

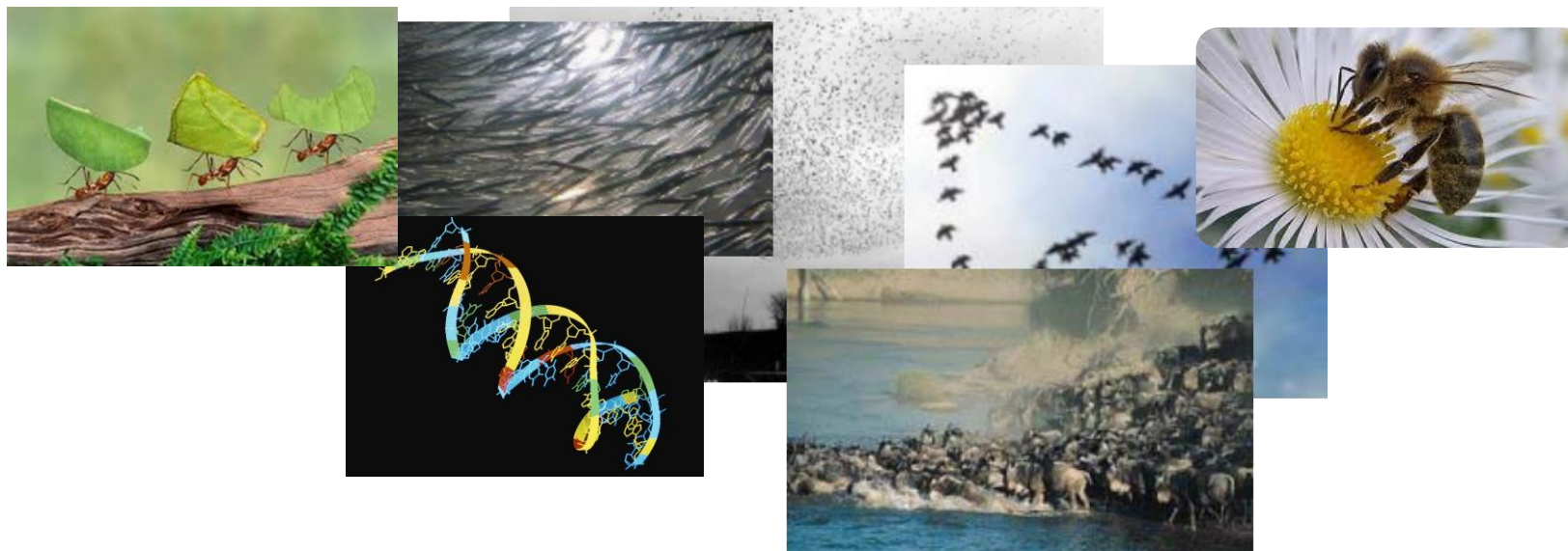


UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Universidad Nacional de Colombia
Sede Medellín

Computación evolutiva y otros Algoritmos Bioinspirados



Profesora: Patricia Jaramillo A. Ph.D

Los sistemas naturales son complejos:

- Tienen elementos que interactúan entre sí.
- Tienen propiedades emergentes: a partir de comportamientos simples de los elementos, se obtienen propiedades mucho más sofisticadas en el sistema.
- Se autoorganizan: a partir de una condición inicial desordenada, el sistema se ordena, espontáneamente.

