



Foto:<https://serdarzeybek.medium.com/ant-colony-algorithm-15a37c3a1671>

9

OPTIMIZACIÓN BASADA EN COLONIA DE HORMIGAS (ACO)

¿QUE ES ACO?

- ▶ El algoritmo ACO (Ant Colony Optimization) es una metateurística que modela el comportamiento colectivo que poseen las hormigas para poder encontrar alimento.
- ▶ Ciertas especies de hormigas tienen patrones de comportamiento que les permite encontrar caminos más cortos entre dos puntos A y B.
- ▶ Se ha demostrado que existe comunicación entre hormigas basada únicamente en feromonas (una sustancia química que las hormigas pueden depositar y sentir a través del olfato).
- ▶ Es este patrón de comportamiento el que inspiró a los científicos informáticos a desarrollar algoritmos para la solución de problemas de optimización.



EXPERIMENTOS DE DOBLE PUENTE (I)

Dorigo

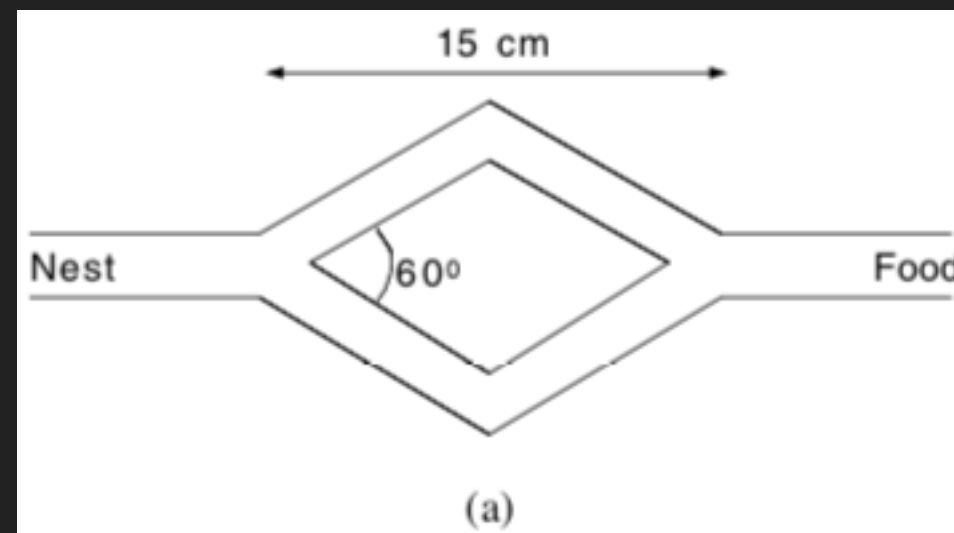
- ▶ Goss et al., (1989); Deneubourg et al., (1990)
- ▶ Al desplazarse desde el nido hasta las fuentes de alimento y viceversa, las hormigas depositan feromonas en el suelo formando un rastro de feromonas.
- ▶ Las hormigas pueden sentir la feromona y tienden a elegir, probabilísticamente, caminos marcados por fuertes concentraciones de feromonas.



EXPERIMENTOS DE DOBLE PUENTE (II)

► Experimento 1:

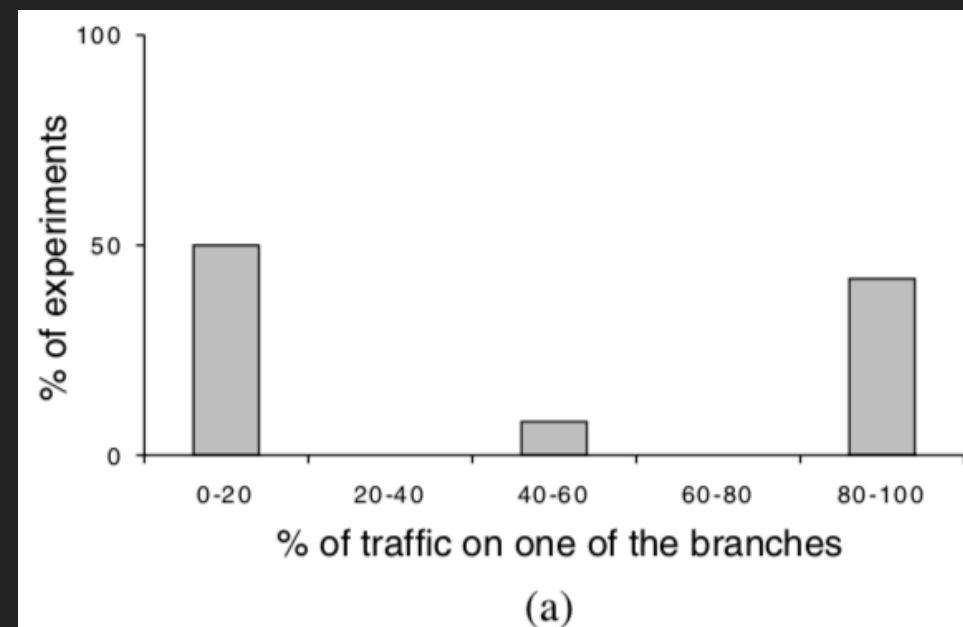
- ✓ Consiste en un puente con 2 ramas de igual longitud ($r = 1$) entre el nido y el alimento.
- ✓ Fase inicial = elección aleatoria de ramas. Fase final = utilizan la misma rama.



EXPERIMENTOS DE DOBLE PUENTE (III)

► Experimento 1 (resultado):

