



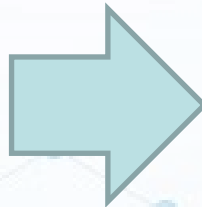
# ***Algoritmos Bioinspirados***

## *Unidad V : Inteligencia de enjambre*

*Programa: Ingeniería en Inteligencia Artificial*

Animales que viven en colonias presentan comportamientos que siempre han intrigado a los científicos.

Comportamientos sencillos  
e individuales



Lleva a comportamientos grupales  
complejos y bien organizados



## Inteligencia de Enjambre

Es un campo de la IA que estudia el comportamiento colectivo de sistemas descentralizados y autoorganizados basados en la naturaleza de algunos sistemas biológicos.

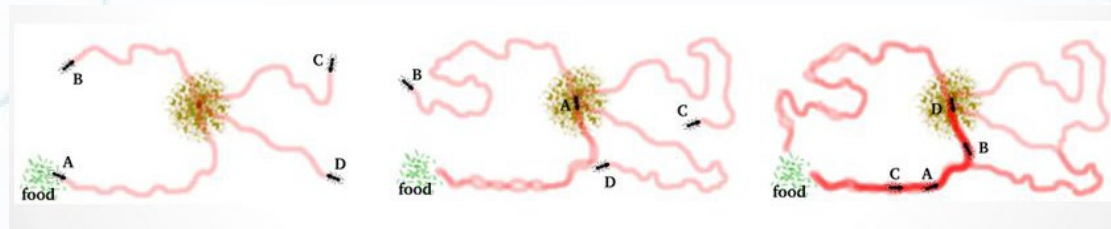


Metáfora computacional para resolver problemas distribuidos inspirada en ejemplos biológicos proporcionados por insectos sociales como hormigas, termitas, abejas y avispas o por fenómenos de enjambre, manada, bandada y banco en vertebrados como peces y pájaros.

La inteligencia de enjambre se basa en los principios que subyacen al comportamiento de los sistemas naturales que constan de muchos agentes y explotan las formas de comunicación local y el control altamente distribuido

El comportamiento de un individuo afecta a los individuos más cercanos (agentes simples)

No existe una estructura de control centralizada



Producen un comportamiento colectivo adaptativo



## Enjambres/Rebaño (Following / Swarming / Flocking / Schooling)

En la naturaleza el comportamiento de enjambre se basa en el balance de 2 comportamientos opuestos:

- ❖ El deseo de mantenerse cerca para generar el rebaño.
- ❖ El deseo de evitar colisiones.

Pero, ¿Porqué la necesidad de mantenerse juntos?

1. Protección contra depredadores.
2. Búsqueda efectiva de alimento.
3. Optimización de recursos.
4. Ventajas en la interacción social y de reproducción.



### Características de los enjambres:

- Compuesto por agentes discretos, pero el movimiento general es fluido.
- Simple en concepto, pero visualmente complejo.
- Organizados al azar, pero altamente sincronizados (autoorganización, estigmergia).
- Parece tener un control centralizado, pero la evidencia sugiere que el movimiento del grupo se debe únicamente al resultado agregado de agentes individuales.

**Nota:** En la naturaleza no hay indicios de que el enjambre tenga algún límite, es decir una parvada no se *sobrecarga* cuando nuevos agentes se unen.

Ejemplo: en la migración del arenque, el banco de peces puede llegar a medir hasta 17 millas ( $\approx 27 \text{ Km.}$ ) y contener millones de peces.

El agente individual (p. ej., pájaro) no parece prestar atención a cada compañero de rebaño.