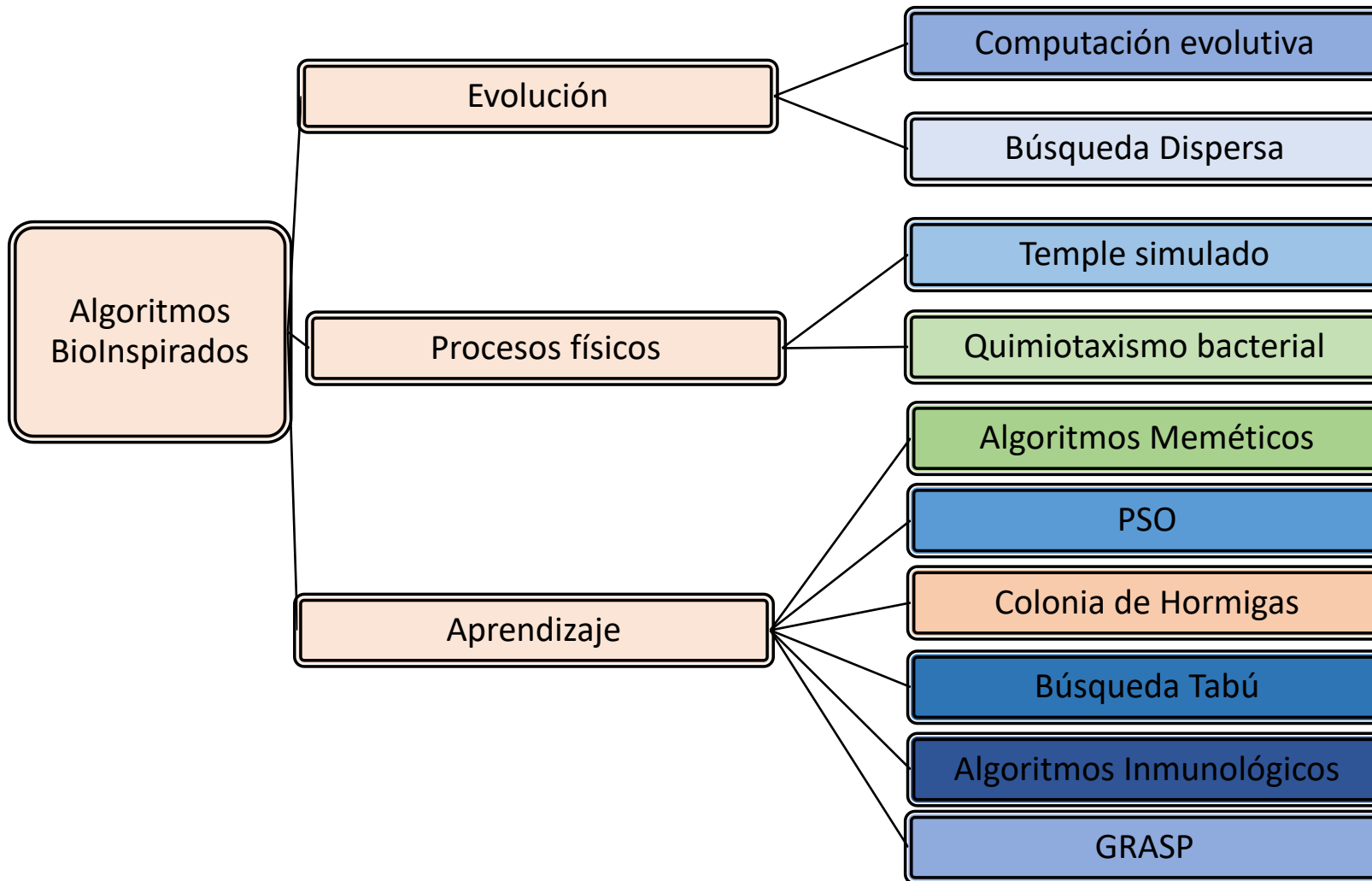
Algoritmos bioinspirados

- Son metaheurísticas basados en principios generales de Inteligencia Artificial (IA).
- Se inspiran en procesos naturales.
- Su propósito es encontrar una solución cercana al óptimo en un tiempo razonable.
- No garantizan la optimalidad de la solución encontrada

Principales Estrategias de los algoritmos

- Cooperación
- Uso de memoria
- Adaptabilidad y aprendizaje
- Balance entre explotación y exploración
- Búsqueda poblacional

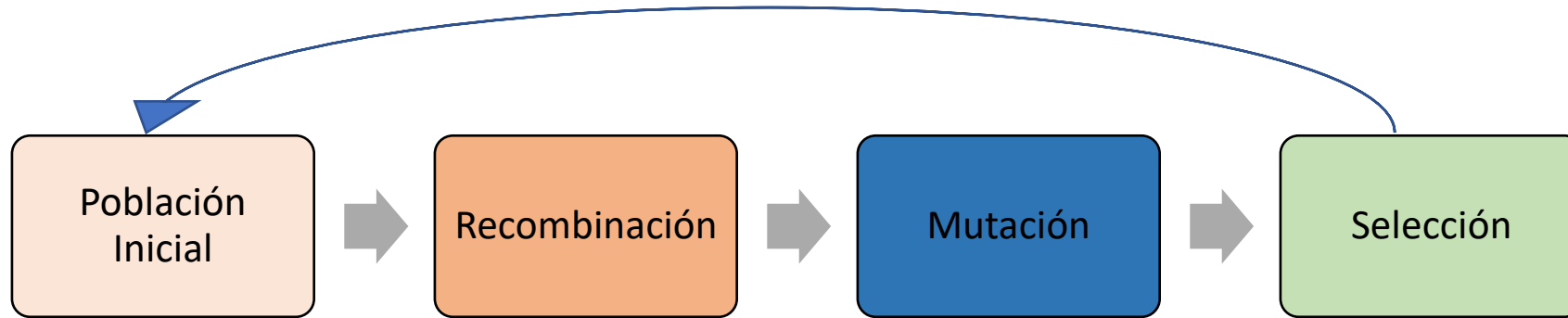
Según su Inspiración pueden clasificarse en:



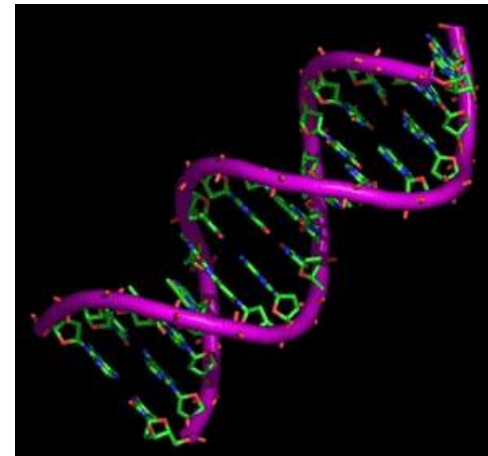
Algunos de ellos



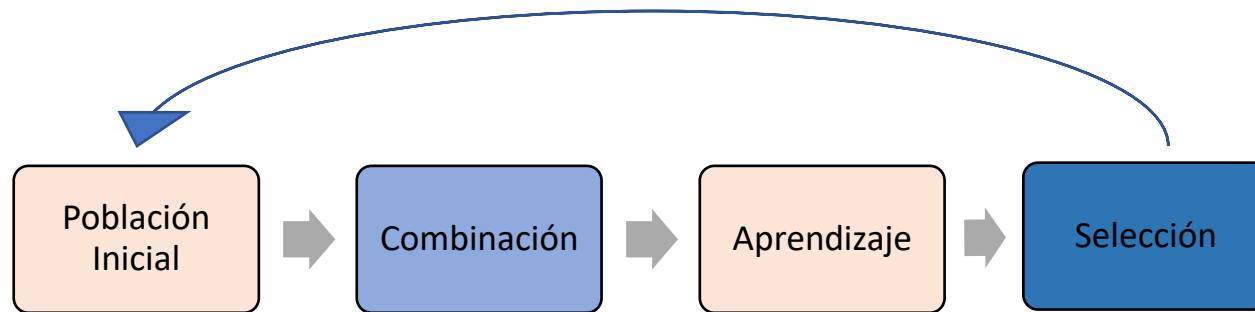
Inspirados en la evolución



- ***Computación evolutiva:*** algunos son:
 - Estrategias Evolutivas
 - Algoritmos genéticos
 - Evolución diferencial
- ***Búsqueda dispersa***



Inspirados en aprendizaje



- PSO
- Colonia de Hormigas
- Búsqueda Tabú
- Algoritmos Inmunológicos
- GRASP

Otros algoritmos

Quimiotaxismo Bacterial QB



Harmony Search



ABC
Artificia Bee Colony



Bat algorithm



Firefly algorithm

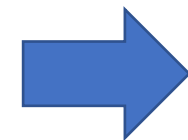




I. Colonia de Hormigas

ACO (Ant Colony Optimization)

<https://www.youtube.com/watch?v=eVKAiufSrHs>



Colonia de Hormigas ACO

diseñada por Dorigo (1992) del Politécnico de Milan.