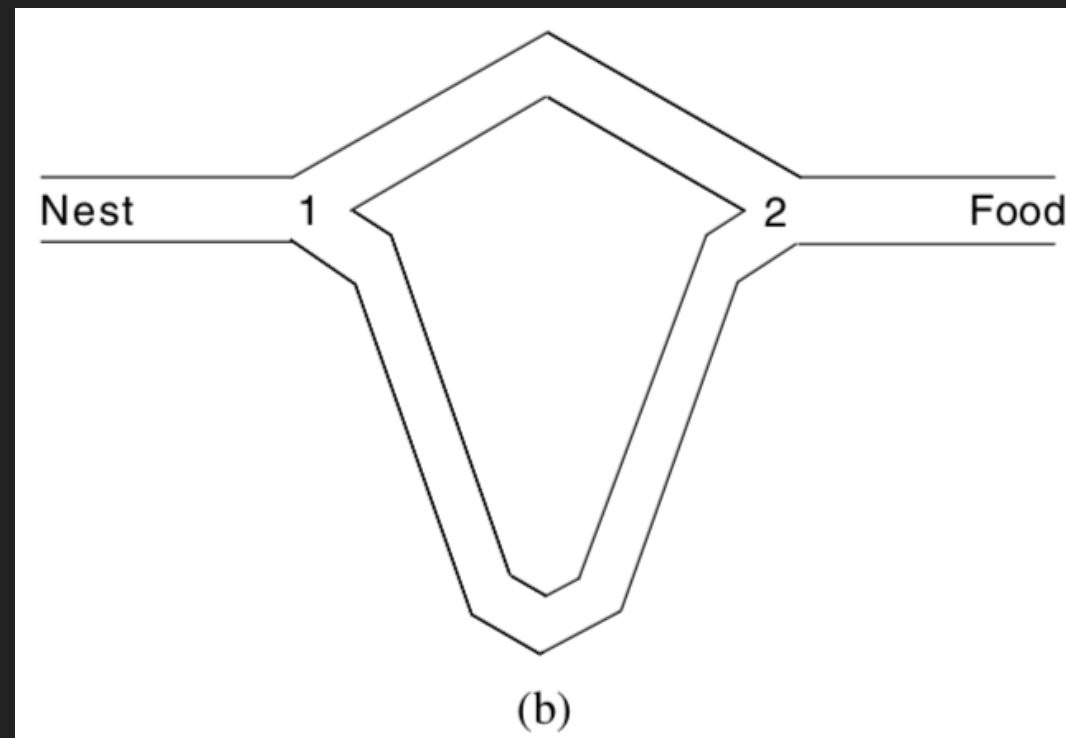
- ✓ Fase inicial = 0 feromonas \Rightarrow las hormigas no tienen una preferencia y seleccionan con la misma probabilidad cualquiera de las ramas.
- ✓ Luego, aleatoriamente unas cuantas hormigas más seleccionan una rama en lugar de otra.
- ✓ Al depositar feromonas \Rightarrow + hormigas en esa rama \Rightarrow + feromonas en esa rama.
- ✓ + feromonas \Rightarrow + hormigas eligen esa rama también \Rightarrow convergen en un solo camino.
- ✓ Esta retroalimentación positiva muestra un comportamiento autoorganizativo de las hormigas.



EXPERIMENTOS DE DOBLE PUENTE (IV)

► Experimento 2:

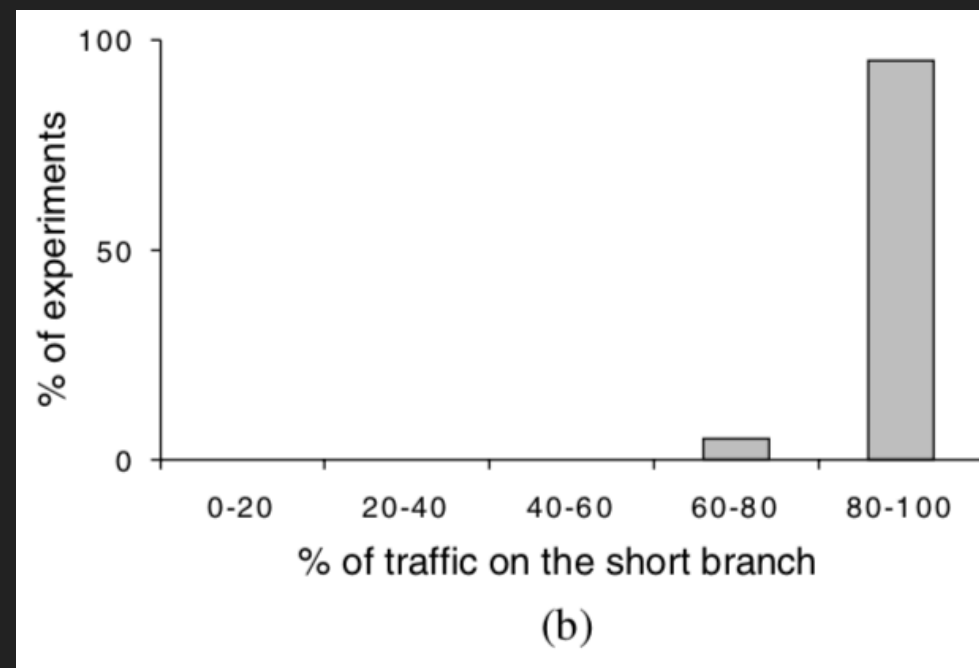
- ✓ La relación de longitud entre las dos ramas se estableció en $r = 2$ (rama larga es el doble de larga que la corta).



EXPERIMENTOS DE DOBLE PUENTE (V)

► Experimento 2 (resultado):

- ✓ Todas las hormigas eligieron usar solo la rama corta.
- ✓ Inicialmente para las hormigas las 2 ramas parecen idénticas => eligen al azar una de ellas.
- ✓ + feromonas en la rama corta sesga la decisión de elección hacia esa rama => la feromona comienza a acumularse más rápido en la rama corta.
- ✓ No todas las hormigas usan la rama corta, pero un pequeño porcentaje puede tomar la más larga. Esto podría interpretarse como una especie de "exploración de caminos".



¿CÓMO SE IMPLEMENTA ACO?

▶ ACO tiene 2 partes:

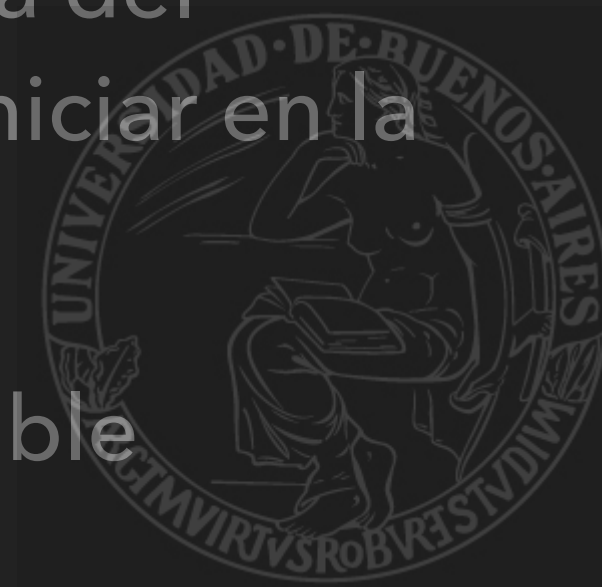
✓ Construcción de soluciones

✓ Actualización de feromonas



¿CÓMO UNA HORMIGA CONSTRUYE UNA SOLUCIÓN? (I)

- ✓ **Construir soluciones** significa que cada hormiga decide qué caminos tomará. Ejemplo: en el problema del viajante de comercio (TSP), significa decidir iniciar en la ciudad 4, luego visitar la 1, luego la 5, etc.
- ✓ Esa sucesión de ciudades constituye una posible solución al problema.



