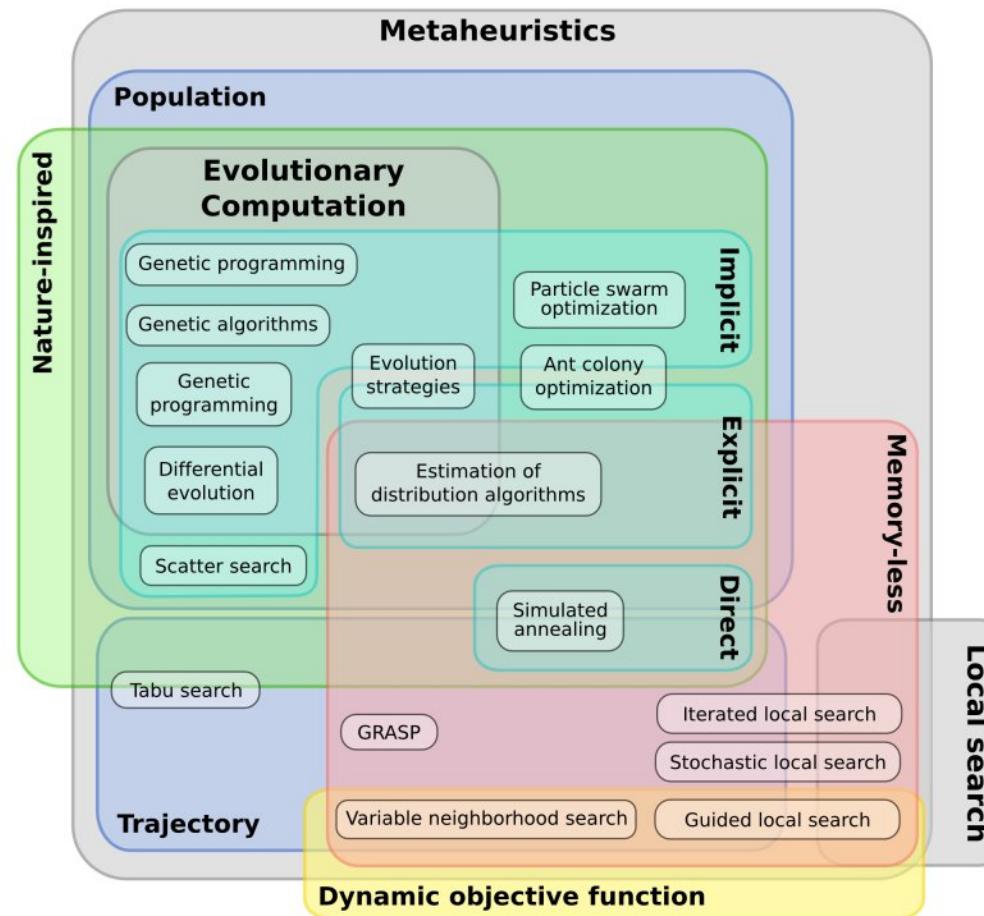


Tema 2. Métodos basados en trayectorias: Búsqueda local

Profesor: Sebastián Ventura Soto



Objetivos

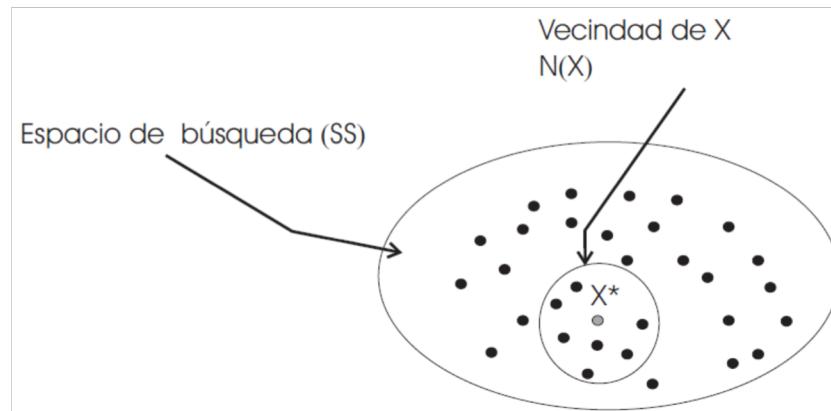
- Conocer las características de las técnicas basadas en búsqueda local
- Entender el funcionamiento y estructura general de los algoritmos de optimización simples basados en búsqueda local
- Saber determinar la representación más acorde para un problema
- Conocer las metaheurísticas basadas en trayectorias

Índice

- **Búsqueda basada en trayectorias**
- Métodos básicos de búsqueda local
- Metaheurísticas basadas en trayectorias

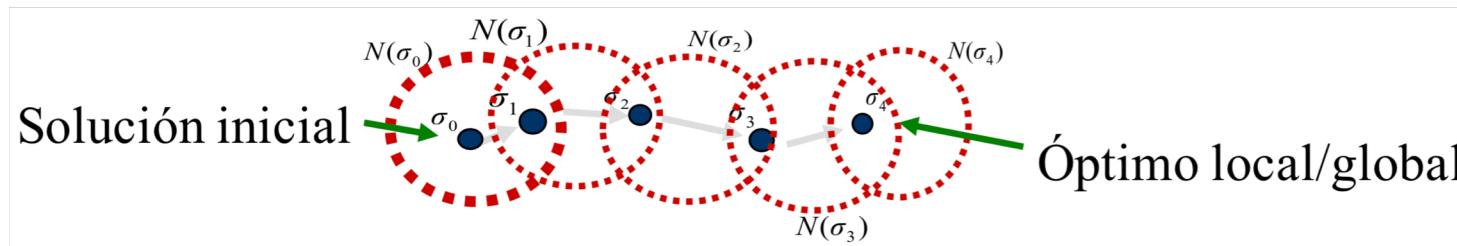
Búsqueda basada en trayectorias

- Término **local** refleja el concepto de proximidad entre las soluciones alternativas del problema
- **Soluciones vecinas:** todas las soluciones incluidas en el entorno de la solución actual, que viene delimitado por un operador de generación de soluciones