Se basa en la forma como las hormigas buscan el mejor recorrido desde su nido hasta el sitio en el que se encuentra su alimento.

Las hormigas reales

- Son capaces de seguir la ruta más corta en su camino de ida y vuelta entre la colonia y una fuente de abastecimiento.
- "Transmiten información": cada una, al desplazarse, deja un rastro de feromona.
- Una hormiga detecta el rastro de feromona dejado por otras y tiende a seguirlo. Éstas, a su vez, van dejando su propia feromona a lo largo del camino recorrido y lo hacen más atractivo.

- Algunas seleccionan caminos con menor feromona, así se abre la posibilidad de encontrar caminos alternativos a la fuente de alimento (exploración).
- Esto conduce a un comportamiento emergente a partir de interacciones simples entre hormigas, sin siquiera contar con un líder.

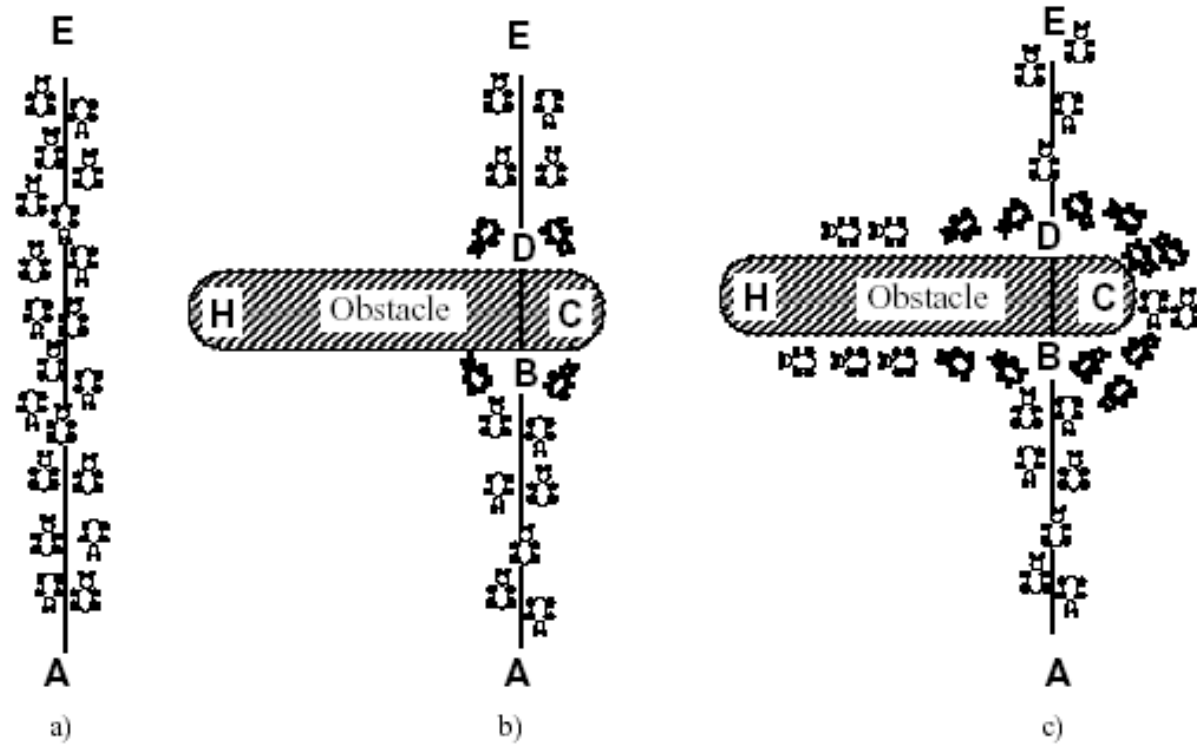
Concluyeron que:

- Las hormigas siguen la ruta más corta en su camino de ida.
- "Transmiten información" entre ellas gracias a que cada una, al desplazarse, va dejando un rastro de feromona.
- Una hormiga detecta el rastro de feromona dejado por otras hormigas y tiende a seguir dicho rastro. Éstas a su vez van dejando su propia feromona.

No todos los individuos se inclinan a ese comportamiento.

Algunas seleccionan caminos con menor feromona, así se abre la posibilidad de encontrar caminos alternativos a la fuente de alimento (exploración).

- Se resume en:
- retroalimentación positiva: la probabilidad con la que una hormiga escoge un camino, aumenta con el número de hormigas que previamente hayan elegido el mismo camino.
- Comportamiento emergente a partir de interacciones simples entre hormigas, sin siquiera contar con un líder.