¿CÓMO UNA HORMIGA CONSTRUYE UNA SOLUCIÓN? (II)

- ▶ Para construir una solución cada hormiga se basa en 2 factores: **Nivel de feromonas** y **Heurística**.
- ▶ **Nivel de Feromona**: La cantidad de feromona que cada hormiga deposita en cada camino.
- ▶ **Heurística**: Información adicional que puede guiar la búsqueda (por ejemplo, la distancia entre dos ciudades).



¿CÓMO UNA HORMIGA CONSTRUYE UNA SOLUCIÓN? (III)

- ▶ Para construir una solución (o un camino) cada hormiga decide que camino tomar según un valor de probabilidad:

$$P_{ij} = \frac{(\tau_{ij})^{\alpha} \cdot (\eta_{ij})^{\beta}}{\sum_{k \in N_i} (\tau_{ik})^{\alpha} \cdot (\eta_{ik})^{\beta}}$$

- ▶ donde:

- τ_{ij} : Nivel de feromona en el camino entre i y j .
- η_{ij} : Valor heurístico (por ejemplo, inverso de la distancia).
- N_i : Conjunto de nodos no visitados desde i .
- α : parámetro que controla la **influencia de las feromonas** (un valor mayor de α hace que las hormigas sigan más las feromonas),
- β : parámetro que controla la **influencia de la heurística local** (un valor mayor de β hace que las hormigas sigan caminos más cortos en términos de heurística)



¿CÓMO SE IMPLEMENTA ACO?

▶ ACO tiene 2 partes:

✓ Construcción de soluciones

✓ Actualización de feromonas



¿CÓMO SE ACTUALIZAN LAS FEROMONAS?

h1 -> 3,7,9,2...

h2 -> 8,1,5...

- ▶ Después de que todas las hormigas han construido sus soluciones, se actualiza el nivel de feromona:
- ▶ **Evaporación**: Se reduce la cantidad de feromona en todos los caminos para simular su evaporación. Esto se expresa como:

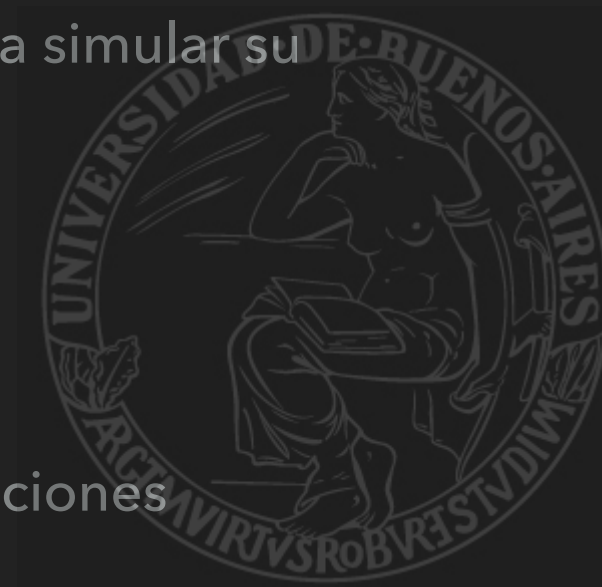
$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}$$

- ▶ donde ρ es la tasa de evaporación ($0 < \rho < 1$).
- ▶ **Refuerzo**: Se añade feromona a los caminos utilizados por las mejores soluciones encontradas:

$$\tau_{ij}^k = \tau_{ij} + \frac{Q}{L_k}$$

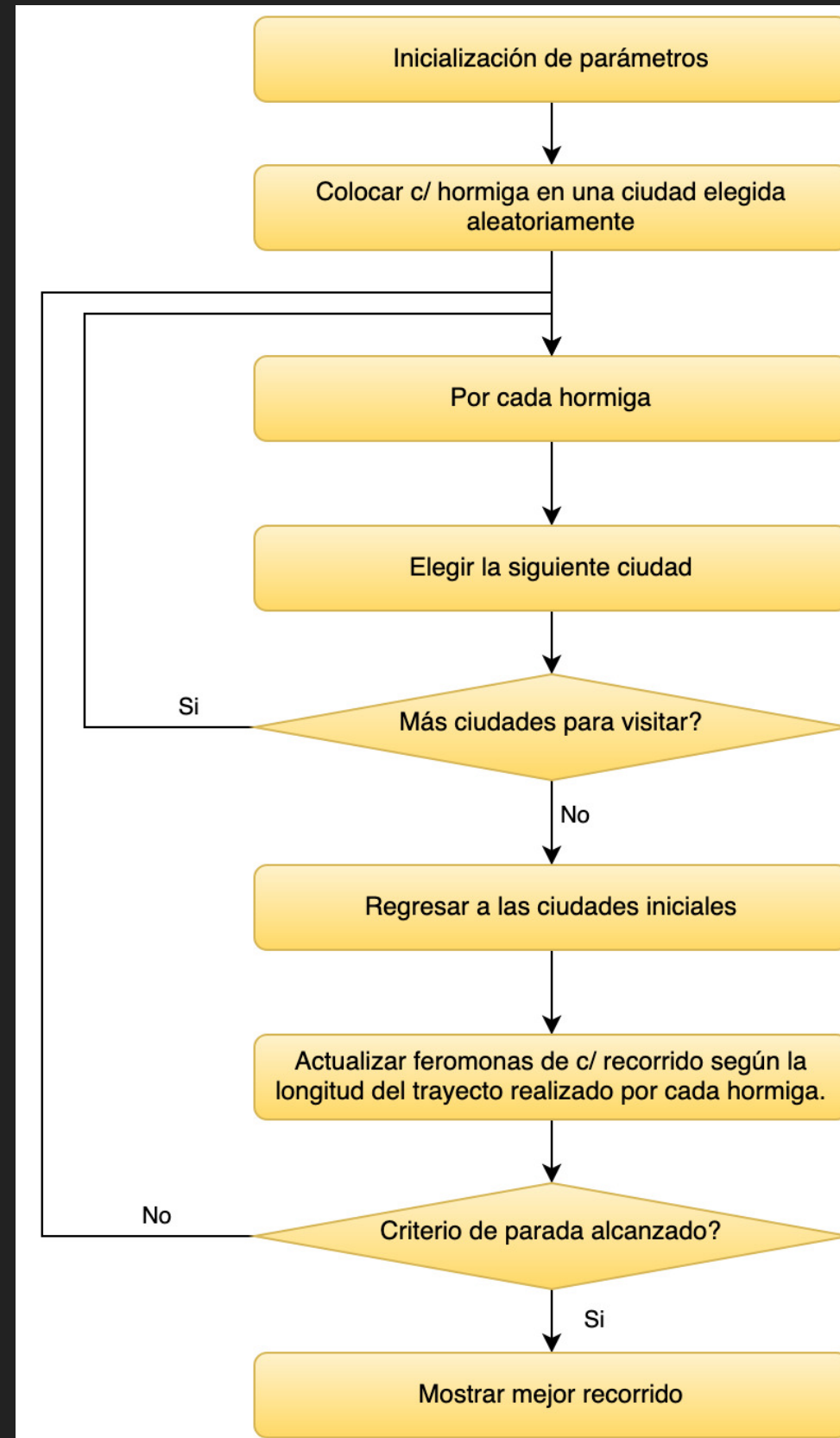
- ▶ donde:

- ✓ Q es una constante que determina cuánta feromona se deposita,
- ✓ L_k es la longitud (o costo) de la solución encontrada por la hormiga k .



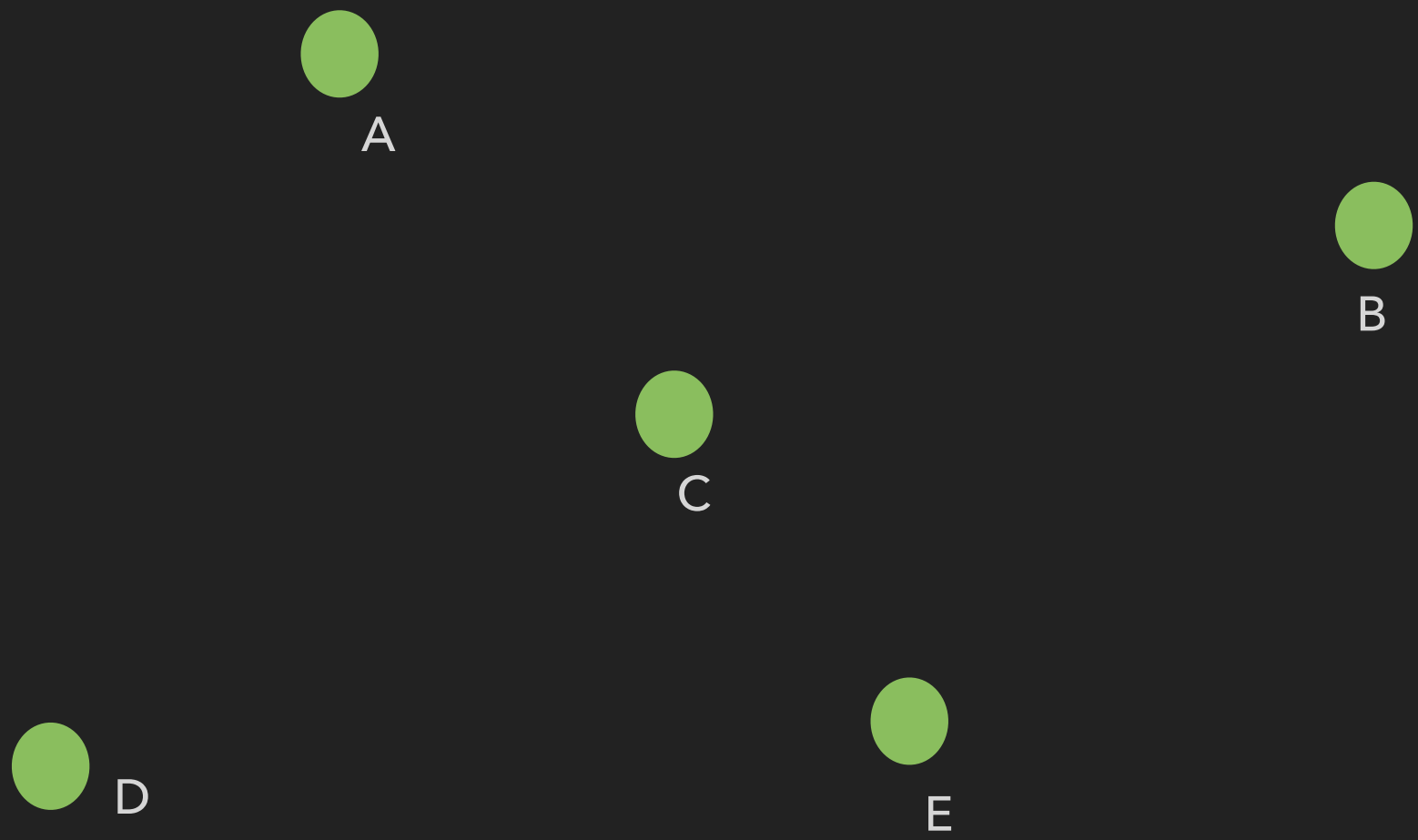
EJEMPLO APLICADO A TSP

10 ciudades
3h
10h
50h

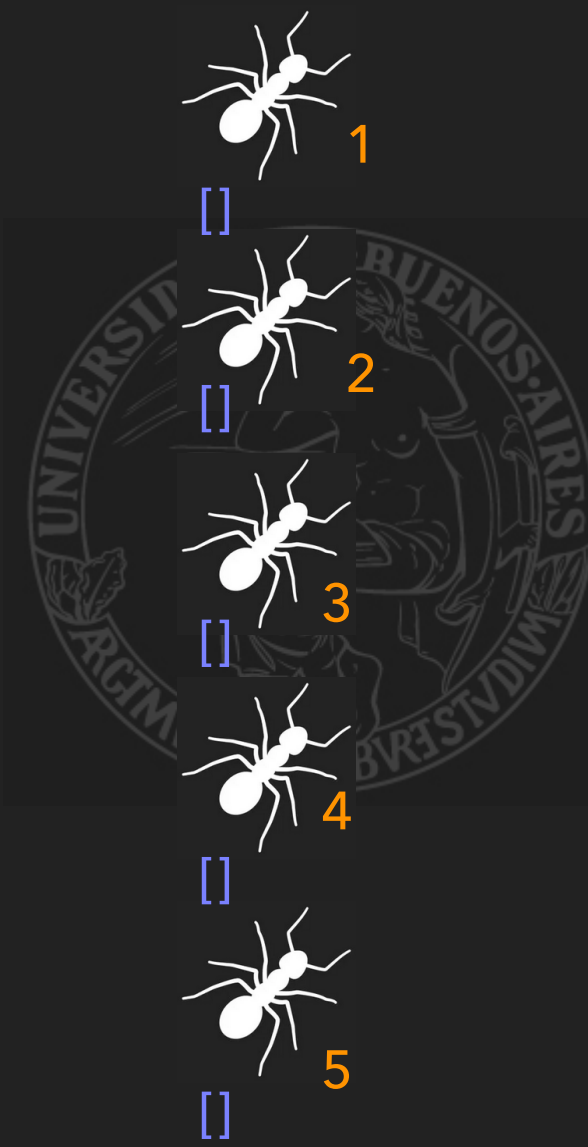


EJEMPLO APLICADO A TSP

A	B	C	D	E
A [0, 2, 9, 10, 7],				
B [2, 0, 6, 4, 3],				
C [9, 6, 0, 8, 5],				
D [10, 4, 8, 0, 6],				
E [7, 3, 5, 6, 0]				