Búsqueda basada en trayectorias

- Los algoritmos basados en trayectorias efectúan un **estudio local del espacio de búsqueda**, analizando el entorno de la solución actual para **decidir cómo continuar el recorrido** de la búsqueda
- La búsqueda local es un proceso que, dada una solución en un recorrido, **selecciona iterativamente una solución de su entorno** para continuar la búsqueda



Búsqueda basada en trayectorias

- Ingredientes de una búsqueda local
 - **Codificación y evaluación**
 - Selección de **solución inicial**
 - **Soluciones vecinas** (vecindario o entorno)
 - **Estrategia de exploración** del vecindario
 - Primera solución que mejore (escalada simple)
 - Mejor solución que mejore (escalada por la máxima pendiente)
 - Criterio de parada

Índice

- Búsqueda basada en trayectorias
- **Métodos básicos de búsqueda local**
- Metaheurísticas basadas en trayectorias

Métodos básicos de búsqueda local

- **Escalada simple:** Cualquier operación que suponga una mejora

$M <-$ estado inicial

Iterar

$M' <-$ Generar solución vecina de M

Si $f(M')$ es mejor que $f(M)$

$M <- M'$

Hasta que no haya más M'

Devolver M

En la formulación original de la escalada, las reglas de producción siguen un orden específico, con lo que el **orden de generación de vecinos es determinista.**

Existe una **versión estocástica** de la escalada, en la que se eligen las reglas de producción al azar.

Métodos básicos de búsqueda local

- **Escalada por la máxima pendiente:** Mejor operación que suponga una mejora entre todas las vecinas

$M <-$ estado inicial

Iterar

Generar todas las soluciones vecinas de M

$M' <-$ Mejor solución de entre todas las generadas

Si $f(M')$ es mejor que $f(M)$

$M <- M'$

Hasta que no haya más M'

Devolver M

Métodos básicos de búsqueda local

- **Escalada simple / Escalada por la máxima pendiente**

- Se dirige siempre a un estado mejor que el actual
- No mantiene información de estados previos
- ¿Se puede obtener el máximo global? ¿De qué depende?
- ¿Se puede quedar atrapado en un óptimo local?

Métodos básicos de búsqueda local

- Escalada simple o de máxima pendiente

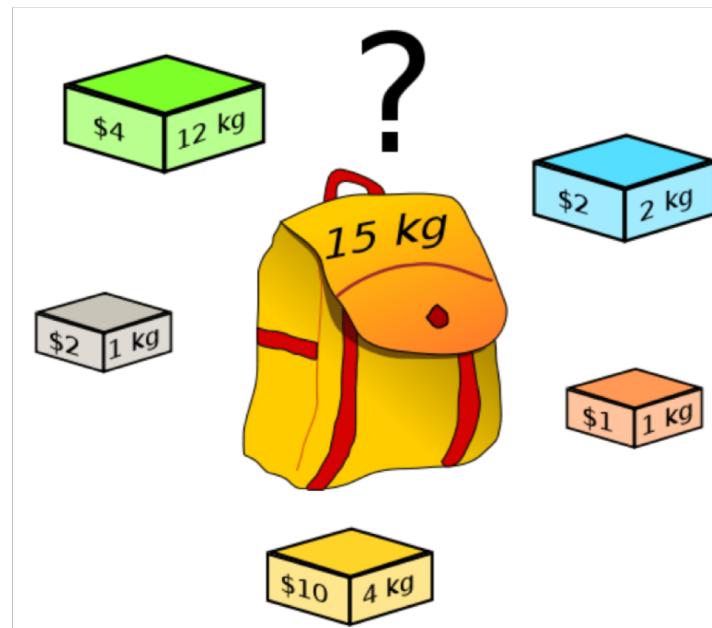
- ¿Cuál es mejor?
- ¿Cuál es más rápida?

5	4	2	2	4
4	3	2	1	1
5	1	3	0	6
4	1	2	5	7
2	1	3	5	4

S. Ventura - J.M. Luna

Métodos básicos de búsqueda local

- Escalada simple
 - *Knapsack problem*
 - ¿Codificación?
 - ¿Evaluación?



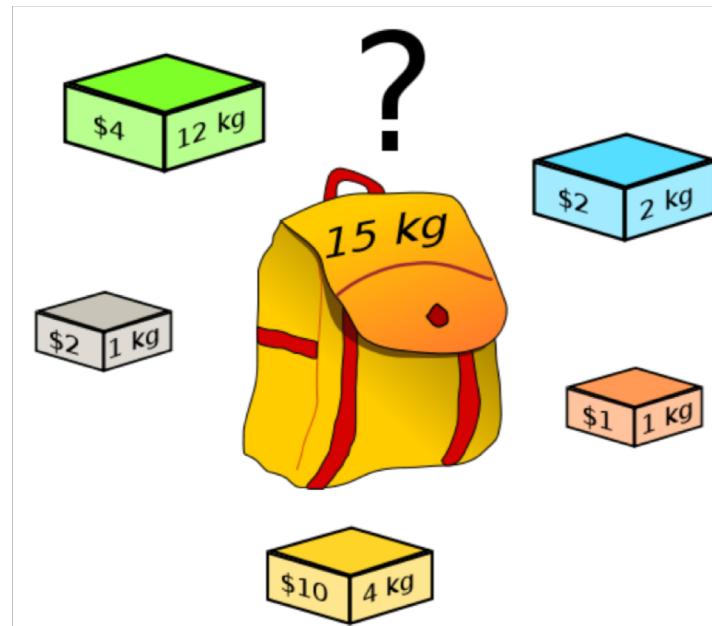
Métodos básicos de búsqueda local

- Escalada simple

- Codificación
 $(1\ 0\ 0\ 0\ 0)$

- Evaluación
 $4\$ + 0\$ + 0\$ + 0\$ + 0\$ = 4\$$
¿Peso? $12 + 0 + 0 + 0 + 0 = 12\text{kg}$