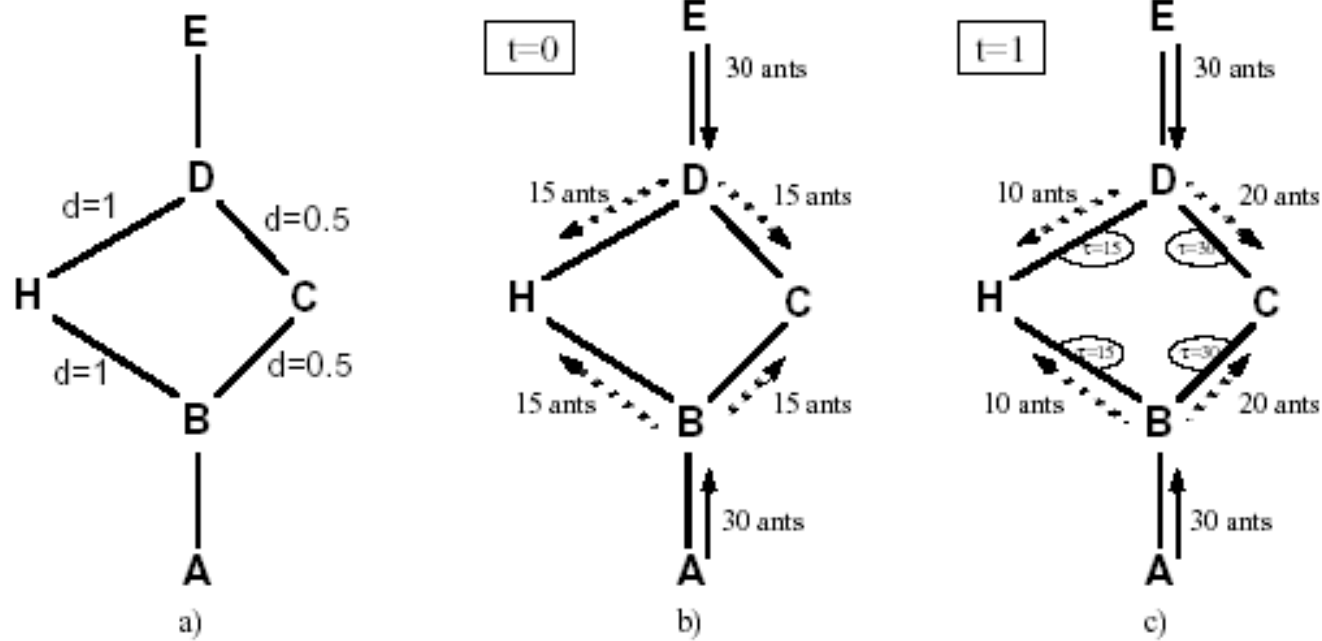


Un ejemplo con hormigas reales:

- a) las hormigas siguen una ruta entre los puntos A y E
- b) Se interpone un obstáculo. Las hormigas pueden elegir una ruta siguiendo uno de los dos caminos posibles con igual probabilidad.
- c) Al cabo del tiempo en el camino mas corto habrá mas traza de feromona, por lo que más hormigas tienden a seguirlo.

Las hormigas virtuales

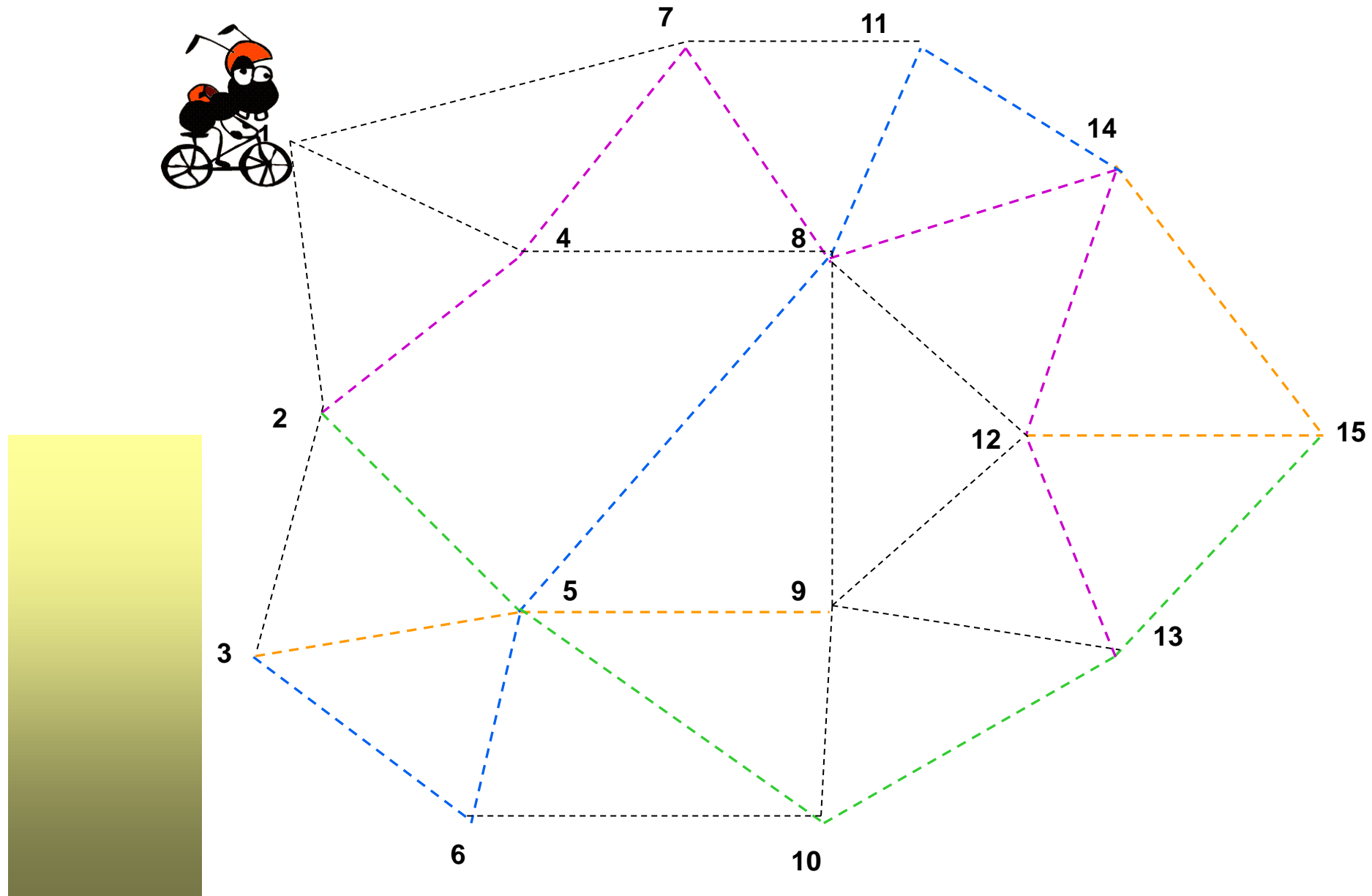
- Son “agentes” con capacidades básicas muy simples, que imitan la conducta de hormigas reales.
- Tienen algo de memoria.
- A diferencia de las reales no son ciegas.
- Viven en un ambiente donde el tiempo es discreto.
- <https://www.youtube.com/watch?v=eVKAlufSrHs>



Un ejemplo con hormigas virtuales:

- La grafica inicial con distancias
- En el tiempo $t=0$ no hay trazas en los arcos, Además las hormigas eligen si voltear a la derecha o a la izquierda con igual probabilidad
- En el tiempo $t=1$ la traza de feromona es mas fuerte en los arcos más cortos, los cuales son preferidos en promedio por las hormigas.