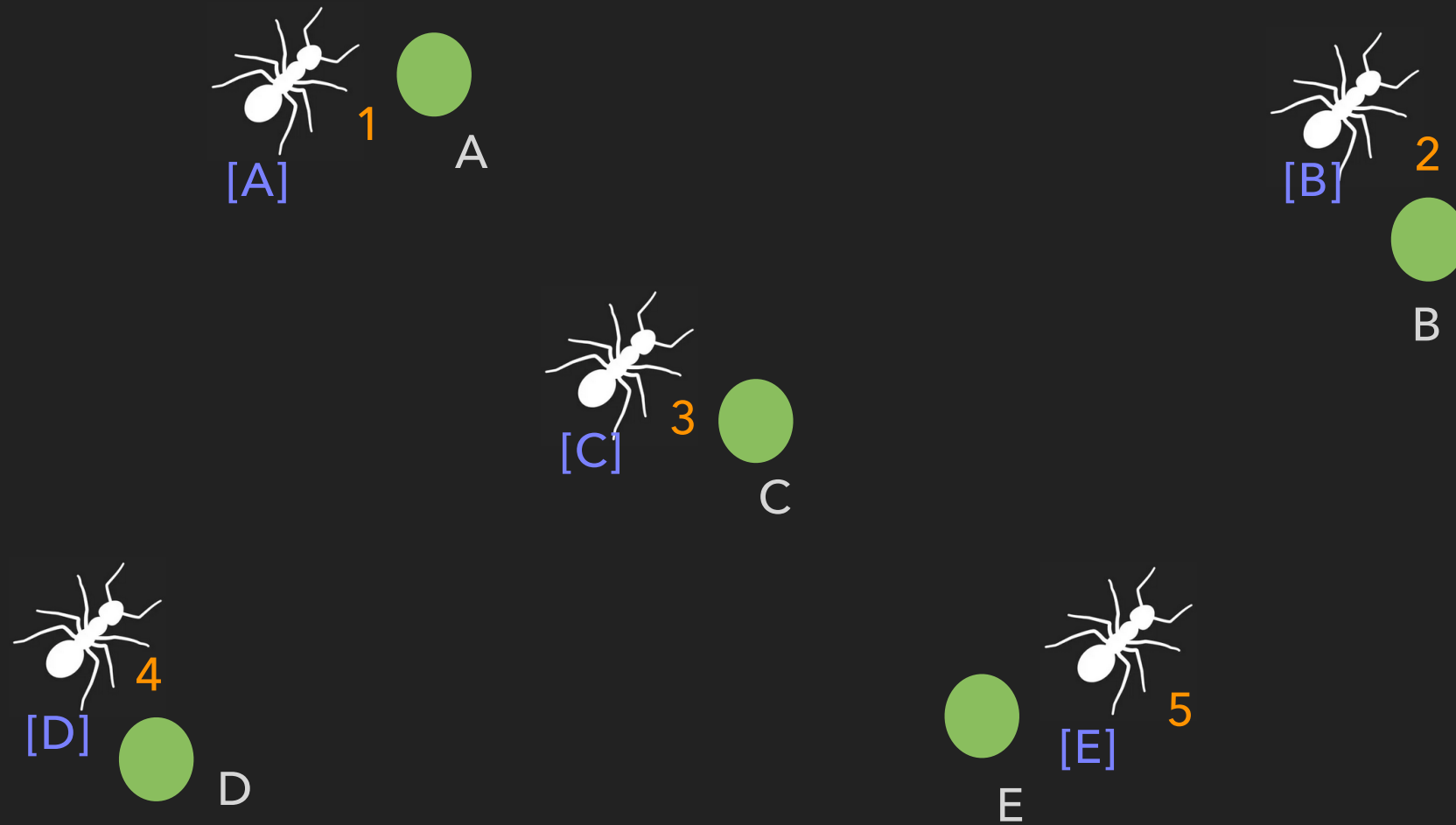


$d_{AB}=2, d_{AC}=9, d_{AD}=10, d_{AE}=7$



EJEMPLO APLICADO A TSP

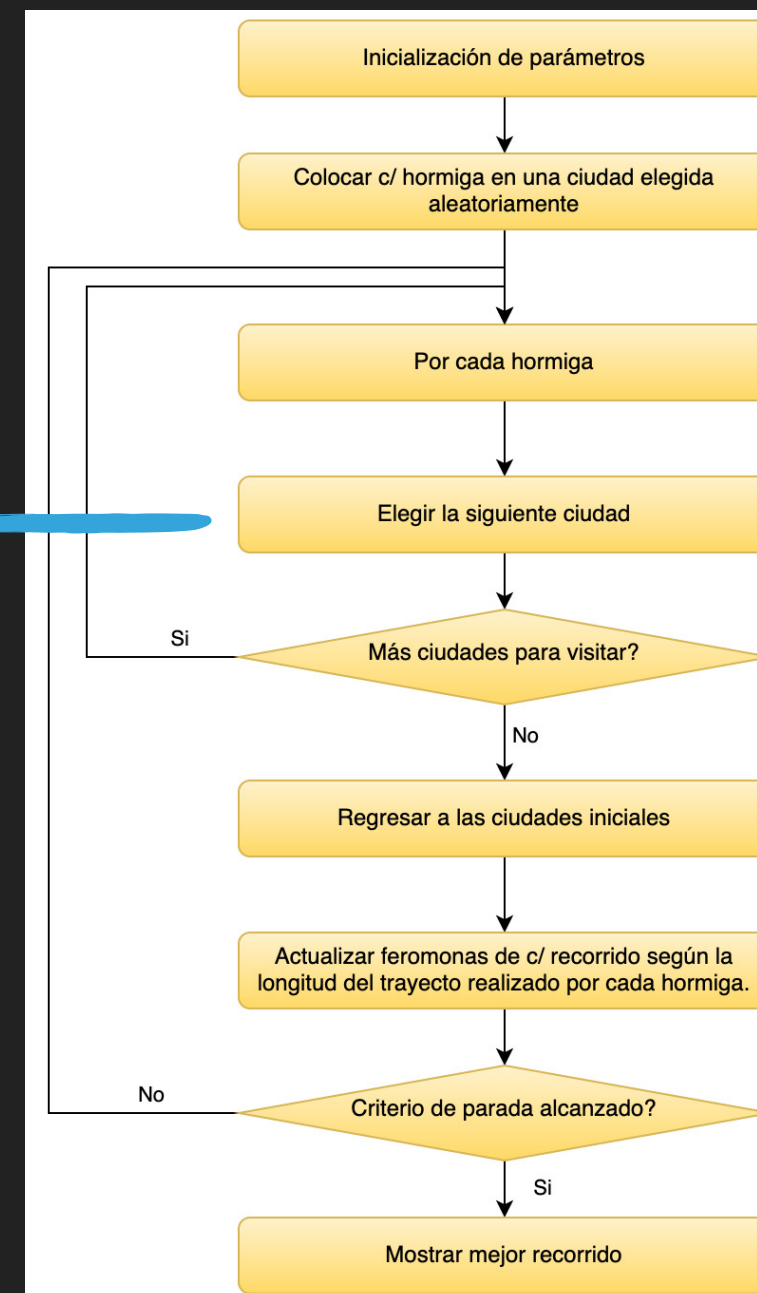
Iteración 1



EJEMPLO APLICADO A TSP