- ¿Soluciones vecinas?
Aquellas con un bit de diferencia



Métodos básicos de búsqueda local

- Escalada simple

- Solución inicial

$$S_1 = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

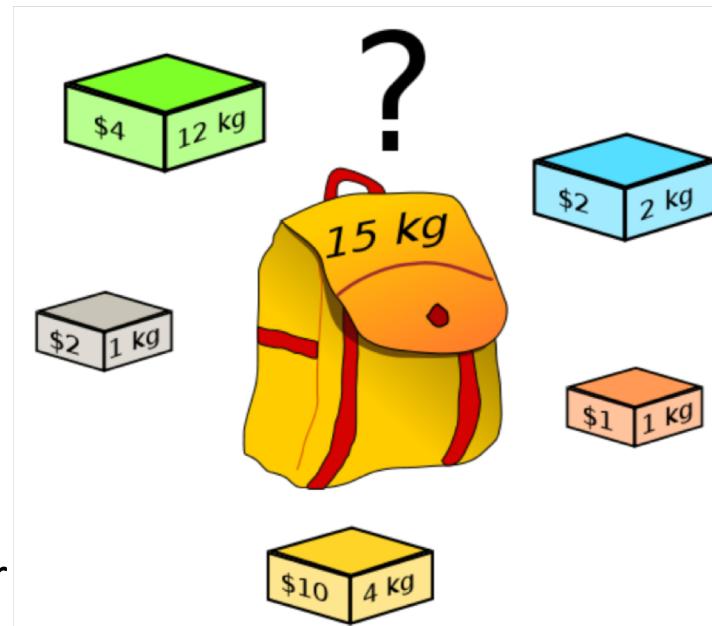
$$F(S_1) = 4\$$$

- Genero nueva

$$S' = (1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0)$$

$$F(S') = 5\$ \quad \text{Peso} = 13\text{Kg}$$

$S_2 = S'$ Nueva solución mejor

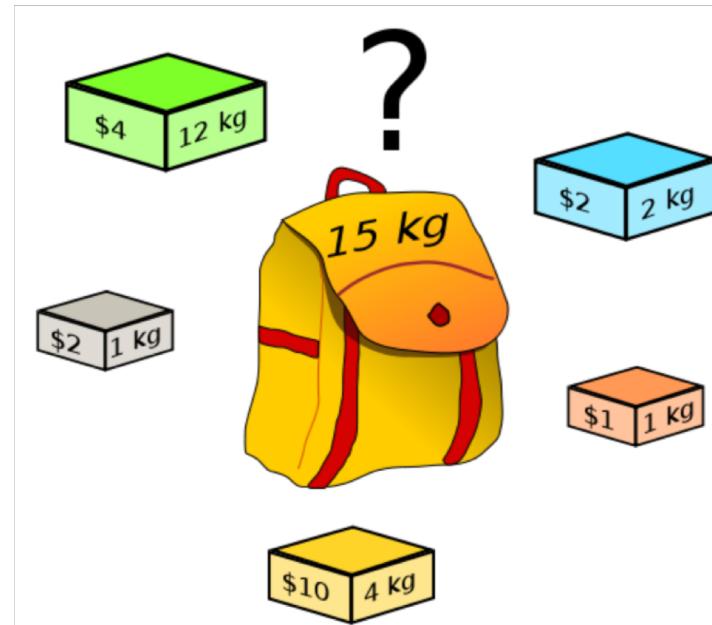


¡¡CONTINUAR EN CLASE!!

Métodos básicos de búsqueda local

- Escalada por la máxima pendiente

- ¡¡HACER EN CLASE!!



Índice

- Búsqueda basada en trayectorias
- Métodos básicos de búsqueda local
- **Metaheurísticas basadas en trayectorias**
 - Enfriamiento simulado (*Simulated Annealing*)

Metaheurísticas basadas en trayectorias

- Problema de la búsqueda local: caer en óptimos locales
- Soluciones para salir de óptimos locales:
 - Permitir movimientos de empeoramiento de la solución actual
 - Ejemplo: Enfriamiento simulado, búsqueda Tabú, etc.
 - Modificar la estructura de entornos
 - Ejemplo: Búsqueda Tabú, Búsqueda en entornos variables, etc.
 - Volver a comenzar la búsqueda desde otra solución inicial
 - Ejemplo: *Iterated local search*, etc.

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado

- Algoritmo de búsqueda local (búsqueda por entornos) con un criterio probabilístico de aceptación de soluciones basado en la Termodinámica
- Evita que la búsqueda local finalice en óptimos locales permitiendo algunos movimientos hacia soluciones peores
- Contiene una función que hace disminuir la probabilidad de moverse hacia soluciones peores conforme avanza la búsqueda (y por tanto estamos más cerca, previsiblemente, del óptimo global)
- Se basa en diversificar al principio e intensificar al final

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado

- Es un algoritmo de Escalada Estocástico:
 - Elegimos un sucesor de entre todos los posibles según una distribución de probabilidad
 - El sucesor podría ser peor
- Inspirado en un proceso físico de enfriamiento controlado
 - Se calienta un metal a alta temperatura y se enfria progresivamente
 - Si el enfriamiento es correcto se obtiene la estructura de menor energía (mínimo global)
- Comparación de términos:
 - Estados del sistema – soluciones factibles
 - Energía – coste
 - Cambio de estado – solución en el entorno
 - Temperatura – parámetro de control
 - Estado congelado – solución heurística

