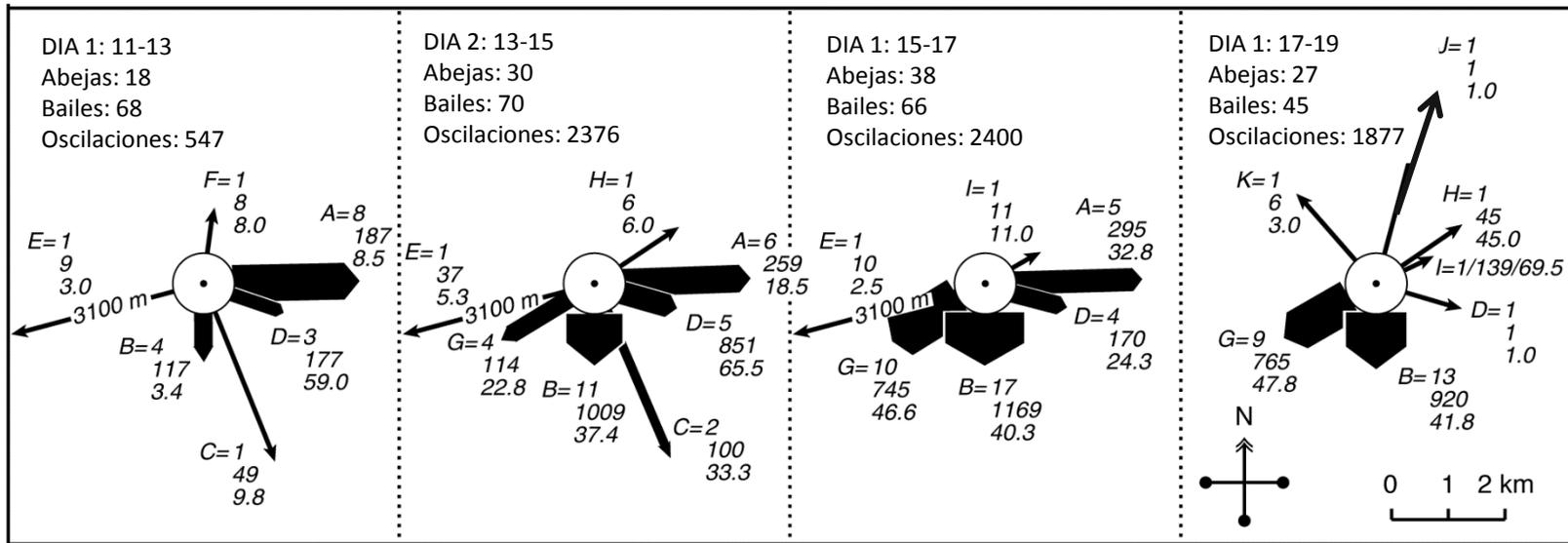
## Método para alcanzar decisiones colectivas y evitar conflictos

- En el caso más simple, cada individuo tiene un voto, que le da a la opción que este individuo prefiere.
- En una versión más sofisticada, los individuos pueden distribuir su votación sobre diversas alternativas, en proporción con su preferencia individual.

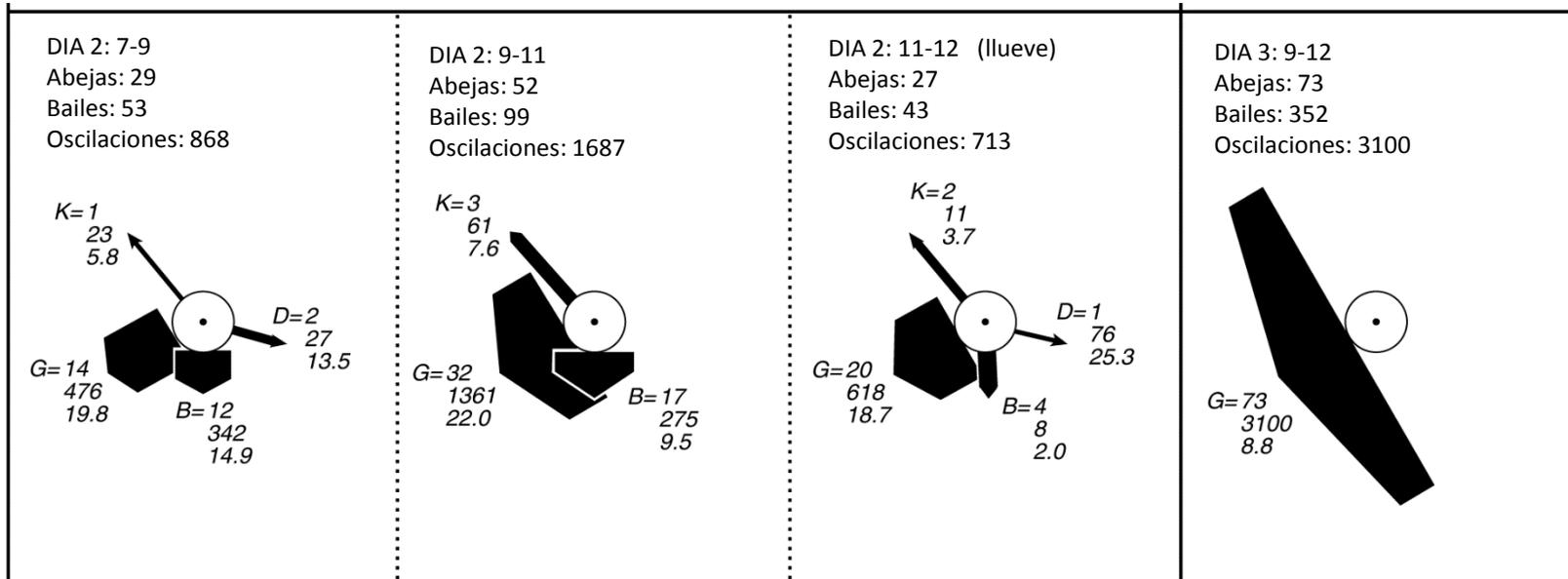
$$P_{col}(l_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i(l_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i^j$$

En ese caso, la función de preferencia colectiva ( $P_{col}$ ) es simplemente el promedio de las funciones de preferencia individuales ( $P_i$ ) de los  $n$  miembros

# Toma de decisiones en un enjambre de abejas



S



# Modelos de Preferencia

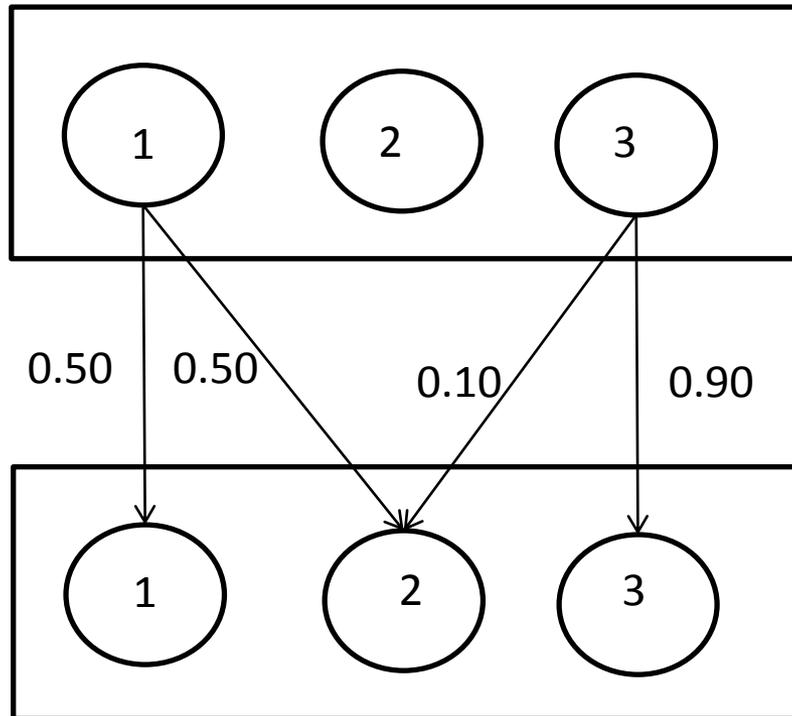
**Probablemente el método más simple para alcanzar decisiones colectivas y evitar conflictos es votando.**

- En el caso más simple cada individuo tiene un voto, que se lo da a la opción que este individuo prefiere
- En una versión más sofisticada del mecanismo de votación los individuos pueden distribuir su votación sobre diversas alternativas, proporcionalmente a sus preferencias individuales. Por ejemplo, la alternativa A pudiera conseguir un voto de 0.5, B de 0.3, C de 0.2 y D de 0.0. En ese caso, la función de preferencia colectiva  $P_{col}$  es el promedio de las  $n$  funciones de preferencias individuales  $P_i$ :

$$P_{col}(l_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i(l_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i^j =$$

Donde  $l_j$  es el atributo que se está evaluando.

# Algoritmos de Agregación



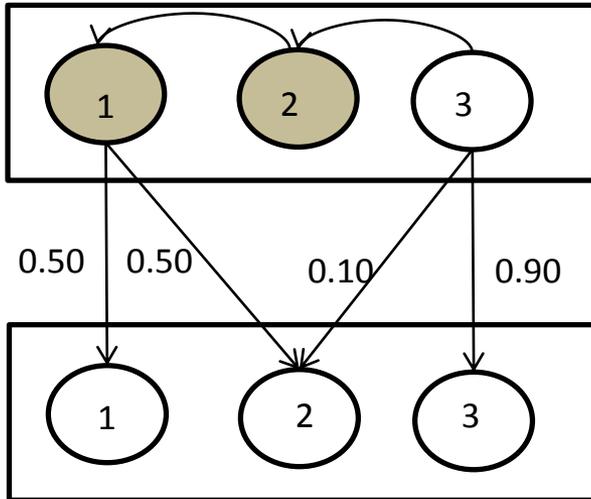
Colección  
de  
humanos

Solución al  
problema

solución  
colectiva:  
 $s_1 = 0.25$ ,  $s_2 =$   
 $0.30$ , y  $s_3 = 0.45$

**Ejemplo de democracia directa**

# Algoritmos de Agregación



Colección de humanos

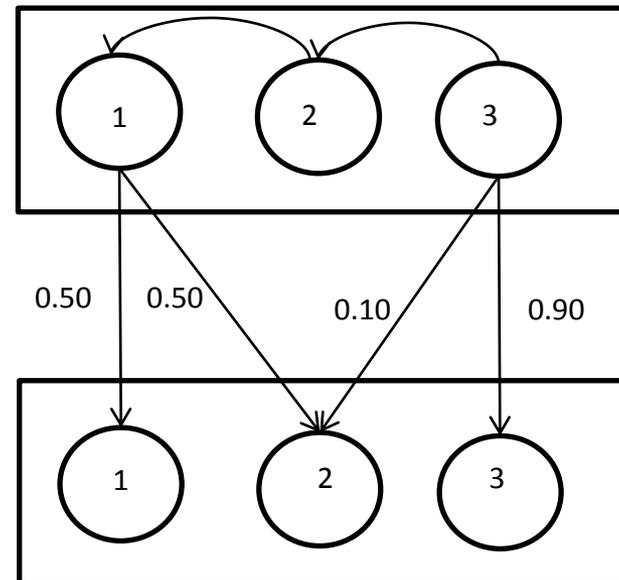
Solución al problema

## Ejemplo de Voto de poder

solución colectiva:  $s_1 = 0.400$ ,  $s_2 = 0.42$ , y  $s_3 = 0.18$

## Ejemplo de Democracia dinámicamente distribuida

$s_1 = 0.33$ ,  $s_2 = 0.36$ , y  $s_3 = 0.30$



Colección de humanos

Solución al problema

# Modelos de Preferencia

Otro ejemplo de preferencia es en la construcción de "filtrados colaborativos" o "filtrados Social" de información.

- La idea principal es automatizar el proceso de "boca-a-boca", a través del cual la gente recomienda productos o servicios entre sí.
- Para elegir entre una variedad de opciones de las que no se tiene ninguna experiencia, a menudo uno se basa en las opiniones de otras personas que tienen experiencia.
- Sin embargo, cuando hay miles o millones de opciones, como las que uno encuentra en la web, se hace prácticamente imposible para una persona localizar expertos que pueden dar consejos sobre cada una de las opciones.

**Al cambiar de un modo de recomendación individual a uno colectivo, el problema se hace más manejable**



# Modelos de Preferencia

## El mecanismo básico detrás de los sistemas de filtrado colaborativo

1. Se registra un gran grupo de preferencias de la gente
2. Se crea un subgrupo de gente cuyas preferencias son similares a las de la persona que busca asesoramiento, utilizando una métrica de similitud,
3. Se calcula un promedio (posiblemente ponderada) de las preferencias para ese subgrupo
4. se usa la función de preferencia resultante para recomendar.



# Modelos de Preferencia

- Una métrica de similitud típica es el coeficiente de Pearson que establece coeficientes de correlación entre las funciones de preferencia de los usuarios. El coeficiente de correlación entre dos usuarios  $a$  y  $b$  se define de la siguiente manera:

$$R_{ab} = \frac{\sum_i (P_i^a - \bar{P}^a)(P_i^b - \bar{P}^b)}{\sqrt{\sum_i (P_i^a - \bar{P}^a)^2 \sum_i (P_i^b - \bar{P}^b)^2}}$$

Donde  $P_i^a$  denota la preferencia de  $a$  por la opción  $i$ , y  $\bar{P}^a$  denota la preferencia promedio de  $a$  sobre el total de opciones,

- Para ser fiable, el sistema necesita un gran número de personas (normalmente miles) que expresen sus preferencias acerca de un número relativamente grande de opciones (por lo general docenas).

# Ciudades

La historia de las ciudades es una historia de signos mudos, construida a partir de la conducta colectiva de grupos, difícilmente detectados por quienes no pertenecen al grupo

# Emergencia y Sociedad

Las ciudades están llenas de patrones de conducta humana y de toma de decisiones escritos en los edificios, en los barrios, en las calles de la ciudad, patrones que **retroalimentan** a sus residentes e influyen sus decisiones futuras.

En la ciudad se dan dos escalas, la escala de la **vida humana** y la escala **milénaria** de las ciudades. Los macro-desarrollos se dan en la escala milénaria a partir de las capacidades emergentes de la ciudad: recolectar y almacenar información, reconocer y responder a patrones, etc.

Esta situación perdura y perdurará por muchos años

“La ciudad parece tener vida propia”

# Caso de las Ciudades

- Igual que las hormigas, trabaja en dos escala:
  - Escala de la vida humana
  - Escala milenaria de las ciudades
- Macro-desarrollo pertenece a la ciudad:  
acontecimiento global significativo del pasado
- Por que triunfa ese macroorganismo?:
  - por sus capacidades emergentes
    - Almacenan y recolectan información
    - Reconocen y responden a patrones

**Todos contribuimos!!!**

# Caso de las Ciudades

Conducta de las ciudades sigue la lógica del enjambre

- Explotan las posibilidades de la emergencia: manzanas tienen valores (precio, contaminación), que cambian según valores de sus vecinas y decisiones que tomen los individuos (poner comisaría de policía, etc.)
  - Aparecen patrones (p.e. barrios)
  - Conllevan a macro-conductas en un nivel superior (ciudades)
  - No necesariamente hay reglas que lo rigen, emergen a partir de consensos tácitos: la banca se sitúa en una zona, los latinos en otra zona, etc.



# Caso de las Ciudades

## Las aceras son importantes

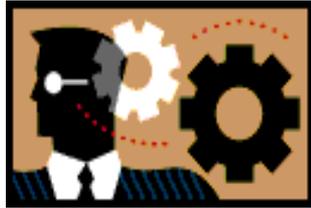
Fijarse en el comportamiento de los vecinos para saber que acción se ha de realizar

- Conductor primario de flujo de información de los residentes (comunicación banda ancha)
- Produce tanto la cantidad y calidad correcta de interacciones locales



**Dichas interacciones posibilitan a la emergencia en las ciudades**

# Caso de las Ciudades



Cada individuo (ser humano) que conforma una ciudad piensa, a diferencia de cada individuo (hormiga) que conforma una colonia, por eso creamos organismos más complejos.

En el mundo real cada uno somos como termostatos sociales:

Leemos la temperatura grupal y ajustamos nuestra conducta o comportamiento de acuerdo con ella.

# Emergencia en las Ciudades

- La ciudad produce comportamientos en los humanos que van prefigurándola a ella.
  - El comportamiento emergente se dibuja, se constata, en la ciudad en sí mismo, y no en la percepción empírica del habitante.
  - Los patrones retroalimentan a la comunidad, por lo que sus ajustes conducen a cambios mayores: Grandes tiendas en los bulevares, Los artistas viviendo en zonas específicas de la ciudad, etc.
  - La ciudad termina comportándose como una maquina amplificadora de patrones: expresa la conducta repetida de colectivos mayores, recoge información sobre la conducta global, etc.
- 
- Esas estructuras no surgen necesariamente de regulaciones ni planes urbanísticos, sino de miles de individuos y pocas reglas simples de interacción.

# Emergencia en las Ciudades

- **Ciudad: Maquina de amplificar patrones a través de los barrios**
  - Mide y expresa la conducta repetida de colectivos mayores
  - Recoge información sobre la conducta global y la comparte con el grupo
  - Esos patrones retroalimentan a la comunidad
- **Lo único que se necesitan son**
  - Miles de individuos y unas pocas reglas simples de interacción
  - Pocos patrones de conducta repetidos, amplificados a formas mayores que perduren durante generaciones: barrios, vecindarios, etc.

# Ciudades Emergentes

Los barrios son patrones en el tiempo que emergen a partir de consensos tácitos:



- La zona financiera se ubica en una zona determinada, los bares en otra, las tiendas de venta de automóviles en otra, las prostitutas en otra, y así sucesivamente.
- Esos patrones de esas zonas urbanas son caracterizados por sus dinámicas culturales que determinan sus actividades, habitantes que las frecuentan, reglas sociales que las rigen, formas urbanísticas que se dan, lógicas que se perciben en sus aceras, entre otras cosas.
- Sus habitantes viven en dichas zonas siguiendo las normas sociales que les son propias a su patrón, sin que ninguna autoridad las ordene.

