

Modelos Bioinspirados y Heurísticas de Búsqueda

TEMA 1.1: METAHEURÍSTICAS: INTRODUCCIÓN Y CLASIFICACIÓN





Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

- 1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda
- 1.2 Algoritmos aproximados
- 1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación
- 1.4 Paralelización de metaheurísticas
- 1.5 Bibliografía



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.1 Resolución de Problemas Mediante Algoritmos de Búsqueda: Introducción

1.2 Ejemplo: El problema del viajante de comercio

1.2 Algoritmos aproximados

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.4 Paralelización de metaheurísticas

1.5 Bibliografía



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.1.1 Resolución de Problemas Mediante Algoritmos de Búsqueda: Introducción

- Existe una serie de **problemas reales** (de optimización combinatoria) de difícil solución que requieren de tareas tales como encontrar:
 - el **camino más corto** entre varios puntos,
 - un **plan de mínimo coste** para repartir mercancías a clientes,
 - una **asignación óptima** de trabajadores a tareas a realizar,
 - una **secuencia óptima** de proceso de trabajos en una cadena de producción,
 - una **distribución** de tripulaciones de aviones **con mínimo coste**,
 - el **mejor enrutamiento** de un paquete de datos en Internet,
 - ...



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.1.1 Resolución de Problemas Mediante Algoritmos de Búsqueda: Introducción

- Estos problemas se **caracterizan** porque:
 - suelen requerir agrupamientos, ordenaciones o asignaciones de un conjunto discreto de objetos que satisfagan ciertas restricciones,
 - se encuentran en muy **diversas áreas de aplicación**,
 - presentan una **gran complejidad computacional** (son NP-duros)
 - por ello, **los algoritmos exactos** (Programación Dinámica, *Backtracking*, *Branch and Bound*, ...) **son ineficientes o simplemente imposibles** de aplicar,
 - en la práctica **se resuelven mediante algoritmos APROXIMADOS** que proporcionan **buenas soluciones** (**no necesariamente la óptima**) al problema **en un tiempo razonable**



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.1 Resolución de Problemas Mediante Algoritmos de Búsqueda:
Introducción

1.2 Ejemplo: El problema del viajante de comercio

1.2 Algoritmos aproximados

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.4 Paralelización de metaheurísticas

1.5 Bibliografía



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.1.2 Ejemplo: El problema del viajante de comercio

- Dado un conjunto de ciudades conectadas por distintas carreteras, encontrar el *circuito de coste mínimo* que pasa por todas ellas volviendo a la ciudad de partida
- Es un problema muy estudiado al presentar aplicaciones reales tales como la fabricación en serie de tarjetas de circuito impreso (impresión de los buses de cobre)





Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

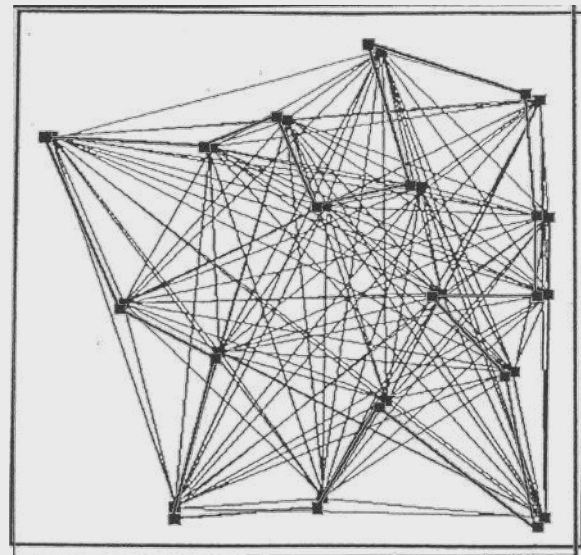
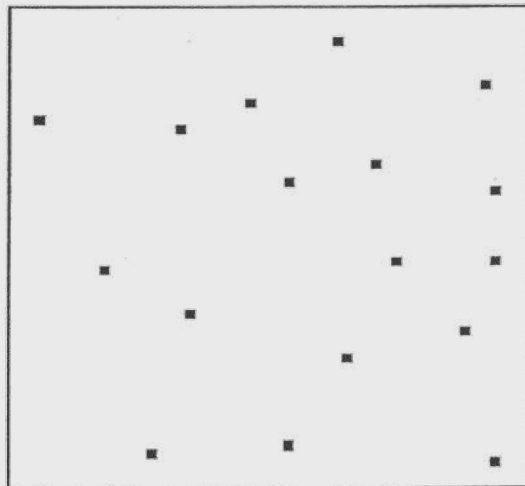
1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

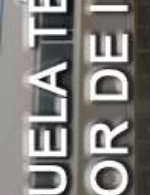
1.1.2 Ejemplo: El problema del viajante de comercio