Para explicar el algoritmo usaremos el problema del agente viajero TSP: Dado un conjunto de n ciudades, encontrar una mínima longitud cíclica para visitar una ciudad cada vez. (los datos son d_{ij} distancia entre i y j)



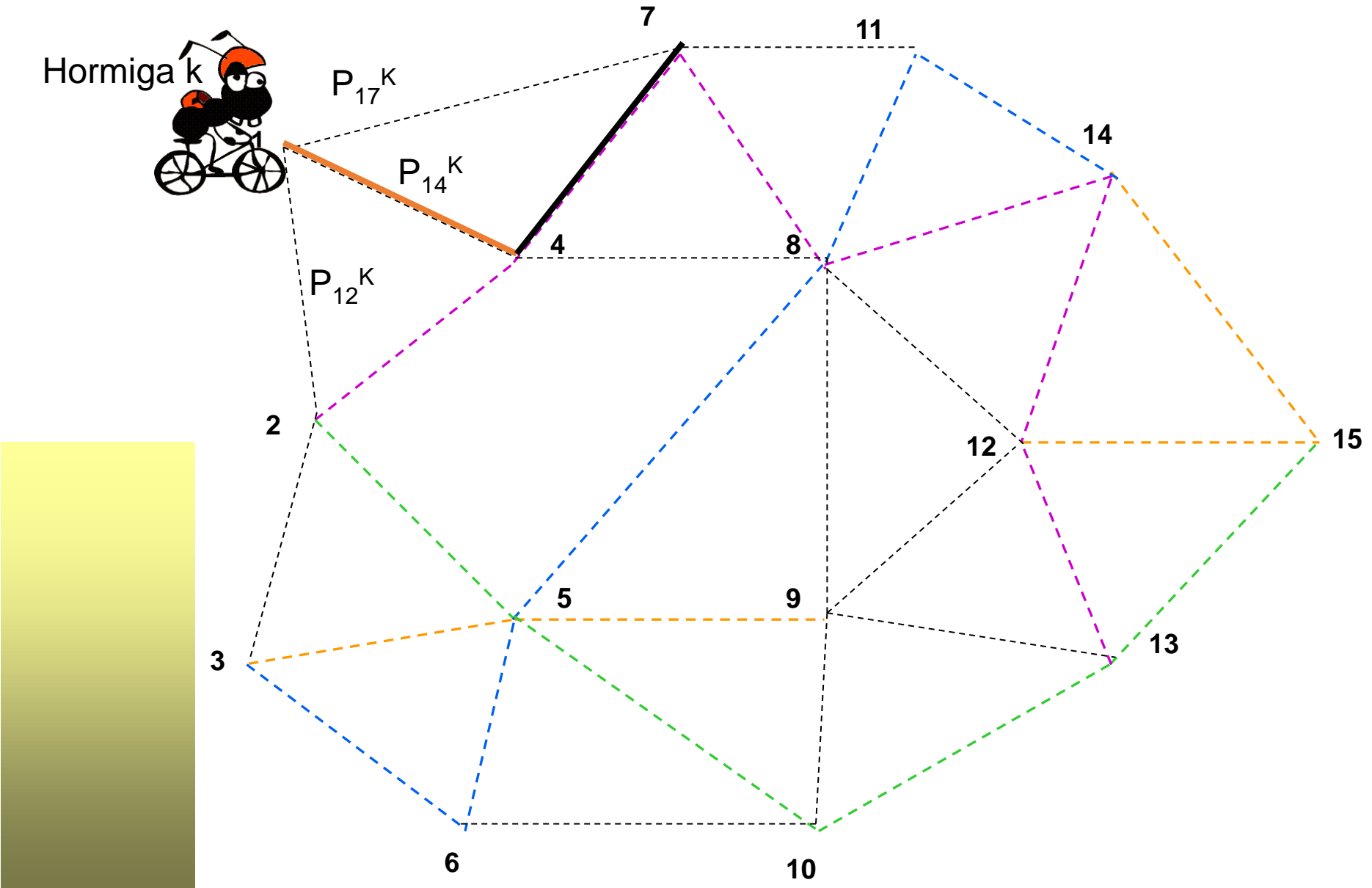


Cómo Funciona (1)

- Se lanzan m hormigas a recorrer la red saliendo del nodo origen. Cada hormiga busca su propio recorrido.