# Ciudades Emergentes

- En particular, los **espacios públicos** (p.e. aceras, parques) son los conductores de base de los flujos de información entre los residentes de una ciudad (etc.),
- Proporcionan a la ciudad el **tipo y la cantidad correcta de interacciones locales** que ella requiere para su auto-organización.
- El **valor del intercambio** que se da en las aceras reside en **como beneficia al supra-organismo** llamado ciudad, como coadyuva a su orden global.
- La **vida de la ciudad** depende de poder **disipar** información/interacciones entre desconocidos para cambiar sus comportamientos individuales (por ejemplo, decidirse mudarse a un barrio porque le atrajo lo visto/escuchado, etc.).

# Ciudades Emergentes

**Son un organismo de nivel superior que reflejan la emergencia de formas, patrones generados por sus componentes de una escala inferior (sus habitantes).**

**Son patrones multidimensionales que toman en cuenta la complejidad de los humanos (su cultura, sus intereses, etc.).**



# Ciudades Emergentes

- **Proceso de aprendizaje en la ciudad es vital.**

Capacidad de poder almacenar información, saber cómo encontrarla, poder reconocer y responder a cambios de patrones, entre otras cosas.

- **La ciudad per se es un patrón emergente en el tiempo, producto de múltiples generaciones, donde las perturbaciones (cambios de gobiernos, innovaciones tecnológicas, etc.) van amoldándolo**

en Florencia los hiladores de seda han estado agrupados en las mismas zonas por cientos de años, igual que la zona roja de Ámsterdam, ajustándose a la evolución de la ciudad

# Ciudades Emergentes

- Algunos de esos patrones se mantienen porque están vinculados a estructuras físicas (iglesias como la de San Pedro han permitido la existencia de un barrio religioso alrededor de ella, puentes como el de Rialto de Venecia han mantenido una dinámica turística alrededor de él),
- Otros han surgido por las leyes de la emergencia (por ejemplo, el barrio de los hilares de seda no tienen una estructura física atractora). Y esto es así no por holgazanería



**la emergencia cultural que se da a la escala de miles de años.**

# Ciudades Emergentes

## Planificadores urbanos han atacado el problema de los barrios desde un enfoque descendente:



- Demoler barrios enteros y construir desoladores edificios dormitorios, rodeados de jardines, etc.
- Es una mejora en cuanto al espacio e infraestructura
- Pero, se convierte en zona de guerra que incrementa la tasa de criminalidad y destruye la sensación de pertenencia

# Emergencia y Sociedad

**El enfoque de una *planificación urbana emergente* consiste en observar sus calles, su funcionamiento, sus habitantes, etc., y aprender de ellos.**

Desde esa mirada, el planificador urbano trata de extraer la identidad del barrio para establecer formas que permitan que emerja desde el hacer social del barrio cualidades como la seguridad en sus calles, los derechos y deberes de sus miembros, etc.

**Implica ver a las ciudades, a los barrios, como maquinas de aprender, de reconocer patrones, y desde allí reconstruirse.**

En esa mirada de las ciudades **las aceras son importantes:**

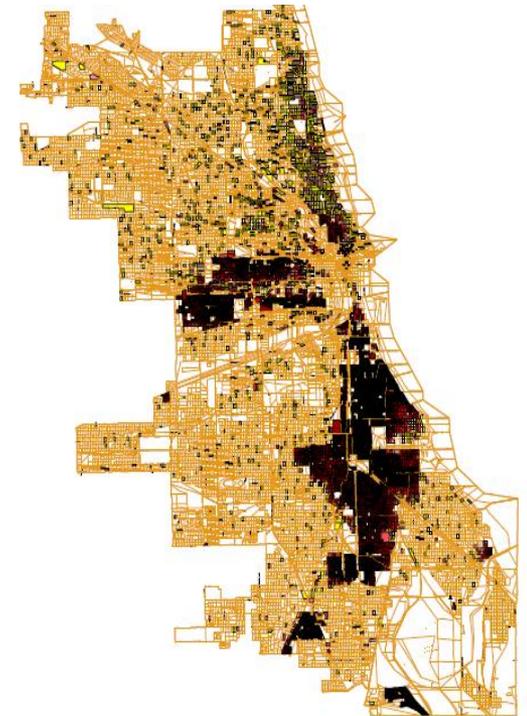
- Es el espacio de interacciones locales que conducen a un orden global.
- Produce los flujos de información primarios entre los residentes



# Ejemplos de Emergencia en las Ciudades

- **Tráfico vehicular:** A ese fenómeno social se le pueden hacer dos análisis sociales, uno cercano a los hechos y otro que refleje el comportamiento colectivo
- **Segregación o agregación de Schelling:** % mínimo de gente del mismo color, clase social, etc. en la vecindad
- **Desplazamientos en un espacio:** flujos peatonales, etc.

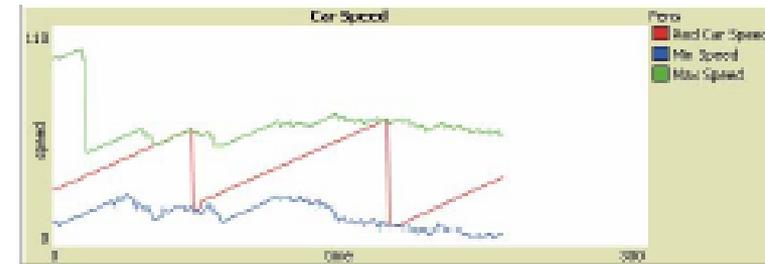
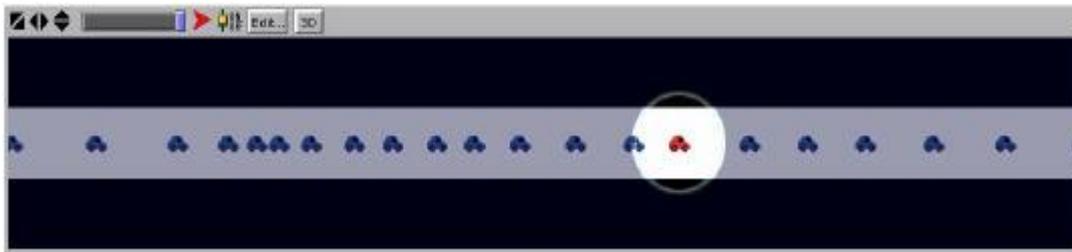
**humanos responden de manera consciente ante condiciones del entorno**



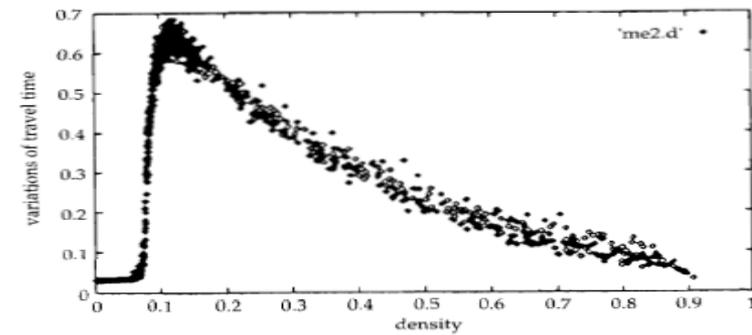
Mapa Étnico de Chicago 1960  
Zonas con >95% negro

# El tráfico vehicular

- Patrón emergente con oleadas de congestionamiento que van de derecha a izquierda
- Los atascos se producen por la presencia de algún factor exógeno: cuellos de botella, accidentes, maniobras descabelladas.



- En un sistema complejo no es posible pronosticar comportamientos con precisión.
- Existe una transición de fase en donde la variación en los tiempos de recorrido se incrementa súbitamente.



# Segregación de las comunidades

- % mínimo de gente del mismo color en la vecindad.
- Al pasar un umbral de tolerancia la persona se mueve aleatoriamente a otro espacio en otro barrio que inicialmente cumple con sus preferencias.
- Migración se detiene cuando todas las personas están contentas con la composición de su barrio.

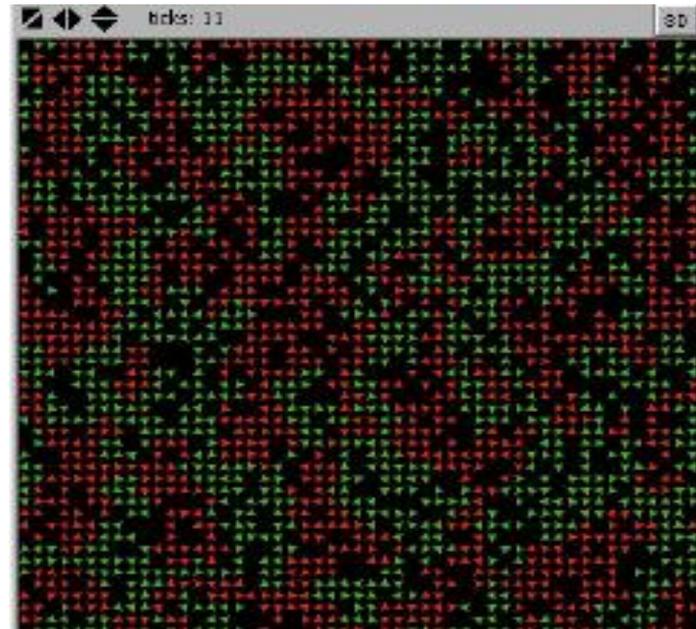
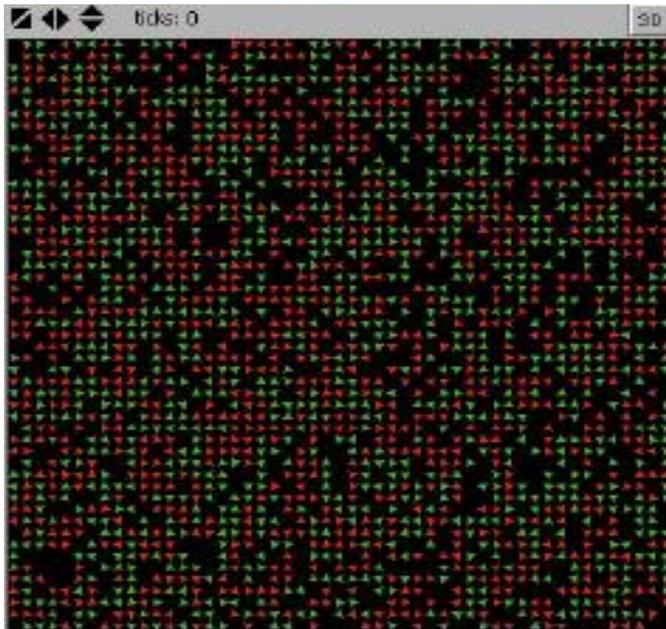
# Segregación de las comunidades

- Patrón emergente 1: interacciones con individuos aparentemente tolerantes (sólo 30% afines)

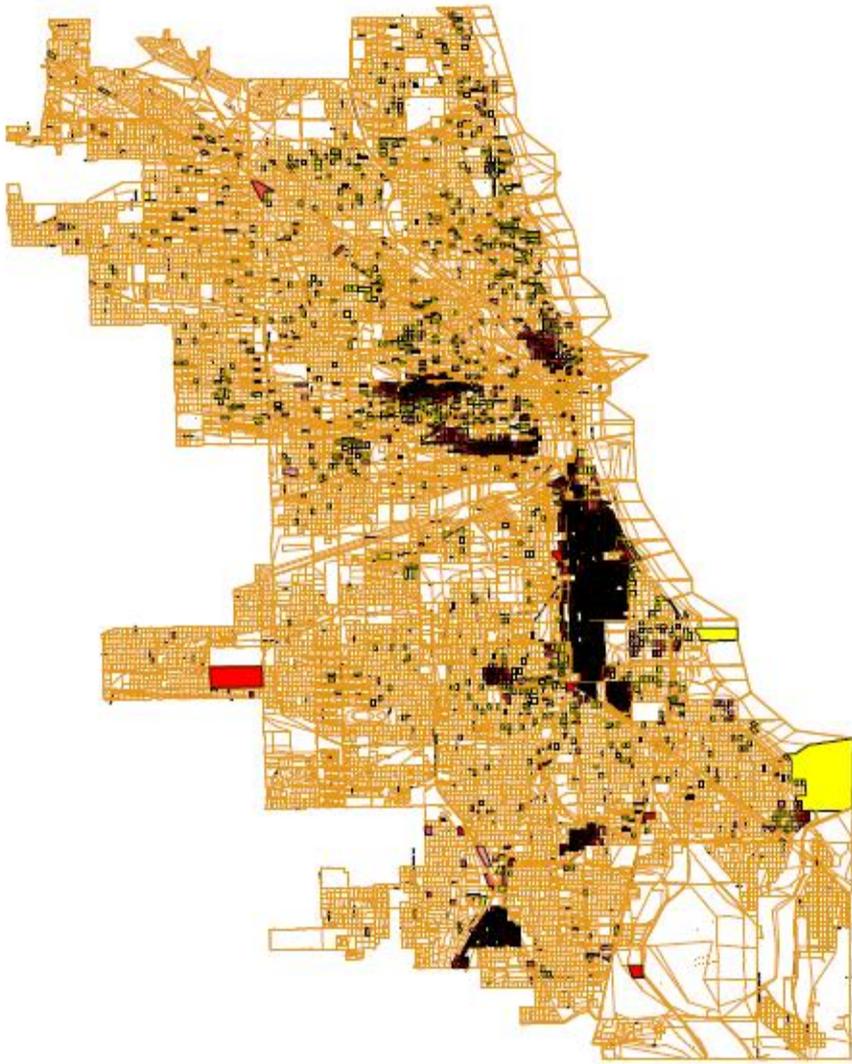
equilibrio de segregación.

- Patrón emergente 2: alto nivel de intolerancia (e.g. 90% de personas afines).

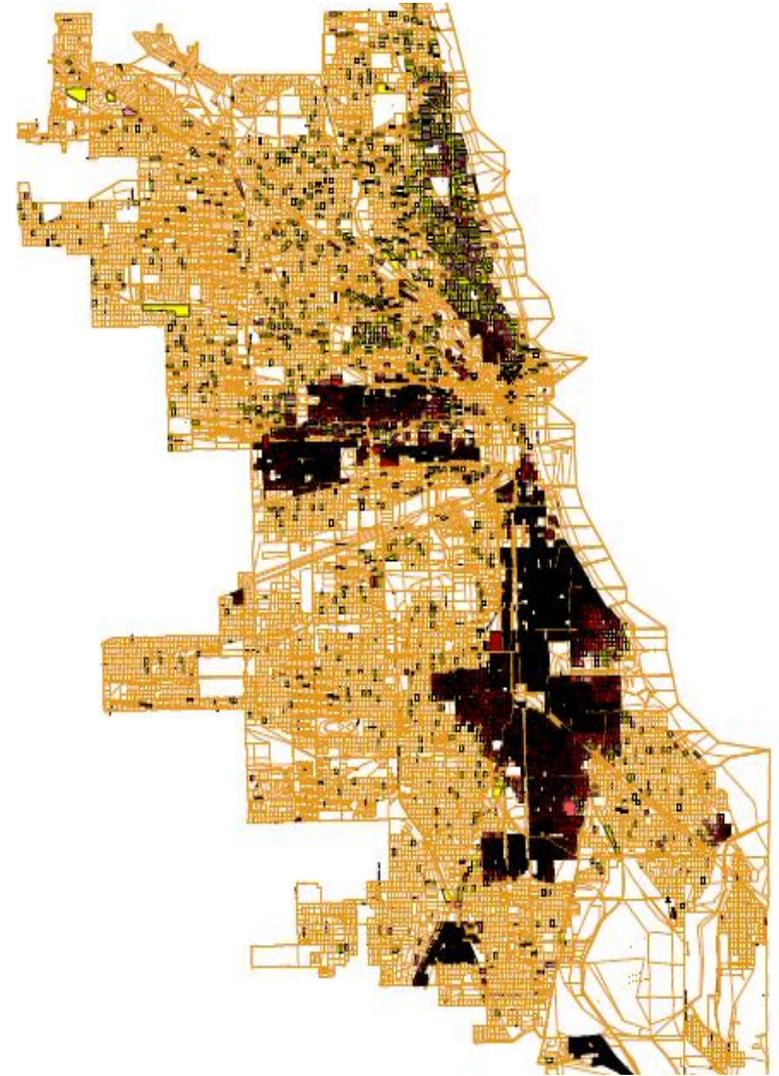
continuo desequilibrio



# Segregación de las comunidades



Mapa Étnico de Chicago 1949

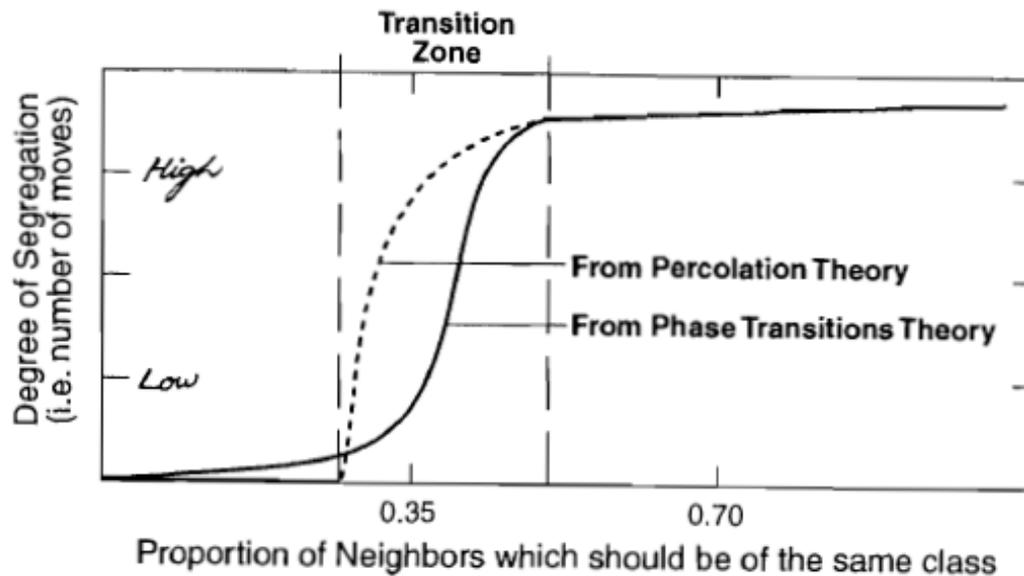


Mapa Étnico de Chicago 1960

Zonas con 1-5% de hogares de gente negra en amarillo, 5-10% rosa, 10-25% naranja, 25-50% rojo, 75-95% marrón y >95% negro