Metaheurísticas basadas en trayectorias

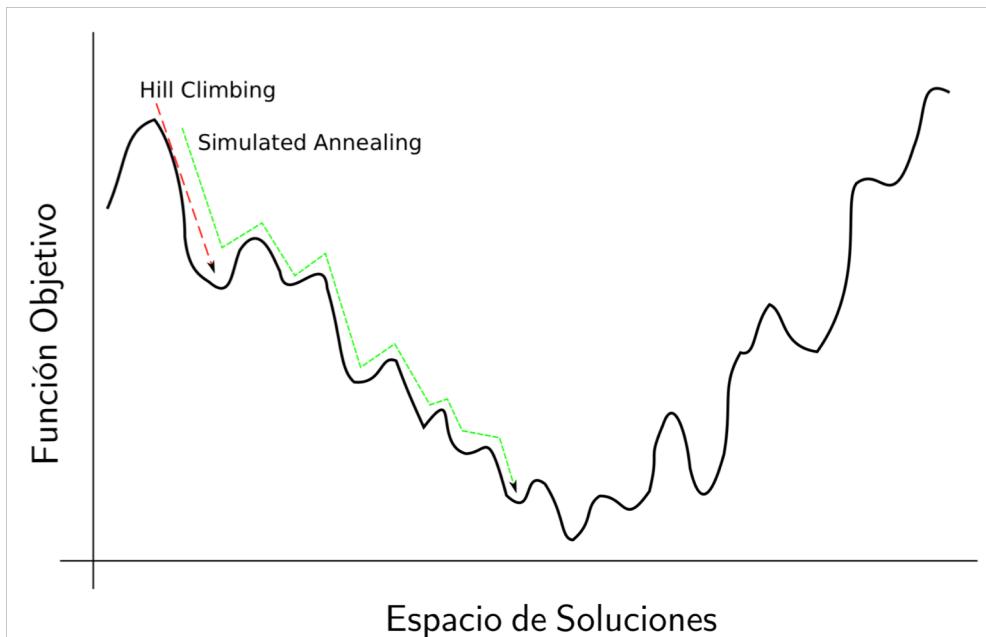
Enfriamiento simulado

Pseudocódigo (ejemplo minimizar función objetivo)

```
Partimos de una temperatura inicial
mientras la temperatura no sea cero hacer
    // Paseo aleatorio por el espacio de soluciones
    para un numero prefijado de iteraciones hacer
        Enuevo  $\leftarrow$  Genera_sucesor_al_azar(Eactual)
         $\Delta E \leftarrow f(Eactual) - f(Enuevo)$ 
        si  $\Delta E > 0$  entonces
            | Eactual  $\leftarrow$  Enuevo
        sino
            | con probabilidad  $e^{\Delta E/T}$ : Eactual  $\leftarrow$  Enuevo
        fin
    fin
    Disminuimos la temperatura
fin
```

Metaheurísticas basadas en trayectorias

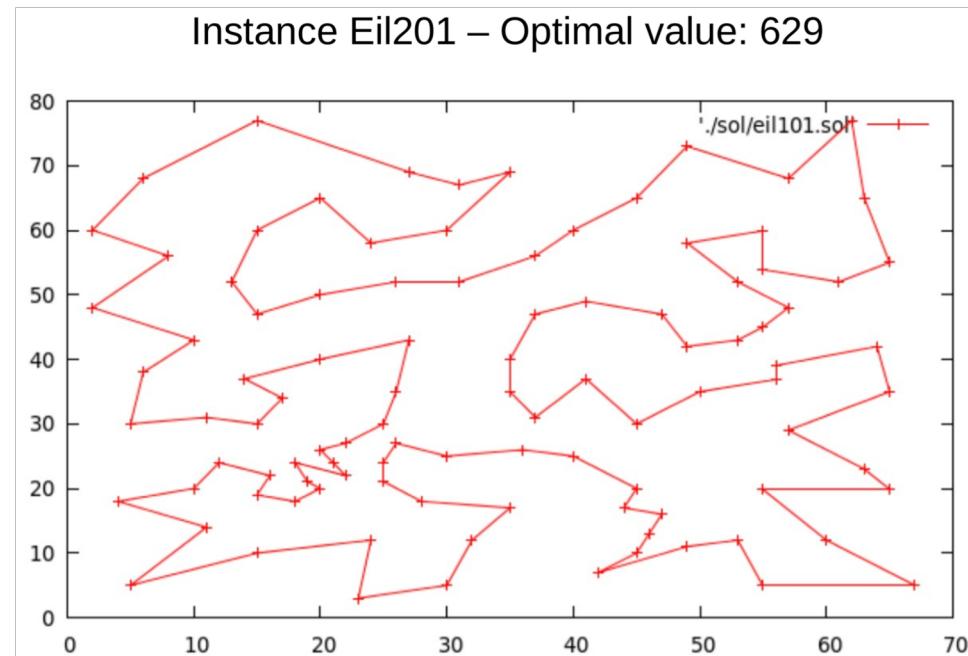
Enfriamiento simulado



A menor temperatura
menor probabilidad de
elegir sucesores peores

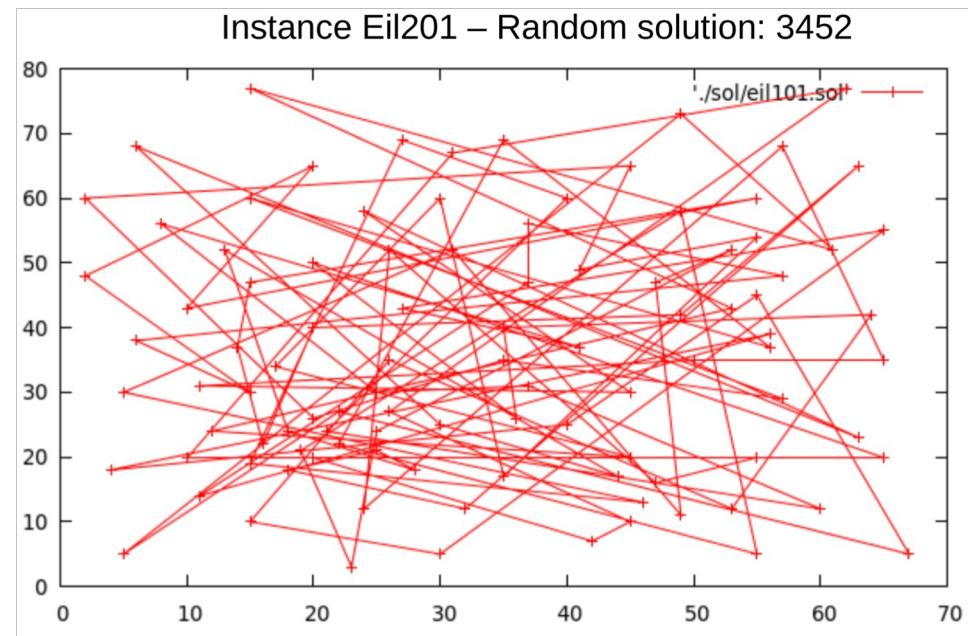
Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado



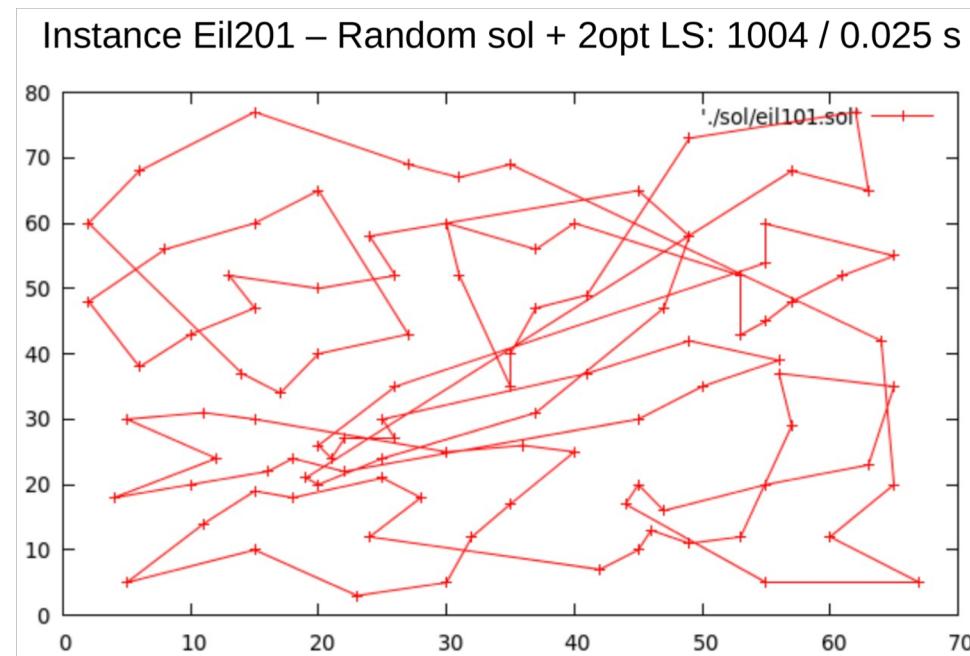
Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado



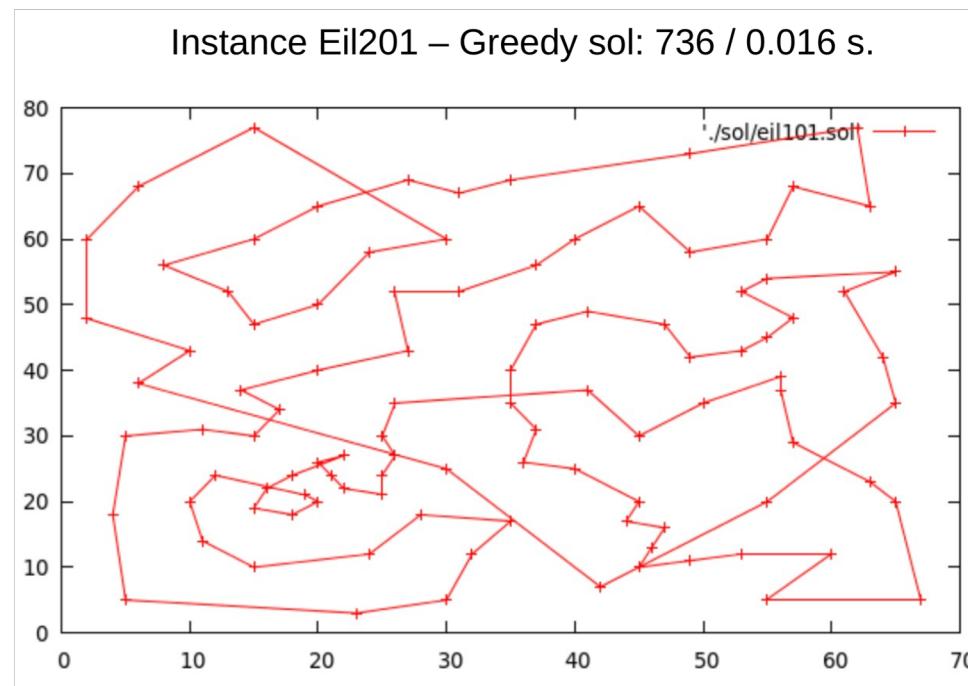
Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado