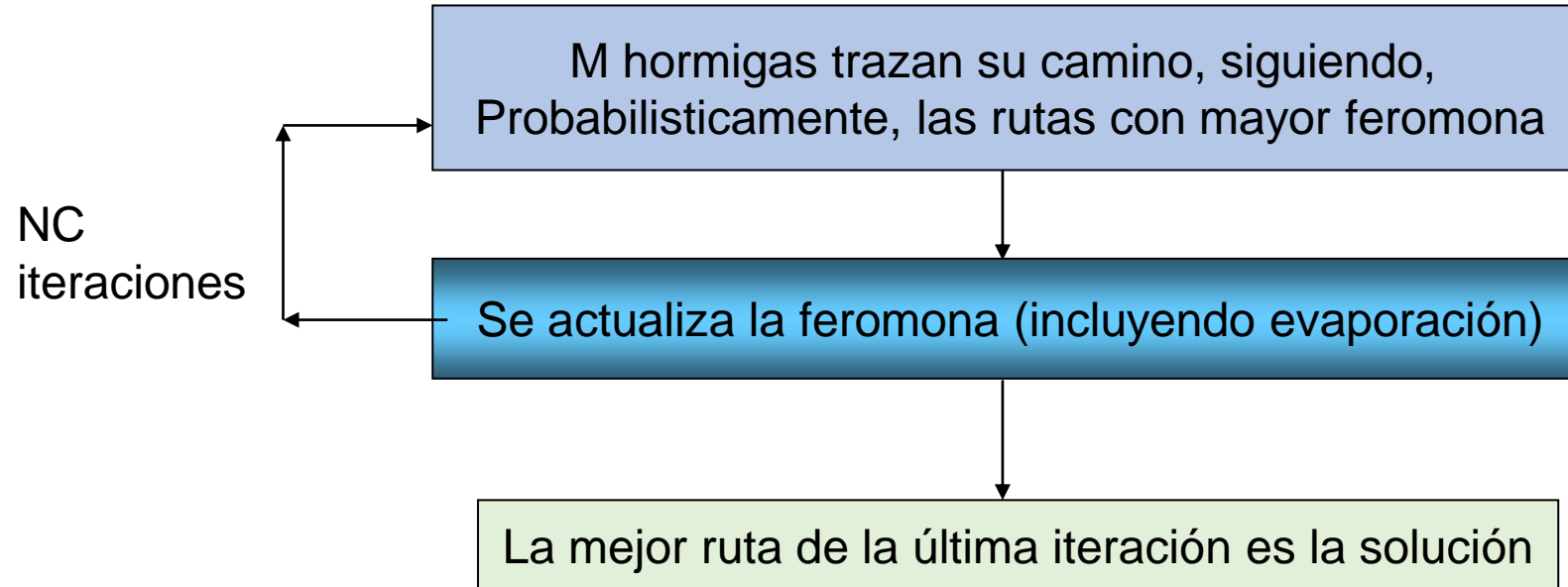
Así, cada hormiga k :

- cuando está en un nodo i , pasa a otro nodo j según una probabilidad definida P_{ij}^k , que depende de la distancia d_{ij} y de la cantidad de rastro de “feromona” presente en el arco ij .
- Para no hacer ciclos y hacer siempre opciones factibles, guarda en “memoria” los nodos que ha visitado y prohíbe volver a ellos (hasta que un viaje es completado -1 ciclo-). Esto es controlado por una lista tabú).



Cómo funciona (2)

- Una vez se termina un ciclo, se calcula la ruta más corta encontrada por alguna de las hormigas. Se agrega más feromona al camino mas corto encontrado entre todas las hormigas. (Puede ser a algunos mas).
- Se repite el proceso hasta alcanzar el máximo de iteraciones o llegar a una “convergencia” del algoritmo



Variables y Parámetros

 η_{ij}

Visibilidad=1/d_{ij}

 τ_{ij}

Rastro de feromona en el arco ij

 τ_0

Cantidad inicial de feromona

 β

Importancia relativa de la visibilidad

 α

Importancia relativa de la traza de feromona

 ρ

Tasa de evaporación 0≤ρ≤1

 M_k

Memoria de la hormiga k

 L

Longitud del camino más corto

Si una hormiga k en la iteración t está en el nodo i, cuál nodo j elige para seguir?

Mediante un juego probabilístico, elige el nodo j con probabilidad P_{ij}^k

$$P_{ij}^k(t) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \notin M_k} [\tau_{iu}(t)]^\alpha [\eta_{iu}]^\beta} & \text{si } j \notin M_k \\ 0 & \text{En otro caso} \end{array} \right\}$$

Donde:

η_{ij} Visibilidad = $1/d_{ij}$

τ_{ij} Rastro de feromona

β Importancia relativa de la visibilidad

α Importancia relativa de la traza de feromona

M_k Memoria de la hormiga k

Actualización de feromona:

Después de encontrar el mejor recorrido. Se agrega feromona sólo a los arcos de la mejor ruta.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \rho Q \eta$$