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0	12.87	19.71	31.56	22.70	17.26	23.33	12.16	24.71	34.51	12.58	21.38	42.37	27.43	36.51	19.10	1.18
2	0	15.80	37.51	21.52	28.57	35.43	22.70	16.78	28.57	11.13	25.26	50.62	38.16	35.97	9.04	34.56	
3	0	50.18	36.56	35.86	35.51	21.60	31.50	43.51	25.58	38.78	61.57	46.15	51.10	23.50	48.52		
4	0	20.90	21.52	37.62	38.14	33.26	31.90	27.13	13.03	15.53	18.39	19.37	35.84	8.12			
5	0	26.00	40.72	33.74	12.87	14.71	11.68	9.72	35.86	30.96	15.06	16.78	15.27				
6	0	16.99	18.53	34.51	40.20	22.34	18.53	27.70	10.80	34.94	32.08	25.24					
7	0	14.54	46.60	54.54	33.80	34.52	40.35	22.09	51.20	41.84	41.73						
8	0	36.31	46.12	24.21	30.50	45.72	28.09	46.77	30.20	39.71							
9	0	12.54	13.31	21.52	48.18	41.50	23.85	8.50	27.43								
10	0	22.43	23.33	46.67	44.80	16.31	20.53	24.58									
11	0	14.71	40.81	30.52	26.21	10.50	23.93										
12	0	27.43	21.97	17.20	23.35	10.35											
13	0	18.89	32.78	50.15	22.59												
14	0	35.88	40.51	24.71													
15	0	30.18	11.90														
16	0	31.31															
17	0																

**17! (3.5568734e14)
soluciones posibles**

**Solución óptima:
Coste=226.64**

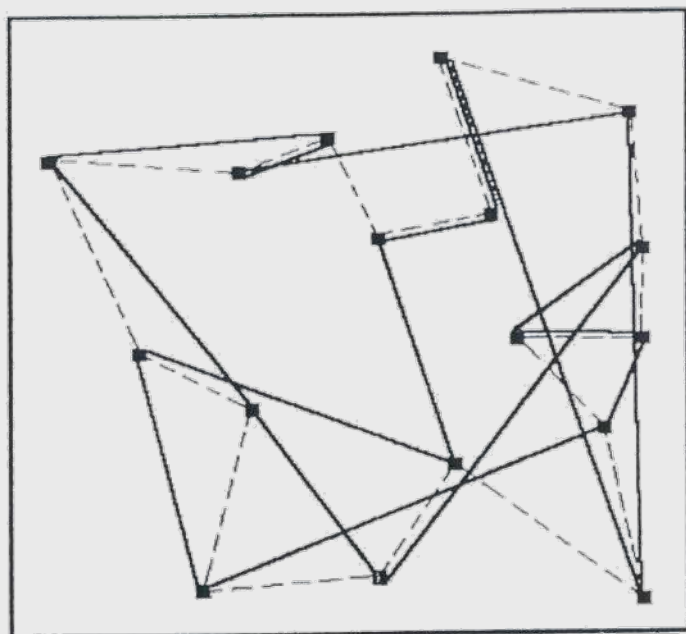




Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

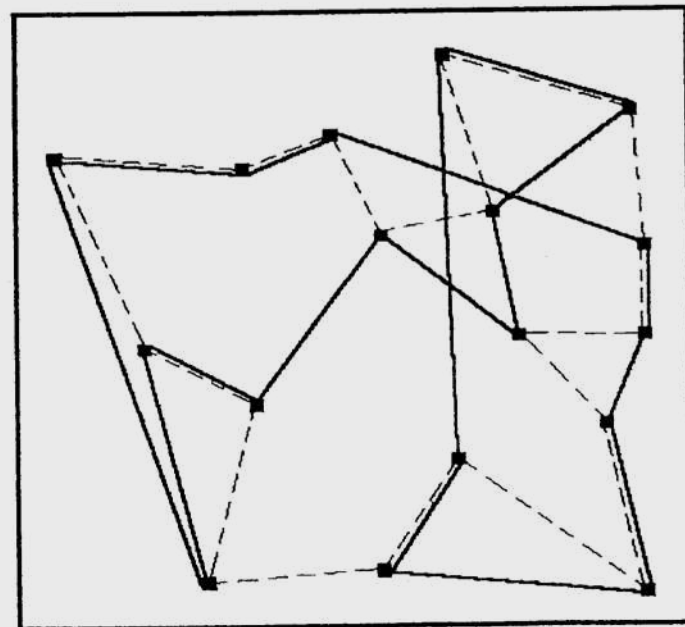
1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.1.2 Ejemplo: El problema del viajante de comercio