Metaheurísticas basadas en trayectorias

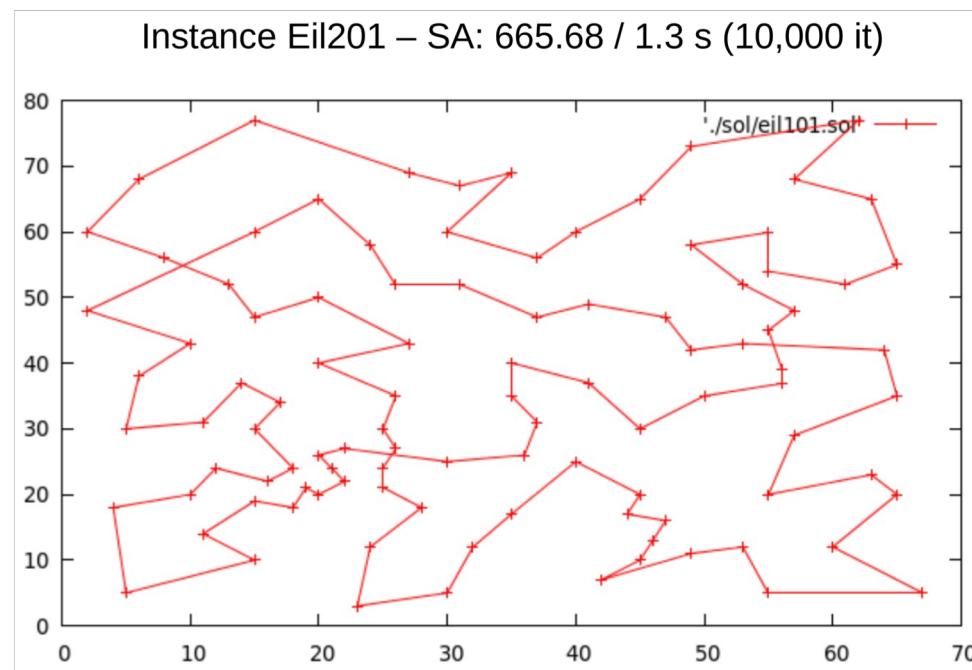
Enfriamiento simulado



S. Ventura - J.M. Luna

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado



S. Ventura - J.M. Luna

Metaheurísticas basadas en trayectorias

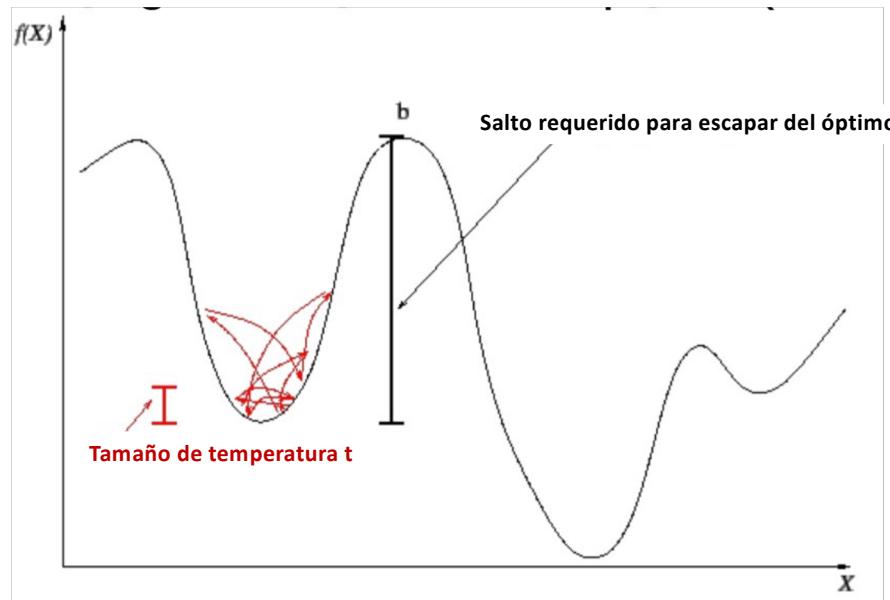
Enfriamiento simulado

- Tipos de enfriamiento
 - Exponencial : $T = \alpha^{it}T_0 / T = \alpha T$
 - Lineal : $T = T_0 - n \cdot it$
 - Boltzmann / Logarítmica : $T = T_0/(1+\log(1+it))$
 - Cauchy : $T = T_0 / (1+it)$
- No es conveniente usar un valor fijo que sea independiente del problema
- Para converger al óptimo global se requiere un enfriamiento lento

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado

¿Puedes quedar atrapado en un óptimo local?

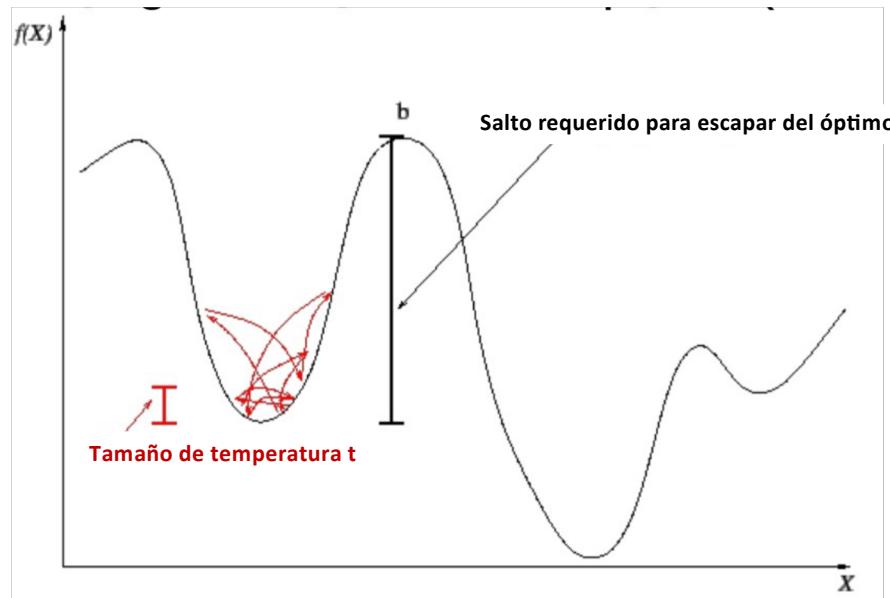


¿Cómo mejorar este algoritmo?

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado

¿Puedes quedar atrapado en un óptimo local?



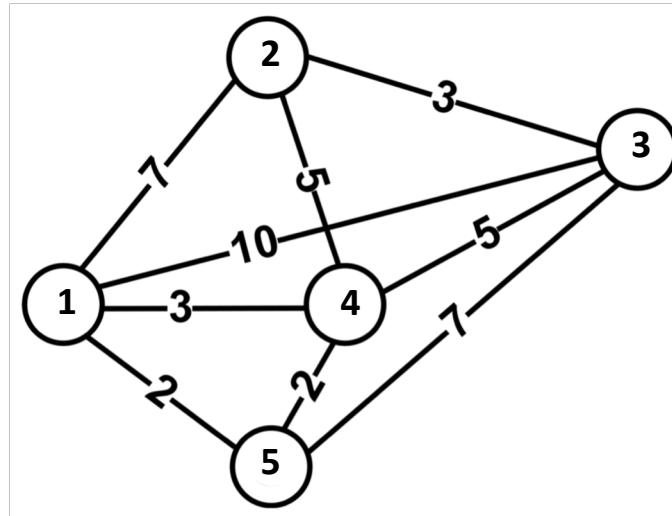
¿Cómo mejorar este algoritmo?