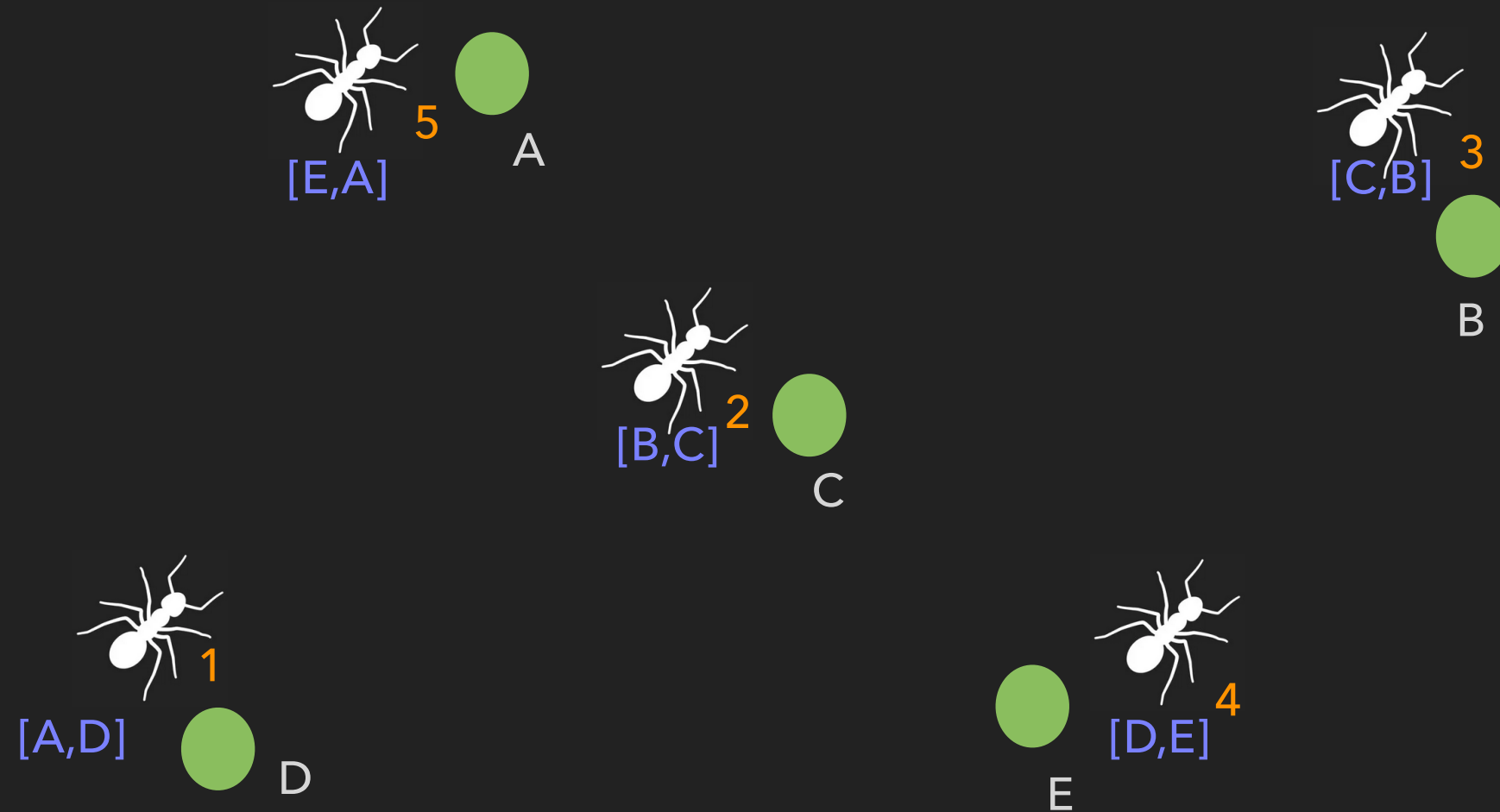
Como elegir la siguiente ciudad?

$$P_{ij} = \frac{(\tau_{ij})^{\alpha} \cdot (\eta_{ij})^{\beta}}{\sum_{k \in N_i} (\tau_{ik})^{\alpha} \cdot (\eta_{ik})^{\beta}}$$