— Mejor solución
- - - Solución óptima

Iteración: 0 Costo: 403.7



— Mejor solución
- - - Solución óptima

Iteración: 25 Costo: 303.86

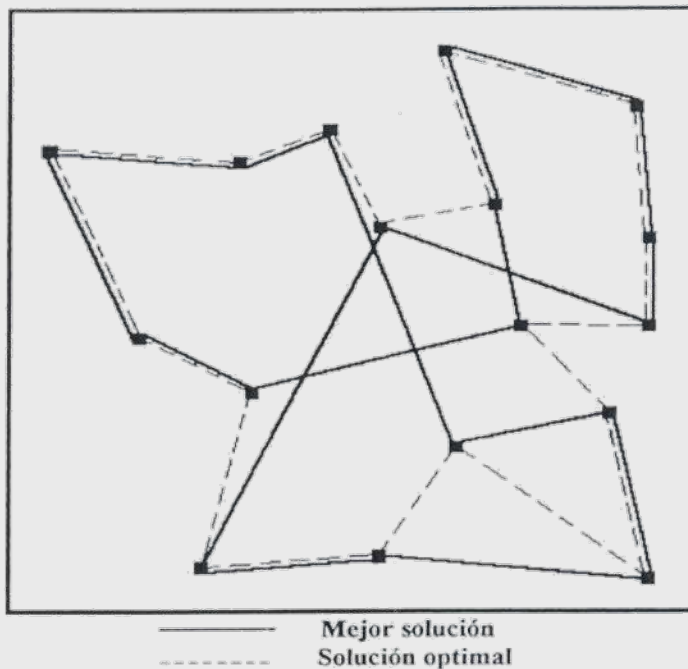
Solución óptima: 226.64



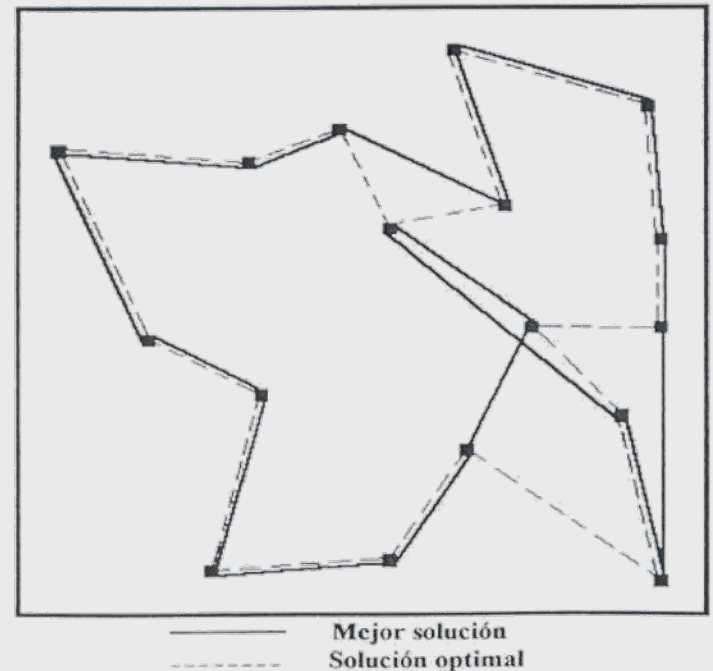
Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.1.2 Ejemplo: El problema del viajante de comercio



Iteración: 50 Costo: 293.6



Iteración: 100 Costo: 256.55

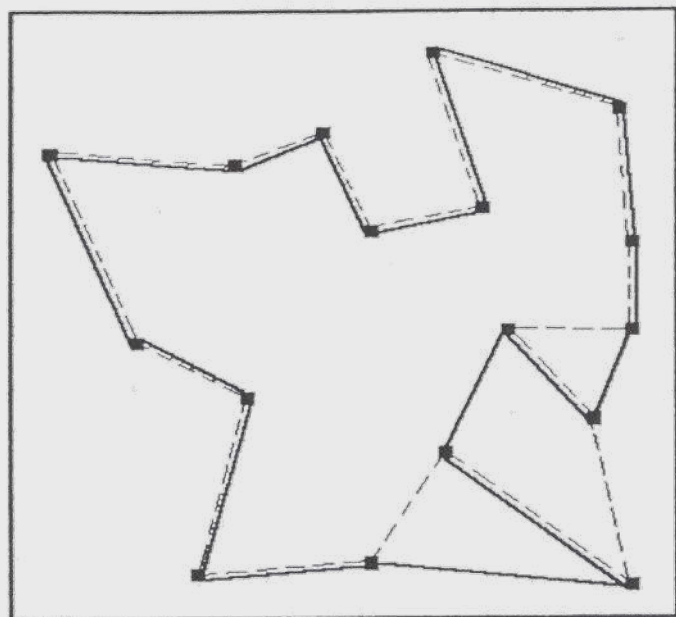
Solución óptima: 226.64



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

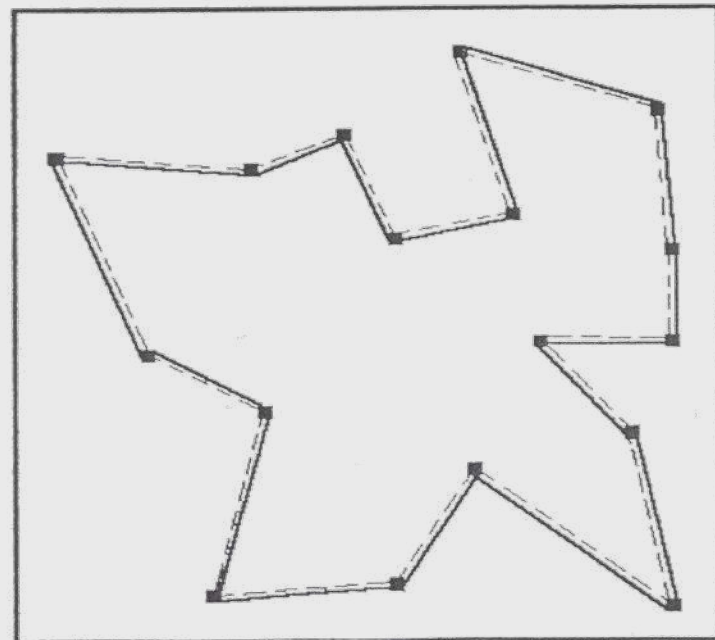
1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.1.2 Ejemplo: El problema del viajante de comercio



