



Introducción a las Técnicas Inteligentes distribuidas

Jose Aguilar
CEMISID, Escuela de Sistemas
Facultad de Ingeniería
Universidad de Los Andes
Mérida, Venezuela



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.



Emergencia de orden, de organización, ...

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

Hormigas



Neuronas

feromonas



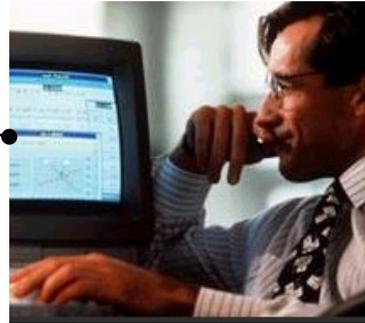
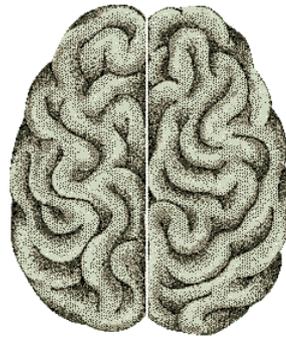
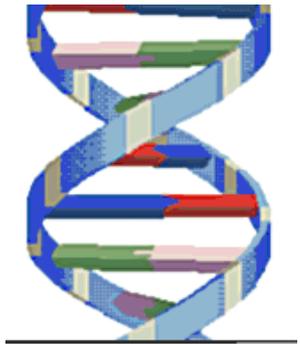
Neurotransmisores

Colonia de hormigas

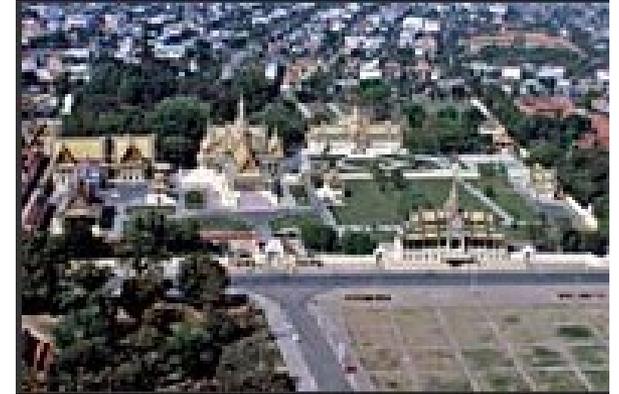


Cerebro humano

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.



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



EL *MITO* DE LA HORMIGA REINA

Genéticamente portamos de los antecesores un



75%

...

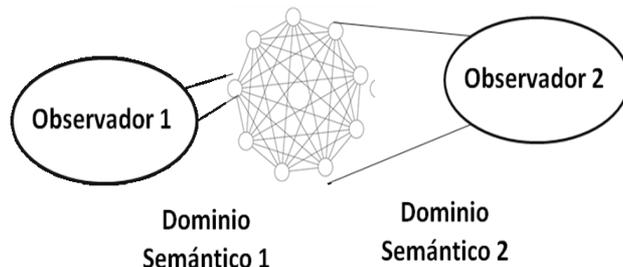
50%

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.

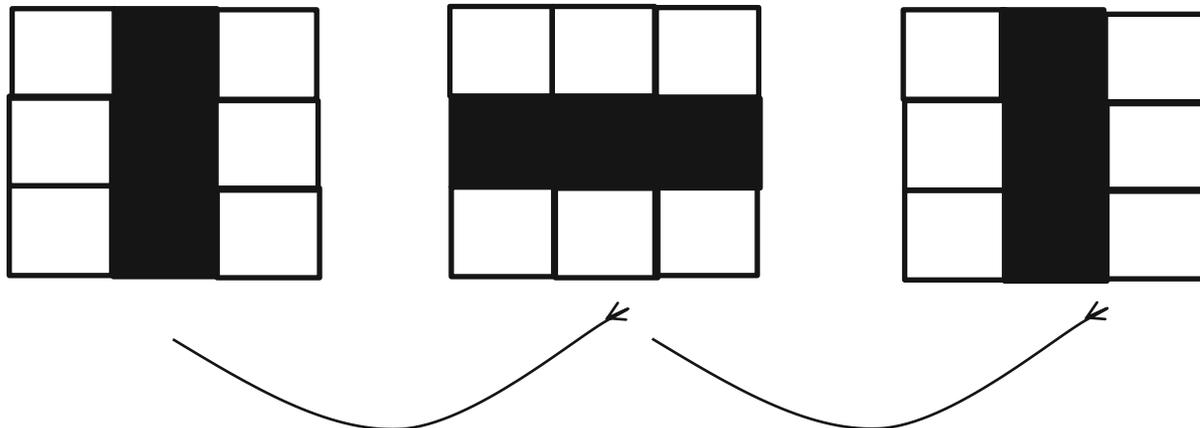


Doble lectura del fenómeno de emergencia

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



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,
- Es un tema de gran interés para la filosofía.
- También, la idea de emergencia la encontramos en todos los ámbitos científicos, biológicos, etc.

Emergencia de la vida, de la conciencia, etc.



Noción de NO “emergencia”

Tradicionalmente, los científicos han intentado explicar muchos de esos fenómenos referenciando a las propiedades que aparecen a nivel micro (por ejemplo, leyes aplicables a sus componentes).

Si bien esta visión reduccionista puede ser muy útil en algunos casos, cada vez es más reconocido que esta visión es incompleta

Otras definiciones de “emergencia”

Son aspectos nuevos del sistema que van más allá de las partes individuales de sus componentes

- (Clayton, 2004) da una lista de características de la emergencia, entre las cuales cabe resaltar:
 - la complejidad jerárquica,
 - la no existencia de una ley monolítica de emergencia,
 - la aparición de patrones en todos los niveles, y
 - el pluralismo emergente.



Extensiones Conceptuales



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.*



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.



Emergencia y Sociedad

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

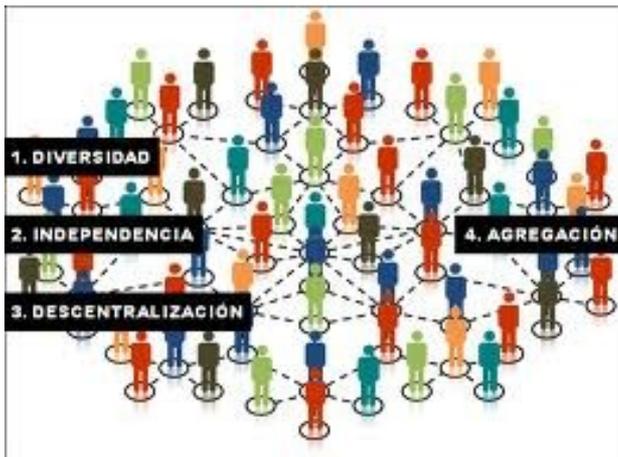
- Para N. Luhmann la dimensión social del comportamiento de los individuos es *la comunicación*
- la *inteligencia organizacional* como expresión de la inteligencia colectiva.

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

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.*



Herramientas tecnológicas adecuadas a organizaciones emergentes:

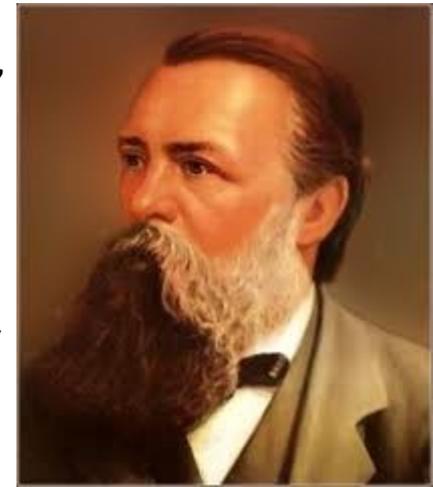
- No son resultado de *extensas fases de análisis y diseños.*
- *Satisfacer al usuario es improbable.*
- *especificarlas completamente y sin ambigüedades es ineficaz.*
- *La moda tecnológica le es absurda.*

Emergencia y Sociedad

Otro ejemplo interesante de emergencia en una sociedad es como se organizan *las ciudades*

- Primera caracterización emergente de las ciudades: **trabajo de Engels en 1842, llamado “La situación de la clase obrera en Inglaterra”, donde describe Manchester en el siglo XVII**
- Engels describe el fenómeno de **emergencia en una ciudad:**

“La ciudad está construida de modo que puede vivirse en ella durante años, y pasearse diariamente ... sin encontrarse con un barrio obrero o tener contacto con obreros ... Esto se debe principalmente a que, sea por tácito acuerdo, sea con intención consciente y manifiesta, los barrios habitados por la clase obrera están netamente separados de los de clase media ... igualmente, los comerciantes minoristas ... ocupan las calles principales ... Y sin embargo, **Manchester está construida con pocas reglas**”.



Emergencia y Sociedad

Engels vio patrones de conducta humana y de toma de decisiones escritos en los edificios, en los barrios, en las calles de la ciudad, patrones que **retroalimentaron** a los residentes de Manchester e influenciaron 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”

Emergencia y Sociedad

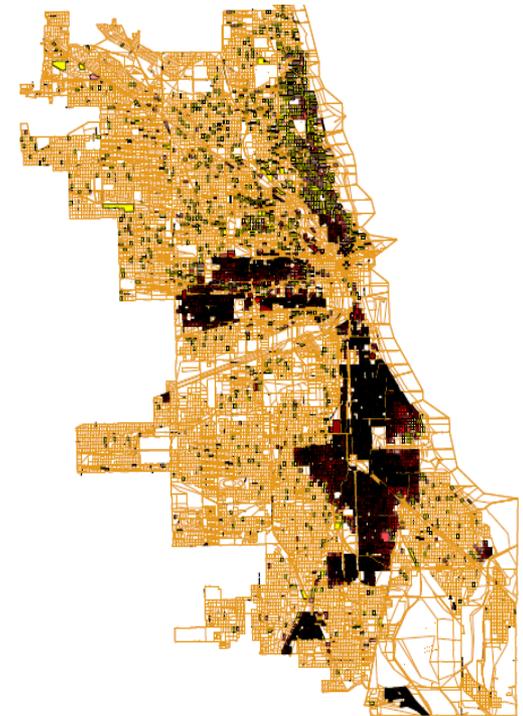
- La ciudad produce comportamientos en los humanos que van prefigurándola a ella.
- El comportamiento emergente se dibuja, se constata, en la ciudad en sí mismo, y no en la percepción empírica del habitante.
- Esos patrones retroalimentan a la comunidad, por lo que sus ajustes conducen a cambios mayores: 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.

Ejemplos de procesos emergentes en la ciudad

- **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.



Mapa Étnico de Chicago 1960
Zonas con >95% negro²¹

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



Emergencia y Sociedad

Otro caso de emergencia en una sociedad está vinculado a la *economía*.

- M. Friedman lo introdujo al definir un orden económico como “... la consecuencia no intencional (?) ... de las acciones de un gran número de personas movidas por sus intereses”.



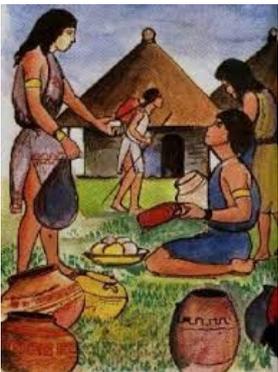
Según las reglas locales, las formas de emergencia económica son muy variadas (desde las que pregonan las teorías liberales a las que tuvieron muchos de nuestros pueblos ancestrales)

Emergencia y Sociedad

- Algunos economistas han definido los precios óptimos de los bienes en una economía como producto emergente de las interacciones de los agentes que siguen reglas locales de comercio, la ley de oferta y demanda, etc.

Este enfoque liberal nunca ha sido aplicado a ninguna economía por las formas proteccionistas, de subvención, de monopolio, etc. que, particularmente, los países desarrollados imponen a sus productos.

- Lo que es interesante de ese argumento es que en un **libre juego económico** podría emerger un **sistema de interacción sin mediadores**, basado en reglas locales, que definiría el precio ideal de los productos.



Si las reglas locales que imperan están vinculadas a formas de solidaridad, solicitud, intercambio, como muchos de nuestros pueblos ancestrales funcionaron, las formas económicas que emergerían serían de colaboración, de compartir, etc.

Emergencia en el Reino Animal

Colonias de Hormigas

Búsqueda de Alimento

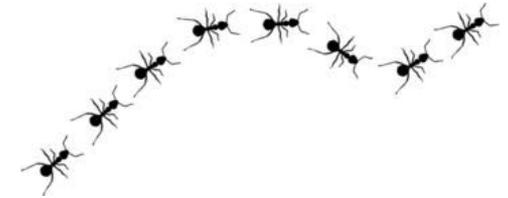
División del trabajo

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

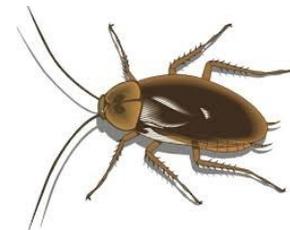
Búsqueda del Néctar

Comportamiento Defensivo

Construcción de Panales

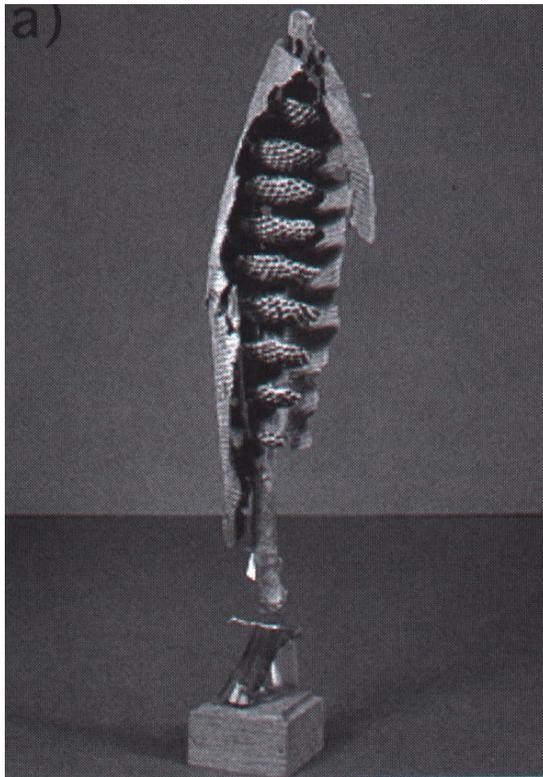


Cucarachas



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

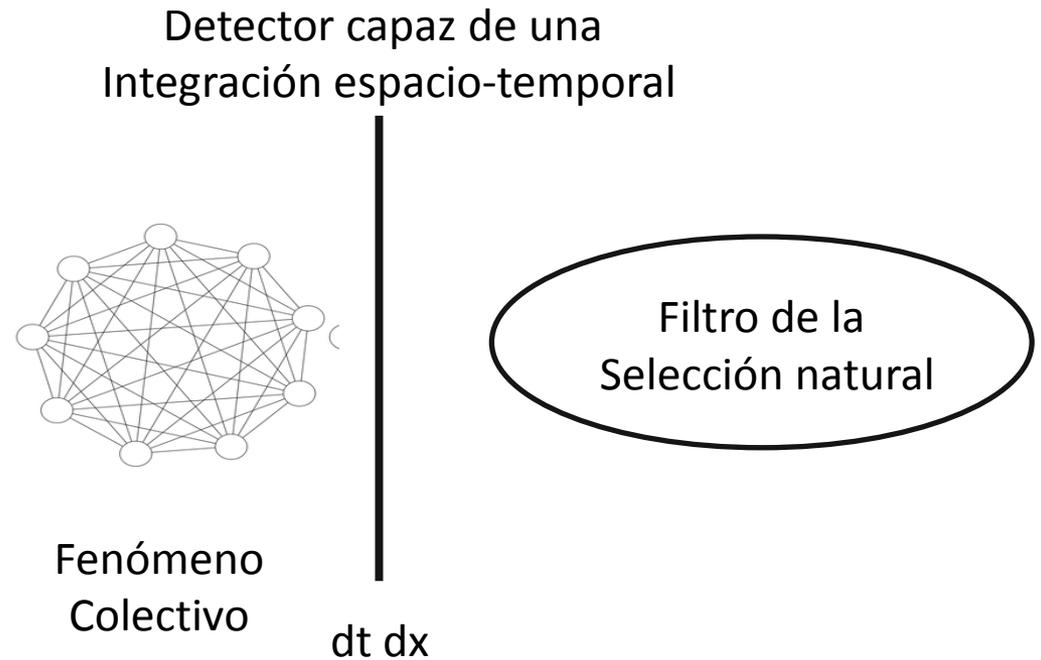
- Las hormigas, conjuntamente con las termitas, **dominan el planeta** (representan el 30% de la biomasa del Amazona).
- Las hormigas poseen un **magro vocabulario** basado en **feromonas**, y **habilidades cognitivas mínimas**, pero resuelven problemas colectivamente con sutileza e improvisación
- **Ninguna 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 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

Emergencia y Biología

En general, la emergencia en la biología considera los siguientes supuestos

- Todo lo que existe en el mundo espacio-temporal son partículas elementales.
- La evolución es un proceso de cambio universal, que es producto de una novedad cualitativa.
- La emergencia de propiedades equivale a una novedad cualitativa cuando los agregados de partículas de materias alcanzan un nivel adecuado de organización.
- Las propiedades emergentes son irreducibles a la micro estructura desde donde emergen
- Las entidades de nivel superior manifiestan nuevos poderes causales que afectan a sus constituyentes.