RECALENTAR

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado

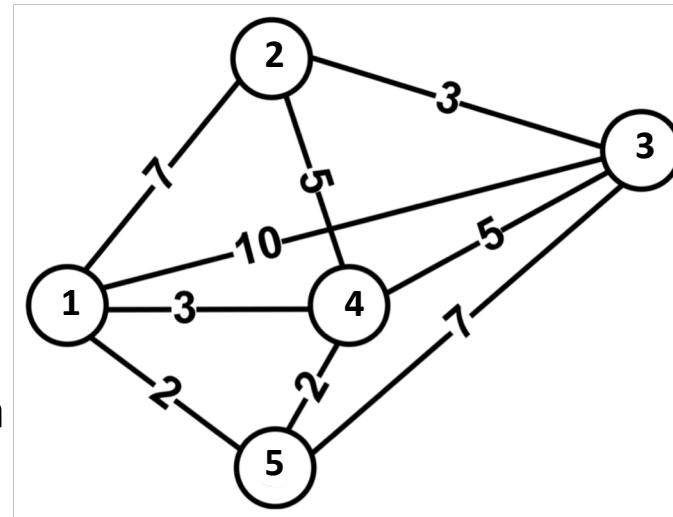
- $T_0 = 0.9$
- $S_0: (1\ 2\ 4\ 3\ 5)$
- $F(S_0) = 7+5+5+7+2=26$
- Tipo de enfriamiento: logarítmico
$$T = T_0 / (1 + \log(1 + it))$$



Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado

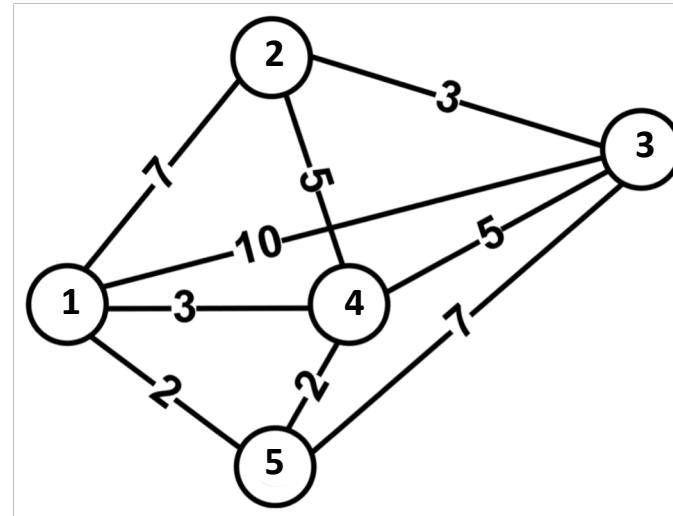
- $S_0: (1\ 2\ 4\ 3\ 5)$ Mejor hasta ahora
- $S_1: (1\ 2\ 4\ 5\ 3)$
- $F(S_1)=7+5+2+7+10=31$
- $F(S_1) > F(S_0)$
- Aleatorio $(0, 1) = 0.17$
- $0.17 > e^{(26-31)/0.9} = 0.0038$ **Se rechaza**
- $T = 0.9/(1+\log(1+1)) = 0.6917$



Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado

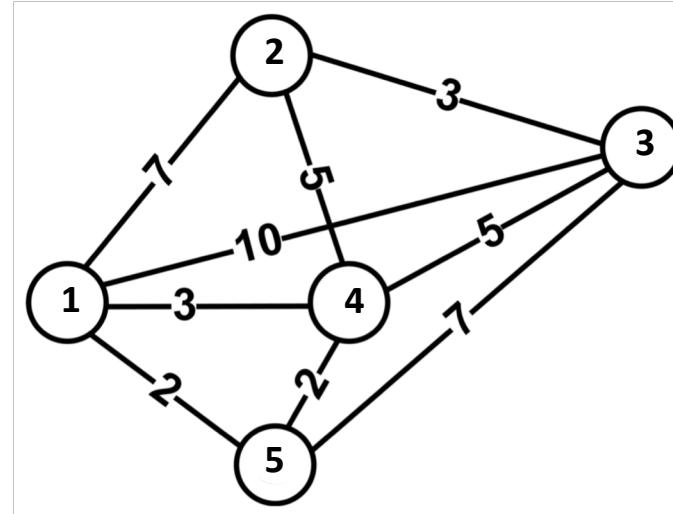
- $S_0: (1\ 2\ 4\ 3\ 5)$ Mejor hasta ahora
- $S_2: (2\ 1\ 4\ 3\ 5)$
- $F(S_2)=7+3+5+7+2=24$
- $F(S_2) < F(S_0)$
- Mejor es ahora S_2
- $T = 0.9/(1+\log(1+2)) = 0.6093$



Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado

- $S_2: (2 \ 1 \ 4 \ 3 \ 5)$ Mejor hasta ahora
- $S_3: (2 \ 1 \ 4 \ 5 \ 3)$
- $F(S_3) = 7 + 3 + 2 + 7 + 3 = 22$
- $F(S_3) < F(S_2)$
- Mejor es ahora S_3
- $T = 0.9 / (1 + \log(1+3)) = 0.5617$

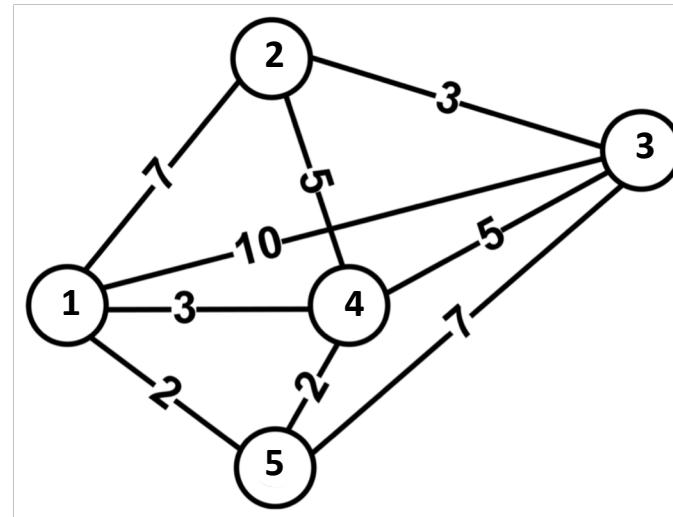


Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado

- $S_3: (2 \ 1 \ 4 \ 5 \ 3)$ Mejor hasta ahora
- $S_4: (2 \ 1 \ 5 \ 4 \ 3)$
- $F(S_4)=7+2+2+5+3=19$
- $F(S_4) < F(S_3)$

ii Optimo en S_4 !!