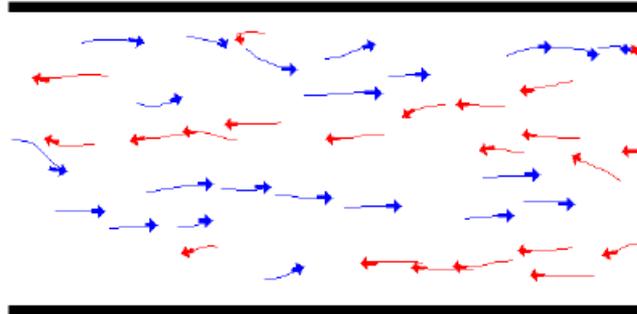
# Segregación de las comunidades

- El nivel de segregación se incrementa repentinamente cuando el nivel de tolerancia pasa de cierto umbral

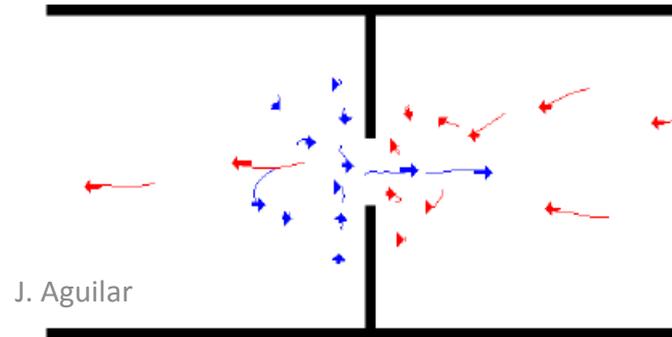
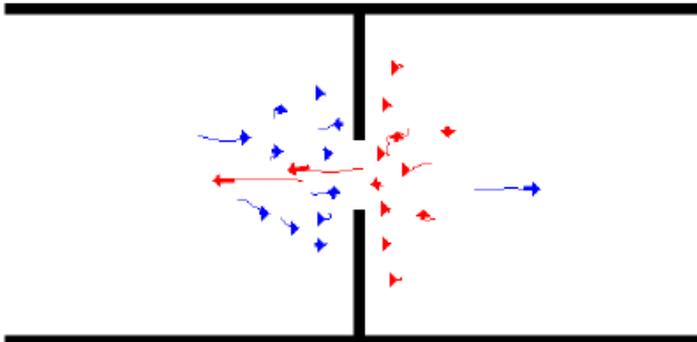


# Movimiento de masas en los espacios

- Flujos de personas que se mueven en sentidos opuestos sin presencia de normas

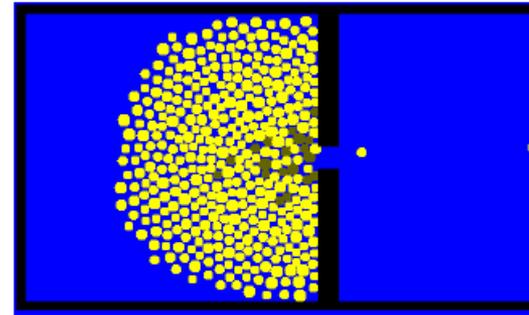
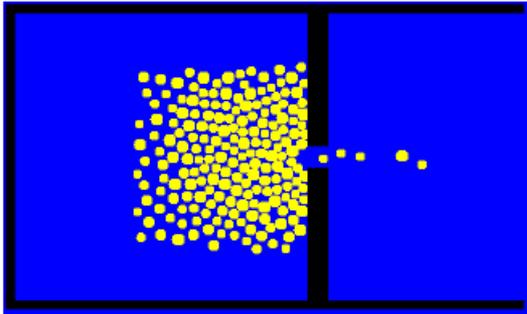


- Solo se combina intereses personales con percepción del entorno ('espacio local personal')
- Grupos que se intercalan para pasar por una puerta: la aparición de obstáculos.

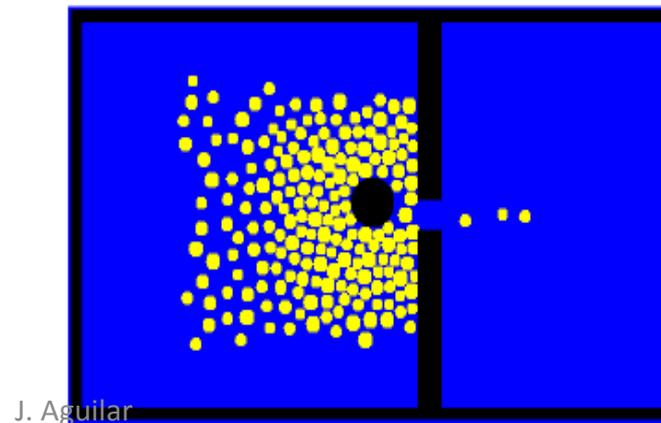
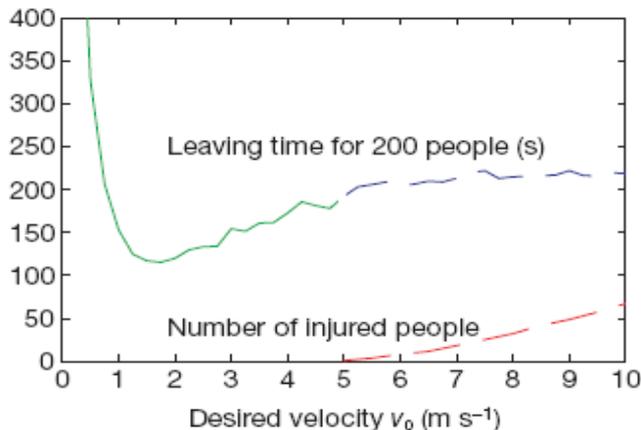


# Caso de contextos de pánico

- Se eliminan restricciones que impiden tocarse, las fatalidades crean obstáculos



- En contexto de pánico el tiempo de evacuación se incrementa con la velocidad de desplazamiento



# Ciudad inteligente

**Ciudad emergente donde proceso adaptativo esta vinculado a mejorar el bien-estar de sus pobladores**

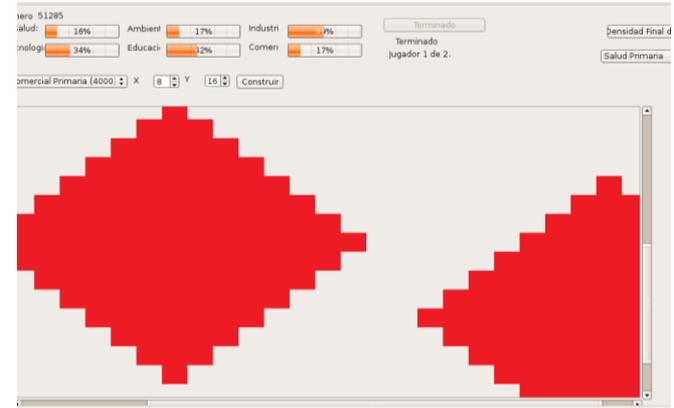
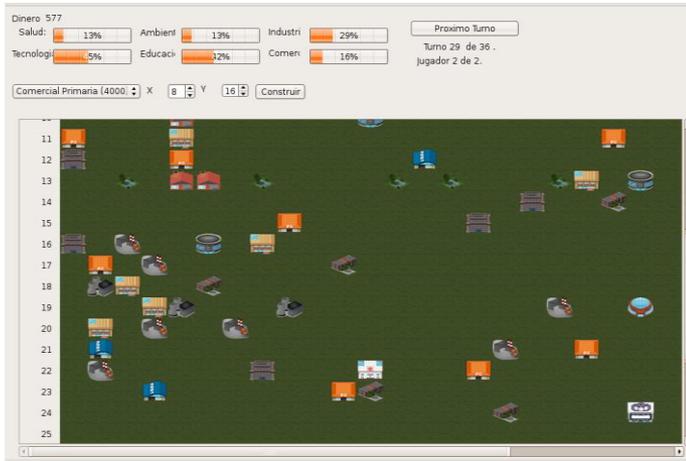
- Procesos que emergen posibilitan mayores niveles de calidad de vida en la población vinculados, entre otros. a:
  - Recolección de basura
  - Transporte publico y circulación del transito
  - Espacios públicos
  - Seguridad ciudadana



**Requiere muchas interacciones (participación ciudadana) y retroalimentaciones en los procesos de toma de decisión**

# Metrópolis

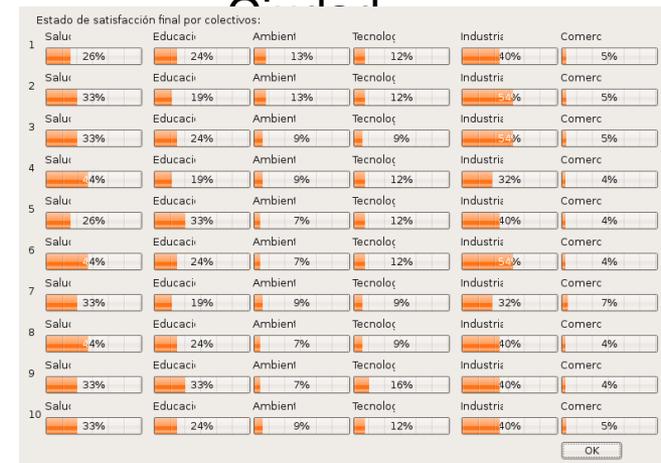
## Emergencia de patrones urbanísticos



Densidad de Instituciones de Salud en la

Estudio de patrones de ciudad particulares debido a necesidades específicas de los agentes

- Agente 1: con dificultades en la educación, industrialista e hipocondríaco.
- Agente 2: hipocondríaco, ambientalista, ahorrador y autodidacta.

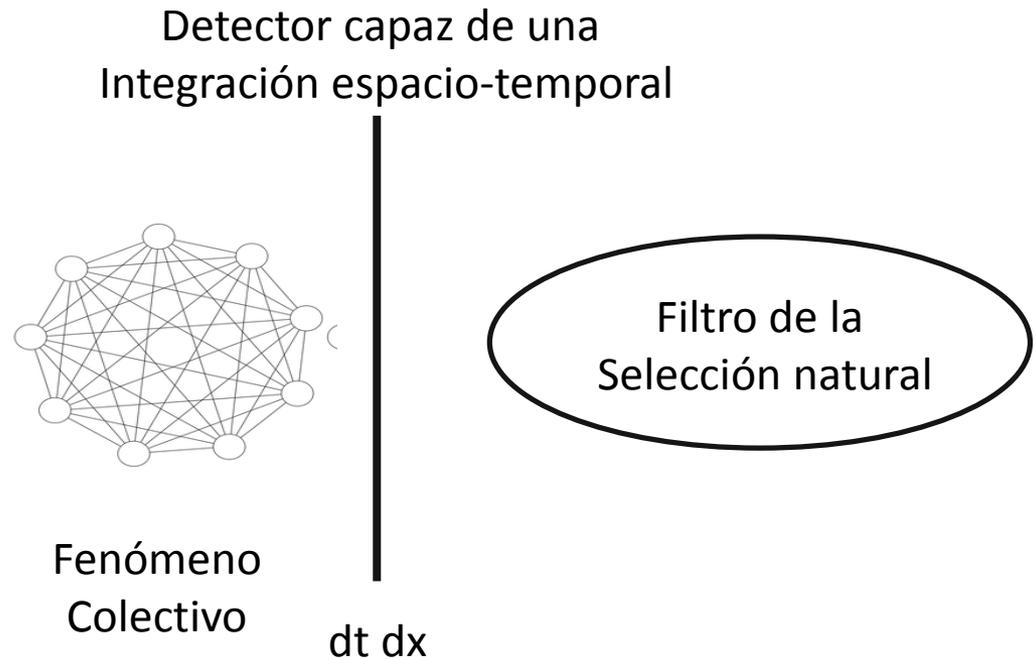


Juego Culminado

# Emergencia y Biología

**La biología es quizás una de las áreas donde más naturalmente se comprende la emergencia.**

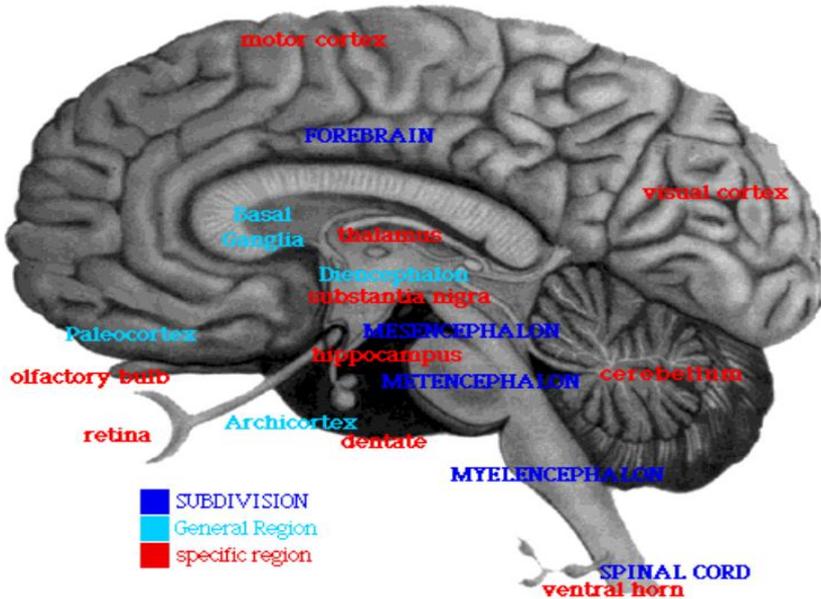
- Los biólogos han señalado la necesidad de la caracterización biológica a diferentes niveles: genes, células, órganos, organismos y sociedades.
- La emergencia ha permitido dar explicaciones a la biología sobre diferentes aspectos de los organismos vivos: sus comportamientos, sus organizaciones, sus orígenes, sus evoluciones.



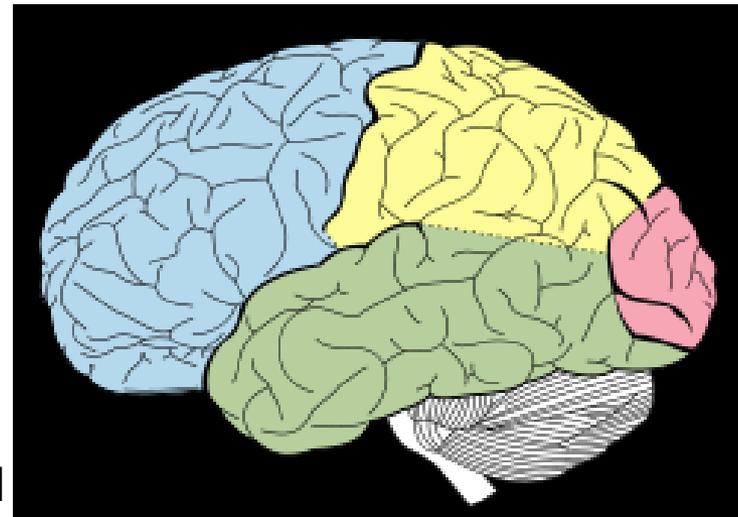
La emergencia como producto del proceso adaptativo de las especies

# El cerebro

- $10^{11}$  Neuronas (procesadores)
- Poder desconocido
- 1000 – 10000 conecciones por neurona



Lobulo frontal  
Lobulo temporal



Lobulo Parietal  
Lobulo occipital

# Emergencia e Internet

## Es inteligente la web?

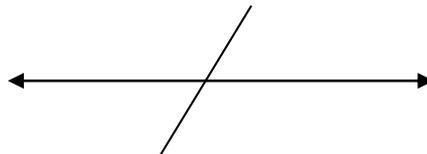
- Cada vez más la Web interconecta a seres conscientes

*La inteligencia  
requiere tanto  
conectividad como  
organización.*

- Portales y buscadores surgen por desorganización de la Web

**Internet**

- Exceso de información.
- Desorganización de la información.



**Cerebro humano**

- Información organizada para hacer algo.
- Organización dirigida a unos fines.

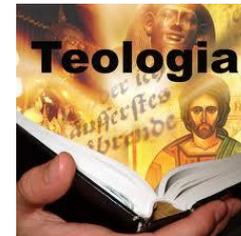
# Emergencia e Internet

- Web genio con la conexión y pésimo con la estructura
- Pero ya empiezan a aparecer macro-patrones:
  - Redes sociales, listas de interés, etc.
  - Están yendo desde bolas de nieve a barrios

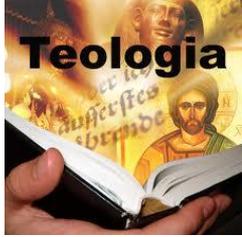


# Emergencia y Teología

Algunos autores han argumentado que Dios es el iniciador de la emergencia



- Clayton afirma que Dios es un sistema emergente que está más allá de la consciencia humana.
- La razón para postular eso es:  
"puesto que la actividad de razonamiento no puede explicarse por sí sola"
- Así, Clayton argumenta que el naturalismo no puede dar cuenta de todo.



# Emergencia y Teología

Clayton sostiene que la ciencia no será capaz de entender la conexión entre la mente y el cerebro, hasta que la emergencia no sea tomada en serio

Relación entre la **evolución y la causalidad**,

- La influencia casual biológica,
- La idea de *causalidad inesperada/emergente*
- La causalidad divina.
- La causalidad evolutiva.

**"Dios orienta el proceso de emergencia mediante la introducción de nueva información (causalidad formal), y manteniendo un ideal que influye en el desarrollo, sin alterar los mecanismos de la evolución (causalidad final)**

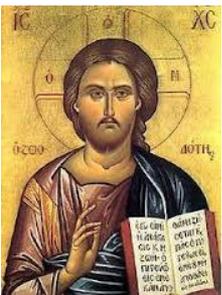
# Emergencia y Teología

- Una versión más compleja la ha propuesto el físico P. Davies.