Emergencia e Internet

Es inteligente la web?

- Cada vez más la Web interconecta a seres conscientes

*La inteligencia
requiere tanto
conectividad como
organización.*

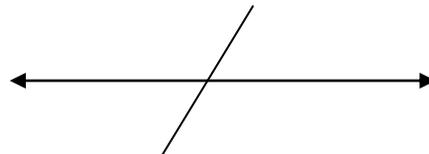
- Portales y buscadores surgen por desorganización de la Web

Internet

- Exceso de información.
- Desorganización de la información.

Cerebro humano

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



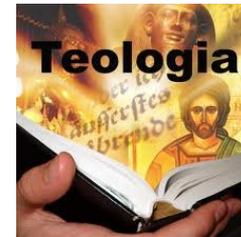
Emergencia e Internet

- 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.

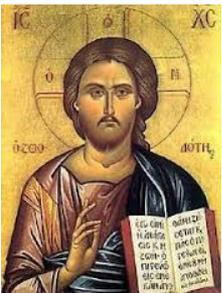
Emergencia y Teología

- 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".



Conceptos Vecinos 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 Vecinos a la Emergencia

Auto-organización

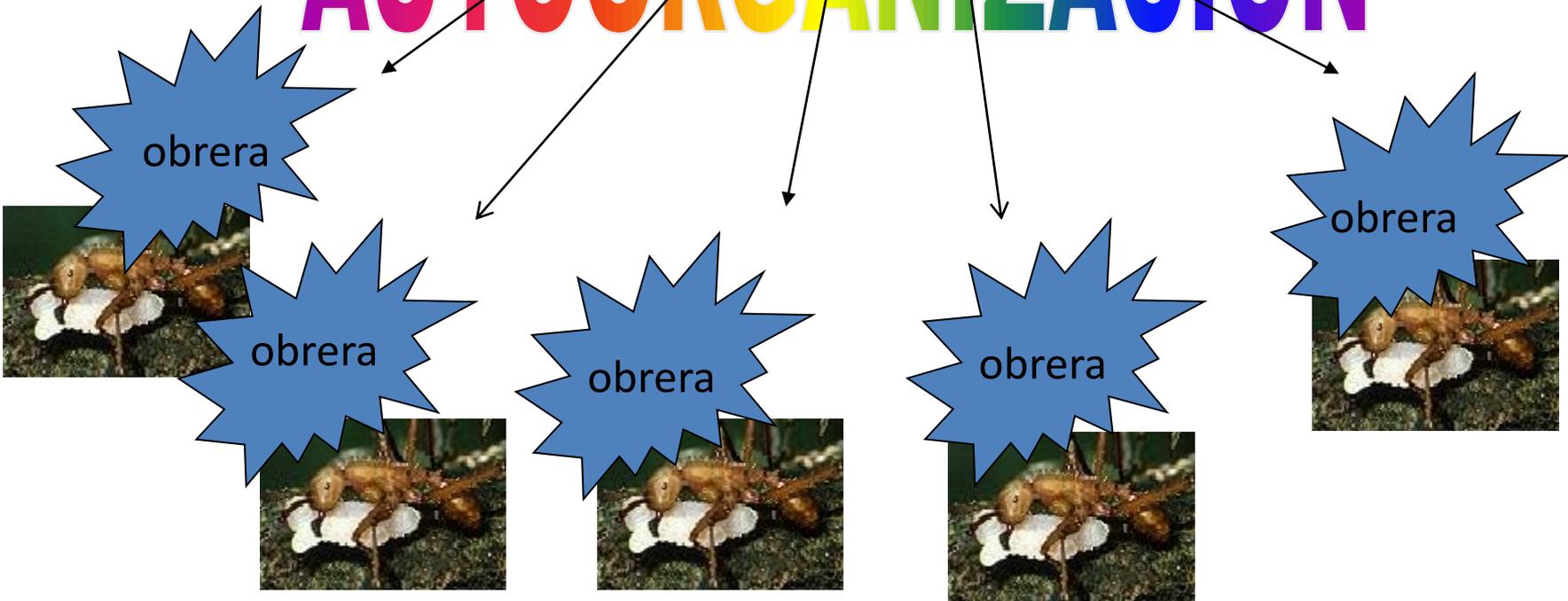
- **La esencia de la emergencia** es la existencia de *un comportamiento global nuevo*, diferente del de los elementos constitutivos del sistema. **La esencia de la auto-organización** es un *comportamiento adaptable* que de forma autónoma adquiere y mantiene un orden (es decir, una estructura).
- **Ambos enfatizan en aspectos distintos del comportamiento de un sistema** (en un caso *novedad radical*, efecto Micro-Macro, entre otros; en el otro caso *aumento del orden*, autonomía, entre otros).
- **La principal similitud** es que la emergencia y la auto-organización son **procesos dinámicos**, qué le confieren robustez a un sistema. **Sin embargo**, 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, mientras que en la auto-organización consiste en la *capacidad de adaptabilidad* al cambio y de aumentar el orden.

Conceptos Vecinos a la Emergencia

Reina

Relación de dependencia y protección...

AUTOORGANIZACIÓN



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

Conceptos Vecinos a la Emergencia

Auto-poyesis

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

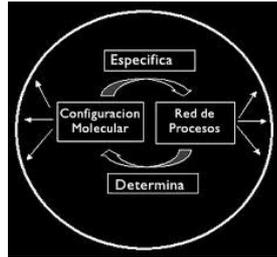
propiedad de un sistema para producirse por sí mismo (o también mantenerse, definirse a sí mismo).



- 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 Vecinos 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 (irreducible a ellos).

Conceptos Vecinos a la Emergencia

Estigmergia

- Introducido por Grassé para describir una forma de comunicación indirecta mediada por modificaciones al medio ambiente
- Viene de los términos griegos “marca” (estigma) 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



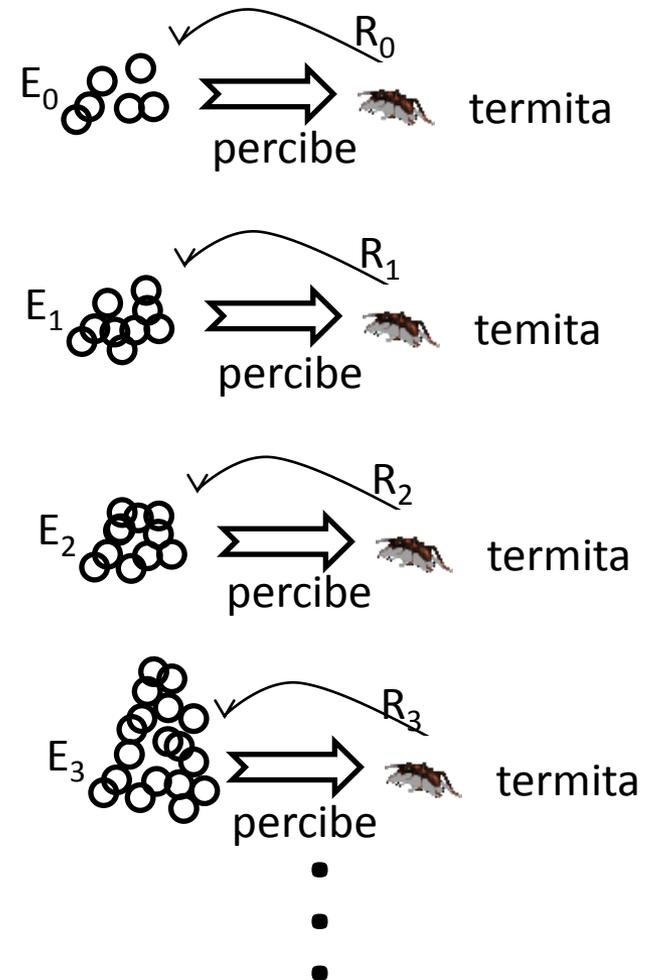
Conceptos Vecinos a la Emergencia

Estigmergia

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

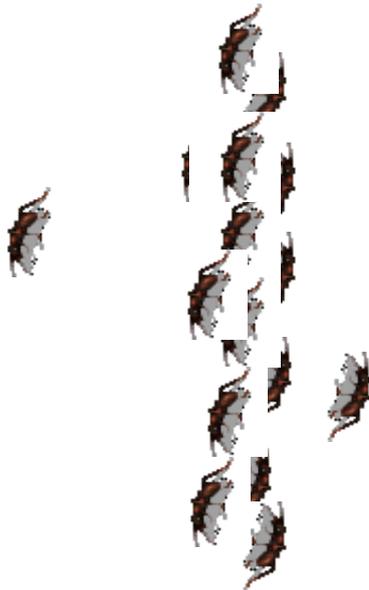
En la estigmergia se pueden dar dos situaciones

- Una en la que la comunicación es a través de la modificación de un entorno físico.
- Otra en la que la comunicación es a través de una marca de un mecanismo de señalización.



Conceptos Vecinos a la Emergencia

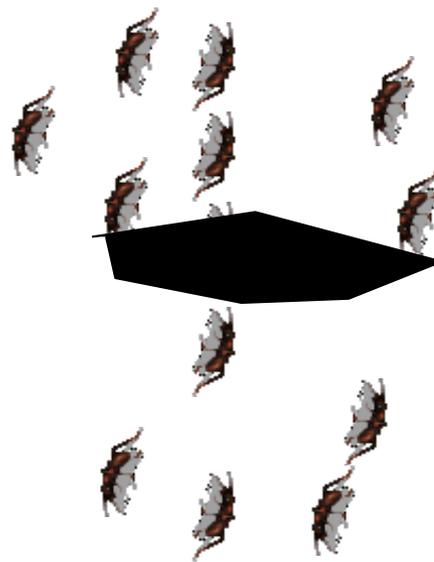
Fuente de
Alimento



Nido

Tiempo = n

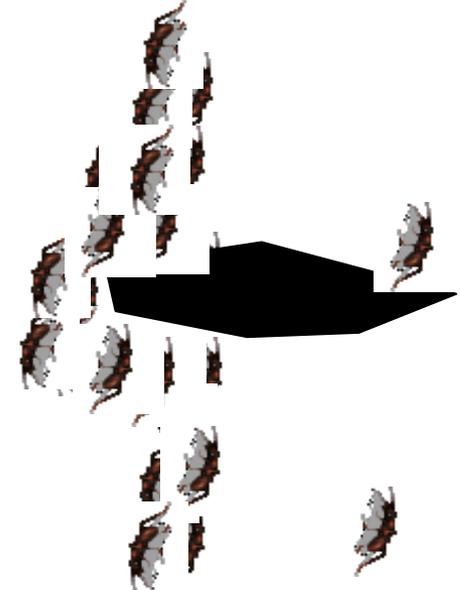
Fuente de
Alimento



Nido

Tiempo = $n+m$

Fuente de
Alimento



Nido

Tiempo = $n+m+p$

Fenómeno de estigmergia en las colonias de hormigas

Conceptos Vecinos 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

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**, requiere de ciertos principios asociados al “Paradigma de la Sabiduría de las Multitudes”,
 - *Diversidad de Opinión*
 - *Independencia de Opinión*
 - *Descentralización*
 - *Agregación*



Se pueden lograr sistema artificiales emergentes como el de una colonia de hormigas combinando

- 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)





Modelos basados en Colonias de insectos

Reino de los Insectos

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	J. Aguilar Construcción de redes

Comportamiento de las Hormigas

- 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**
- **Piensen 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

Comportamiento de las Hormigas

- 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)