τ_{ij} Rastro de feromona

τ_0 Cantidad inicial de feromona

ρ tasa de evaporación $0 \leq \rho \leq 1$

η Visibilidad de del camino más corto $= 1/L$

Q constante

- El resto de arcos también debe actualizarse por evaporación

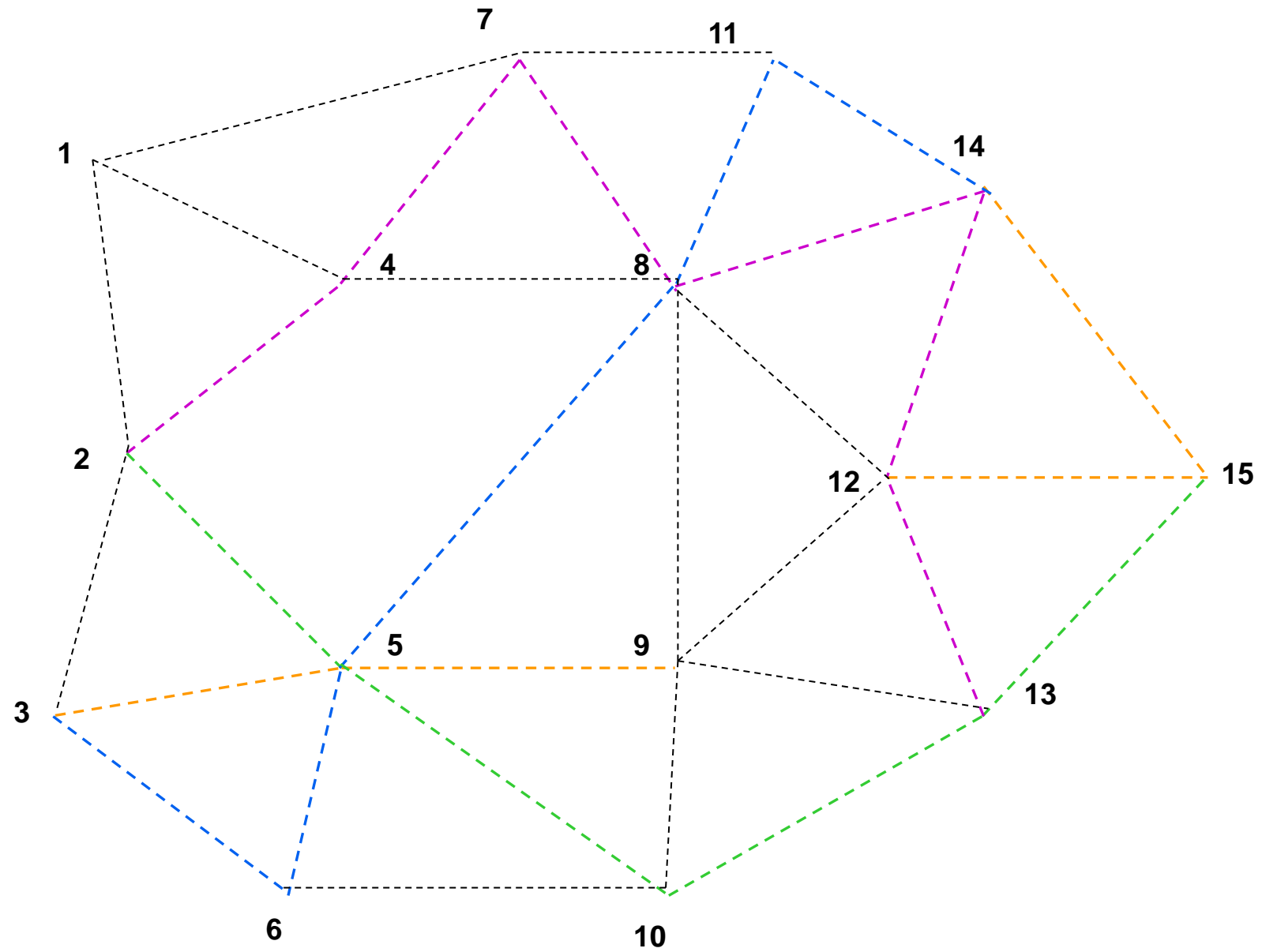
$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t)$$

Ejemplo

- Se desea encontrar la ruta más corta entre los nodos 3 y 11. Las distancias entre nodos están dadas por la matriz:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	38	55	20	24	M	38	45	51	47	20	14	24	14	M
2	38	0	23	1	3	22	21	14	57	24	14	M	28	M	33
3	55	23	0	25	10	1	M	28	M	37	M	49	M	58	M
4	20	1	25	0	84	98	7	10	7	6	M	5	M	4	M
5	24	3	10	84	0	4	M	7	5	13	14	37	9	M	6
6	M	22	1	98	4	0	41	48	57	68	97	75	54	66	99
7	38	21	M	7	M	41	0	12	14	65	84	M	95	73	21
8	45	14	28	10	7	48	12	0	48	M	1	M	M	1	M
9	51	57	M	7	5	57	14	48	0	24	91	24	7	54	35
10	47	24	37	6	13	68	65	M	24	0	M	M	14	M	M
11	20	14	M	M	14	97	84	1	91	M	0	M	45	9	47
12	14	M	49	5	37	75	M	M	24	M	M	0	10	14	14
13	24	28	M	M	9	54	95	M	7	14	45	10	0	68	14
14	14	M	58	4	M	66	73	1	54	M	9	14	68	0	3
15	M	33	M	M	6	99	21	M	35	M	47	14	14	3	0

Donde M es un número muy grande que se utiliza cuando no existe conexión entre dos nodos



- Parámetros iniciales:
 - $\alpha=1$ Afecta feromona
 - $\beta=1$ Afecta visibilidad
 - $Q=1$ Constante
 - $\tau_0=10$ Feromona inicial
 - $\rho=0.4$ tasa de evaporación
 - Numero de hormigas: 15
 - Numero de iteraciones: 50
- Visibilidad = inverso de la distancia
- **NOTA:** En la primera iteración, el rastro es constante para todas las hormigas

- Primera iteración: Para salir del Nodo 3, se calcula la probabilidad de ir a un nodo j así:

$$P_{ij}^k = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \notin M_k} [\tau_{iu}(t)]^\alpha [\eta_{iu}]^\beta} & \text{si } j \notin M_k \\ 0 & \text{En otro caso} \end{array} \right\}$$

Resultados:

(todos tienen inicialmente la misma feromona pero le altera su visibilidad local)

Nodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Probabilidad	0.01	0.03	0.00	0.03	0.08	0.77	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00
Prob. Acum	0.01	0.05	0.05	0.08	0.15	0.92	0.92	0.95	0.95	0.97	0.97	0.99	0.99	1.00	1.00

Se lanza un dado aleatorio y sale: 0.099

Entonces se elige ir del nodo 3 al nodo 5 (con probabilidad Acumulada de 0.15).

Se repite el proceso para salir del nodo 5 y así sucesivamente. Las probabilidades de salir de 5 son:

Nodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Probabilidad	0.03	0.23	0.00	0.01	0.00	0.17	0.00	0.10	0.14	0.05	0.05	0.02	0.08	0.00	0.12
Prob. Acum	0.03	0.26	0.26	0.27	0.27	0.44	0.44	0.54	0.68	0.74	0.79	0.81	0.88	0.88	1.00

- Finalmente todas las hormigas realizan su recorrido del nodo 3 al 11.
- Se calcula la longitud del recorrido de cada hormiga.
Por ejemplo:

Hormiga	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Long. Recorrido	258	71	126	188	29	13	185	516	120	50	15	50	22	162	64

- Con base en la menor distancia (de la hormiga 6) se actualiza la feromona globalmente para la próxima iteración