### Metodología:

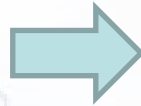
1. Observar un comportamiento social.
2. Construir un modelo simple para explicarlo.
3. Utilizar el modelo del comportamiento social como fuente de inspiración para resolver un problema práctico que tiene algunas similitudes con el comportamiento social observado

Biólogo

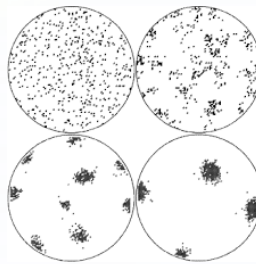
Ingeniero en Computación  
o robótica

## Ejemplos:

### Cementerio de hormigas



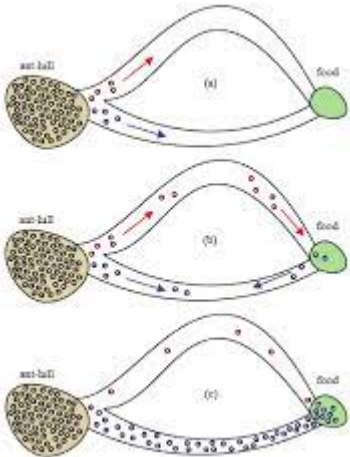
### Clustering



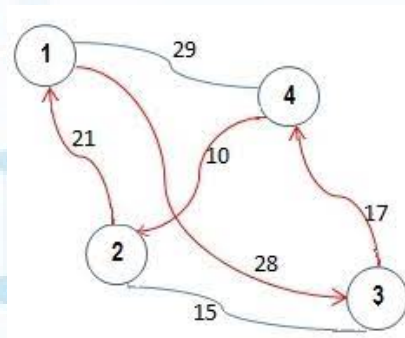
### División del trabajo



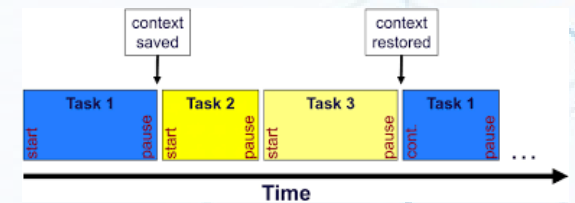
### Forrajeo



### Diseño de rutas



### Planificación de tareas





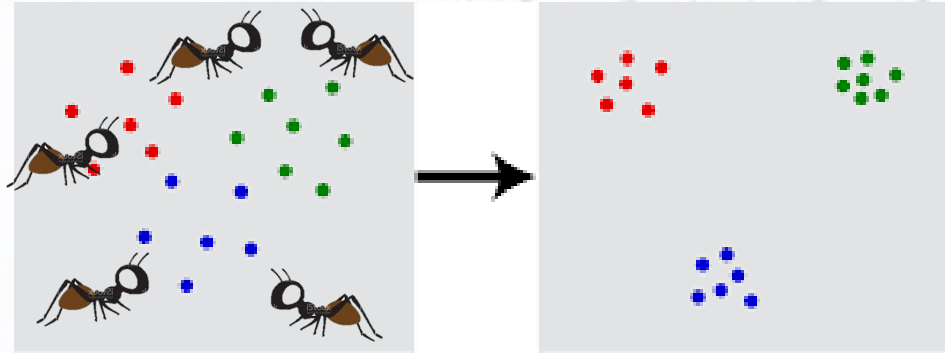
## Autoorganización

Un proceso en el que las interacciones locales entre partículas simples generan una estructura a un nivel superior.

- Las estructuras globales resultantes se dice son emergentes porque son más que la suma de las partes constituyentes.
  - El comportamiento colectivo demostrado por insectos sociales (hormigas, abejas, termitas, etc.) surge de un pequeño conjunto de interacciones simples entre individuos y entre individuos y el medio ambiente.
- La autoorganización se basa en 2 principios opuestos: atracción (estimulo/retroalimentación positiva) y repulsión (estimulo/retroalimentación negativa)

**Tarea:** ordenar elementos esparcidos por el suelo

Una forma de lograr la tarea (sin control central) es mediante la suma de los esfuerzos individuales de una multitud de agentes que no tienen idea del objetivo global a alcanzar; es decir, se produce comportamiento colectivo emergente.



Ejemplo de reglas simples:

- (1) Cada hormiga deambula un poco,
- (2) Si una hormiga se encuentra con un objeto y no lo lleva ninguno, lo toma.
- (3) Si una hormiga transporta un objeto y hay un objeto similar frente a ella, deposita su carga.