Comportamiento de las Hormigas

- 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

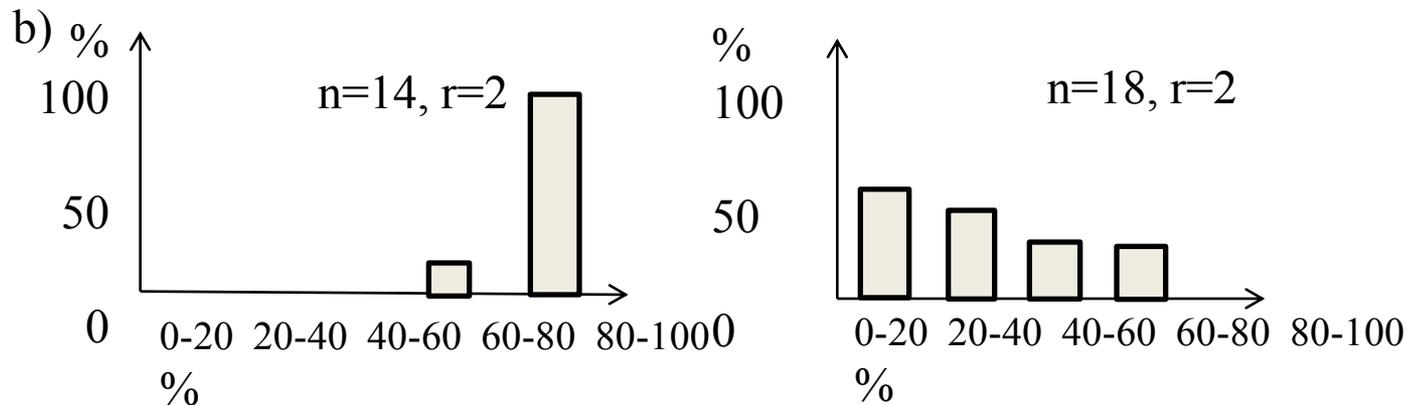
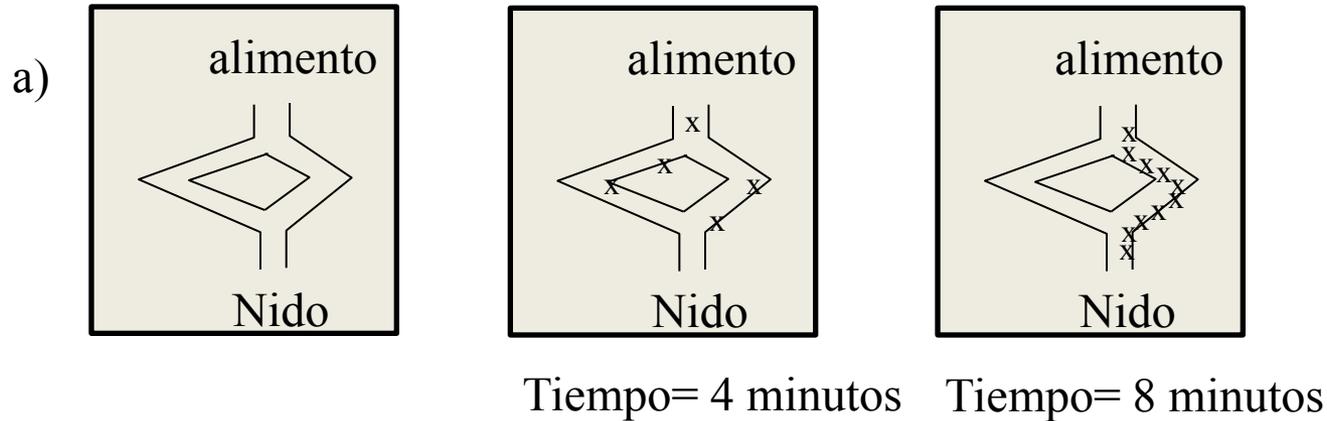
No somos tan diferentes que de los sistemas de insectos: la relación entre las células del cuerpo es realmente muy parecida a las de abejas en el panal

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

Comportamiento de las Hormigas



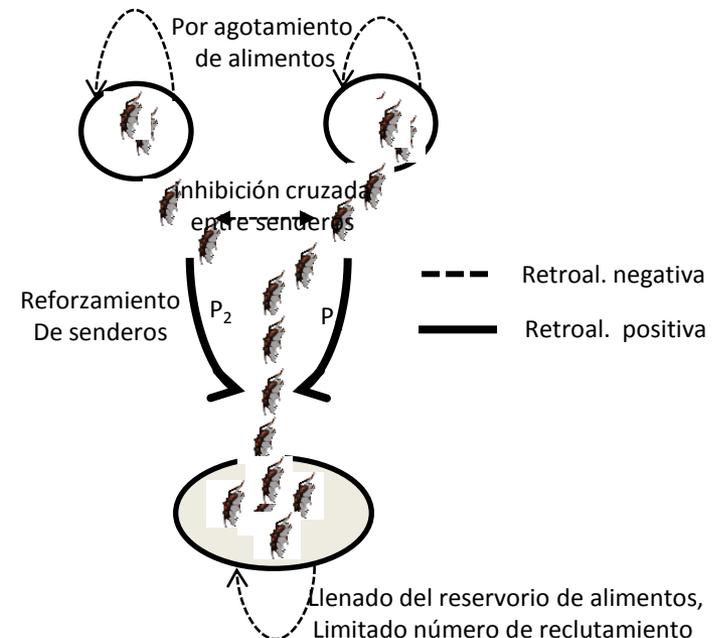
- a) Experimento donde una colonia de Hormigas *Linepitema humile* selecciona la rama corta después de 8 minutos de que el obstáculo fue colocado.
- b) Porcentaje de hormigas que seleccionan la rama más corta de n experimentos. La rama más larga es r veces más larga que la rama corta.

Comportamiento de las Hormigas

Algunos aspectos interesantes del modelo no lineal presente en las hormigas

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

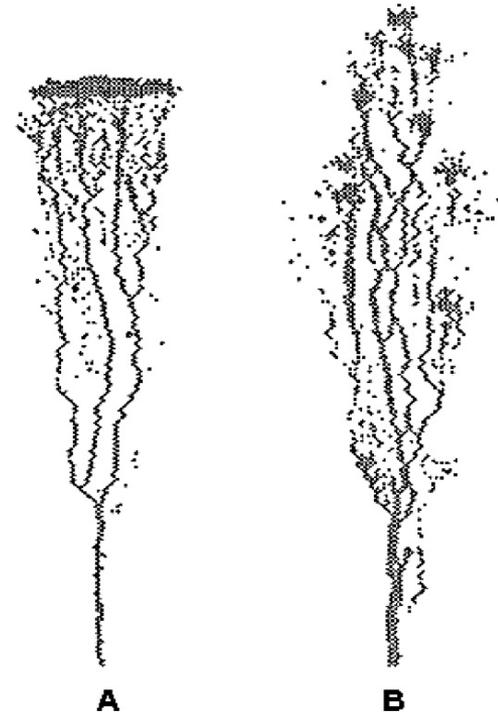
Ejemplo del efecto de las retroalimentaciones positivas y negativas en las colonias de hormigas buscando alimentos



Comportamiento de las Hormigas

Algunos aspectos interesantes del modelo no lineal presente en las hormigas

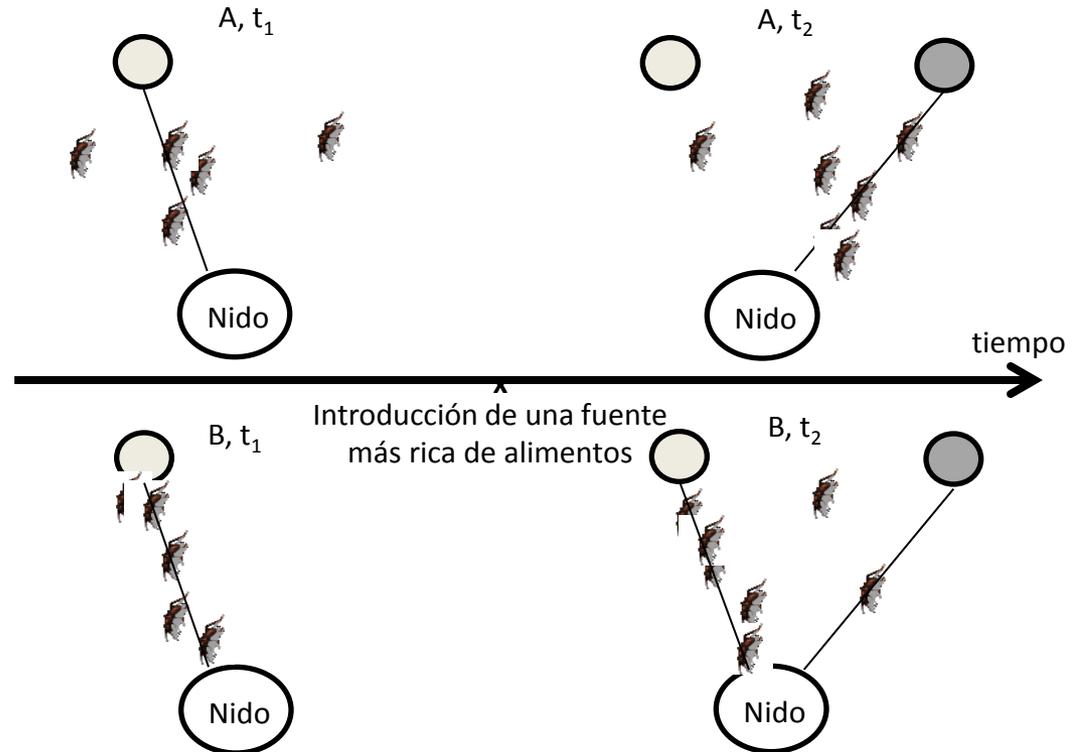
- Las fluctuaciones en las formaciones de patrones
- El tamaño de la población
- La sensibilidad al ambiente



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.

Comportamiento de las Hormigas

Algunos aspectos interesantes del modelo no lineal presente en las hormigas



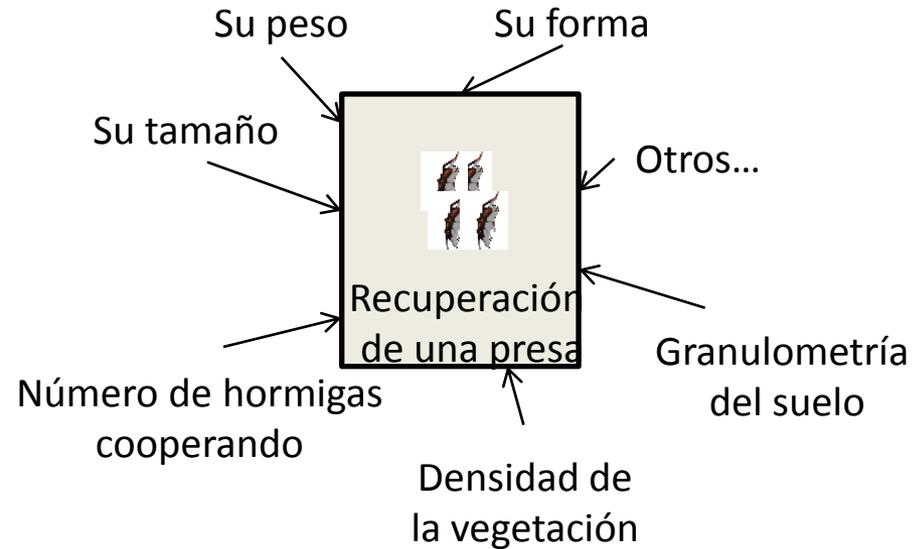
- *El papel del ruido*

- A) 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.
- B) 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

Comportamiento de las Hormigas

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.)*

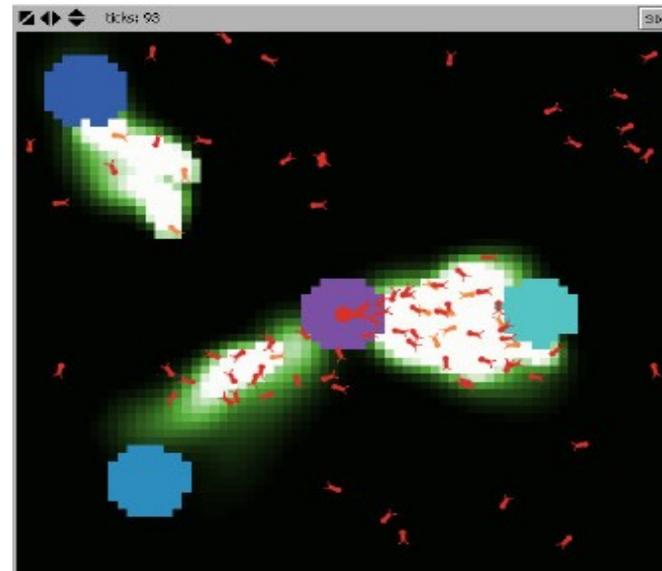
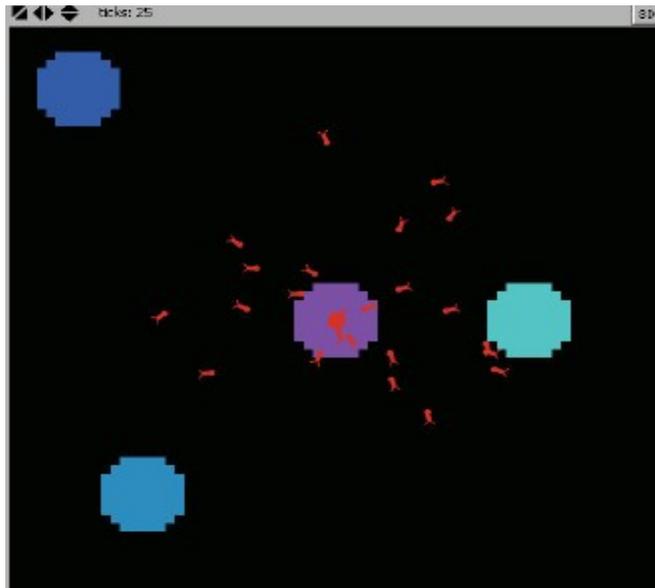


Ejemplo de un criterio inteligente:

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"

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)



Estigmergia

de una colonia de hormigas.

- Introducido por Grassé para describir una forma de comunicación indirecta mediada por modificaciones al medio ambiente
- Viene de los términos griegos “marca” (estigma) 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



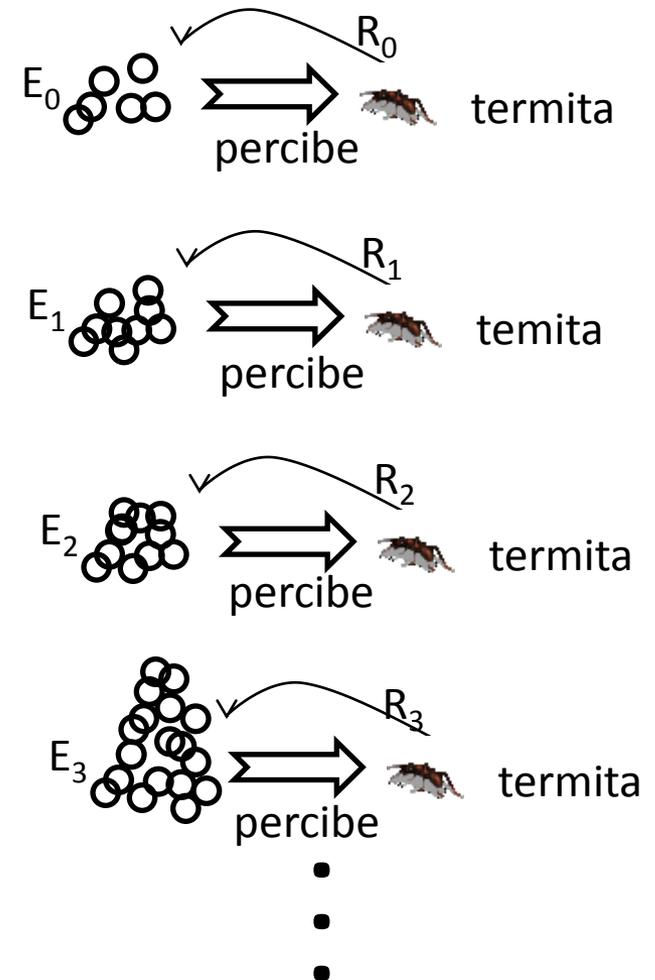
Estigmergia

de una colonia de hormigas.

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

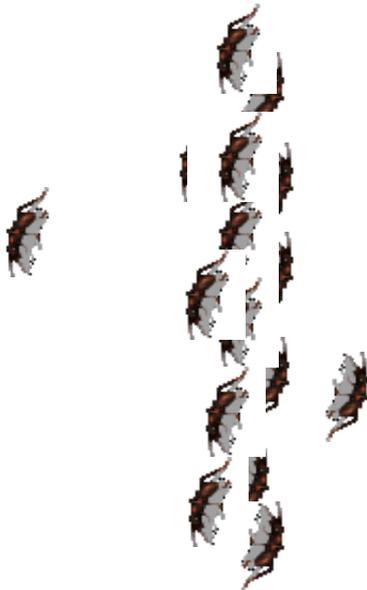
- Una en la que la comunicación es a través de la modificación de un entorno físico.
- Otra en la que la comunicación es a través de una marca de un mecanismo de señalización.