— Mejor solución
- - - Solución óptimal

Iteración: 200 Costo: 231.4



— Mejor solución
- - - Solución óptimal

Iteración: 250 Solución
óptima: 226.64

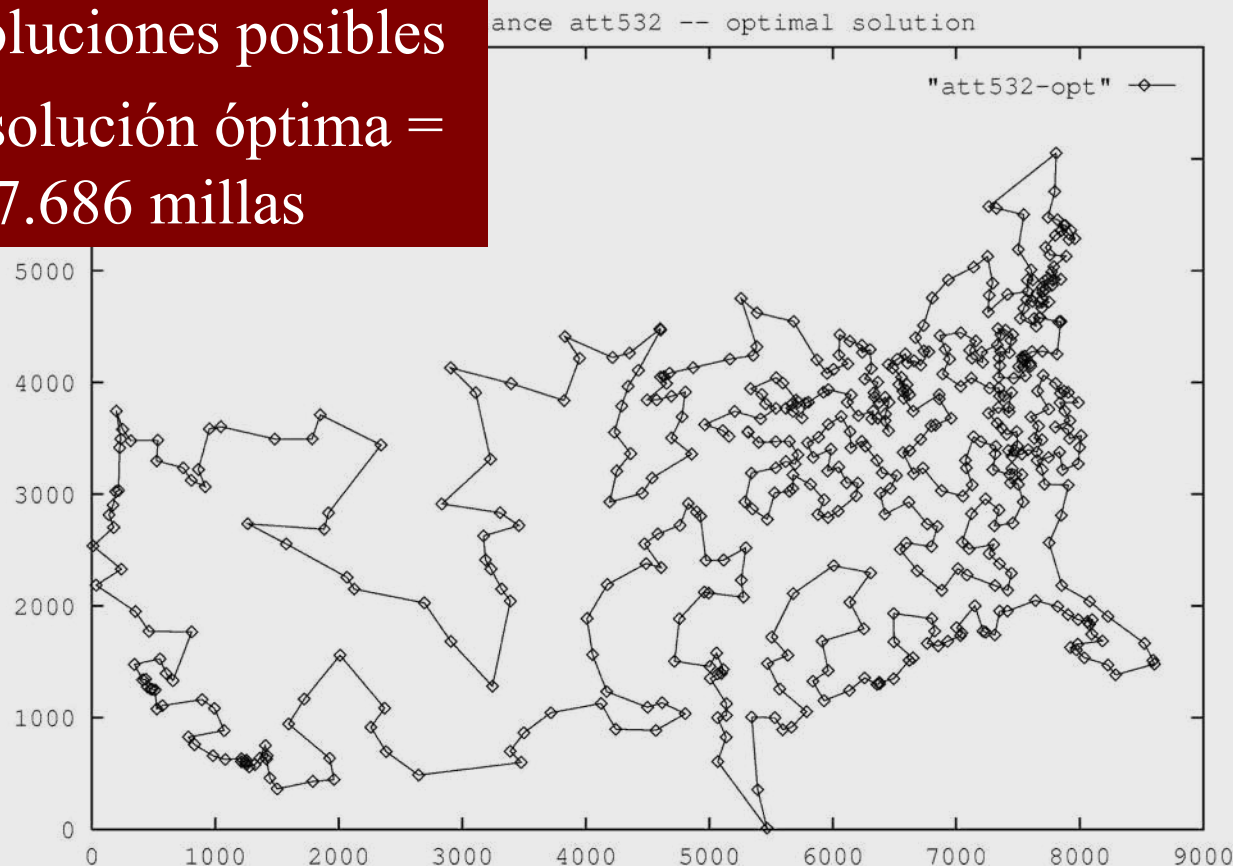


Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.1.2 Ejemplo: El problema del viajante de comercio

532! soluciones posibles
Coste solución óptima =
27.686 millas





Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.1 Resolución de Problemas Mediante Algoritmos de Búsqueda: Introducción

1.2 Ejemplo: El problema del viajante de comercio

1.2 Algoritmos aproximados

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.4 Paralelización de metaheurísticas

1.5 Bibliografía



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.2 Algoritmos aproximados

2.1 Algoritmos Aproximados: Introducción

2.2. Algoritmos Probabilísticos

2.3. Pasos para Diseñar un Método de Búsqueda
para un problema

2.4. Ejemplo: Espacio de Búsqueda

2.5. Ejemplo: Un algoritmo probabilístico de búsqueda para el viajante de comercio

2.6. Problemas Habituales de los Algoritmos de Búsqueda Local

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.4 Paralelización de metaheurísticas

1.5 Bibliografía



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.2 Algoritmos Aproximados

2.1 Algoritmos Aproximados: Introducción

- Los **Algoritmos Aproximados** aportan soluciones **cercanas a la óptima** en problemas complejos (NP-duros) **en un tiempo razonable**
- Podemos distinguir dos tipos de Algoritmos Aproximados:
 - **Heurísticas Constructivas**: **Parten de una solución inicial vacía** y van **añadiéndole componentes** hasta construir una solución. Ej: **Greedy**
 - **Métodos de Búsqueda Local (BL)**: **Parten de una solución inicial** e **iterativamente** tratan de **reemplazarla por otra** solución de su vecindario con mejor calidad





Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.2 Algoritmos Aproximados

2.1 Algoritmos Aproximados: Introducción

- Las **heurísticas constructivas** son **más rápidas pero dan soluciones de peor calidad** que la **búsqueda local (BL)**
- Ambos son **procesos de búsqueda efectuados sobre un espacio de soluciones** al problema. En los métodos constructivos, el espacio es de soluciones parciales, mientras que en la BL es de soluciones completas (candidatas)
- El **espacio de búsqueda** suele ser de un tamaño exponencial con respecto al tamaño del problema





Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.2 Algoritmos Aproximados

2.1 Algoritmos Aproximados: Introducción

Factores que pueden hacer interesante su uso

- Cuando no hay un método exacto de resolución, o éste requiere mucho tiempo de cálculo y memoria (ineficiente).
- Cuando no se necesita la solución óptima, basta con una de buena calidad.