Principios de organización:

**Autonomía:** el sistema no requiere gestión ni mantenimiento externo. Los individuos son autónomos y controlan su propio comportamiento.

**Adaptabilidad:** las interacciones entre individuos pueden surgir a través de la comunicación directa o indirecta. Al explotar esta comunicación local, los individuos tienen la capacidad de detectar cambios en el entorno de forma dinámica y adaptar su comportamiento a dicho cambios.

**Escalabilidad:** las tareas se pueden realizar utilizando grupos que consisten en unos pocos individuos, y que pueden ser escalados hasta miles de individuos.

**Flexibilidad:** ningún individuo del enjambre es esencial, es decir, cualquier individuo puede agregarse, eliminarse o reemplazarse dinámicamente.

## Principios de organización (2):

**Robustez:** la arquitectura altamente distribuida mejora la robustez; el no tener coordinación central, significa que no hay un único punto de falla. Combinar escalabilidad y flexibilidad, permite redundancia, esencial para la solidez.

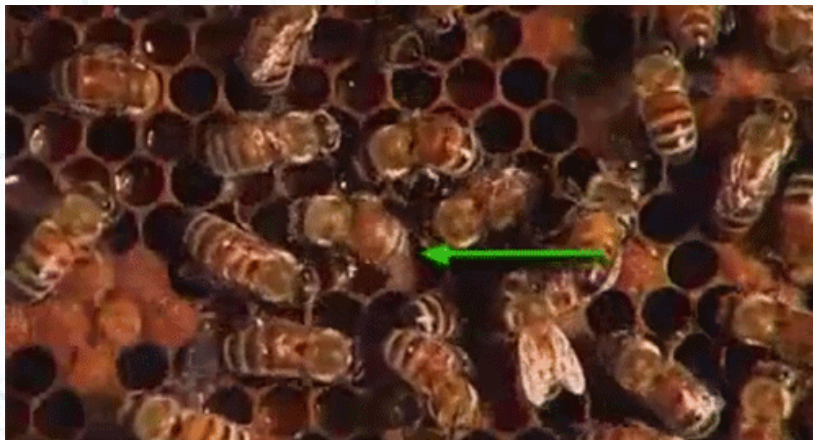
**Paralelismo masivo:** los sistemas de enjambre se consideran paralelos ya que cada individuo es capaz de realizar las misma tareas.

**Autoorganización:** la inteligencia exhibida no está presente en los individuos, sino que emerge de alguna manera de todo el enjambre. Si consideramos a cada individuo como una unidad de procesamiento, las soluciones a los problemas obtenidos no están predefinidas, sino que se determinan colectivamente como resultado del programa en ejecución.

**Rentabilidad:** el sistema de enjambre consiste de agentes homogéneos y simples, lo cual hace más sencilla la implementación de algoritmos paralelos y hardware.