Estigmergia

de una colonia de hormigas.

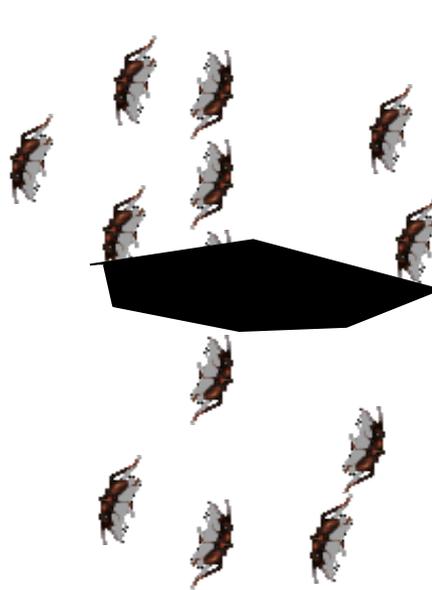
Fuente de
Alimento



Nido

Tiempo = n

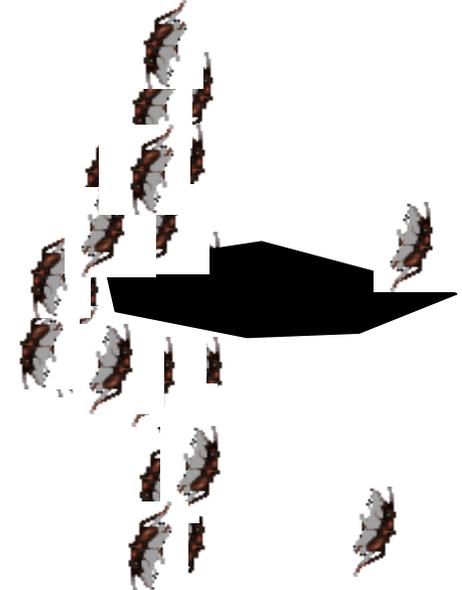
Fuente de
Alimento



Nido

Tiempo = $n+m$

Fuente de
Alimento



Nido

Tiempo = $n+m+p$

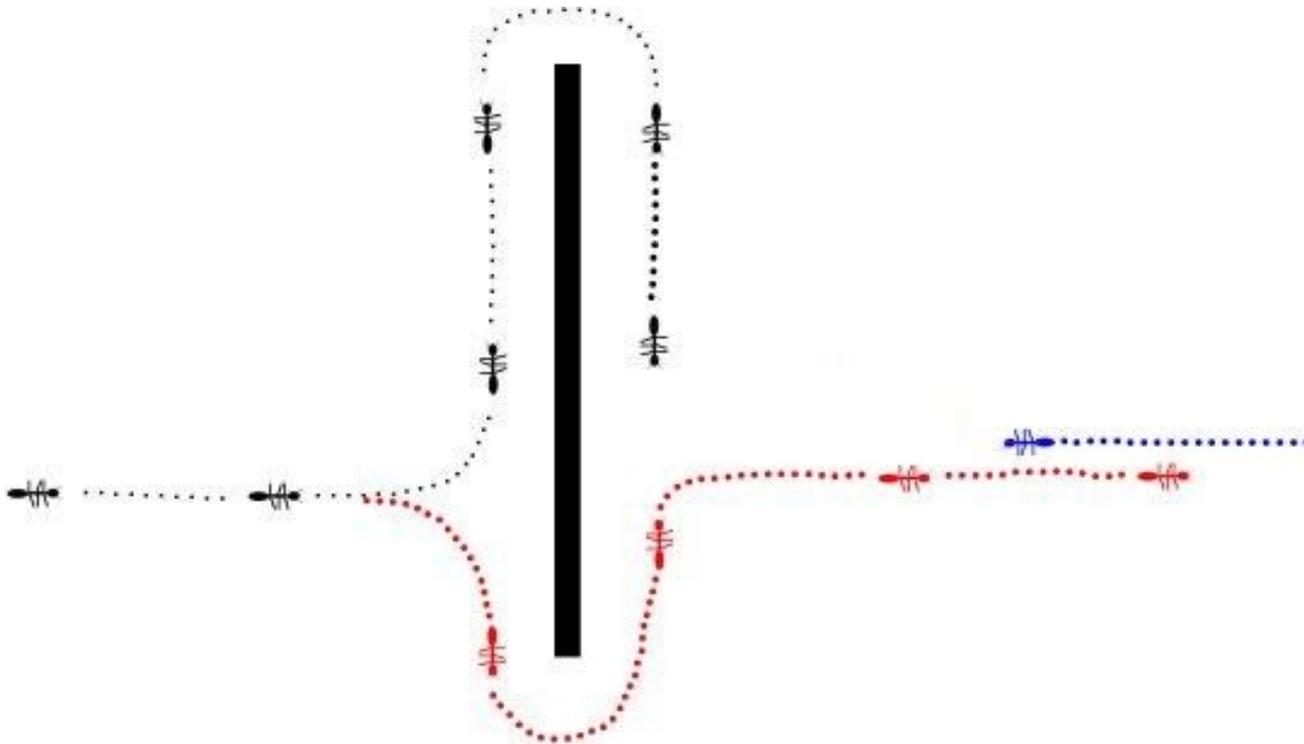
Fenómeno de estigmergia en las colonias de hormigas

Comportamiento de las Hormigas

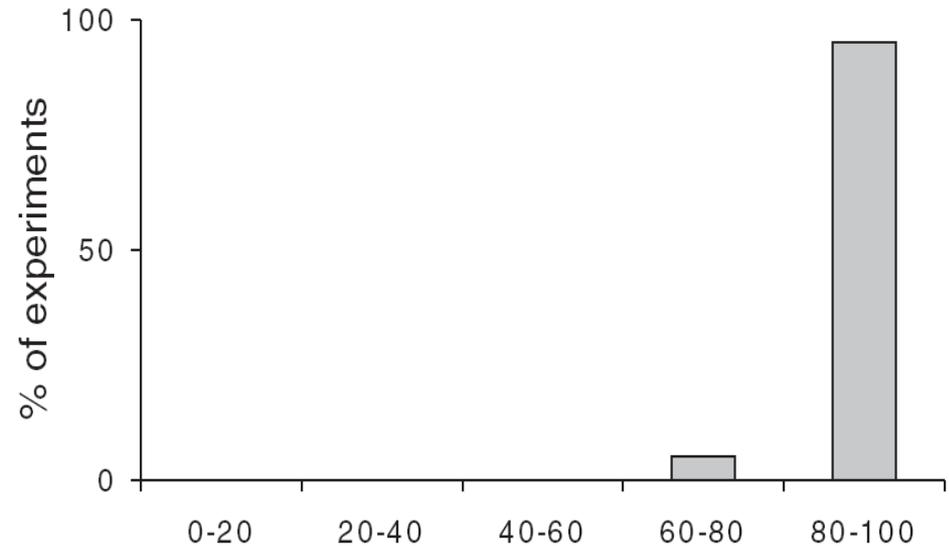
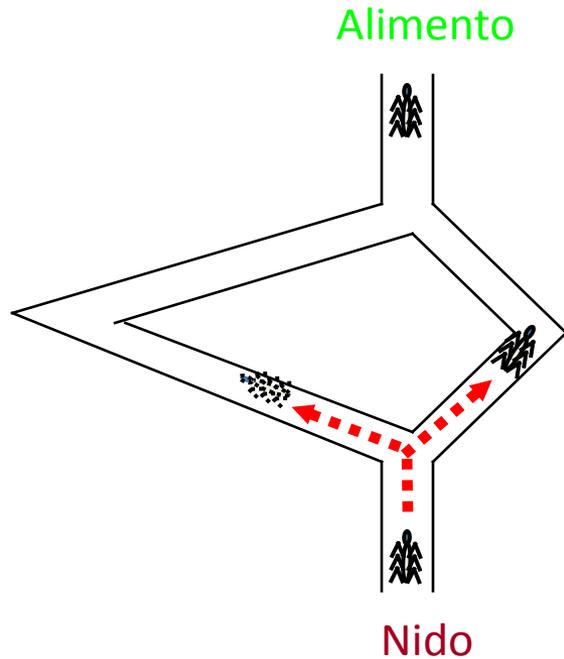
Algunas de las conductas mas extraordinarias descentralizadas de la naturaleza que se plasman en ellas

- Inteligencia
- Personalidad/roles
- Aprendizaje Ascendente

ACO (Experimentos 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:

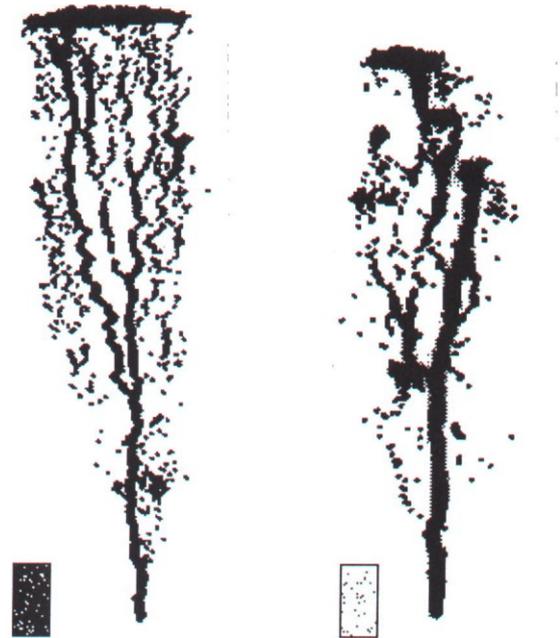
$$P_i = \frac{(4 + F_i)^2}{(4 + F_i)^2 + (4 + F_d)^2}$$

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.



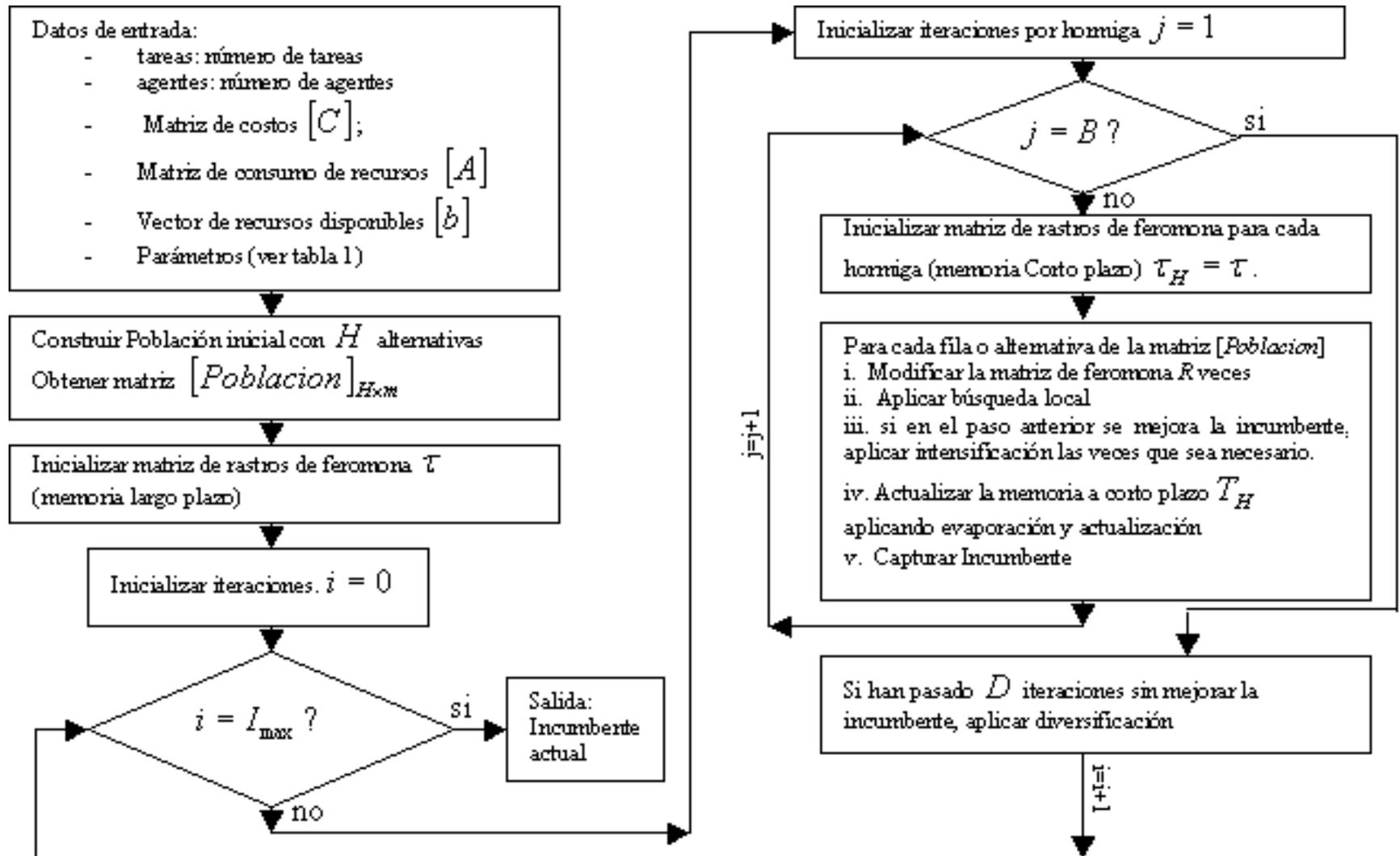
Ant Colony Optimization (ACO)

- 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.