**El indica que las leyes básicas de la física se combinan con las ambientales para dar lugar a la emergencia.**

- No hay supervisión divina de los detalles de la evolución, pero, dice Davies

**"... Dios 'inicialmente' selecciono las leyes del universo, ... Dios fue capaz de otorgar una rica creatividad al cosmo, ...para canalizar, estimular y facilitar la evolución de la materia y la energía que conduce a una mayor complejidad organizativa".**



# Emergencia en el Reino Animal

## Colonias de Hormigas

Búsqueda de Alimento

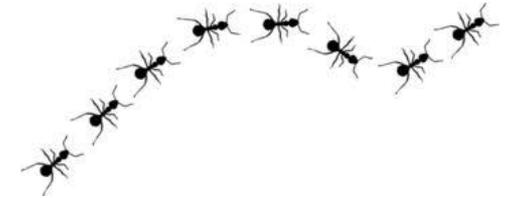
División del trabajo

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

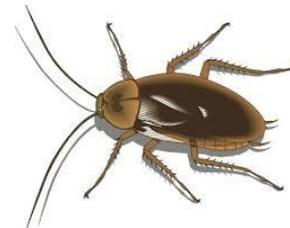
Búsqueda del Néctar

Comportamiento Defensivo

Construcción de Panales

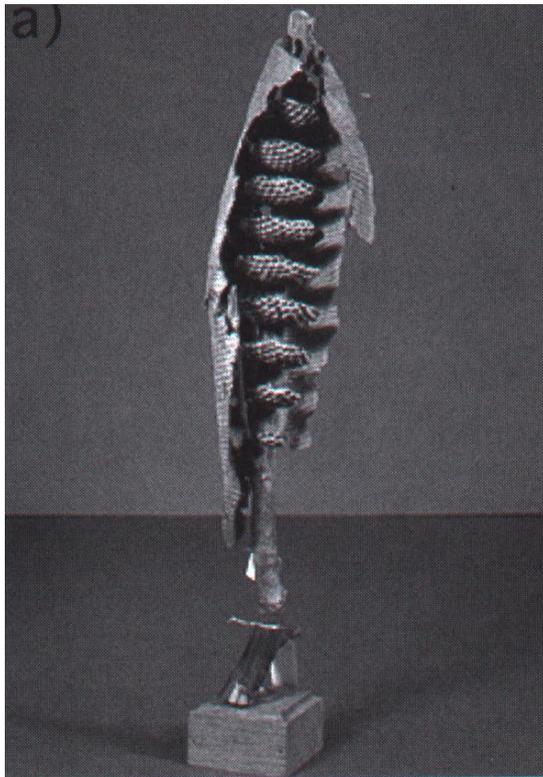


## Cucarachas



# 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.



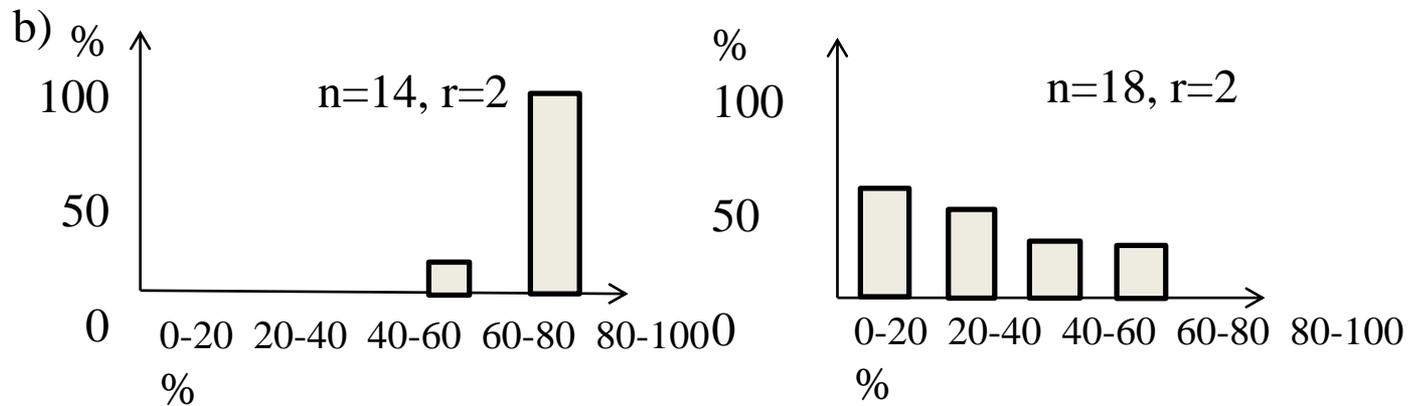
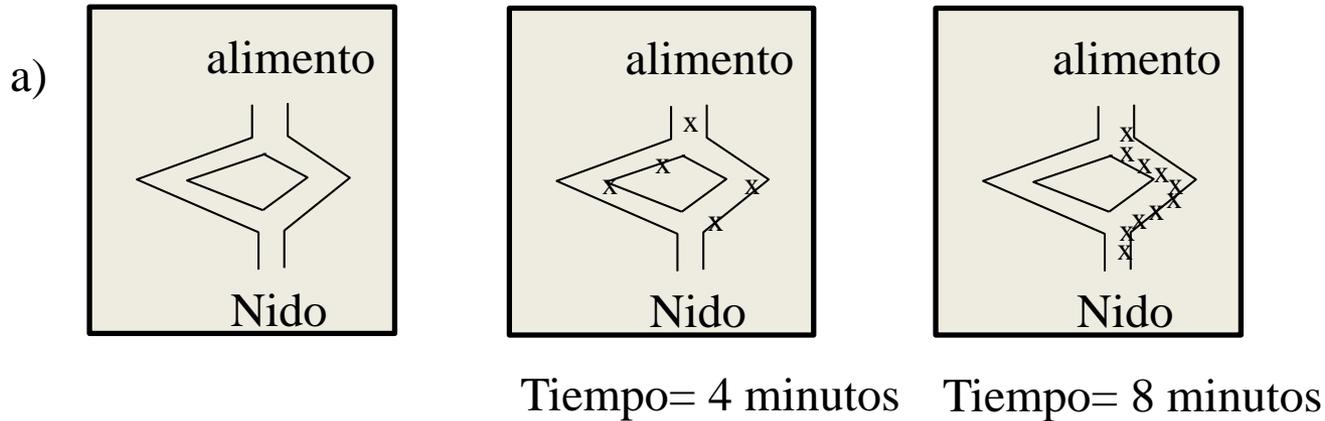
La lógica de creación y seguimiento de rastros es la fuente inspiradora de muchos modelos artificiales

# 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



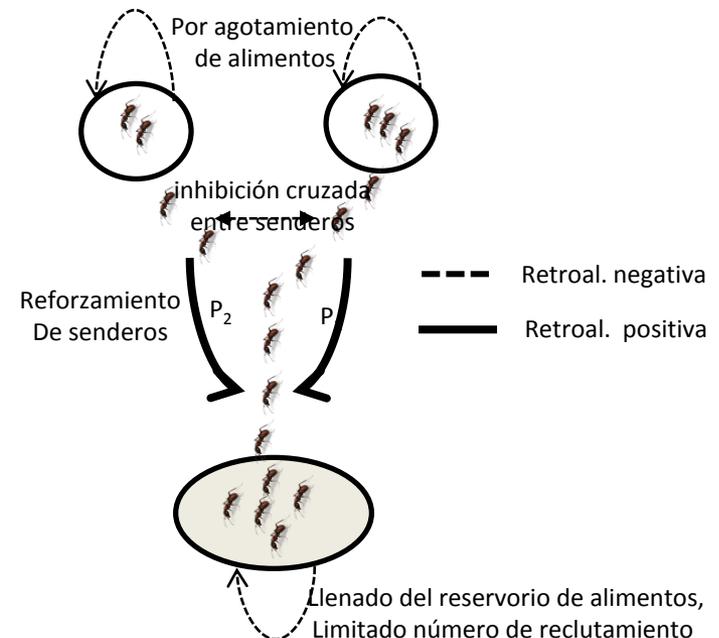
- a) Experimento donde una colonia de Hormigas *Linepithema humile* selecciona la rama corta después de 8 minutos de que el obstaculo fue colocado.
- b) Porcentaje de hormigas que seleccionan la rama más corta de  $n$  experimentos. La rama más larga es  $r$  veces más larga que la rama corta.

# 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

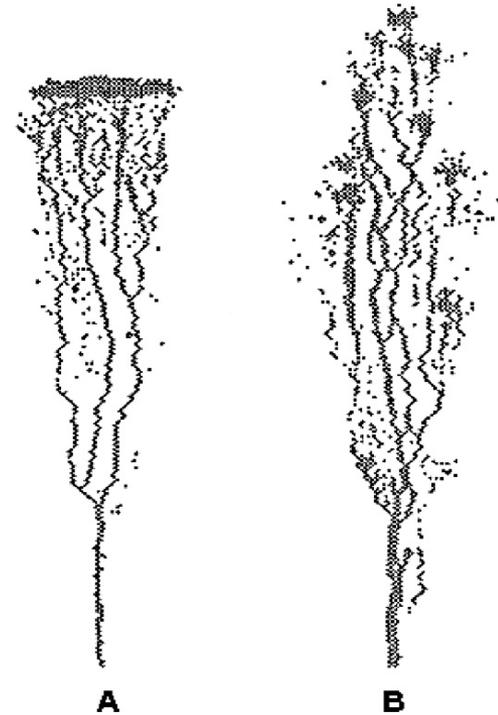
Ejemplo del efecto de las retroalimentaciones positivas y negativas en las colonias de hormigas buscando alimentos



# Emergencia en el Reino Animal

## Algunos aspectos interesantes del modelo no lineal presente en las hormigas

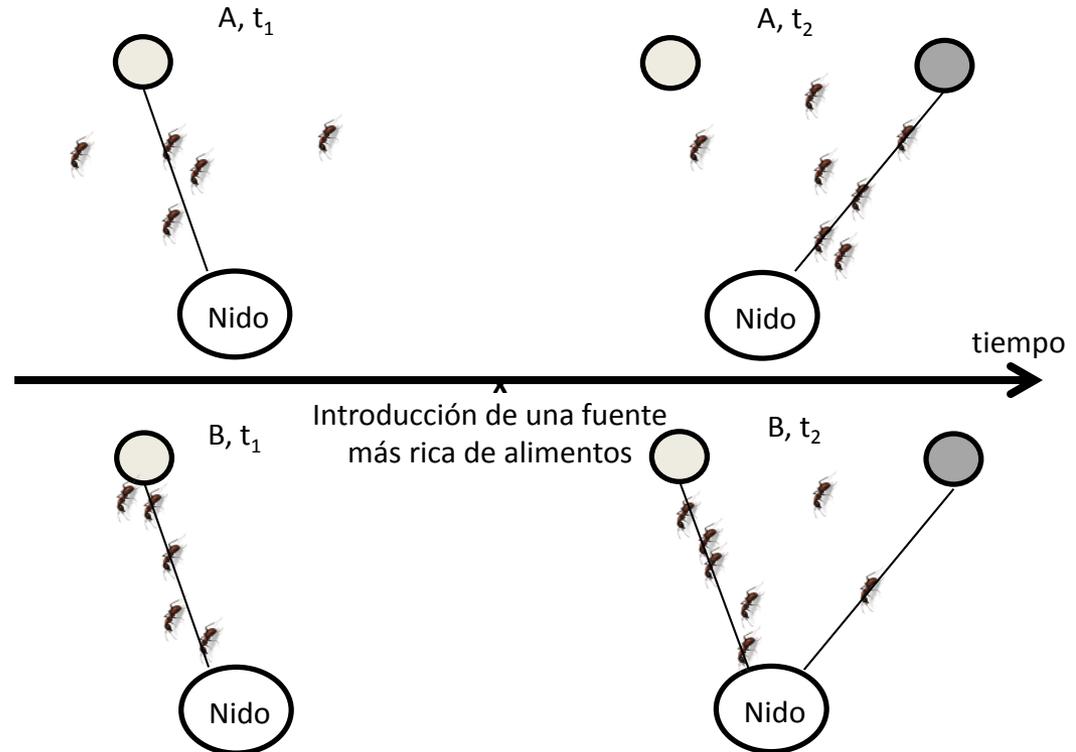
- Las fluctuaciones en las formaciones de patrones
- El tamaño de la población
- La sensibilidad al ambiente



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



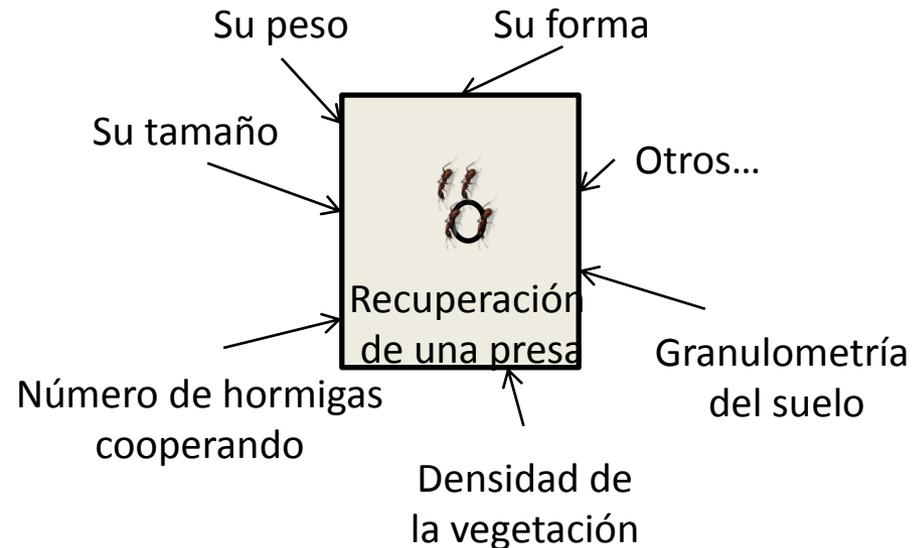
- ***El papel del ruido***

- 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

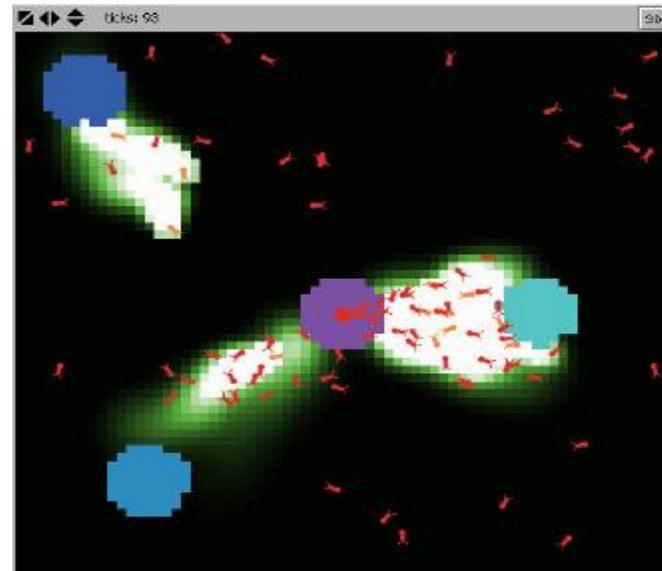
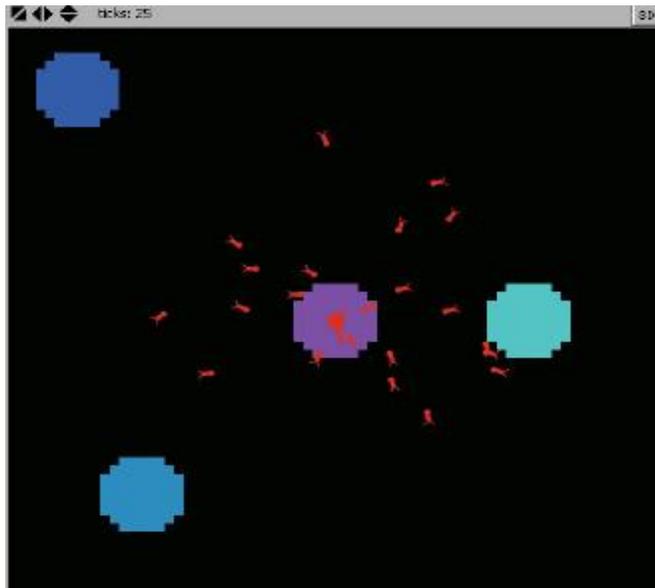
# Ideas Claves

- 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)