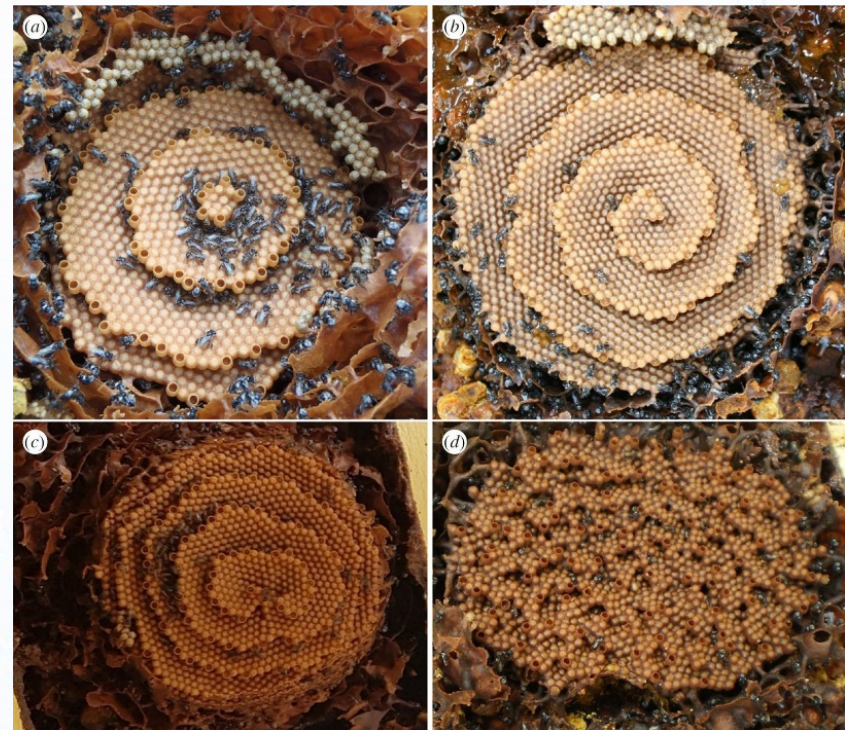
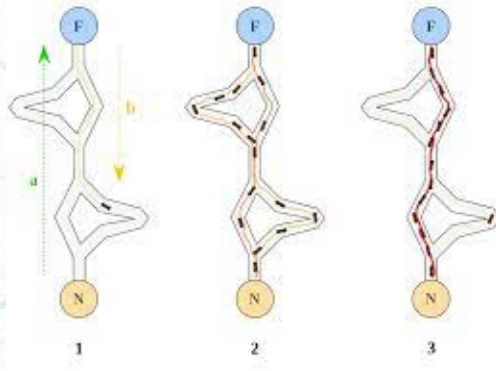
**Comunicación directa:** comunicación explícita que tiene lugar entre individuos. Ejemplos de tales interacciones son la danza de la abeja melífera, el uso de antenas, el contacto mandibular, el contacto visual, etc. Es limitada y local.



[youtube.com/KOEDdeeplook](https://www.youtube.com/KOEDdeeplook)