ALGORITMO



Sistemas Artificiales de Hormigas

Regla de Transición:

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

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

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

Regla de actualización de las trazas:

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

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

Sistemas Artificiales de Hormigas

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

Sistemas Artificiales de Hormigas

Cantidad dejada de *feromona*

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

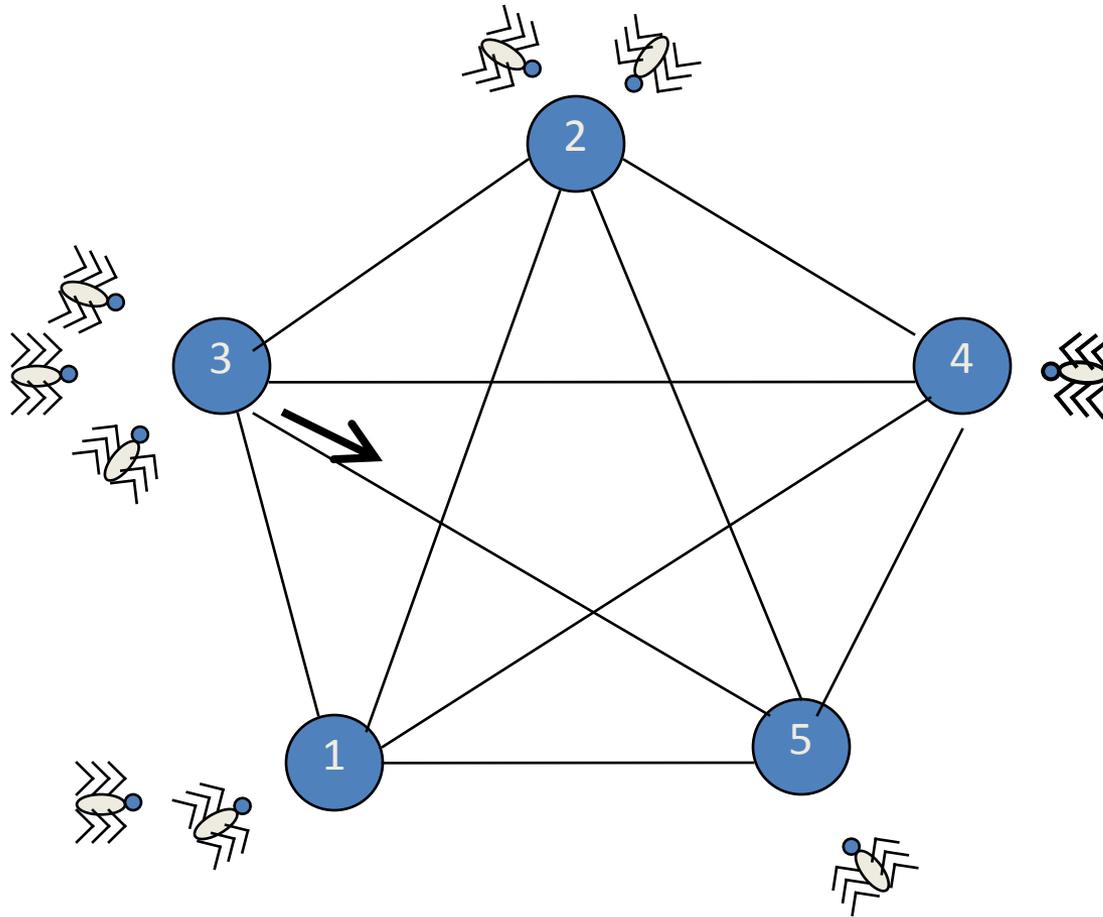
Extensiones

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

Consideraciones para su aplicación

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

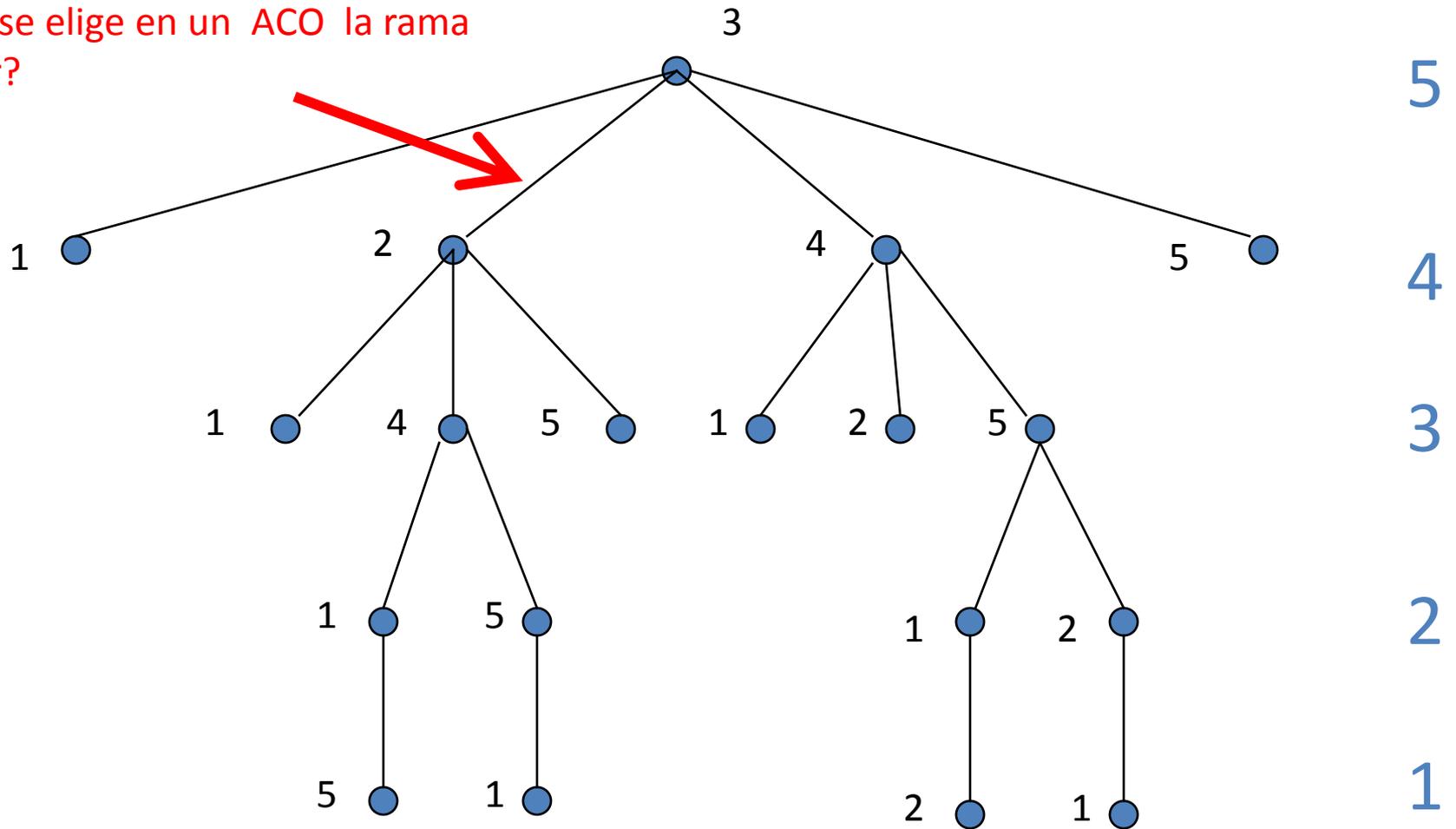
ACO aplicado a TSP



Espacio de Búsqueda - TSP

Algoritmo ACO

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



El primer algoritmo ACO (Ant System o AS)

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

El primer algoritmo ACO (Ant System o AS)

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

La construcción se realiza paso a paso en forma probabilística considerando

τ_{ij} y η_{ij}

El primer algoritmo ACO (Ant System o AS)

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

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

Actualización del Rastro en AS

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

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

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

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

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

Sistemas Artificiales de Hormigas

- Viajero de Comercio

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

- Partición de Grafos

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

Importancia de Rastro (τ)

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

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

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

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

Aplicación en Problemas Dinámicos (Enrutamiento)

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

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

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

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

Aplicación en Problemas Dinámicos (Enrutamiento)

- *Reforzamiento* de la Probabilidad

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

- *Debilitamiento* de la Probabilidad

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

δr : parámetro de reforzamiento

Tal que se conserve:

$$\sum_n r_{n,d}^i(t) = 1$$

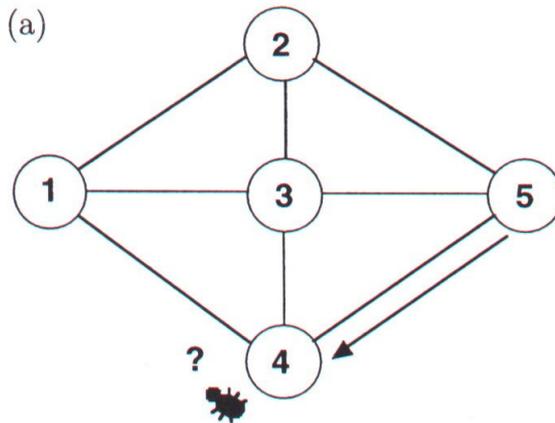
Aplicación en Problemas Dinámicos (Enrutamiento)

- Calculo de δr

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

a, b: parámetros

T: tiempo pasado en la red



(b)

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

Otros algoritmos ACO

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

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

Aplicaciones de ACO

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

División del Trabajo y Asignación de Tareas

División del Trabajo y Asignación de Tareas

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

Modelo de Umbral de Respuesta y Aprendizaje

Mecanismo de División del Trabajo

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

Umbral de Respuesta

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

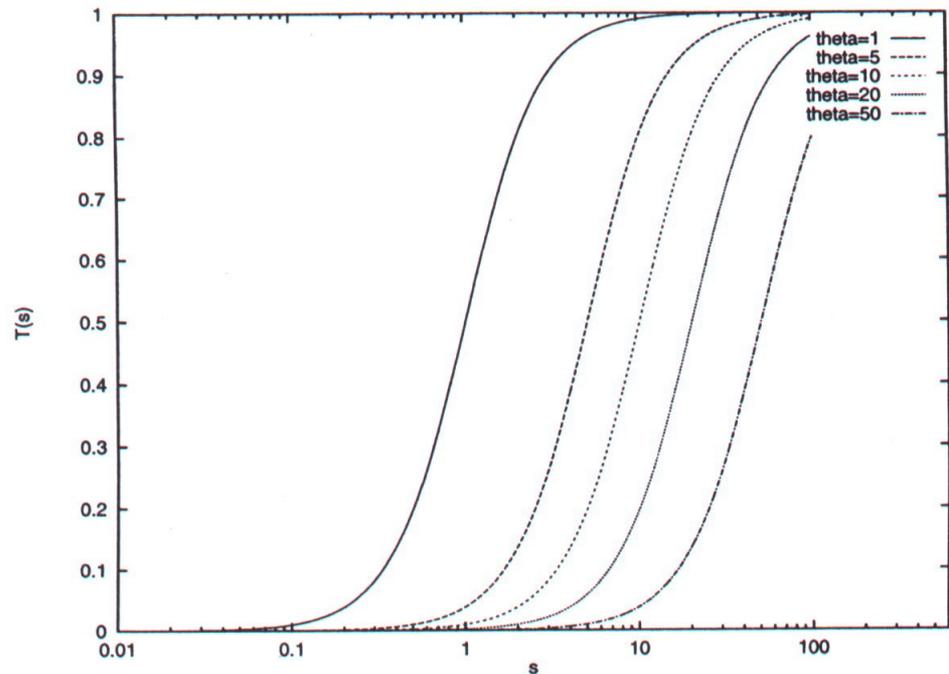
Umbral de Respuesta

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

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

θ : umbral de respuesta

n : grado de no linealidad
del modelo



Especialización

Probabilidad que individuo i haga tarea j

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

Actualización de θ_{ij} es

β : tazas de aprendizaje

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

λ : tasa de olvido

Modelo con m tareas y varios tipos de trabajadores

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

p : probabilidad que un individuo activo pase a inactivo

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

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

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

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

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

Aplicación: Asignación de Tareas Adaptativa

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

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

β, α : coeficientes positivo

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

- Actualización del Umbral de Respuesta

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

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

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

ξ_0, ξ_1 : coeficientes de aprendizaje

λ : coeficiente de olvido

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

Ordenamiento y Agrupamiento

Ordenamiento y Agrupamiento

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

Ordenamiento y Agrupamiento

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

Ordenamiento y Agrupamiento

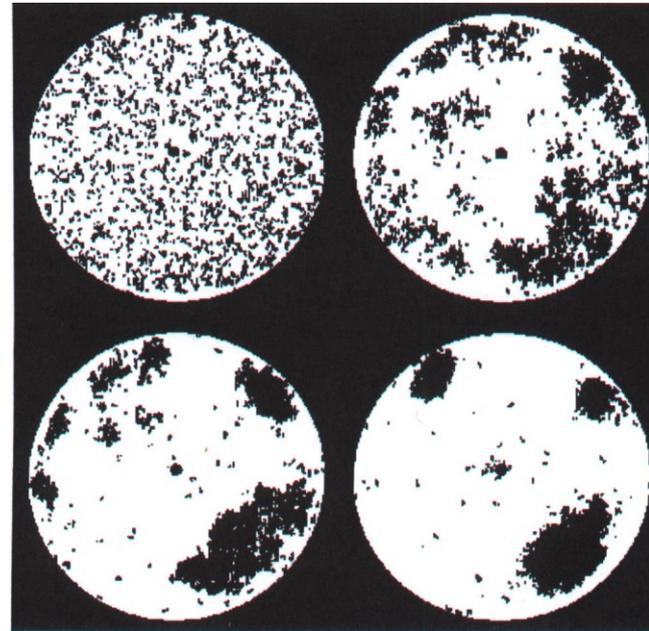
- Agrupar cadáveres
 - cadáveres distribuidos aleatoriamente
 - Retro-alimentación positiva
 - => feromona de agregación
- Ordenar larvas
 - Trabajadores depositan larvas según tamaños:
 - Larvas grandes en la periferia y pequeñas en el centro
 - Diferente cantidad de espacio es asignado a cada tipo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

Ordenamiento y Agrupamiento

- Ordenamiento



- Agrupamiento



Agrupamiento

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

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

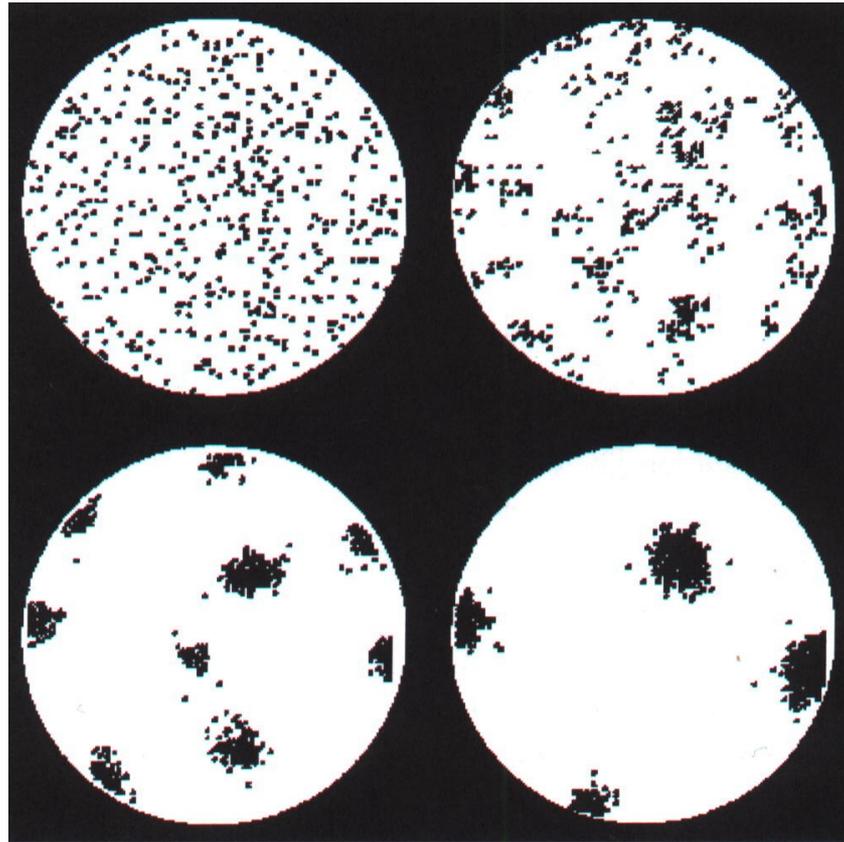
- Probabilidad para un agente con carga deposite un objeto

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

K_1, K_2 : umbral (constante)