# Comportamiento de las Hormigas

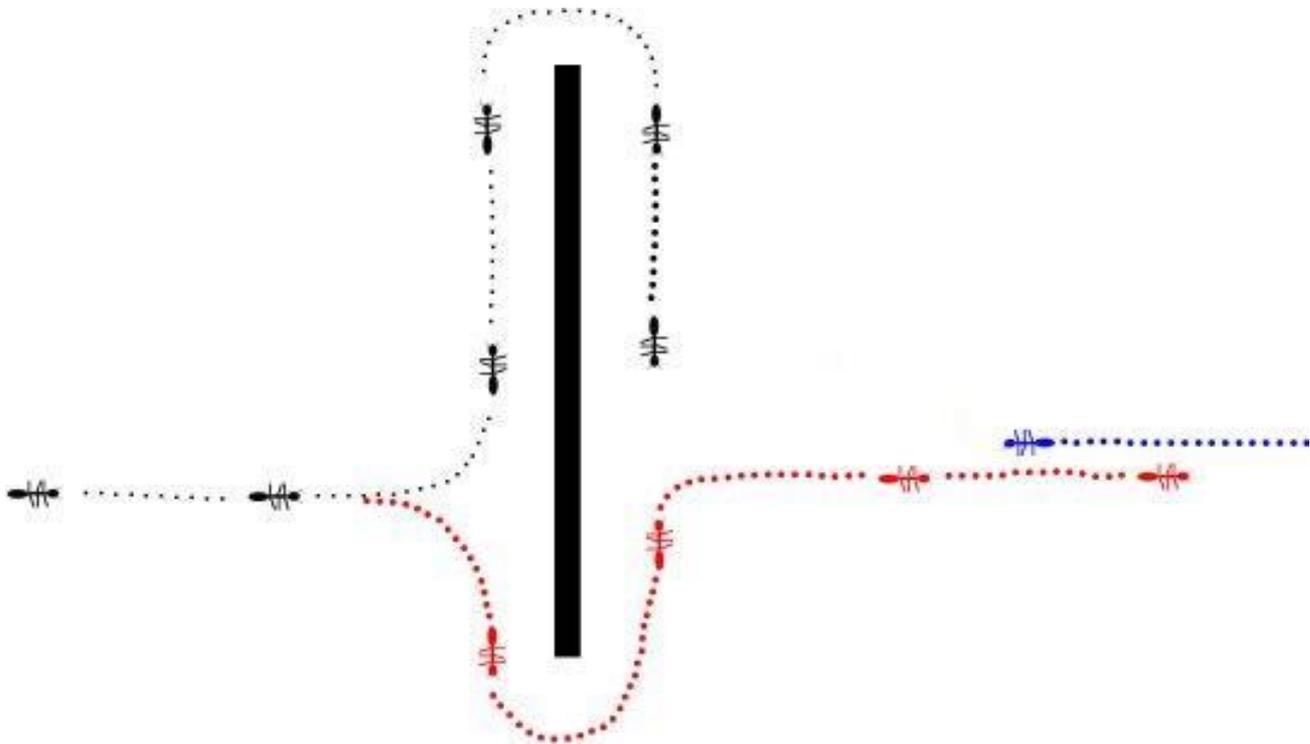


# Comportamiento de las Hormigas

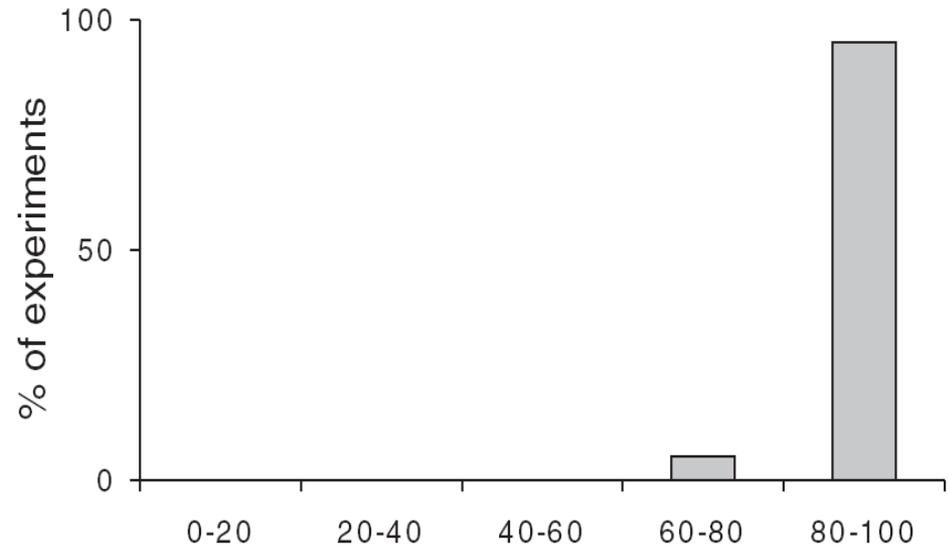
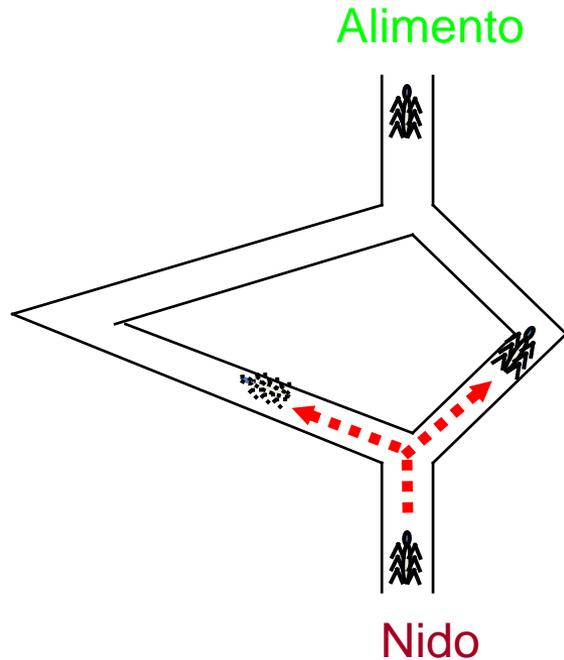
- Conexión entre la microconducta de hormigas individuales y el comportamiento general de las colonias
- **La reina no es una figura con autoridad:** pone huevos y es alimentada y cuidada por las obreras, pero no decide lo que hacen ellas
- Las hormigas que llevan a la reina a su refugio no lo hacen 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

# 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:

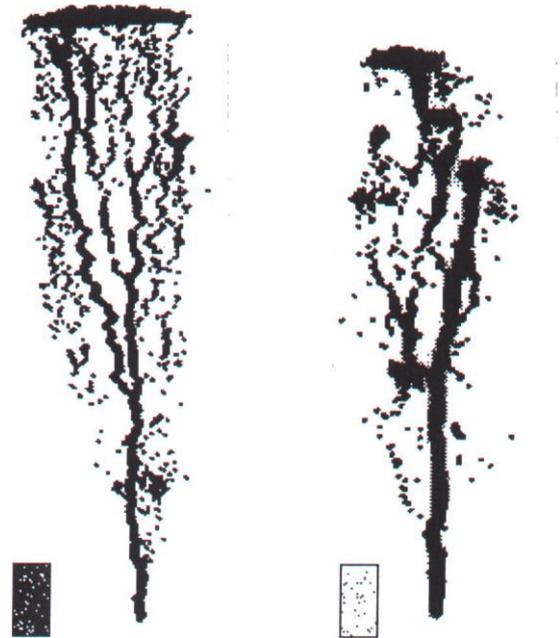
$$P_i = \frac{(4 + F_i)^2}{(4 + F_i)^2 + (4 + F_d)^2}$$

# 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,

$\eta_{rs}$ : inverso de la distancia  
 $\beta$  y  $\alpha$ : 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*

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

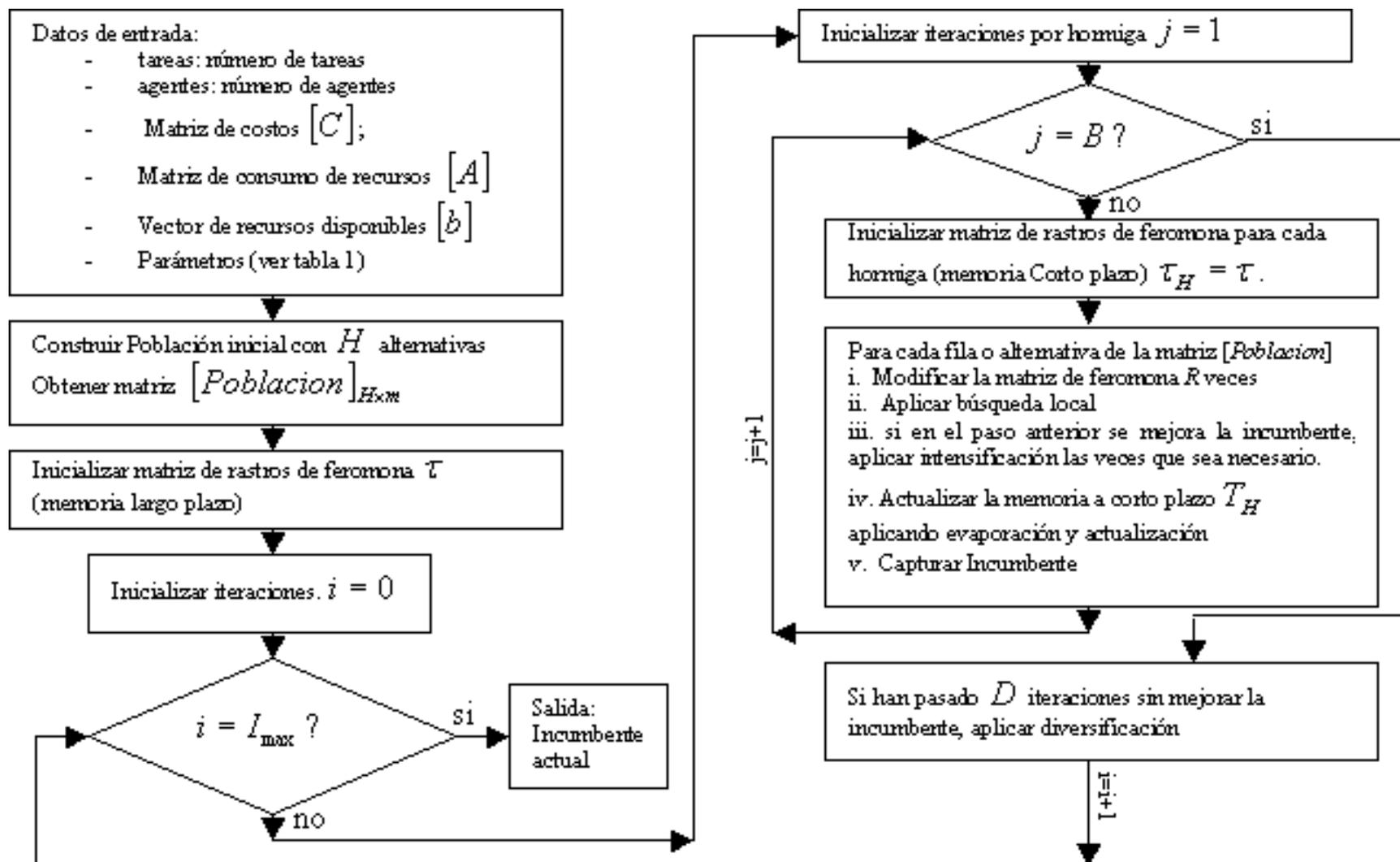
## Extensiones

- 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

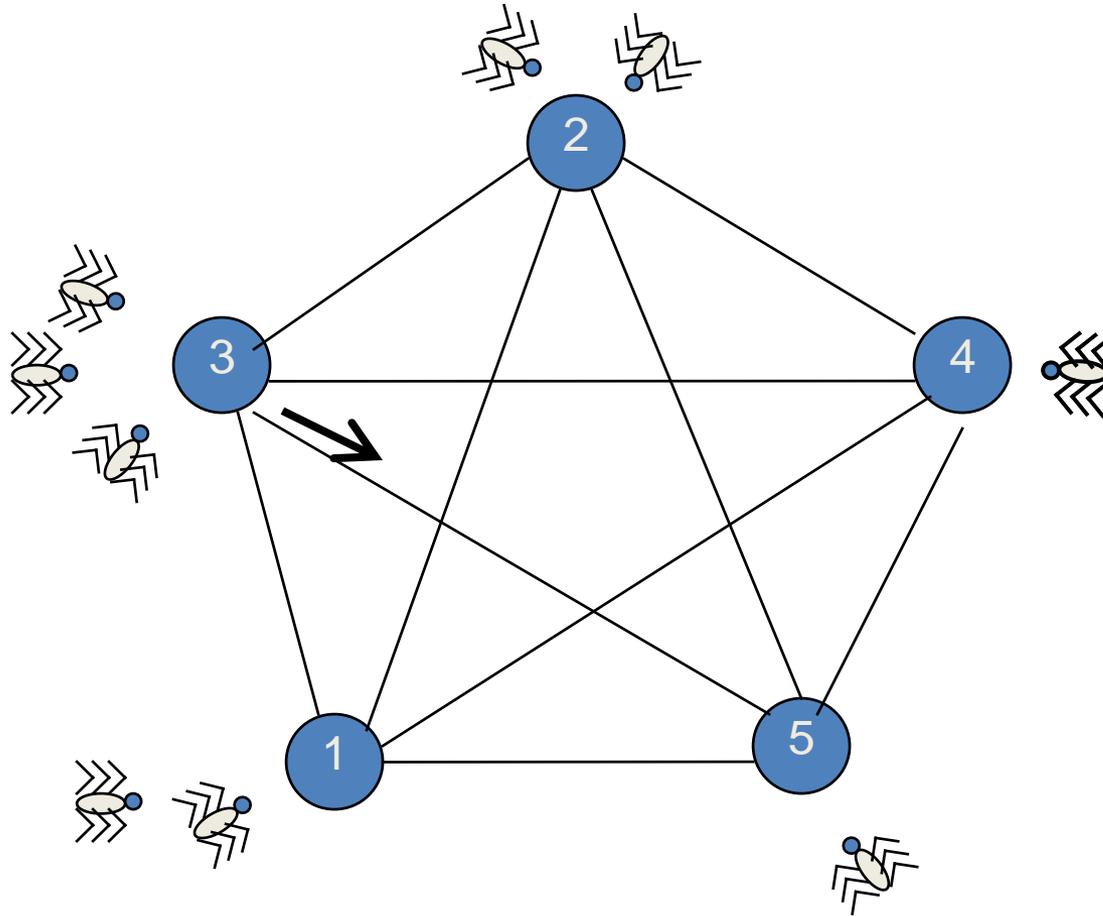


# Aplicación

## Ejemplo clásico el problema TSP

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

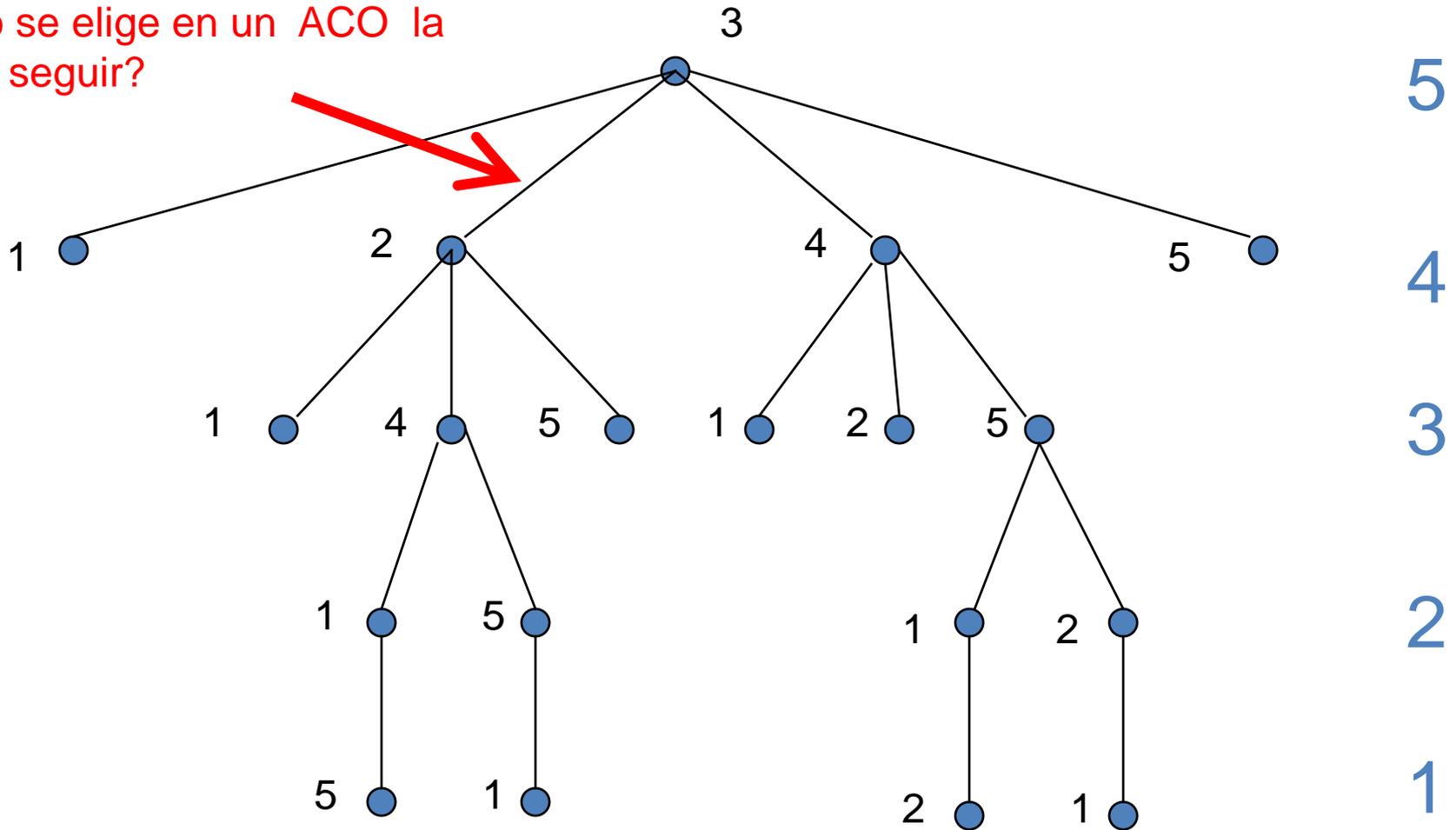
# ACO aplicado a TSP



# 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

$\tau_{ij}$  y  $\eta_{ij}$

# 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 ( $\rho$  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 ( $\tau$ )

- 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  $\tau$**  dado que incide directamente en las componentes a seleccionar.