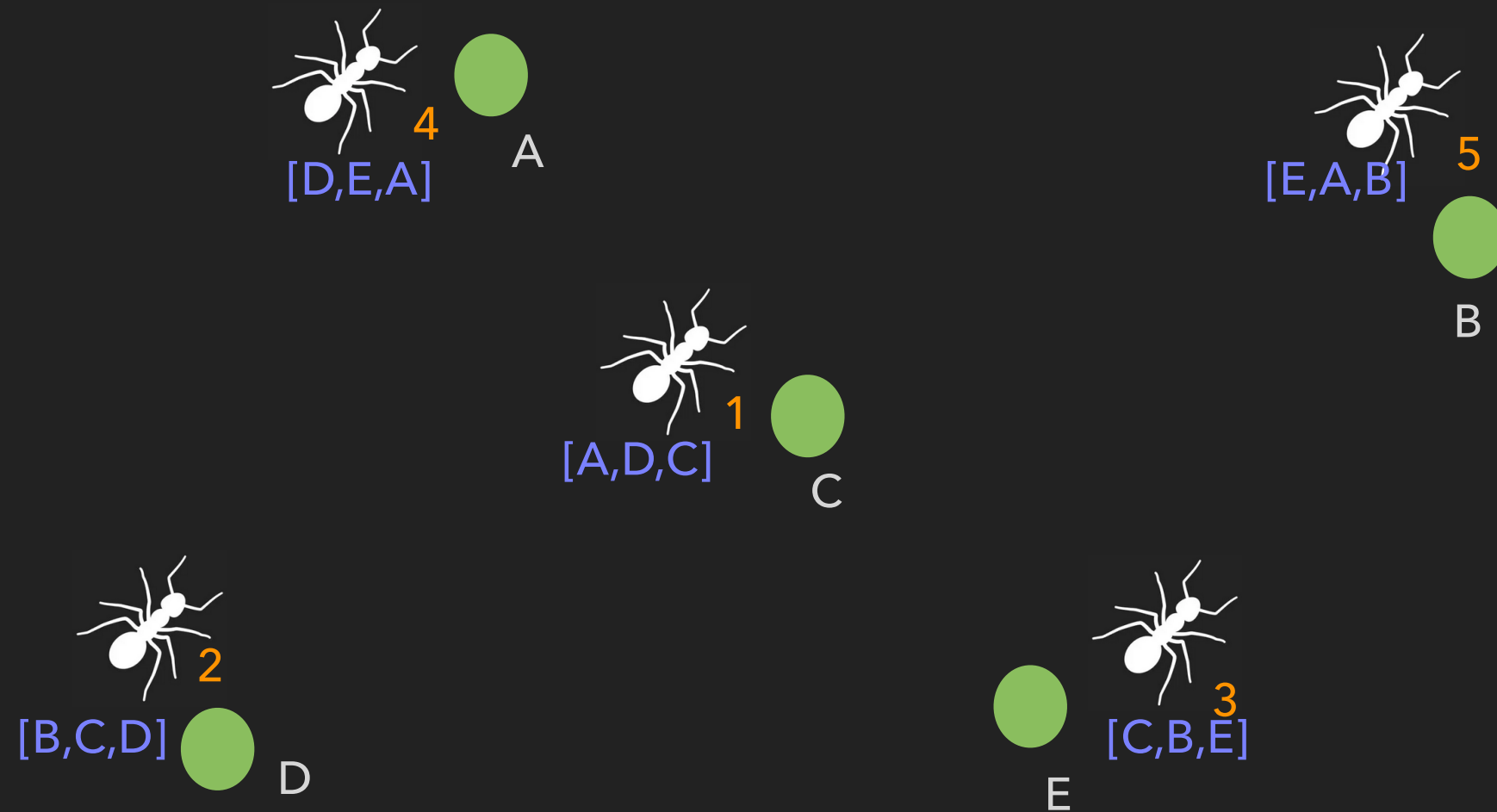
EJEMPLO APLICADO A TSP

Iteración 2



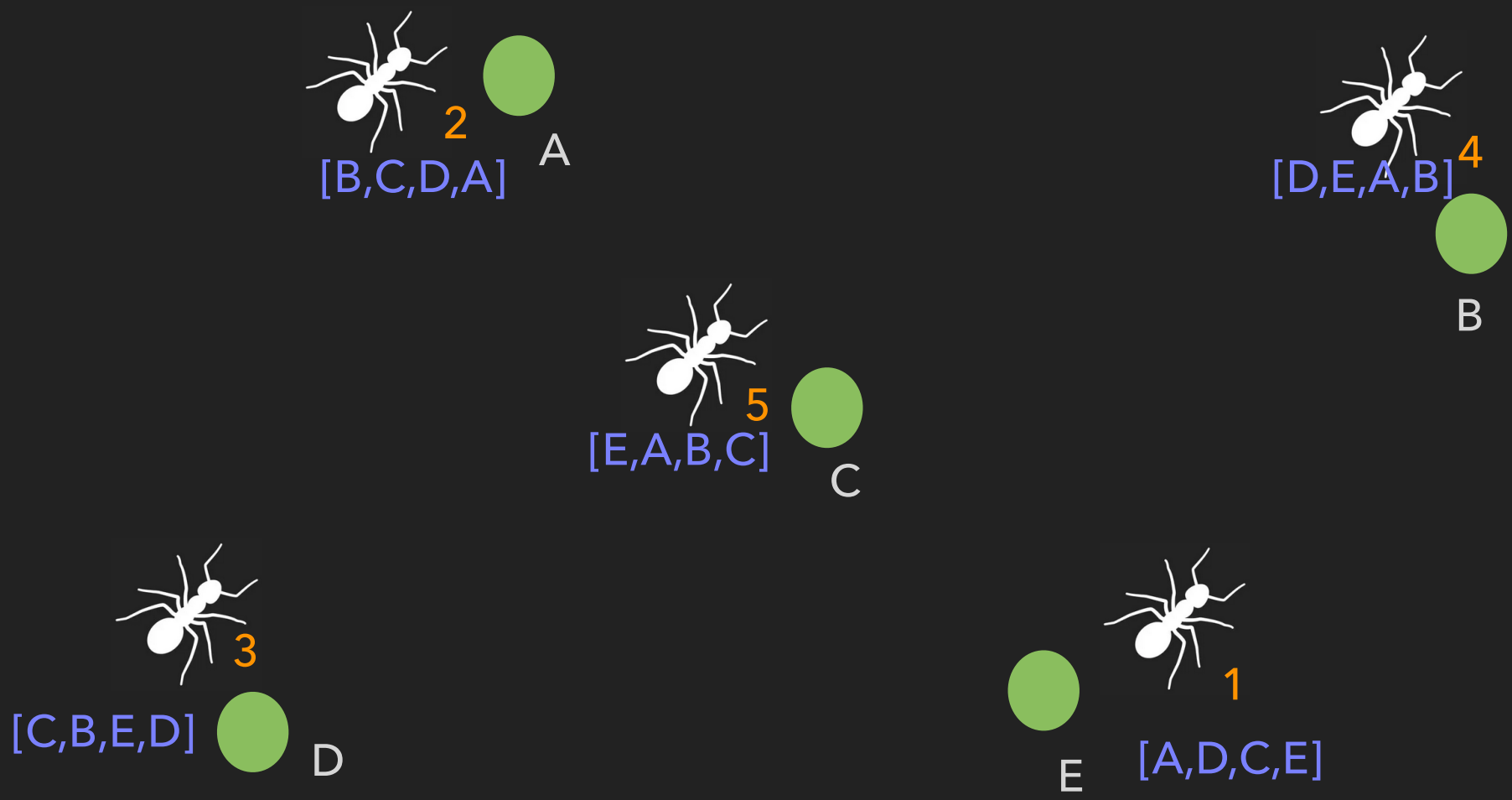
EJEMPLO APLICADO A TSP

Iteración 3



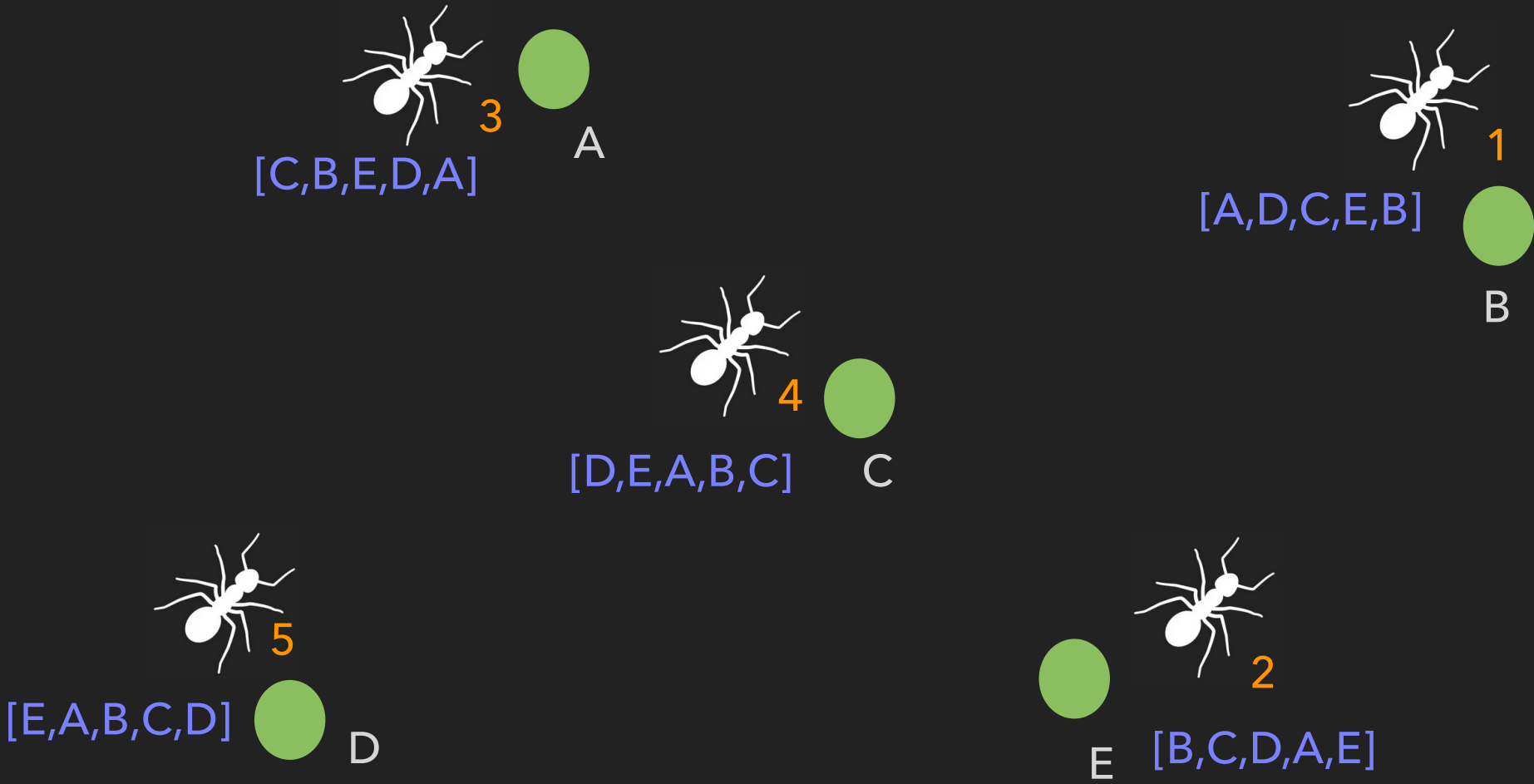
EJEMPLO APLICADO A TSP

Iteración 4



EJEMPLO APLICADO A TSP

Iteración 5



EJEMPLO APLICADO A TSP

 1
[A,D,C,E,B,A]

L1=28

Actualización de ruta

 2
[B,C,D,A,E,B]

L2=34

 3
[C,B,E,D,A,C]

L3=34

 4
[D,E,A,B,C,D]

L4=29

 5
[E,A,B,C,D,E]

L5=29



EJEMPLO APLICADO A TSP

Actualización feromonas (Evaporación y Refuerzo)

Si $\rho = 0.9$ y $Q = 100$:

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

- $\tau_{BD}^3 = (1 - 0.9) * 1 = 0.1$

$$\tau_{ij} = \tau_{ij} + \frac{Q}{L}$$

- $\tau_{BD}^3 = 0.1 + 100 / 34 = 3.04$



PARÁMETROS TÍPICOS

- ✓ Alpha: [0 a 5]
- ✓ Beta: [1 a 10]
- ✓ Rho: [0.1 a 0.9]
- ✓ Q: [1 a 1000]



APLICACIONES

- ▶ Problema del viajante de comercio
- ▶ Problema de asignación cuadrática
- ▶ Ruteo de vehículos



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y WEB

- ▶ M. Dorigo, T. Stützle, Ant Colony Optimization, MIT Press, Cambridge, MA, 2004.