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

Agrupamiento: Resultados Simulaciones



Ordenamiento

- Suponga dos tipos de elementos A y B

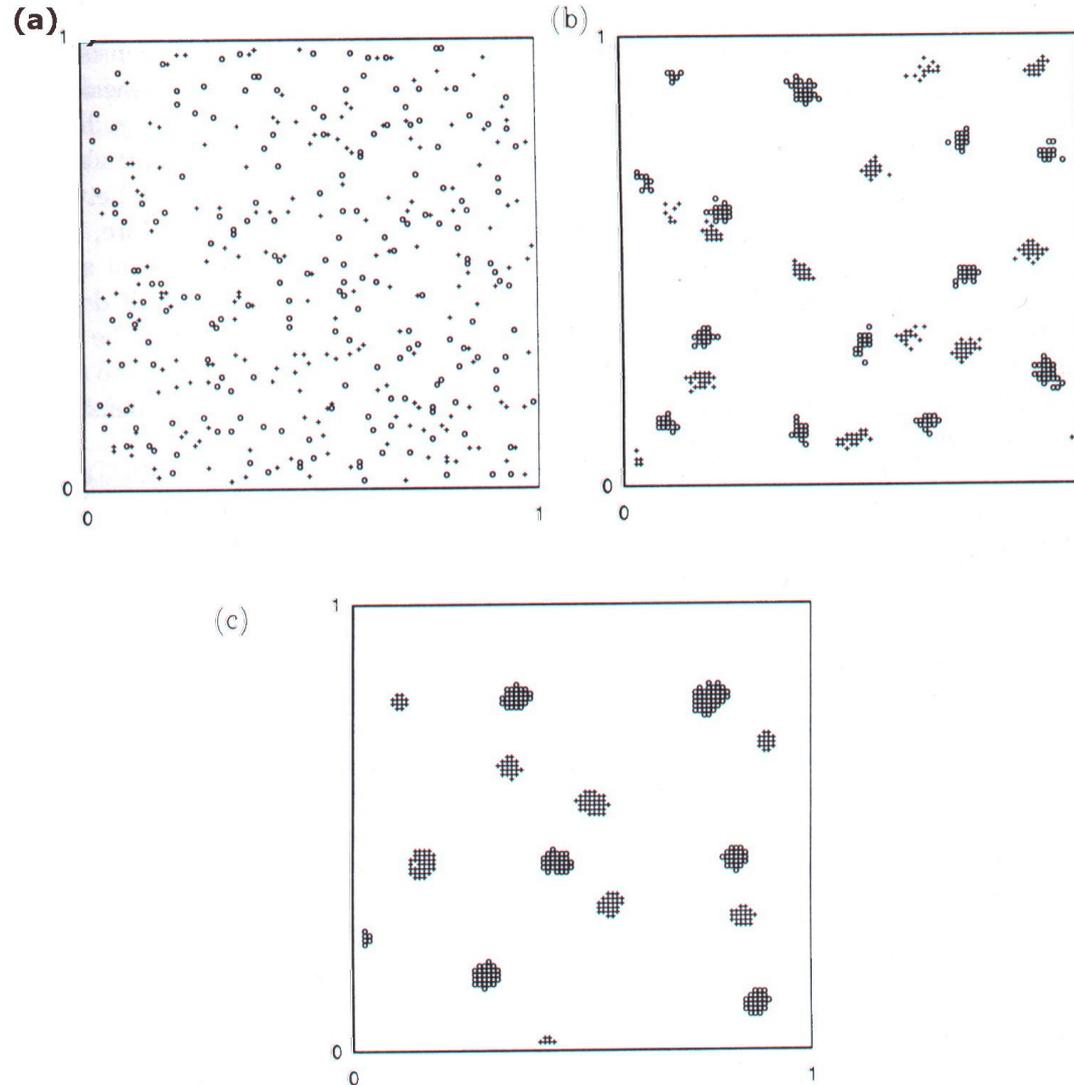
$$P_R(A) = \left(\frac{K_1}{K_1 + f_A} \right)^2$$

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

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

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

Ordenamiento: Resultados Simulaciones



Aplicación: Análisis de Datos

- Probabilidad de Recolección y Deposito

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

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

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

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

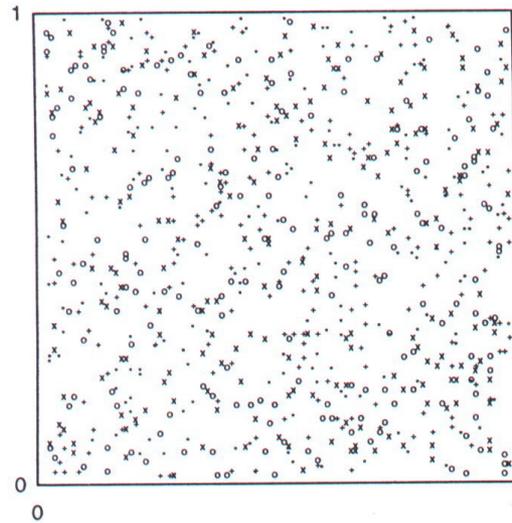
(distancia inter-grupo >> distancia intra-grupo)

α : factor de disimilaridad r : sitio donde esta agente

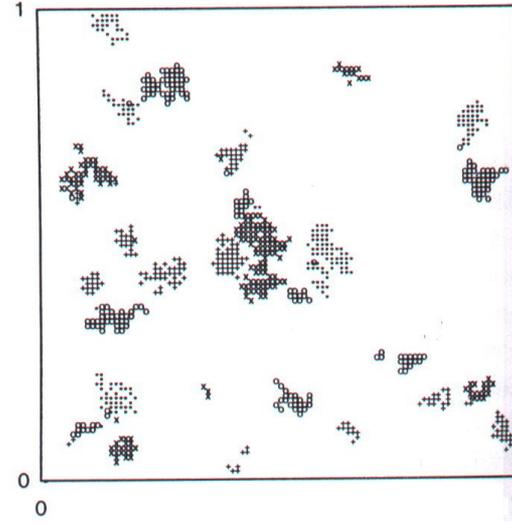
s^2 : sitios alrededor de r ocupados por objetos parecidos a o_i

Aplicación: Análisis de Datos

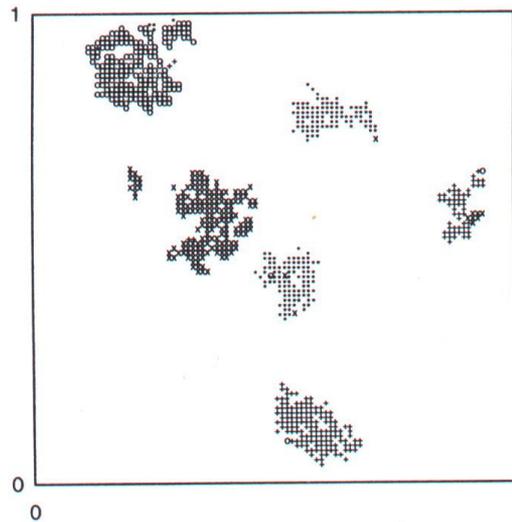
(a)



(b)



(c)



Construcción de Nidos y Auto- Ensamblaje

Construcción de Nidos y Auto-Ensamblaje

- Coordinación de actividades a través del ambiente:
 - Cuantitativo o Continuo (Termitas)
 - Cualitativo o Discreto (Avispas)
- Usado para construir complejas arquitecturas que cubren requerimientos
 - Funcionales
 - Adaptativos
- **Construcción de Nidos:** demuestra una de las mas grandes diferencias entre comportamiento individual o colectivo

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

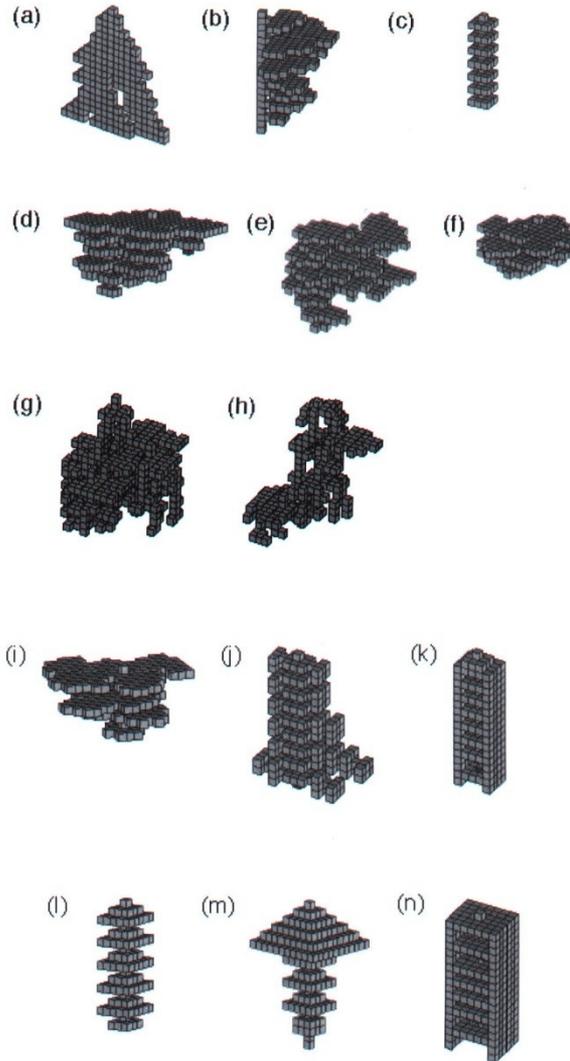
Construcción en las avispas

- 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

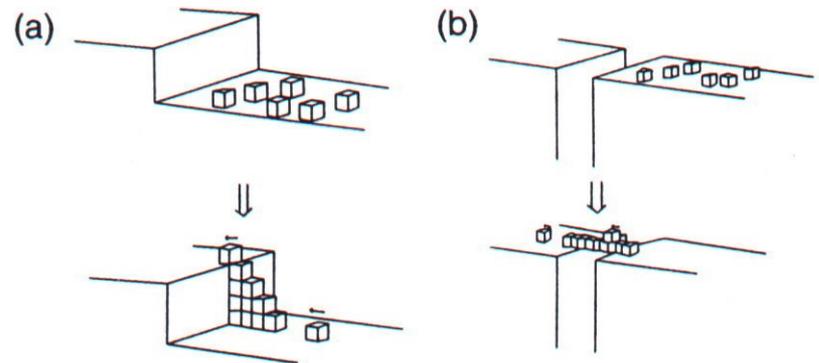


Aplicaciones Auto-Ensamblaje

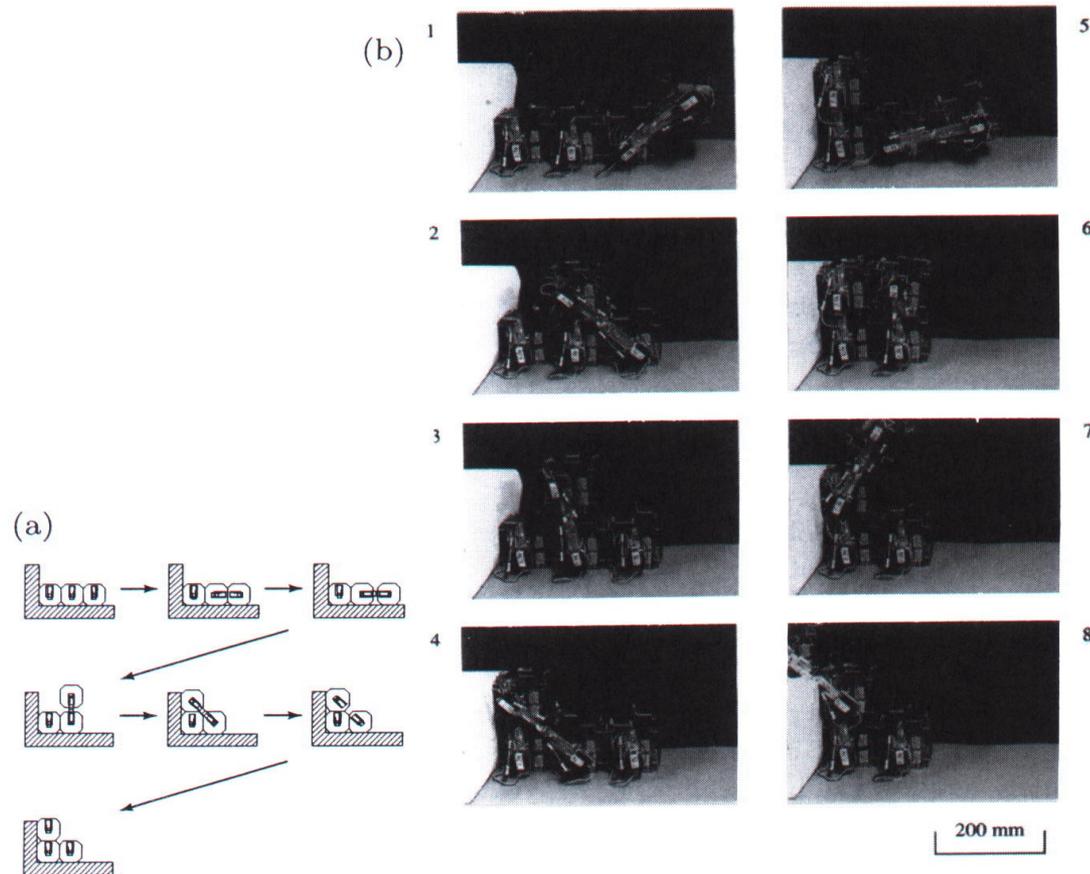
- Dado un cuerpo deseado, encontrar el algoritmo que pueda generarlo bajo algunas restricciones materiales
- Mecanismos generativos basados en la computadora: el usuario toma algunos patrones desde todos los generados por el computador según que tan atrayente es
- Evolucionar exitosos sistemas de auto-ensamblaje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



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

Sistemas Artificiales de Abejas

Jose Aguilar

Los insectos sociales

- La principal cualidad de los llamados insectos sociales, hormigas o abejas, es la de formar parte de un grupo auto-organizado, cuya palabra clave es la simplicidad.
- Estos insectos resuelven los problemas complejos gracias a la suma de interacciones simples entre cada individuo.

Los insectos sociales

- La mayoría de las actividades en la colonia, son reguladas a través de tomas de decisiones locales y procesos auto-organizados que dependen de las respuestas de las trabajadoras según sus umbrales.
- En las sociedades de abejas, el comportamiento de cada individuo está muy integrado, y de esa integración depende la supervivencia y la reproducción de la colonia.
- Las abejas pueden regular el medio intracolonia, de tal manera, de sobreponerse a fluctuaciones en las condiciones ambientales :
 - Capacidad de control térmico intracolonia,
 - la capacidad de almacenar néctar y polen, entre otras cosas,

Como consecuencia de esta habilidad homeostática, las abejas han sido capaces de colonizar la mayoría de los diversos hábitats existentes en la tierra

Las colonias de abejas

- Las colonias de abejas son un excelente ejemplo de cómo un grupo se comporta como una entidad supra-organizacional (enjambre de abejas).
- Aunque muchas de las principales características también se pueden encontrar en otros animales socialmente organizados, como las manadas de lobos, el comportamiento de las colonias de abejas se asemeja más a los organismos multicelulares más primitivos

Algunos comportamientos interesantes

La distribución de las crías y del alimento en un panal de abejas no es al azar.