# 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

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

$\delta r$ : parámetro de reforzamiento

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

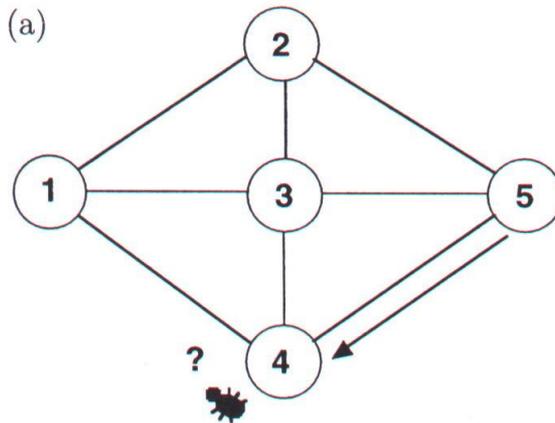
# Aplicación en Problemas Dinámicos (Enrutamiento)

- Calculo de  $\delta r$

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

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*

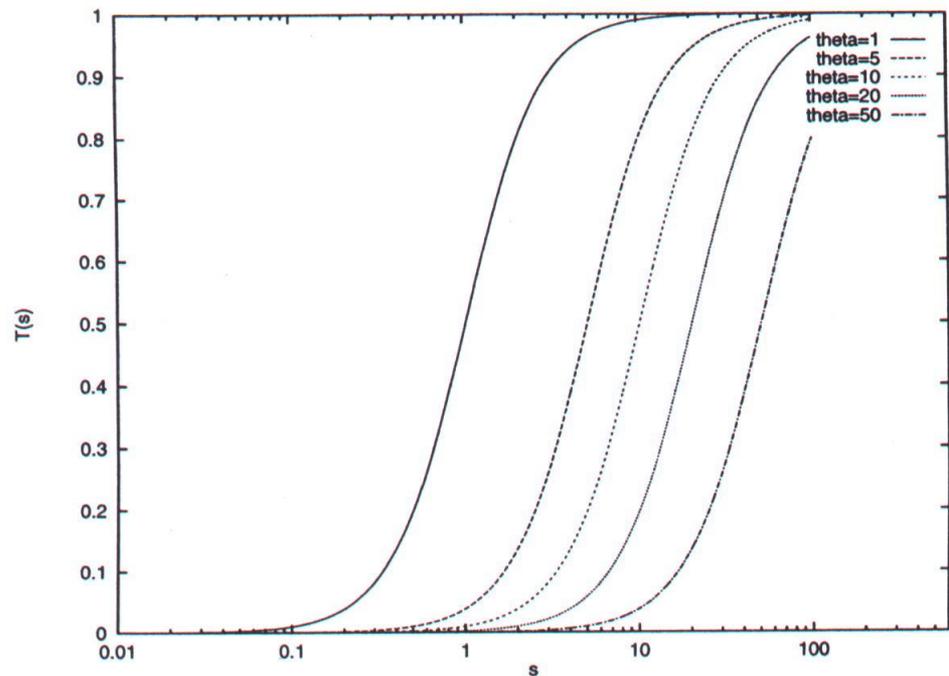
# Umbral de Respuesta

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

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

$\theta$ : 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 ( $N = \sum n_i$ )

$\alpha_j$ : valor escalar que mide la dificultad de la tarea  $j$

$\delta_j$ : 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  $\theta_{ij}$  es

$\beta$ : tazas de aprendizaje

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

$\lambda$ : 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  $j$

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

$\beta, \alpha$ : coeficientes positivo

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

- Actualización del Umbral de Respuesta

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

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

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

$\xi_0, \xi_1$ : coeficientes de aprendizaje

$\lambda$ : coeficiente de olvido

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

# 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:

- 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.  $N$  forrajeros de la colonia,  $E$  trabajadores que exploran la zona de forrajeo;  $X_i$  trabajadores alimentándose en la fuente  $i$ ; y  $N - E - \sum_i X_i$ , trabajadores en espera en el nido

- En el caso de reclutamiento por masa, las hormigas que reclutan refuerzan el rastro, en consecuencia,  $F_i$  (fracción hormigas que llegan a la comida) puede ser representada por:

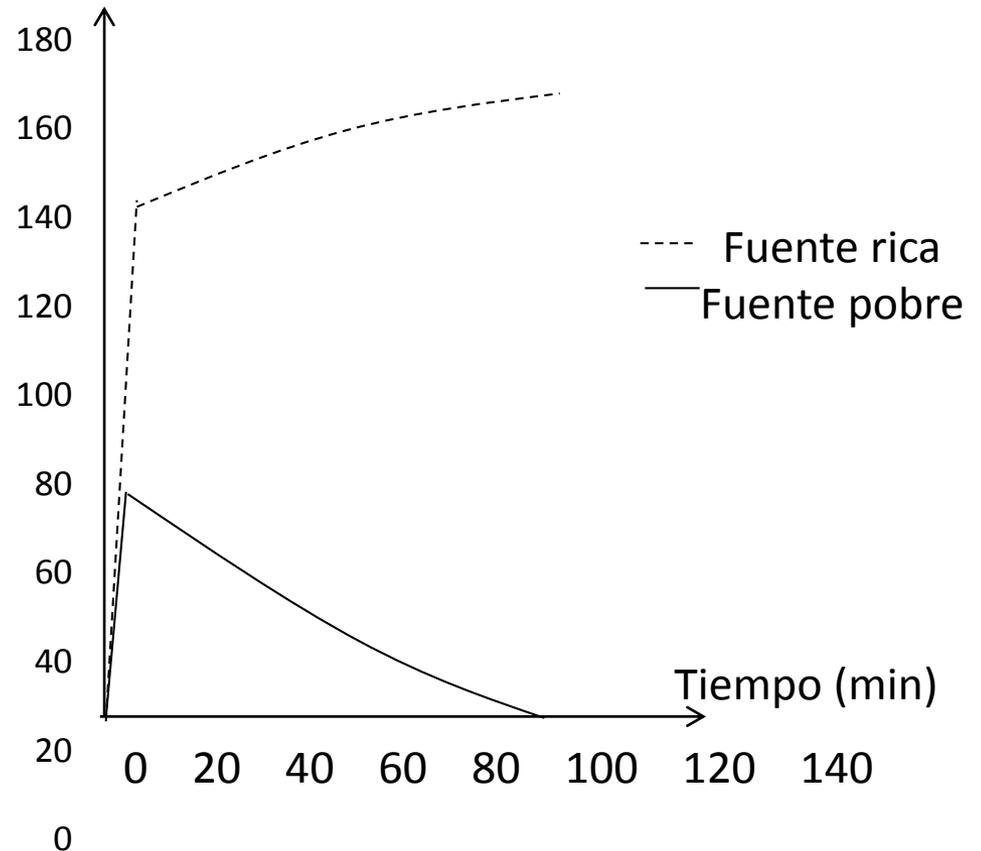
$$F_i = \frac{g_i + X_i^2}{h_i + X_i^2}$$

$g_i$  y  $h_i$  constantes que 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



# 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

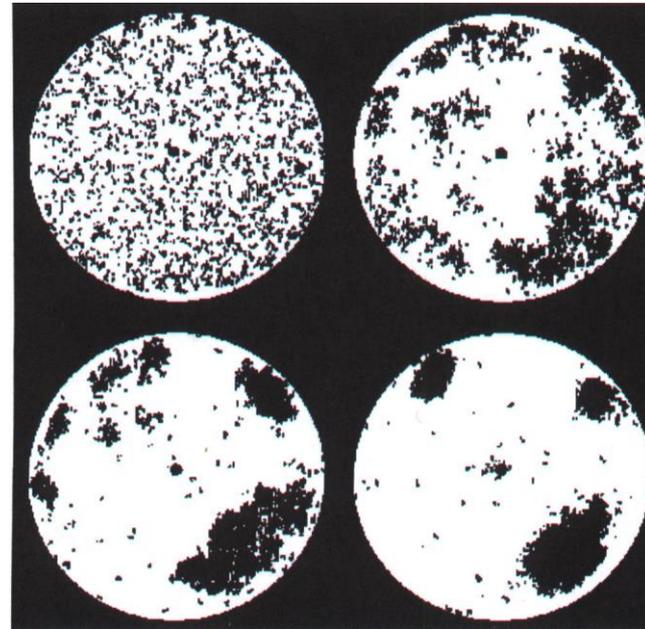
- **Agrupar cadáveres**
  - cadáveres distribuidos aleatoriamente
  - Retro-alimentación positiva
    - => feromona de agregación
- **Ordenar larvas**
  - Trabajadores depositan larvas según tamaños:
    - Larvas grandes en la periferia y pequeñas en el centro
  - Diferente cantidad de espacio es asignado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

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

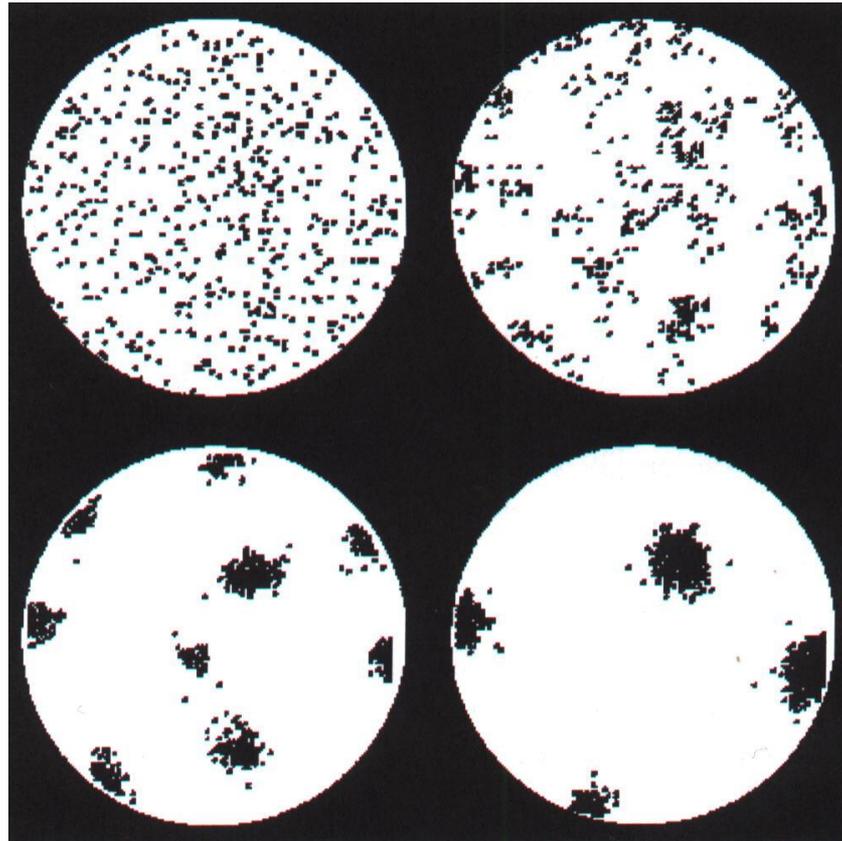
- Probabilidad para un agente con carga deposite un objeto

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

$K_1, K_2$  : 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

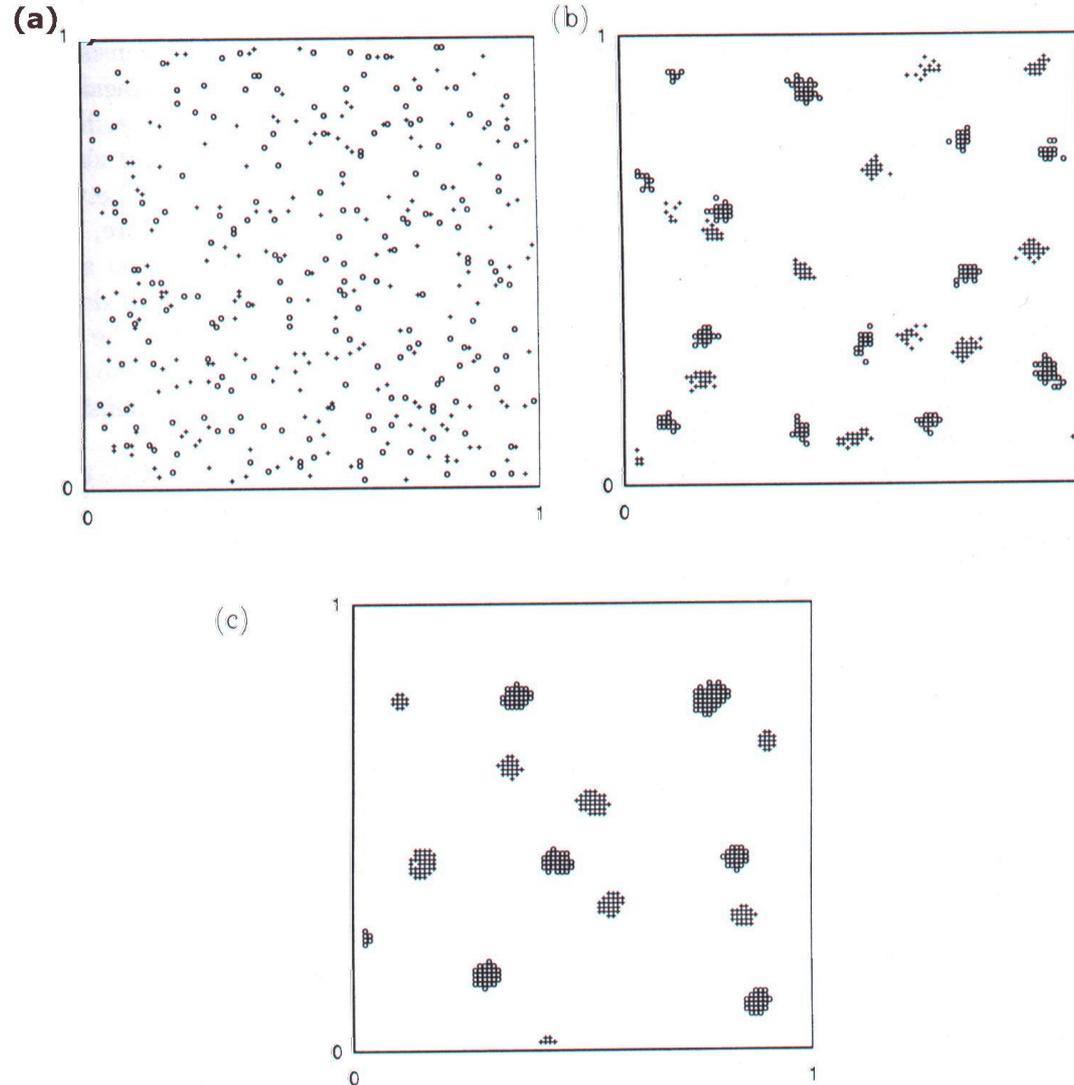
$$P_R(A) = \left( \frac{K_1}{K_1 + f_A} \right)^2$$

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

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

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

# 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  $o_j$

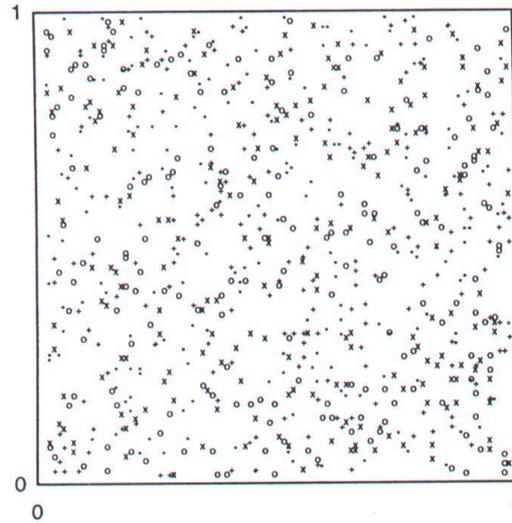
(distancia inter-grupo >> distancia intra-grupo)

$\alpha$ : factor de disimilaridad       $r$ : sitio donde esta agente

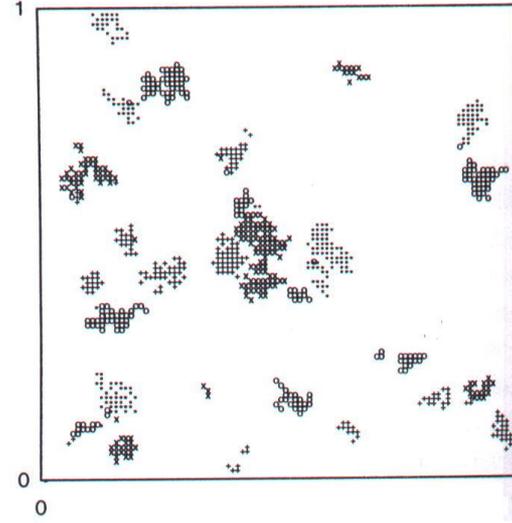
$s^2$ : sitios alrededor de  $r$  ocupados por objetos parecidos a  $o_i$

# Aplicación: Análisis de Datos

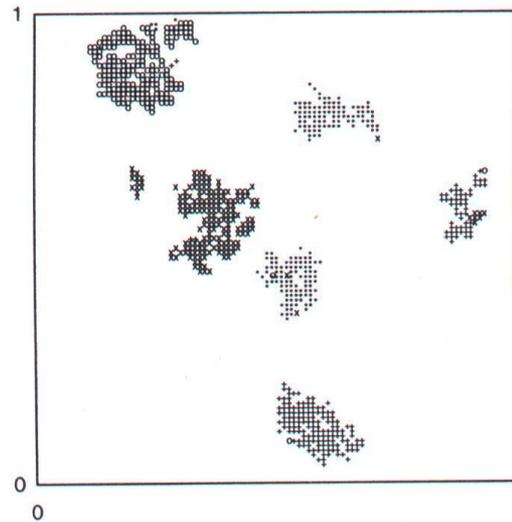
(a)



(b)



(c)



# 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
  - Numero 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:** mas grande es un grupo, este es mas atractivo para atraer a mas objetos
- **Elementos de reclutamiento, coordinación, orientación y forma:**
  - Ventana de concentración (umbral)
  - Feromona de construcción de la reina (plantilla químico)
  - Estimulo Táctil y 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

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

$\gamma$ : intensidad de atractividad

$D_C$ : constante difusión

$k_1$ : taza de descarga por termita

$\Phi$ : 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     $\lambda_x, \lambda_y$ : 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

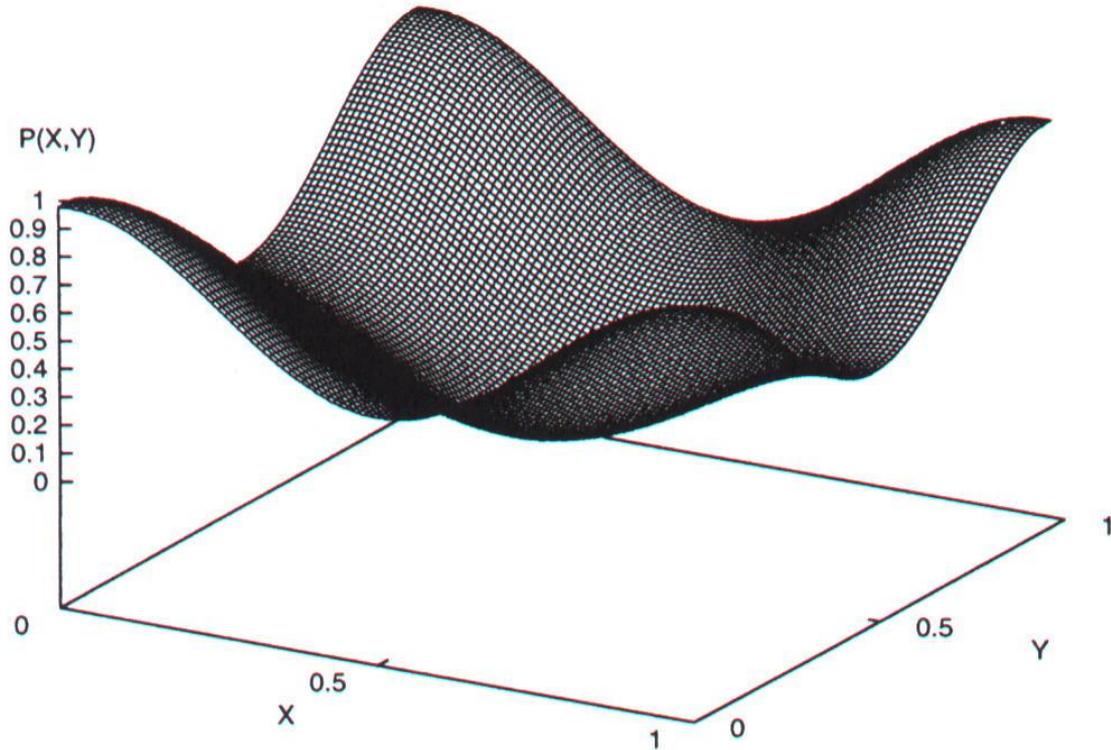
- Convierte a problemas anteriores (Partición de Grafos y Análisis de Datos) parametrizables
- Para introducir plantillas
  - $P_t(x,y)$ : probabilidad plantilla
  - $x,y$ : coordenadas actuales del agente
  - Espacio agrupamiento  $[0,1]*[0,1]$