**Comunicación indirecta:** es la comunicación implícita que tiene lugar entre los individuos a través del entorno. Esto se conoce como comunicación por estigmergia.



## Comunicación indirecta:

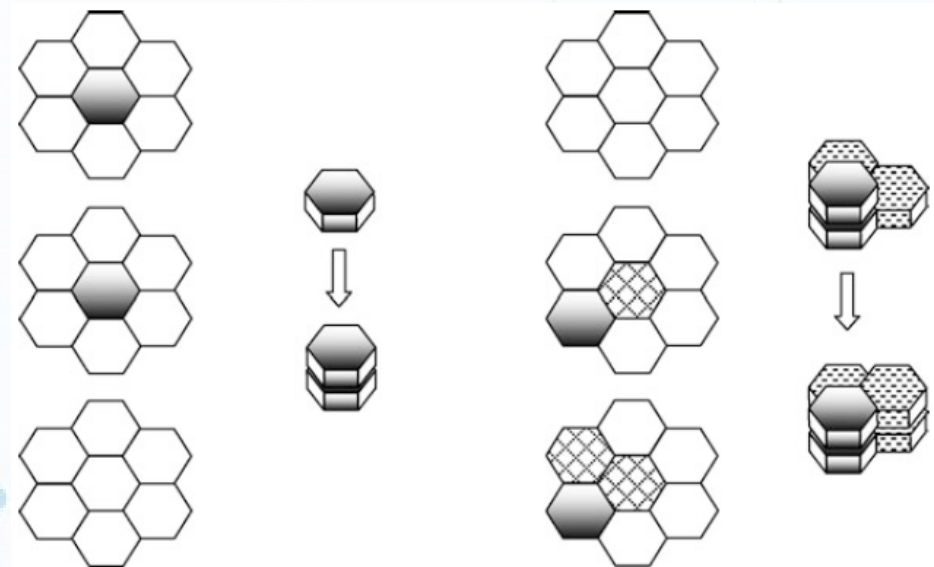
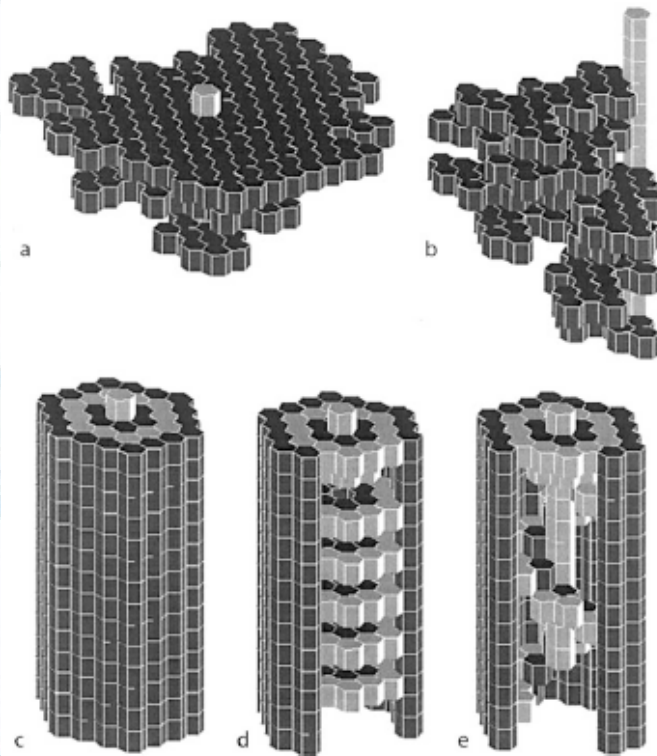
La estigmergia describe un mecanismo de interacciones a través de estímulos o modificación al entorno. Al sensor su entorno, un animal realizará una acción apropiada como respuesta a las nuevas condiciones.