- La región central en que se sitúan las crías está cerca de una región que contiene polen y de otra que contiene néctar (aportando proteínas y carbohidratos a las éstas).
- La distribución a nivel local está cambiando constantemente debido a la entrada y salida de polen y néctar, pero se mantiene estable a nivel global.

Algunos comportamientos interesantes

- Esto no es resultado de que una abeja esté coordinando el proceso, sino de la interacción entre ciertas reglas simples que sigue cada abeja a nivel local:
 - Depositar las crías en celdas cercanas a las que ya tengan crías.
 - Depositar néctar y polen en celdas cualesquiera, pero vaciar antes las celdas más cercanas a donde estén las crías.
 - Extraer más polen que néctar.

Algunos comportamientos interesantes

Las abejas mantienen la estabilidad térmica de la colmena mediante un mecanismo descentralizado en el cual cada abeja actúa subjetiva y localmente.

- Si el calor aprieta, las obreras empiezan a agobiarse y aletean para expulsar del nido el aire caliente. También se agobian cuando refresca, y entonces se apiñan y calientan el nido con la suma de sus cuerpos.
- Una colonia típica proviene de una sola madre (la reina), pero de muchos padres (entre 10 y 30) y por tanto tiene una alta variabilidad genética, y no ocurre que todas las abejas se agobien al mismo tiempo, consiguiéndose una estabilidad térmica.

Algunos comportamientos interesantes

Las abejas son un ejemplo, de cómo una colonia se comporta como un supra-organismo (enjambre de abejas) al decidir su futura casa.

- Los miembros del enjambre trabajan en conjunto para:
 - descubrir cavidades posibles de anidación,
 - evaluar cada una de ellas, elegir entre ellas y,
 - finalmente, trasladarse en masa al sitio elegido.
- Sin embargo, la forma cómo funciona la toma de decisiones colectivas en el enjambre de abejas, sigue siendo desconocida.

Algunos comportamientos interesantes

- El proceso que se lleva a cabo es de una gran complejidad, notoria por el gran número de señales a las cuales las trabajadoras son sensibles en el interior de una colmena, y sus impresionantes capacidades para integrar dicha información al momento de decidir cómo comportarse .
- Acciones de una abeja obrera cuando está explorando y ha descubierto un árbol prometedor para hacer un nido.
 1. pasa 20-40 minutos inspeccionando el sitio, adquiere información sobre el volumen de la cavidad, el tamaño de su entrada, su altura desde el suelo, su exposición al sol y al viento, y otras variables más. En resumen, hace una *evaluación multifactorial*.
 2. integra la información que ha adquirido del sitio, para determinar su conveniencia general como un lugar de residencia en el futuro.

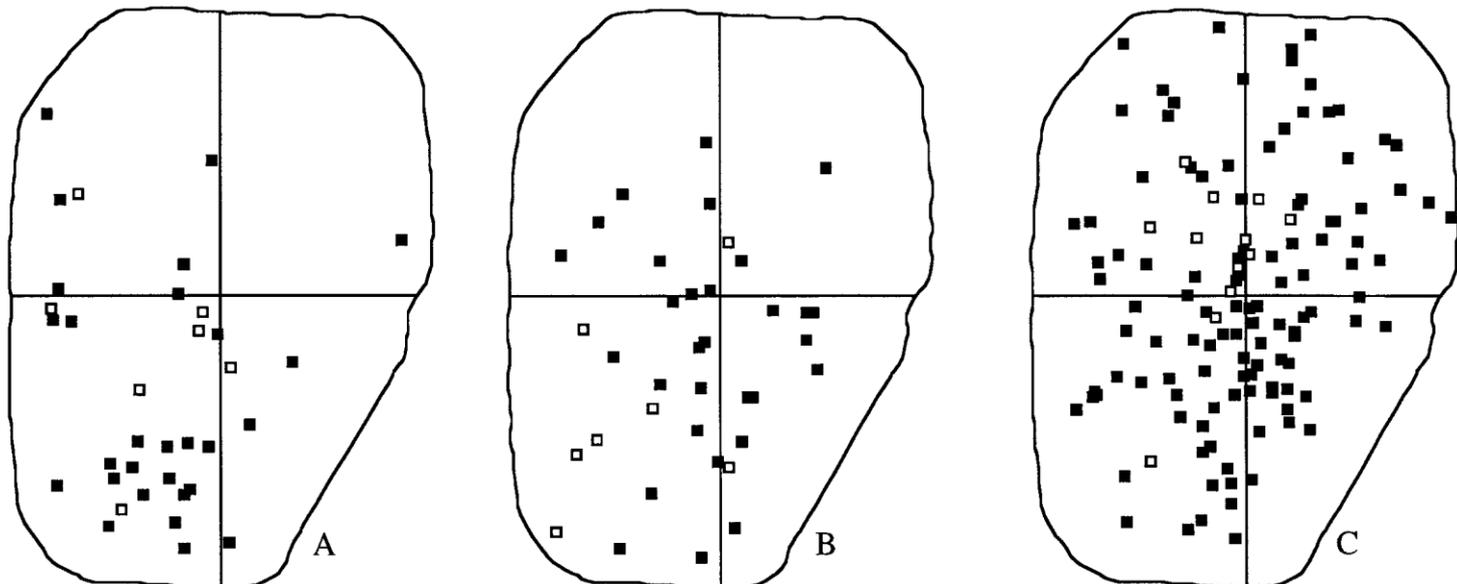
Algunos comportamientos interesantes

3. Después, regresa al enjambre, donde realiza una danza para presentar su sitio a las demás abejas exploradoras. Particularmente, hábilmente ajusta tanto la duración como el ritmo de su baile con la conveniencia de su sitio, lo que determina el número de exploradoras a reclutar. Todos esos comportamientos refinados de danza, son importantes para el proceso de consenso, por el cual las exploradoras de un enjambre colectivamente eligen su nuevo hogar.
4. Una vez que el domicilio del enjambre ha sido elegido, las exploradoras dejan de bailar, y comienzan a producir una señal diferente. Esta señal estimula a las no exploradoras en el enjambre, para calentarse a una temperatura dada (35 °C), para prepararse para el despegue.
5. Una vez que todas las abejas en el enjambre están convenientemente calentadas, las exploradoras detienen esa señal e inician una tercera señal, la cual provoca la disolución de la agrupación para migrar al nuevo sitio.

Algunos comportamientos interesantes

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

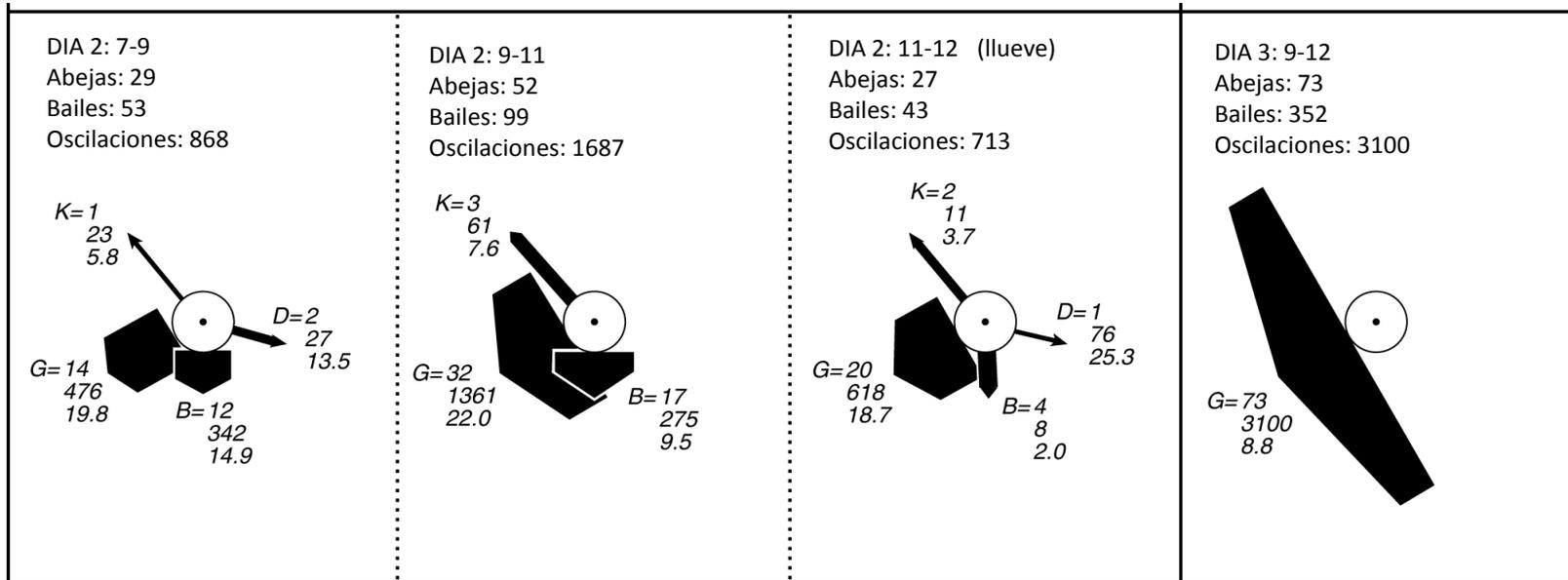
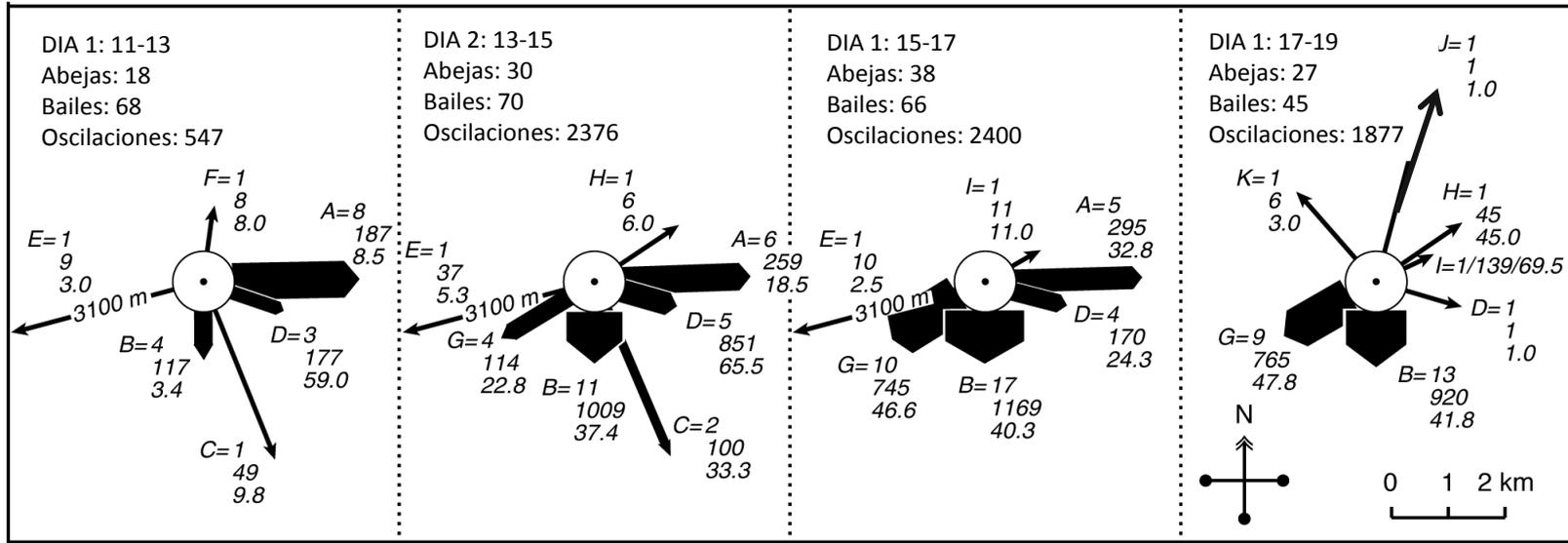


Algunos comportamientos interesantes

Las características genéricas del proceso de decisión incluyen:

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

Historia de toma de decisiones en un enjambre, desde el momento en que el primer sitio potencial fue anunciado al enjambre (Día 1: 11horas), hasta cuando tomaron la decisión de su nueva casa (Día 3: 12).



Búsqueda de Néctar

- En las colonias de abejas, la danza tiene un papel comunicador clave para la organización social
 - *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.*
- La danza también tiene un papel inhibitor, además del de excitación que acabamos de discutir. Ella permite detener el reclutamiento de abejas recolectoras, en una colonia de abejas

Búsqueda de Néctar

tipos de danzas

- *La danza de coleteo (meneo)*
- *La danza temblando*
- *Señal de parada*
- *Mecanismo de Abandono*

Comportamiento Defensivo

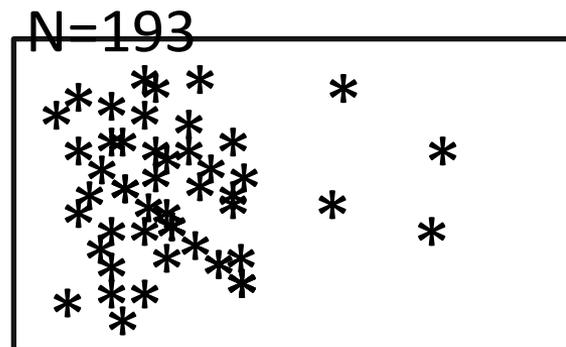
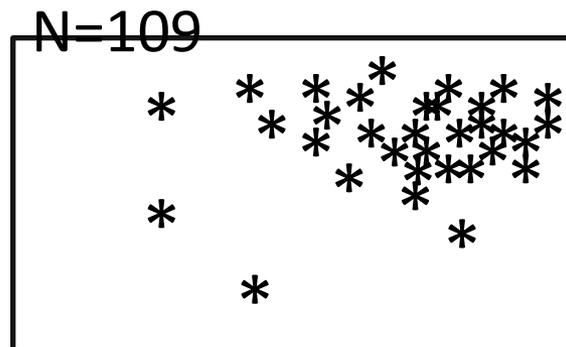
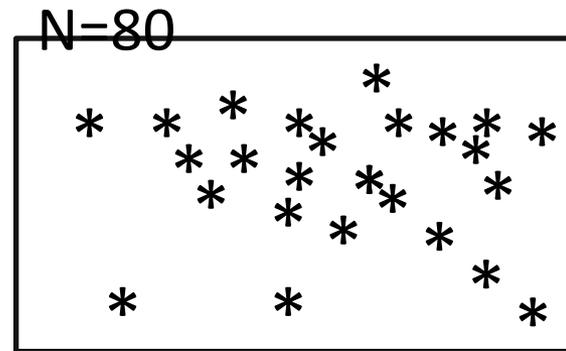
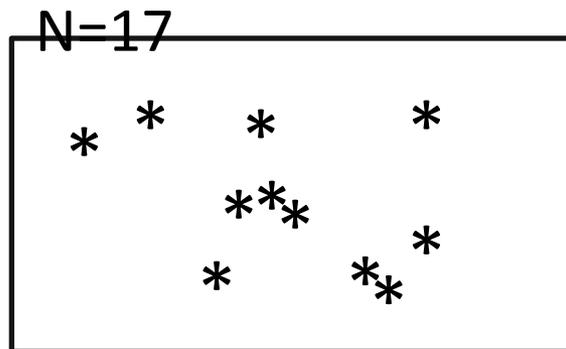
- Capacidad de la colonia para localizar y centrar su ataque,
- Capacidad de la colonia para caracterizar la intensidad del ataque.
- Para el cálculo de la probabilidad (P_i), se consideran las características del destino (color, movimiento, etc.) y el número total de picaduras previas (N_i) en el objetivo. Una expresión de P_i es:

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

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

Comportamiento Defensivo

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



El algoritmo ABC



El algoritmo ABC (por sus siglas en inglés, Artificial Bee Colony), es uno de los algoritmos más recientes en el área de inteligencia colectiva.



es un algoritmo de búsqueda basado en la población inspirado en el comportamiento de alimentación natural de las abejas para encontrar la solución óptima.