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

$a, b$ : parámetros a optimizar

$\sigma^2$ : paso de la plantilla

# Aplicaciones

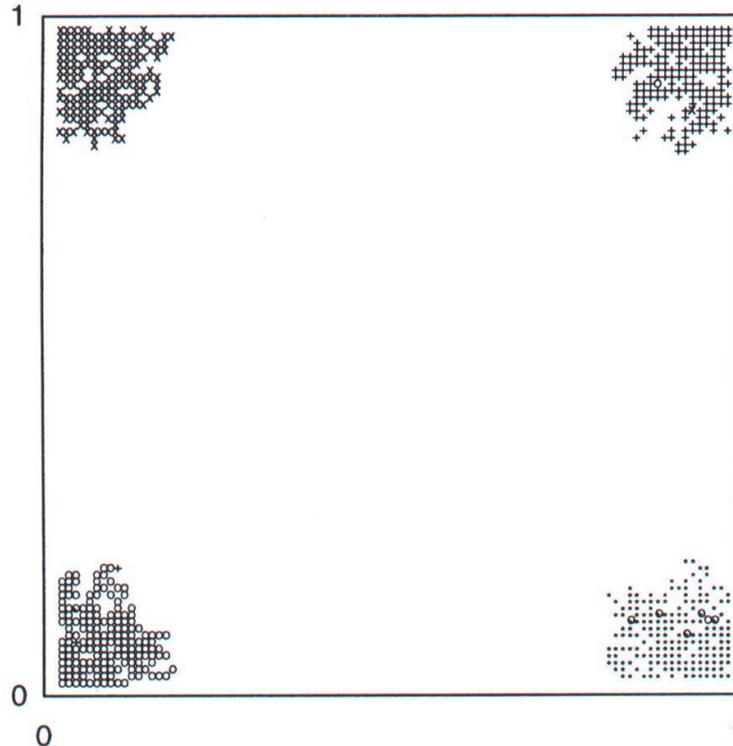


Función de la plantilla  $P_t(x,y)$  para  $a=1.9$ ,  $b=0.5$  y  $\sigma^2:0.1$

# Aplicaciones: Análisis de Datos

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

$r_i = (x_i, y_i)$



# 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

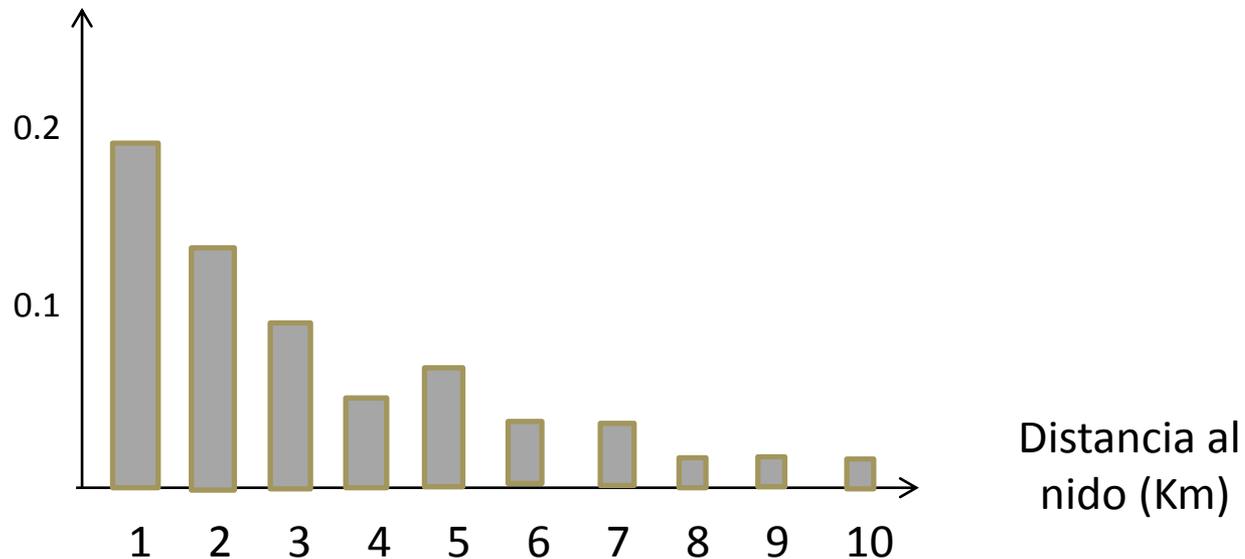
**algunas de las características que la asemejan a una entidad supraorganizacional:**

- *Analogías en la estructura de base.*
- *Analogía en la diferenciación de sus miembros.*
- *Analogía en los mecanismos evolutivos.*
- *Analogías en los principios organizacionales: una de ellas es la coordinación de las funciones, y 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.*

# Escogencia del sitio para construir el Nido

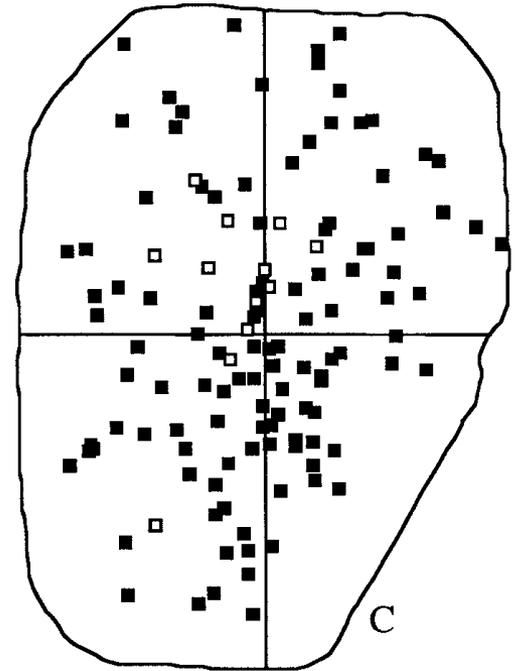
el fenómeno de la danza en un enjambre de abejas, para conseguir un nuevo nido en un bosque.

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. **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.

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

- *Debe alcanzar una decisión correcta.*
- *Debe lograr una decisión rápida.*
- *Es preciso llegar a una decisión única.*

# Escogencia del sitio para construir el Nido

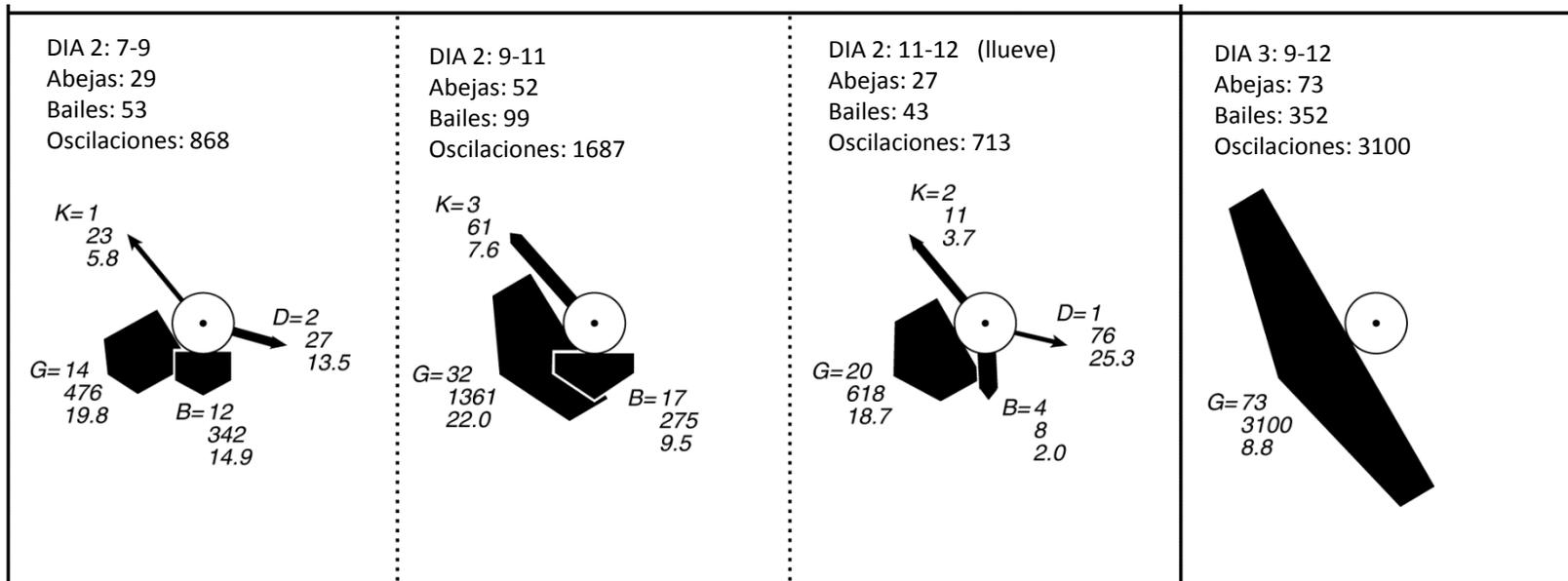
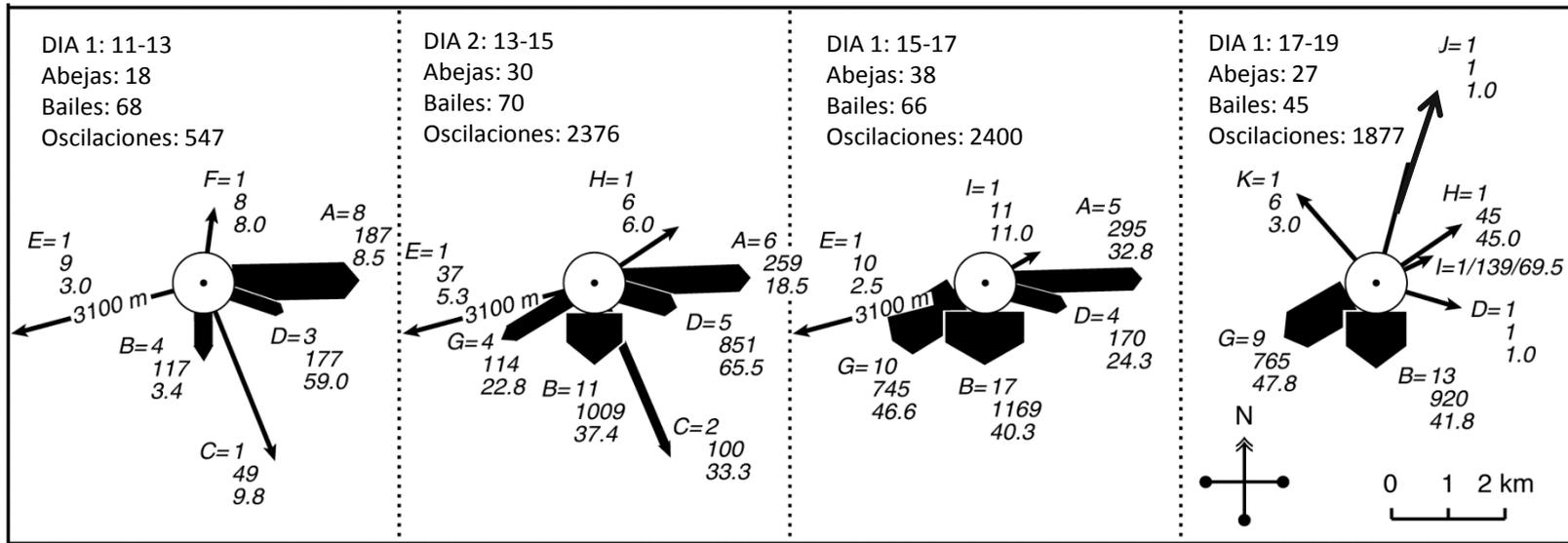
Cada coalición de exploradoras comprometidas con un sitio en particular, compite con otras coaliciones para anexar exploradoras no comprometidas. Este proceso de toma de decisiones, puede ser conceptualizado por el par de ecuaciones propuestas por Winsor, en su *teoría de la competencia ecológica*

$$dN_1/dt = r_1N_1U - a_1N_1$$

$$dN_2/dt = r_2N_2U - a_2N_2$$

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*

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

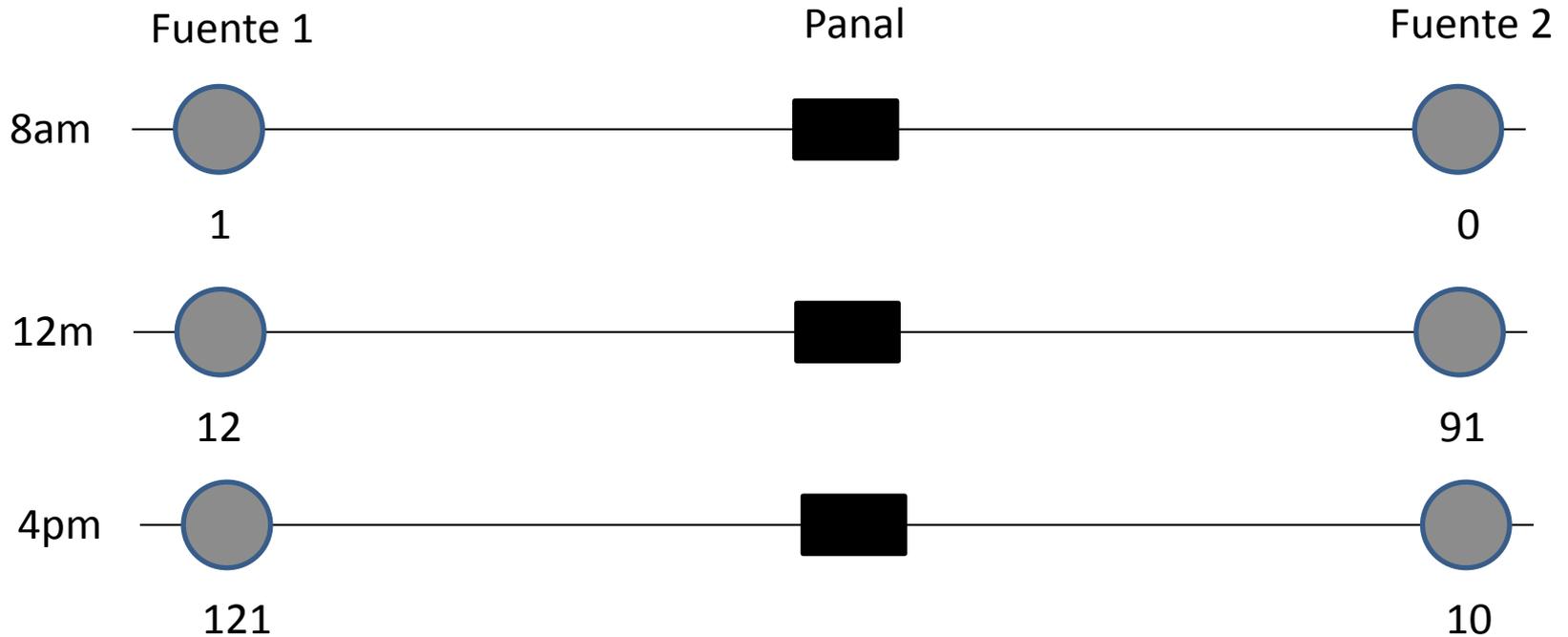
$$\frac{dX_1}{dt} = a_1 X_1 f_1 (N - X - E) - b X_1 + c E$$

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

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

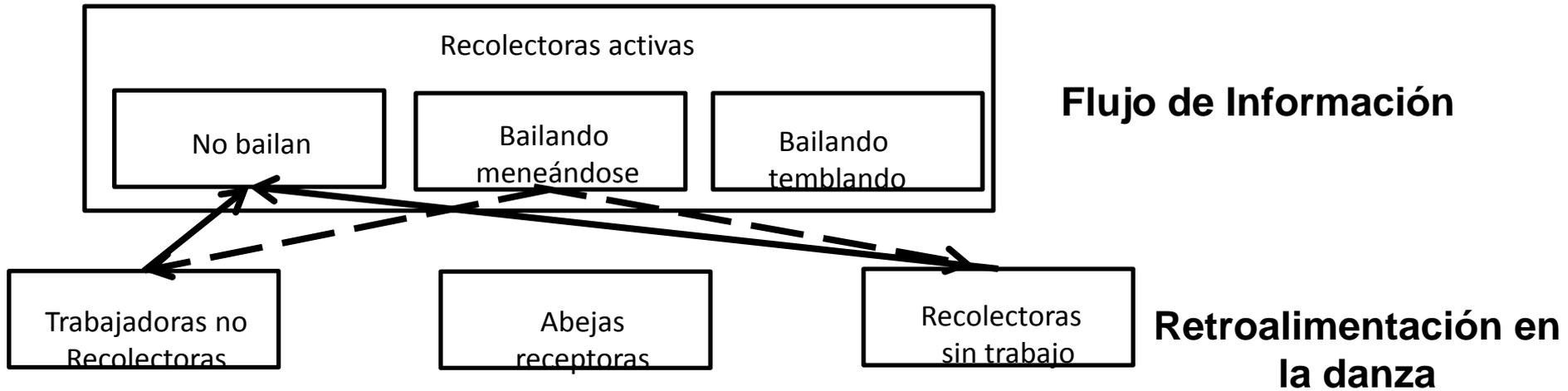
Donde,  $N$  es el número de trabajadoras en la colonia,  $E$  la fracción de trabajadoras que pierden las pistas que conllevan a hacer algunas de las tareas, y por consiguiente, se mantiene explorando,  $X_i$  el número de trabajadoras asociadas a la tarea  $i$  ( $X = \sum_i X_i$ ),  $a_i$  la tasa 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*