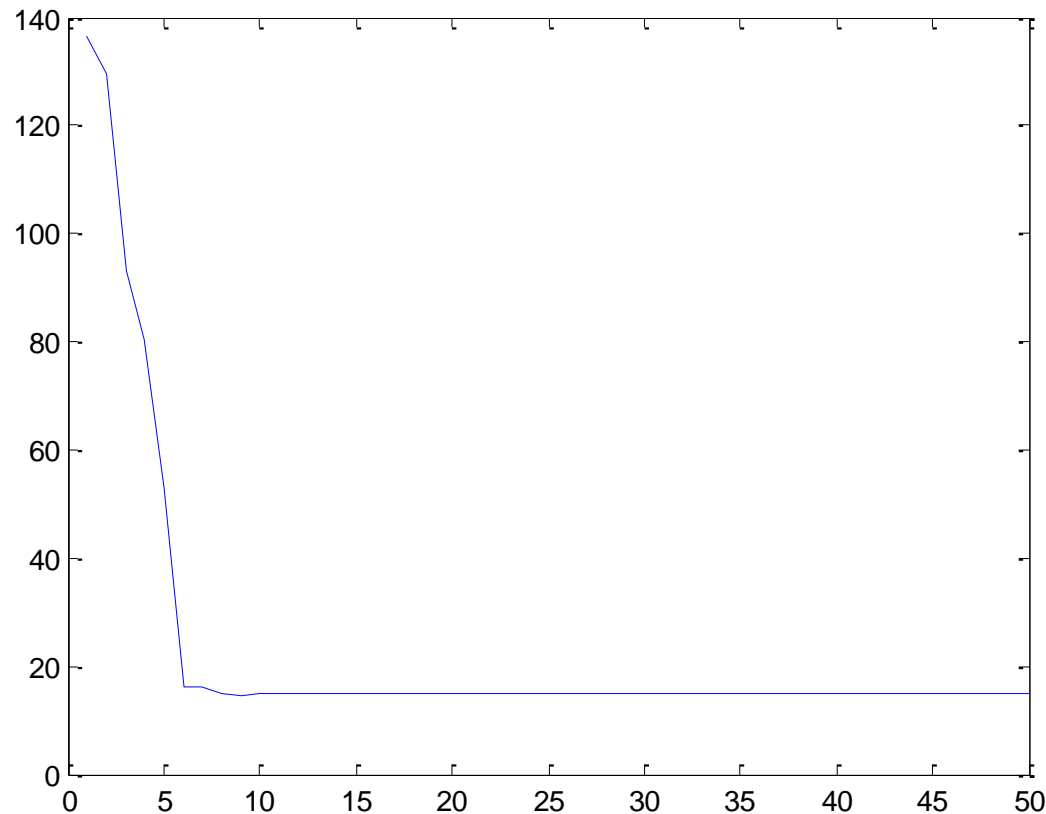
$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \rho\eta$$

- Así, la feromona para la mejor ruta en la nueva iteración es:

$$\tau_{ij} = (1 - 0.4) * (10) + (0.4) * (1/13) = 6.30$$

- Se hacen el numero de iteraciones o se para cuando converge.

- Grafico del promedio de distancia entre hormigas en el tiempo



Converge a la solución óptima en las primeras iteraciones.

Para que sirve la evaporación?

- La evaporación de la feromona (p) es útil para evitar acumulación ilimitada de la traza de feromona, en los trayectos trazados por las primeras hormigas que entraron al sistema
- Es una forma de favorecer la exploración de nuevas áreas del espacio de búsqueda.

Los parámetros α y β

$$P_{ij}^k = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \notin M_k} [\tau_{iu}(t)]^\alpha [\eta_{iu}]^\beta} & \text{si } j \notin M_k \\ 0 & \text{En otro caso} \end{array} \right\}$$

Parámetro α

Determina la influencia del trazo de feromona: variándolo puede cambiar de exploración a explotación,

Si $\alpha > 0$ a mayor α mayor explotación en la búsqueda

Si $\alpha = 0$ No se toma en cuenta la feromona. La selección es proporcional a la visibilidad y se selecciona, con mayor frecuencia, las ciudades más cercanas.

los parámetros α y β ?

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \notin M_k} [\tau_{iu}(t)]^\alpha [\eta_{iu}]^\beta} & \text{si } j \notin M_k \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$$

Parámetro β

- Determina la influencia de la visibilidad (o de cualquier otra la medida que se use)
- Igualmente, variándolo puede cambiar de exploración a explotación.
- Valor típico $\beta=2$

$$P_{ij}^k = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \notin M_k} [\tau_{iu}(t)]^\alpha [\eta_{iu}]^\beta} & \text{si } j \notin M_k \\ 0 & \text{En otro caso} \end{array} \right\}$$

- Si $\beta=0$ solo trabaja la feromona. Esto hace que todas las hormigas tienden a seguir el mismo patrón (explotación) y construyen la misma solución dando lugar a convergencias prematuras.
- Si $\alpha > \beta$ prima la información aprendida y si $\alpha \ll \beta$ se aproxima a un constructivo puro.

Sobre los parámetros

Los parámetros fueron analizados estadísticamente por Dorigo, mediante simulaciones para el problema TSP con 30 nodos y llegó a las siguientes conclusiones:

- Hay malas soluciones y un comportamiento de estancamiento para valores de $\alpha \geq 2$.
- Malas soluciones pero no estancamiento cuando α tiene valores muy bajos (no se le da mucha importancia a la feromona).

Sobre los parámetros

- Buenas soluciones se encuentran con valores de α y de β centrales. Combinaciones buenas son $(\alpha, \beta) = (1,1), (1,2), (1,5)$ o $(0.5, 5)$.
- Si se le da mucha importancia al rastro (altos valores de α mayor explotación), el algoritmo tiende a estancarse y si se le da poca importancia lo vuelve similar a un algoritmo estocástico (alta exploración).

Aplicaciones

- Optimización de toda clase de redes
- Ordenamiento secuencial
- Elección de nodos y links en una NN
- Entrenamiento de arboles de clasificación

Bibliografía ACO

- M. Dorigo, 1992. *Optimization, Learning and Natural Algorithms*, PhD thesis, Politecnico di Milano, Italy.
- C. Blum, 2005. "Ant colony optimization: introduction and recent trends", *Physics of Life Review*, 2, 353-373.
- E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz, 1999. *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press.
- M. Dorigo and T. Stützle, 2004. *Ant Colony Optimization*, MIT Press, Cambridge.
- .