El algoritmo realiza una especie de búsqueda local combinada con búsqueda aleatoria.

El algoritmo ABC

- La colonia artificial de abejas es un algoritmo de optimización basado en poblaciones de abejas, muy efectivo para resolver problemas de búsqueda. ABC tiene varias variantes, las principales son:
 - **Comportamiento de Forrajeo:** se basa en el comportamiento colectivo de las abejas para la selección de fuentes de alimentos. Actualmente, existen muchas propuestas inspiradas en ese comportamiento.
 - **Comportamiento de Unión:** basado en el comportamiento de apareamiento de las abejas.
 - **Comportamiento de la Abeja Reina:** inspirado en los algoritmos genéticos, tal que le permite al mejor individuo de una población generar varios descendientes.

El algoritmo ABC

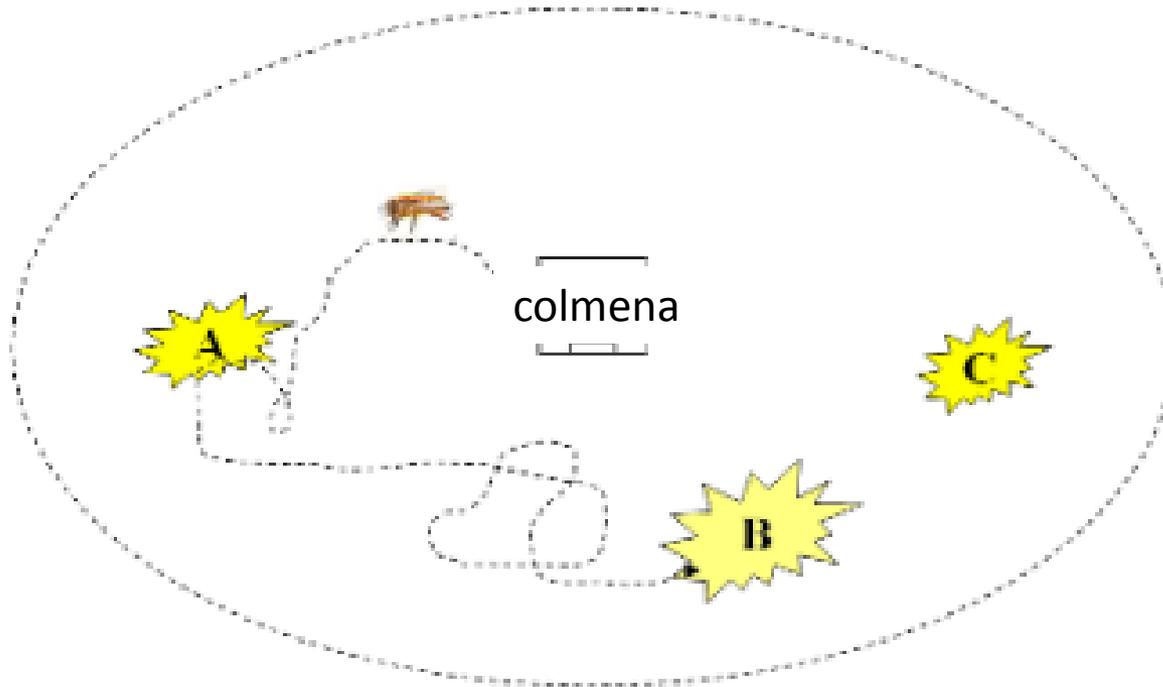
El modelo tiene cuatro componentes principales:

- **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.

El algoritmo ABC



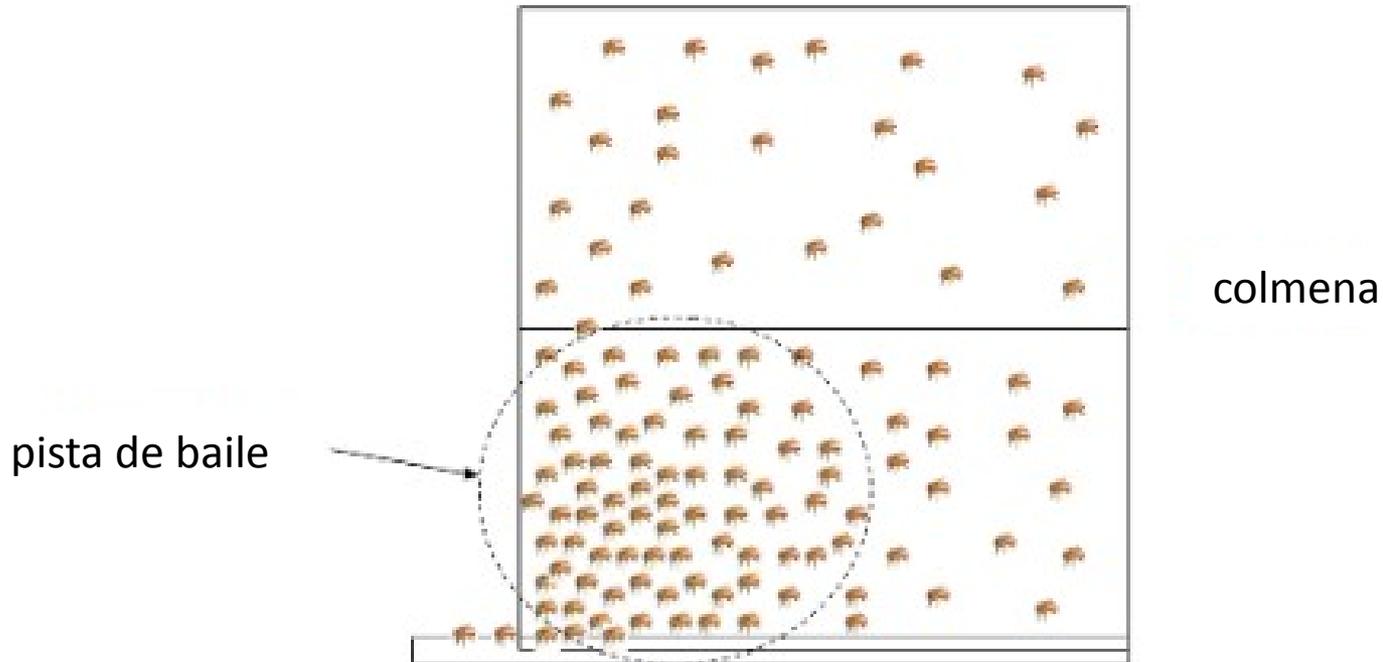
Abejas exploradoras buscan al azar a partir de un sitio



El algoritmo ABC



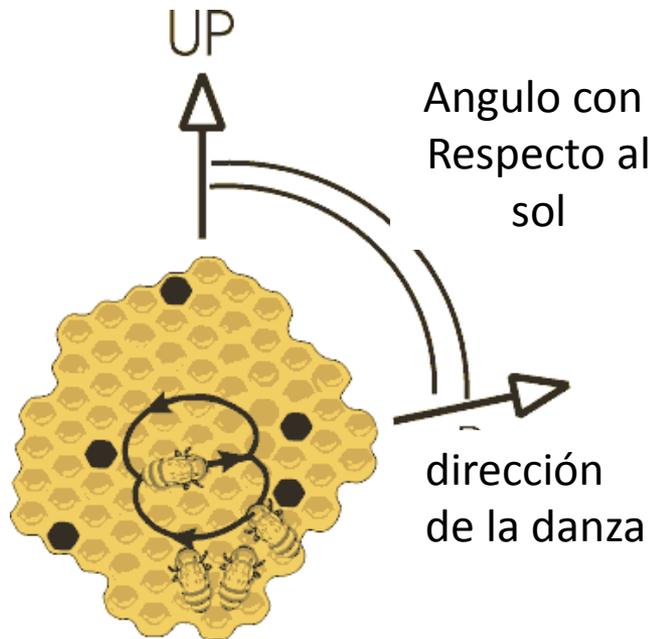
Depositán su néctar o el polen y van a la "pista de baile" para llevar a cabo una "danza de la abeja"



El algoritmo ABC



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



1. **La dirección** donde esta la flor
2. **La distancia** de la colmena (duración de la danza)
3. **La calificación de calidad** (fitness) (frecuencia de la danza)

El algoritmo ABC

Tres componentes esenciales de la selección de forraje:

- Fuentes alimenticias: El valor de una fuente de alimento depende de muchos factores, como su proximidad al nido, su riqueza o concentración de energía (alimentos), y la facilidad de extracción de esta energía.
- Recolectoras empleadas: Se asocian con una fuente de alimento en particular que están actualmente explotando (se "emplean") Llevan con ellos información sobre esta fuente en particular, su distancia y dirección desde el nido, la rentabilidad de la fuente y comparten esa información con una cierta probabilidad.

El algoritmo ABC

- Forrajeras Desempleadas: Están continuamente mirando por una fuente de alimento para explotar. Hay dos tipos de recolectoras desempleados:
 - scouts, que buscan en el medio ambiente que rodea el nido por nuevas fuentes de alimentos y
 - curiosos que esperan en el nido y el establecimiento de una fuente de alimento a través de la información compartida por cazadores-recolectores que trabajan.
- El modelo define dos modos principales de conducta:
 - reclutamiento a una fuente de néctar
 - abandono de una fuente.

El algoritmo 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)*

El algoritmo 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.

El algoritmo ABC

- **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.

El algoritmo ABC

ABC emplea cuatro procesos de selección diferentes:

- un proceso de selección global utilizada por los espectadores,
- un proceso de selección local, llevado a cabo en una región por las abejas ocupadas y espectadoras,
- un proceso de selección codiciosos utilizado por todas las abejas, y
- un proceso de selección aleatorio utilizado por los exploradores.



Modelos basados en Fenómenos Físicos

La técnica de Recocido Simulado

- Un **esquema de enfriamiento** que regula cómo va disminuyendo gradualmente la temperatura.

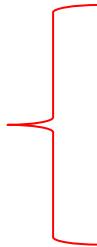
$$T(k) = \frac{T_o}{1 + \ln k}$$

- Un algoritmo, como el **algoritmo de Metropolis**, que se utiliza para encontrar la distribución de equilibrio para cada nuevo valor de la temperatura obtenido por el esquema de enfriamiento.

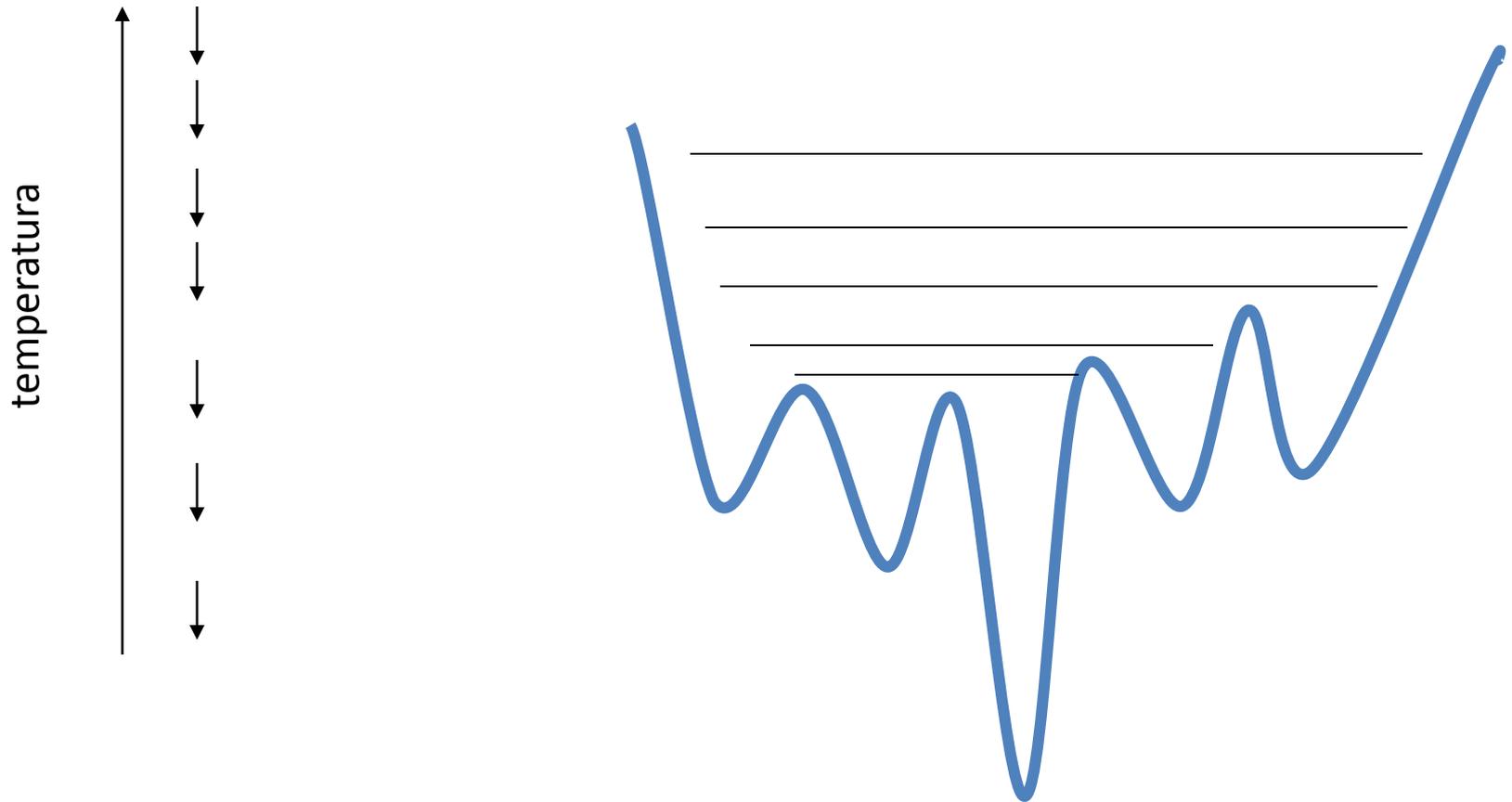
Temple Simulado (iterativo)

- actual = solución_inicial[problema]
- T= alta temperatura
- repita hasta T= congelado
 - próximo= aleatoria selección desde actual de una solución vecina
 - $E = \text{costo}[\text{próximo}] - \text{costo}[\text{actual}]$ ← **parada**
 - Si T= congelado y $E > 0$ entonces
 - regresar actual
 - de lo contrario
 - Si $E > 0$ entonces
 - actual= próximo con probabilidad $e^{E/T}$
 - Si $E < 0$ entonces
 - actual= próximo
 - descender T si ya han sido aceptados un número dado de movimientos para ese T

**Actualiza
solución**



Búsqueda del Mínimo Global : Recocido Simulado



GRACIAS

ii sitinaka

Merci
Thanks

Obrigado
Danke

www.ing.ula.ve/~agUILar