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.2 Algoritmos aproximados

2.1 Algoritmos Aproximados: Introducción

2.2. Algoritmos Probabilísticos

2.3. Pasos para Diseñar un Método de Búsqueda Local para un problema

2.4. Ejemplo: Espacio de Búsqueda

2.5. Ejemplo: Un algoritmo probabilístico de búsqueda para el viajante de comercio

2.6. Problemas Habituales de los Algoritmos de Búsqueda Local

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.4 Paralelización de metaheurísticas

1.5 Bibliografía



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.2 Algoritmos aproximados

1.2.2. Algoritmos Probabilísticos

- **Utilizan probabilidades** en su ejecución de alguna de las dos formas siguientes:
 1. Toman **decisiones aleatorias** a lo largo de la ejecución del algoritmo
 2. Aunque son determinísticos en sus decisiones, parten de un **estado inicial aleatorio**
- Así, se pueden comportar de forma diferente cuando se aplican varias veces a un mismo caso de un problema



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.2 Algoritmos aproximados

2.1 Algoritmos Aproximados: Introducción

2.2. Algoritmos Probabilísticos

2.3. Pasos para Diseñar un Método de Búsqueda Local para un problema

2.4. Ejemplo: Espacio de Búsqueda

2.5. Ejemplo: Un algoritmo probabilístico de búsqueda para el viajante de comercio

2.6. Problemas Habituales de los Algoritmos de Búsqueda Local

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.4 Paralelización de metaheurísticas

1.5 Bibliografía



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.2 Algoritmos aproximados

1.2.3. Pasos para Diseñar un Método de Búsqueda Local para un problema

1. Especificar el **esquema de representación** de las soluciones del problema, lo que delimita la estructura de espacio de búsqueda
2. Definir la **función objetivo**, que mide la calidad de las soluciones estudiadas
3. Definir un **mecanismo de generación de la solución inicial**, punto de partida de nuestro proceso de búsqueda
4. Construir un/os **operador/es de generación de nuevas soluciones**, que definirán los movimientos que efectuaremos en el espacio
5. Diseñar un **mecanismo de selección** de soluciones, que decidirá la **siguiente zona del espacio a explorar** (es decir, qué solución reemplaza a la actual... (por ejemplo, si será la primera que se encuentre mejor o será en cambio la mejor de todas las del entorno, u otras posibilidades)



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.2 Algoritmos aproximados

2.1 Algoritmos Aproximados: Introducción

2.2. Algoritmos Probabilísticos

2.3. Pasos para Diseñar un Método de Búsqueda Local para un problema

2.4. Ejemplo: Espacio de Búsqueda

2.5. Ejemplo: Un algoritmo probabilístico de búsqueda para el viajante de comercio

2.6. Problemas Habituales de los Algoritmos de Búsqueda Local

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.4 Paralelización de metaheurísticas

1.5 Bibliografía

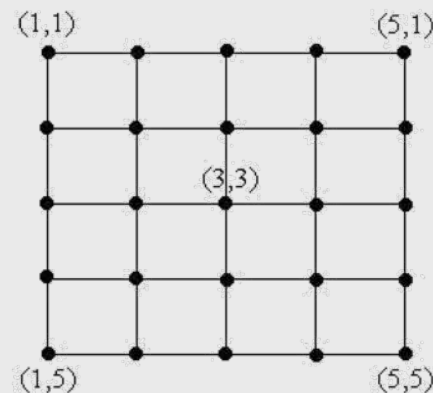


Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.2 Algoritmos aproximados

1.2.4. Ejemplo: Espacio de Búsqueda

- Supongamos un problema con **dos variables**, x_1 y x_2 , que toman valores $\{1,2,3,4,5\}$
- Una solución será un vector de dos componentes, $S=(v_1,v_2)$. Así, tenemos un espacio bidimensional con **$5 \cdot 5 = 25$ soluciones** posibles



- Cada punto de ese espacio es una solución. Nuestro algoritmo se mueve por dicho espacio buscando las mejores soluciones
- La dimensión del espacio aumenta exponencialmente con el número de variables y el de valores posibles (p.e., **$4 \text{ var} \Rightarrow 5^4 = 625 \text{ soluciones}$**)

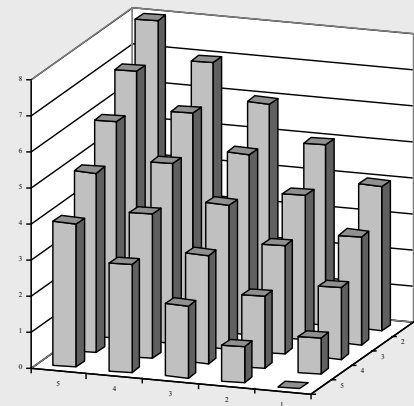


Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.2 Algoritmos aproximados

1.2.4. Ejemplo: Espacio de Búsqueda

- **Supongamos** que la **calidad** de las soluciones se mide de acuerdo a la función $C(S)=4+x_1-x_2$ y que es mejor cuanto mayor sea este valor (maximizar).
- La mejor solución sería la $S=(5,1)$ con coste $C(S)=8$ y la peor la $S'=(1,5)$ con coste $C(S')=0$
- Cada vez que nuestro algoritmo explore una nueva solución, estudiará su calidad con la función de coste
- Así, **buscamos la solución que optimice dicha función**





Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.2 Algoritmos aproximados

2.1 Algoritmos Aproximados: Introducción

2.2. Algoritmos Probabilísticos

2.3. Pasos para Diseñar un Método de Búsqueda Local para un problema

2.4. Ejemplo: Espacio de Búsqueda

2.5. Ejemplo: Un algoritmo probabilístico de búsqueda para el viajante de comercio

2.6. Problemas Habituales de los Algoritmos de Búsqueda Local

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.4 Paralelización de metaheurísticas

1.5 Bibliografía



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.2 Algoritmos aproximados

1.2.5. Ejemplo: Un algoritmo probabilístico de búsqueda para el Viajante de Comercio

1. **Esquema de representación:**
Permutación de $\{1, \dots, n\}$

2. **Función objetivo:**

$$\text{Min } C(S) = \sum_{i=1}^{n-1} (D[S[i], S[i+1]]) + D[S[n], S[1]]$$

3. **Mecanismo de generación de la solución inicial:** Permutación aleatoria

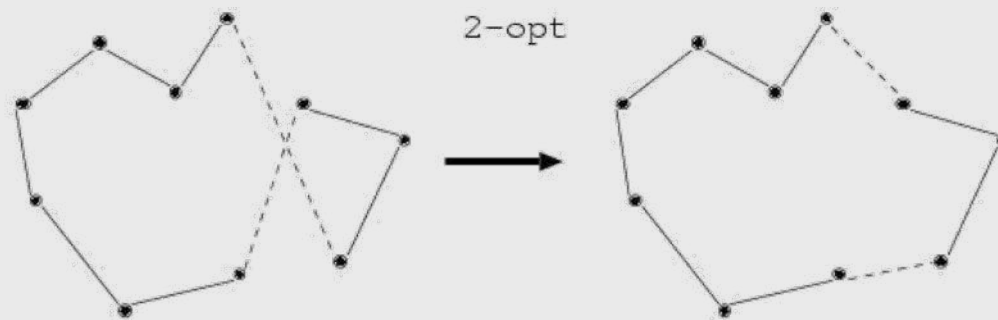


Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.2 Algoritmos aproximados

1.2.5. Ejemplo: Un algoritmo probabilístico de búsqueda para el Viajante de Comercio

4. **Operador de generación de nuevas soluciones:** escoger dos posiciones aleatorias e intercambiar sus valores (**2-opt**):



5. **Mecanismo de selección:** Si el coste de la nueva solución generada es menor que el de la actual, aceptamos la nueva

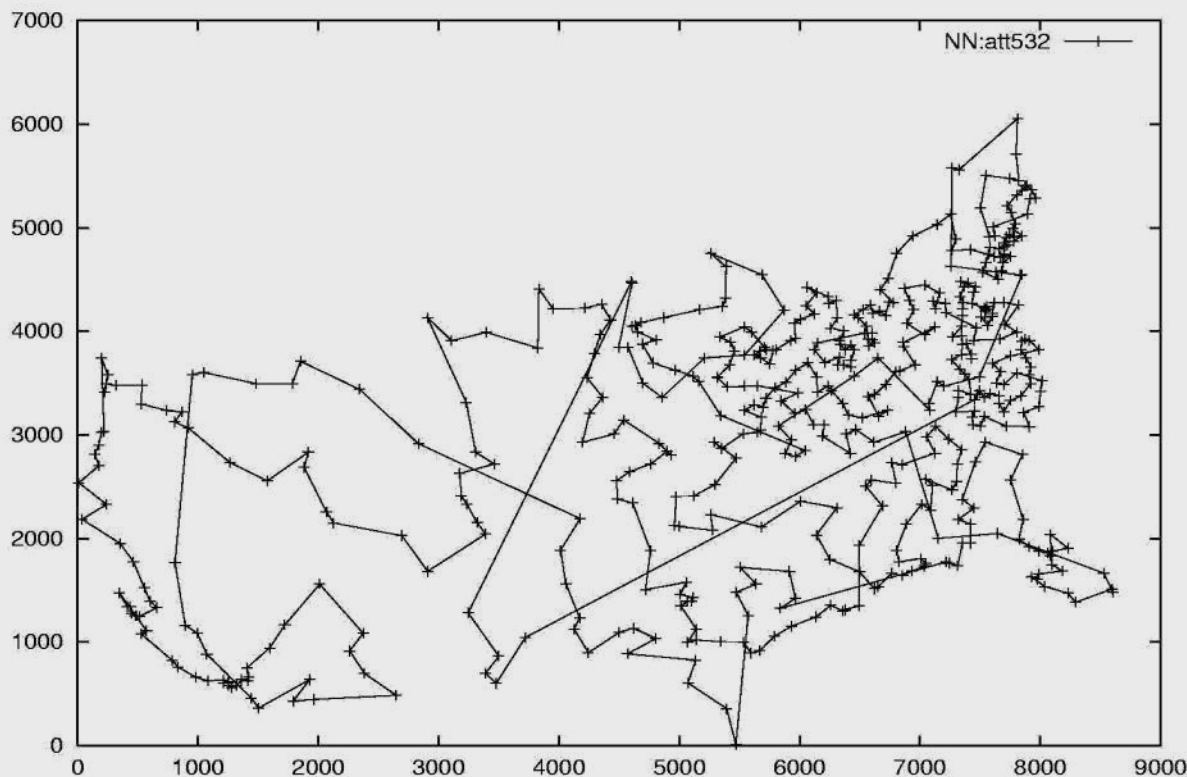


Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.2 Algoritmos aproximados

1.2.5. Ejemplo: Un algoritmo probabilístico de búsqueda para el Viajante de Comercio

Solución obtenida utilizando el algoritmo anterior:



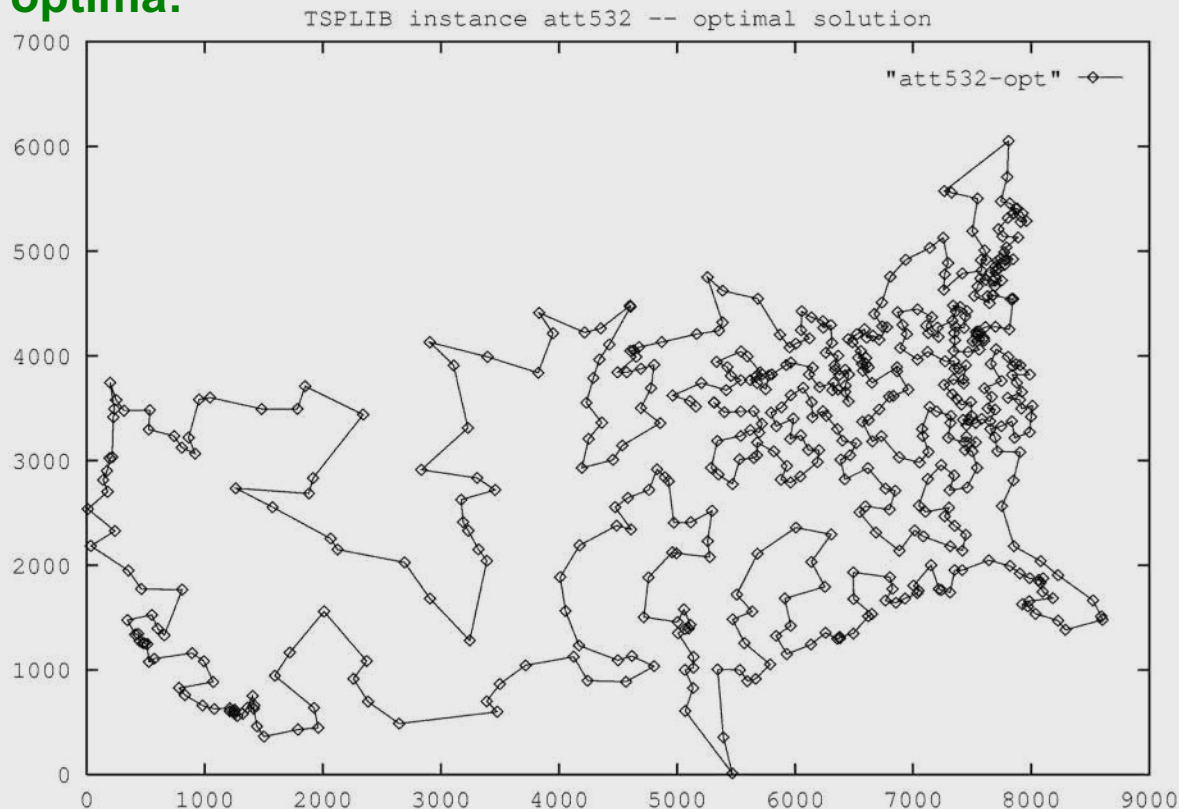


Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.2 Algoritmos aproximados

1.2.5. Ejemplo: Un algoritmo probabilístico de búsqueda para el Viajante de Comercio

Solución óptima:





Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.2 Algoritmos aproximados

2.1 Algoritmos Aproximados: Introducción

2.2. Algoritmos Probabilísticos

2.3. Pasos para Diseñar un Método de Búsqueda Local para un problema

2.4. Ejemplo: Espacio de Búsqueda

2.5. Ejemplo: Un algoritmo probabilístico de búsqueda para el viajante de comercio

2.6. Problemas Habituales de los Algoritmos de Búsqueda Local

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.4 Paralelización de metaheurísticas

1.5 Bibliografía

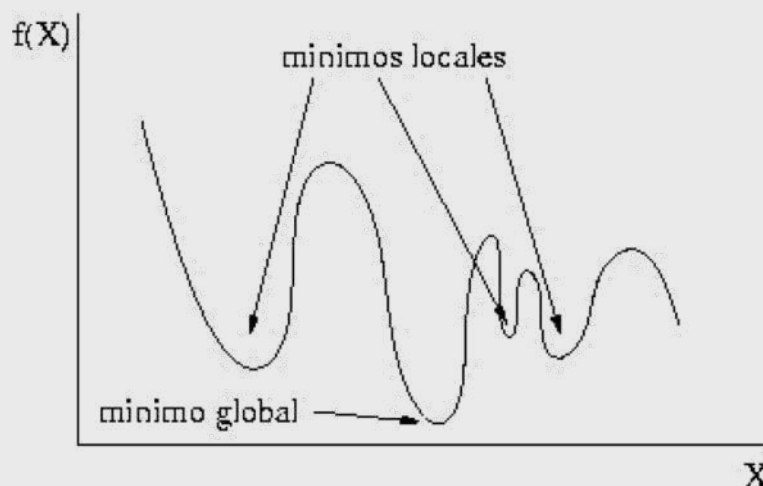


Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.2 Algoritmos aproximados

1.2.6. Problemas Habituales de los Algoritmos de Búsqueda Local

- Suelen caer en **óptimos locales**, que a veces están bastante **alejados del óptimo global** del problema