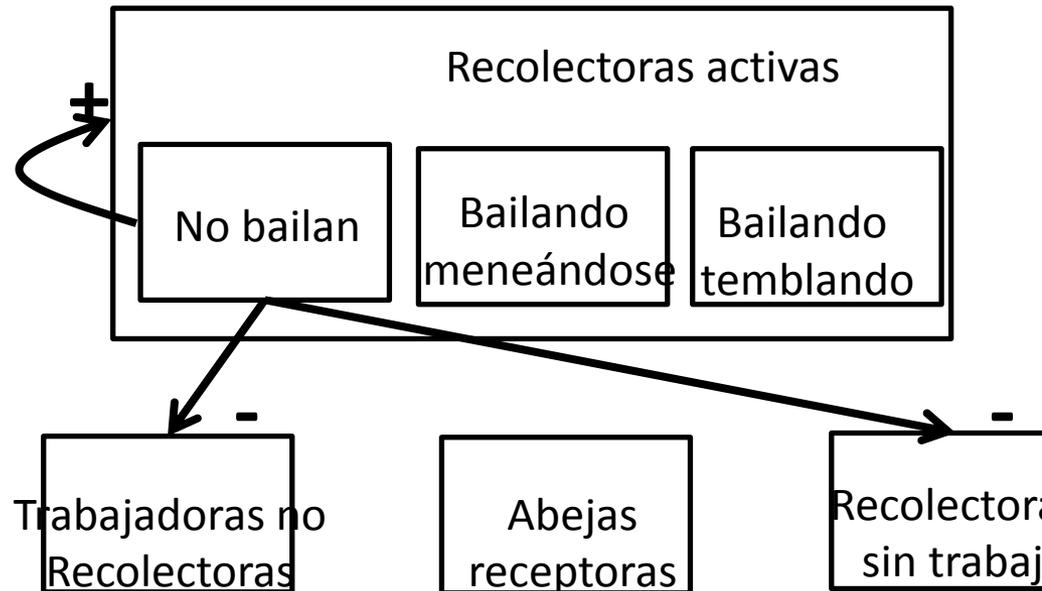


Patrón de explotación selectiva de fuentes de néctar. El número debajo de cada fuente, denota el número del grupo de abejas que han visitado a cada fuente de alimentos, media hora antes a la hora que se muestra a la izquierda. Las fuentes se encuentran a 400 metros de la colmena, y son idénticas, excepto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

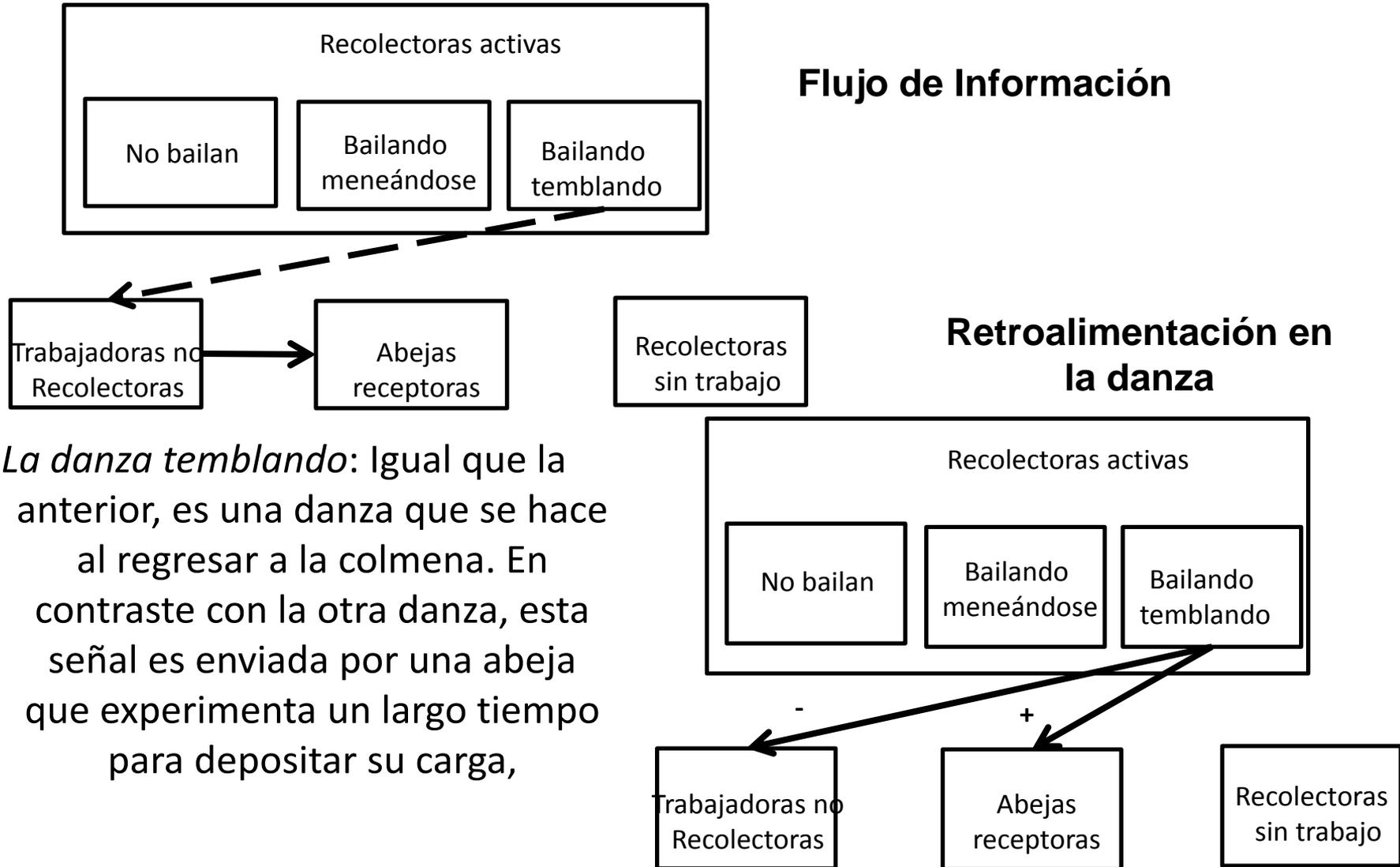
# Búsqueda de Néctar



*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



# 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.

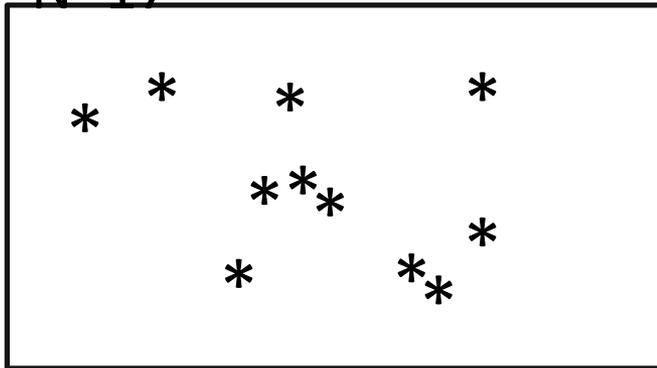
$$P_i = \frac{\gamma_i (a + bN_i^2)}{a' + N_i^2} \quad \forall i = 1, 2$$

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

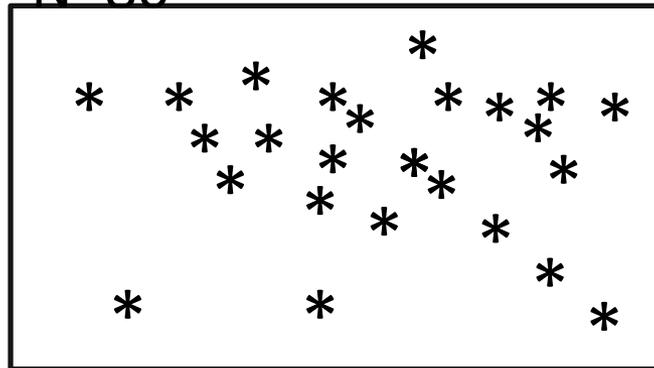
# Comportamiento Defensivo

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

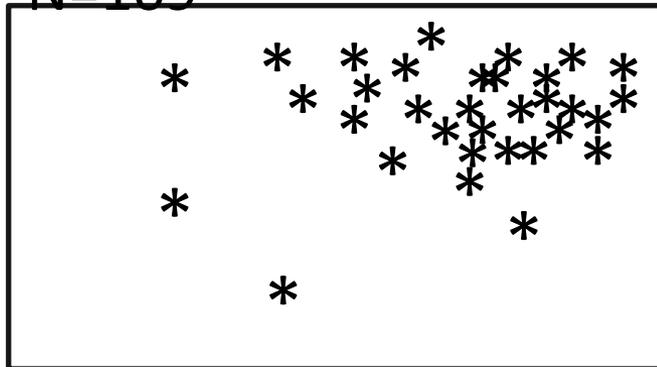
N=17



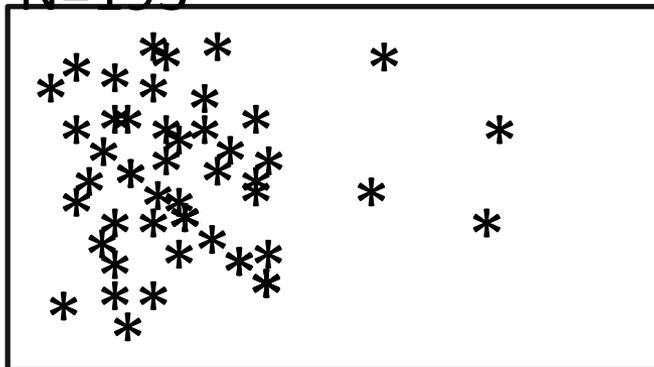
N=80



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

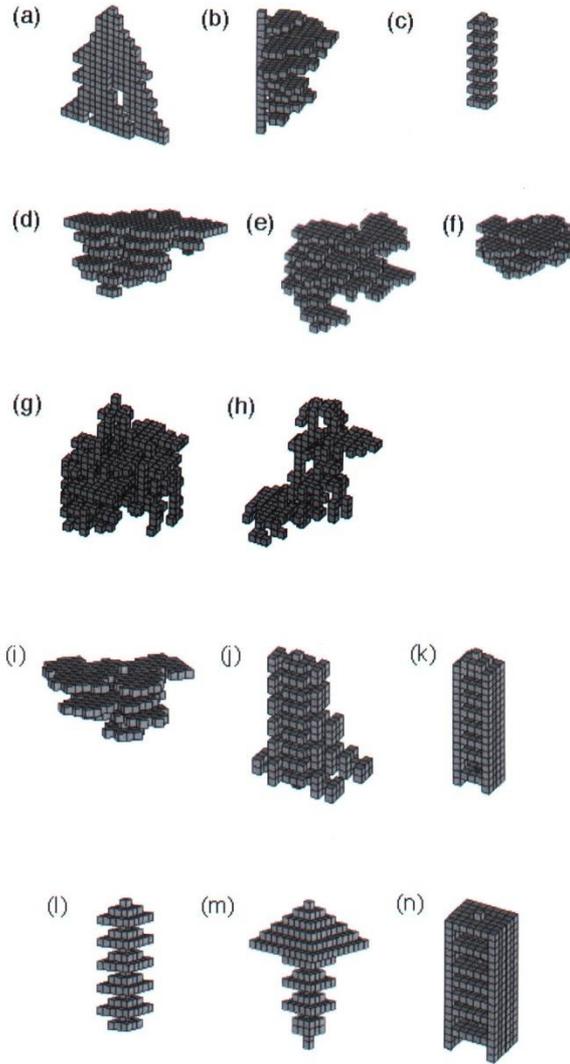
# Construcción en las avispas

- 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

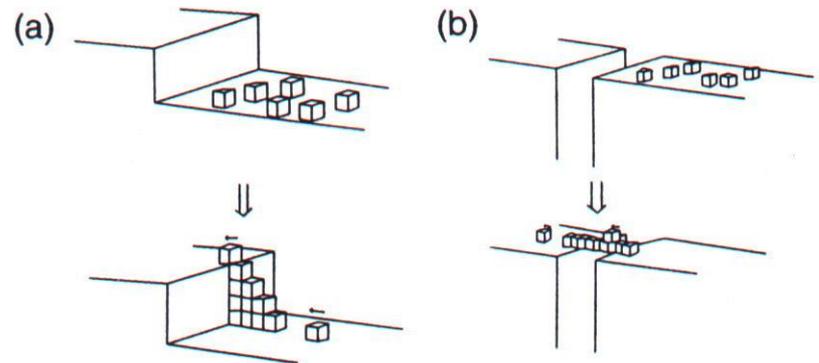


# Aplicaciones Auto-Ensamblaje

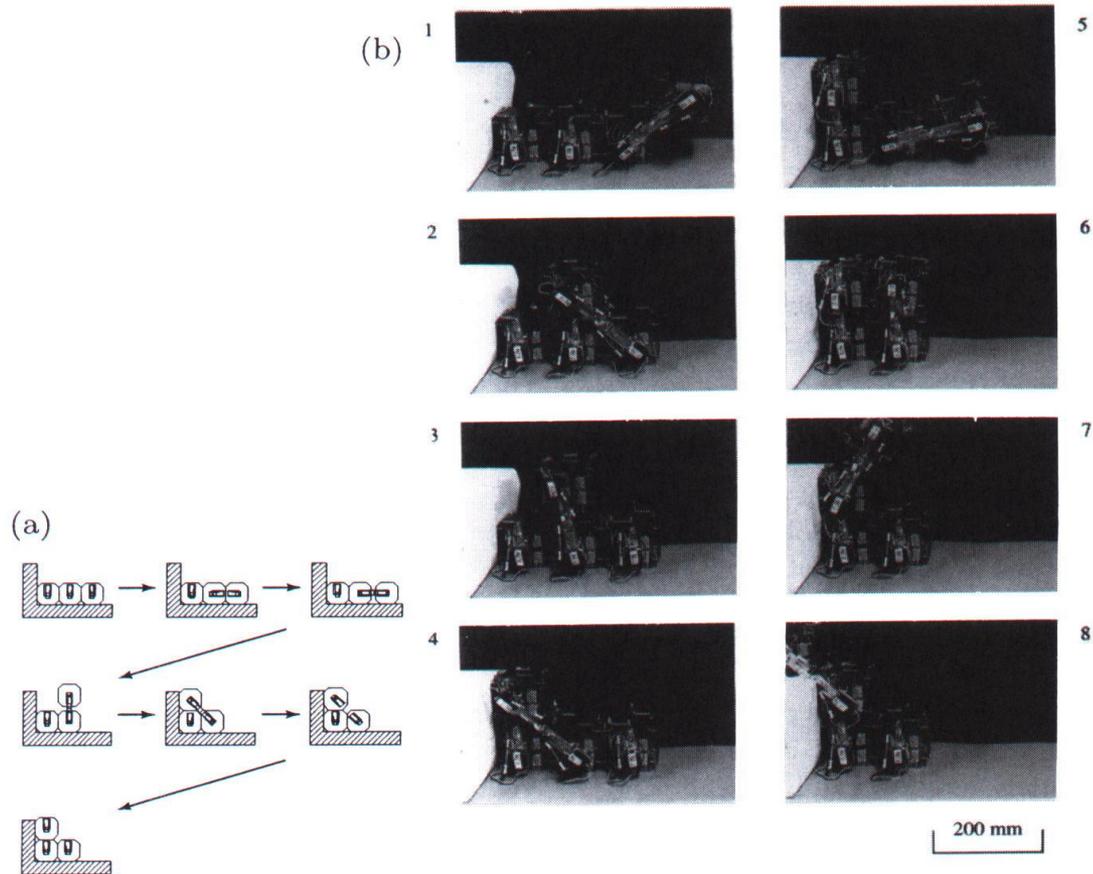
- Dado un cuerpo deseado, encontrar el algoritmo que pueda generarlo bajo algunas restricciones materiales
- Mecanismos generativos basados en la computadora: el usuario toma algunos patrones desde todos los generados por el computador según que tan atrayente es
- Evolucionar exitosos sistemas de auto-ensamblaje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





# Se pueden lograr sistema artificiales emergentes como el de una colonia de hormigas combinando, entre otras cosas

- Retroalimentación positiva y negativa,
- Aleatoriedad estructurada,
- Interacciones entre vecinos (acera, no autopista) y
- Control descentralizado (todos los miembros aportan en cierta manera para el control del sistema global)





## *Características de una aplicación emergente*

- Proceso de retroalimentación
- Espacio de memoria compartida

**Interacción**

- Reglas locales de decisión
- Mecanismos completamente distribuidos

**Multiples  
Procesos**



## Proceso de retroalimentación

- Subyace el mecanismo de aprendizaje.
- Las formas de aprendizaje pueden ser múltiples
- Es la única manera que el sistema acumule experiencia
- Es el cierre del lazo, de tal manera que el sistema pueda reajustarse basado en las decisiones tomadas, y efectos de las mismas



## Espacio de memoria compartida

- Cualquiera lo puede actualizar y revisar
- Es completamente distribuido, de tal manera que la información local es la que un ente puede ver en un momento dado
- Cada individuo plasma allí su experiencia a través de alguna forma de comunicación (clásicamente indirecta)



# Reglas locales de decisión

- Cada individuo tiene sus propias reglas de decisión
- Son basadas solamente en la información local (parte de ella puede/debe venir de la memoria compartida) que pueda percibir el individuo, además de su conocimiento





## Mecanismos completamente distribuidos

- Las reglas de decisiones locales de los individuos entre si pueden ser diferentes
- La memoria compartida se esparce, tal que en un momento un individuo solo percibe parte de ella (la local)
- Proceso de aprendizaje es completamente distribuido (colectivo)