- ✓ El término fue introducido por el biólogo Pierre-Paul Grassé en 1959, para explicar la construcción de arquitecturas de nidos elaborados por termitas.
- ✓ Se deriva de las palabras griegas “stigma” (στίγμα) que significa marca o signo y “ergon” (ἔργον) que significa trabajo o acción.
- ✓ Estigmergia significa comunicación a través de pistas o señales colocadas en el entorno por una entidad, que afectan el comportamiento de otras entidades que las encuentran.

Grassé P.P. (1959). La reconstruction du nid et les coordinations inter-individuelles chez *Bellicositermes Natalensis* et *Cubitermes* sp. La théorie de la stigmergie: essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs. *Insectes Sociaux*, vol. 6, pp. 41-84.

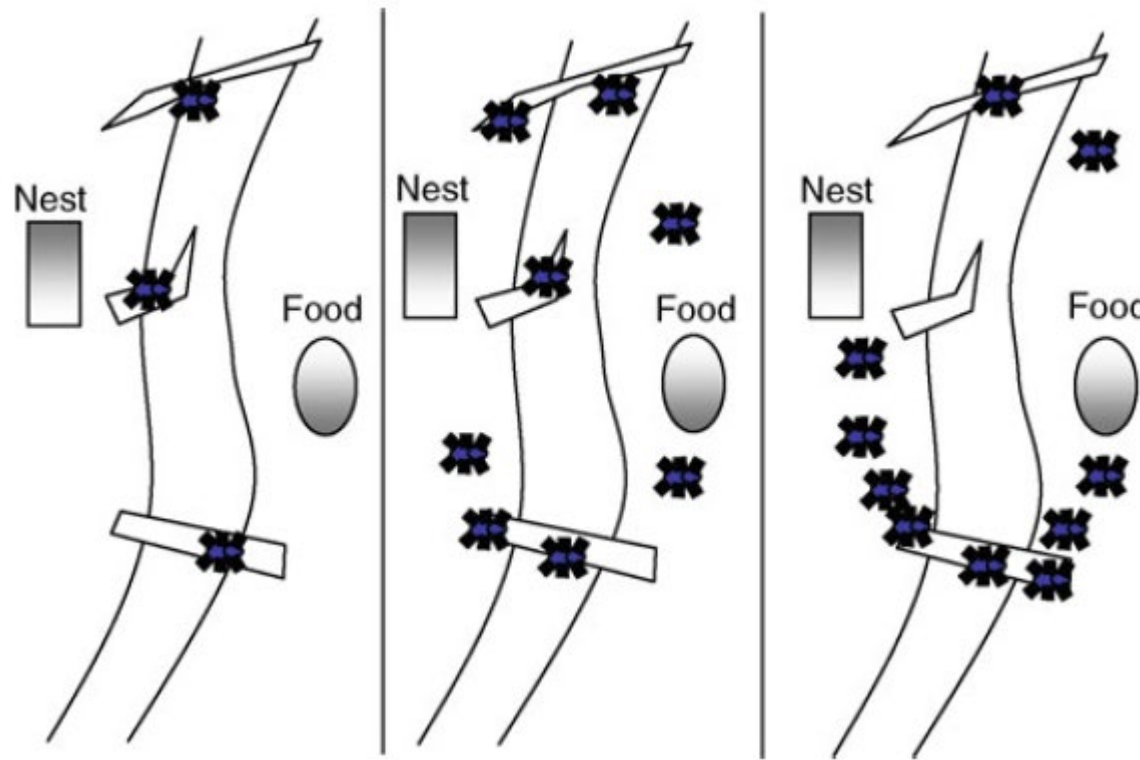


**Estimergia sematectónica:** la información se comunica a través de la modificación física del entorno. Por ejemplo, abrir un agujero en un nido de termitas, provoca una alteración de la atmósfera interna cuidadosamente mantenida. Al detectar algún problema en el termitero, las termitas realizan la función de reconstrucción y atacan posibles intrusos mientras reparan la brecha para restaurar el equilibrio del termitero.



Bonabeau E., Guérin S., Snyers D., Kuntz P., & Theraulaz G. (2000). Three-dimensional architectures grown by simple 'stigmergic' agents. Biosystems, vol. 56, pp.13-32.

**Estigmergia basada en feromonas:** alguna sustancia se deposita en el entorno, la cual no contribuye directamente a la tarea que se está realizando, pero se utiliza para influir en el comportamiento posterior que está relacionado con la tarea.





Cuando se consideran los procesos estigmérgicos que se observan a menudo en la naturaleza, las fuentes de inspiración más destacadas desde el punto de vista de la inteligencia de enjambre son:

- Navegación hacia las fuentes de alimentos.
- Clasificación/agrupación.
- Construcción colectiva de estructuras.
- División del trabajo
- Agregación

Floreano, D., & Mattiussi, C. (2008). Bio-inspired artificial intelligence: theories, methods, and technologies. MIT press.



## Limitaciones de la inteligencia de enjambre

- ✓ El enfoque de enjambre proporciona una rica fuente de inspiración y sus principios son directamente aplicables a los sistemas informáticos.
- ✓ Sin embargo, aunque enfatiza las capacidades de autoorganización y adaptabilidad, este es útil para aplicaciones que no son críticas en cuanto al tiempo y que involucran numerosas repeticiones de la misma actividad
- ✓ Este enfoque generalmente se basan en resultados de convergencia matemática (como la caminata aleatoria) que alcanzan el resultado deseado durante un período de tiempo suficientemente largo.

Floreano, D., & Mattiussi, C. (2008). Bio-inspired artificial intelligence: theories, methods, and technologies. MIT press.



## Bibliografía

1. Rozenberg, G., Bäck, T., & Kok, J.N. (2012). Handbook of Natural Computing (1st. ed.). Springer Publishing Company, Incorporated.
2. S. Olariu, A. Y. Zomaya. 2006. Handbook of Bioinspired Algorithms and Applications. Chapman and Hall/CRC, ISBN 978-1-58488-475-0.
3. Floreano, D., & Mattiussi, C. (2008). Bio-inspired artificial intelligence: theories, methods, and technologies. MIT press.
4. Slowik, A. (Ed.). (2020). Swarm Intelligence Algorithms: A Tutorial.





¡ Gracias !

Thanks !

Obrigado

Xie xie ni

Domo arigatou

Спасибо

Merci

Grazie

Alfa Beta