- Un **mal diseño de la función objetivo** puede **guiar mal la búsqueda** y dar lugar a que se obtengan **soluciones de baja calidad**



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.2 Algoritmos aproximados

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.3.1 Metaheurísticas: Definición

1.3.2 Funcionamiento de las Metaheurísticas

1.3.3 Clasificación de las Metaheurísticas

1.4 Paralelización de metaheurísticas

1.5 Bibliografía



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.3.1 Metaheurísticas: Definición

- **Def:** Son una **nueva familia de algoritmos aproximados** de propósito general consistentes en **procedimientos iterativos** que guían una **heurística subordinada combinando de forma inteligente** distintos conceptos para **explorar** y **explotar** adecuadamente el espacio de búsqueda
- **Ventajas:**
 - Son algoritmos de propósito general
 - Gran éxito en la práctica
 - Fácilmente implementables
 - Fácilmente paralelizables
- **Inconvenientes:**
 - Son algoritmos aproximados: no exactos
 - Son altamente no determinísticos (probabilísticos)
 - Presentan poca base teórica



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.2 Algoritmos aproximados

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.3.1 Metaheurísticas: Definición

1.3.2 Funcionamiento de las Metaheurísticas

1.3.3 Clasificación de las Metaheurísticas

1.4 Paralelización de metaheurísticas

1.5 Bibliografía



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.3.2 Funcionamiento de las Metaheurísticas

- Para obtener buenas soluciones, cualquier algoritmo de búsqueda debe establecer un **balance** adecuado entre dos características contradictorias del proceso:
 - **Intensificación**: cantidad de esfuerzo empleado en la búsqueda en la región actual (**explotación** del espacio)
 - **Diversificación**: cantidad de esfuerzo empleado en la búsqueda en regiones distantes del espacio (**exploración**)
- P.e., la **búsqueda local clásica** presenta **mucha intensificación** pero **poca diversificación**



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.3.2 Funcionamiento de las Metaheurísticas

- Este equilibrio entre *intensificación* y *diversificación* es necesario para:
 - Identificar rápidamente regiones del espacio con soluciones de buena calidad
 - No consumir mucho tiempo en regiones del espacio no prometedoras o ya exploradas
- Las metaheurísticas aplican distintas estrategias para obtener un buen *balance* entre *intensificación* y *diversificación*





Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda

1.2 Algoritmos aproximados

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.3.1 Metaheurísticas: Definición

1.3.2 Funcionamiento de las Metaheurísticas

1.3.3 Clasificación de las Metaheurísticas

1.4 Paralelización de metaheurísticas

1.5 Bibliografía



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.3.3 Clasificación de las Metaheurísticas

- **Taxonomías:** Existen distintas metaheurísticas en función de conceptos como:
 - Seguimiento de trayectoria considerado
 - Uso de poblaciones de soluciones
 - Uso de memoria
 - Número de vecindarios considerados
 - Fuente de inspiración





Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación

1.3.3 Clasificación de las Metaheurísticas

- **Una posible clasificación o agrupación:**
 - **Basadas en métodos constructivos:** *Greedy Randomised Adaptive Search Procedures (GRASP), Ej: Optimización Basada en Colonias de Hormigas (ACO)*
 - **Basadas en trayectorias** (*la heurística subordinada es un algoritmo de búsqueda local que sigue una trayectoria en el espacio de búsqueda*). Ej: Búsqueda Local, Enfriamiento Simulado, Búsqueda Tabú, BL Iterativa, ...
 - **Basadas en poblaciones** (*el proceso considera múltiples puntos de búsqueda en el espacio*): Algoritmos Genéticos, Algoritmos Meméticos, Scatter Search, ...



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

Índice:

- 1.1 Resolución de problemas mediante algoritmos de búsqueda
- 1.2 Algoritmos aproximados
- 1.3 Metaheurísticas: definición y clasificación
- 1.4 Paralelización de metaheurísticas**
- 1.5 Bibliografía



Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.4 Paralelización de metaheurísticas

Objetivos de los Algoritmos Paralelos de Búsqueda:

1. Preservar la calidad de las soluciones reduciendo el tiempo de ejecución
2. Incrementar la calidad de las soluciones sin aumentar el tiempo de cálculo:
 - Aumentando las iteraciones con una paralelización efectiva
 - Ventajas de un diseño paralelo ejecutado secuencialmente, que permita introducir **mayor diversidad** en el proceso de búsqueda y que **evite la convergencia prematura**





Tema 1.1: Metaheurísticas: Introducción y Clasificación

1.5 Bibliografía

- ***A. Díaz y otros. Optimización Heurística y Redes Neuronales. Paraninfo, 1996.***
- ***J.M. Moreno, J.A. Moreno, Heurísticas en Optimización. Consejería de Cultura y Deporte, Gobierno de Canarias, 1999.***