Metaheurísticas basadas en trayectorias

Enfriamiento simulado

- ¿Cómo afecta el enfriamiento?
 - Exponencial : $T = \alpha^{it}T_0 / T = \alpha T$
 - Lineal : $T = T_0 - n \cdot it$
 - Boltzmann / Logarítmica : $T = T_0/(1+\log(1+it))$
 - Cauchy : $T = T_0 / (1+it)$
- $T_0 = 0.9$

• T_{nuevo}

	1	2	3	4	5	6
Exponencial ($\alpha=0.9$)	0.8100	0.7290	0.6561	0.5905	0.5314	0.4783
Lineal ($n=0.1$)	0.8000	0.7000	0.6000	0.5000	0.4000	0.3000
Logarítmica	0.6917	0.6092	0.5617	0.5297	0.5061	0.4877
Cauchy	0.4500	0.3000	0.2250	0.1800	0.1500	0.1285

Índice

- Búsqueda basada en trayectorias
- Métodos básicos de búsqueda local
- **Metaheurísticas basadas en trayectorias**
 - Enfriamiento simulado (*Simulated Annealing*)
 - Búsqueda Tabú

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

- Permite aceptar **soluciones que empeoran** la solución actual
- Algoritmo de búsqueda local basado en el **uso de memoria**
- La memoria se usa para **no repetir la trayectoria** de búsqueda
- Tipos de memoria:
 - Memoria a corto plazo
 - Evitar ciclos
 - Memoria a largo plazo
 - Intensificar la búsqueda en buenas regiones
 - Diversificar la búsqueda hacia nuevas regiones

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

Principio de la búsqueda tabú:

“Es mejor una mala decisión basada en información que una buena decisión al azar, ya que, en un sistema que emplea memoria, una mala elección basada en una estrategia proporcionará claves útiles para continuar la búsqueda.”

“Una buena elección fruto del azar no proporcionará ninguna información para posteriores acciones”

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

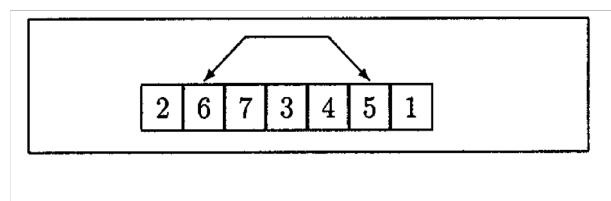
Procedimiento iterativo

1. Solución actual
2. Definir vecindario
3. Evaluar vecindario
4. Elegir el mejor No-Tabú. El movimiento siempre se acepta a pesar de que la nueva solución sea peor que la anterior

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

- **Ejemplo:** El problema consiste en determinar el orden de secuenciación de las tareas que minimiza el valor de la función objetivo F. Una secuenciación de las tareas, que constituye una permutación, define completamente a una solución
- **Soluciones vecinas** aquellas que estén a un intercambio



Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

Memoria a corto plazo

- Iteración 0

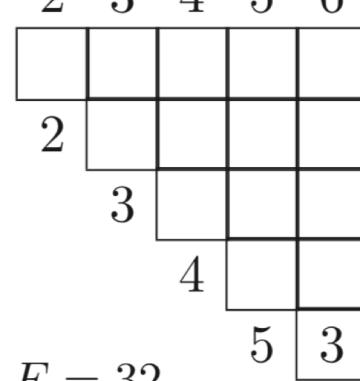
Solución actual	Estructura tabú	Primeros 5 candidatos	Valor de movimiento																																																		
<table border="1"><tr><td>1</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>4</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>6</td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	<table border="1"><tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>$F = 39$</td><td>5</td><td></td><td></td></tr></table>	2	3	4	5	6	1					2					3					4					$F = 39$	5			<table border="1"><tr><td>5, 6</td><td>-7</td><td>*</td></tr><tr><td>2, 4</td><td>-2</td><td></td></tr><tr><td>1, 4</td><td>-1</td><td></td></tr><tr><td>4, 6</td><td>-1</td><td></td></tr><tr><td>2, 6</td><td>0</td><td></td></tr></table>	5, 6	-7	*	2, 4	-2		1, 4	-1		4, 6	-1		2, 6	0		
1																																																					
2																																																					
3																																																					
4																																																					
5																																																					
6																																																					
2	3	4	5	6																																																	
1																																																					
2																																																					
3																																																					
4																																																					
$F = 39$	5																																																				
5, 6	-7	*																																																			
2, 4	-2																																																				
1, 4	-1																																																				
4, 6	-1																																																				
2, 6	0																																																				

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

Memoria a corto plazo

- Iteración 1

Solución tabú	Estructura tabú	Primeros 5 candidatos	Valor de movimiento																					
<table border="1"><tr><td>1</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>4</td></tr><tr><td>6</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>	1	2	3	4	6	5	<p>1 2 3 4 5 6</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>$F = 32$</p> 	<p>Primeros 5 candidatos</p> <p>Valor de movimiento</p>	<table border="1"><tr><td>2, 4</td><td>-2</td><td>*</td></tr><tr><td>1, 4</td><td>-1</td><td></td></tr><tr><td>1, 2</td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2, 3</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td>4, 6</td><td>2</td><td></td></tr></table>	2, 4	-2	*	1, 4	-1		1, 2	1		2, 3	2		4, 6	2	
1																								
2																								
3																								
4																								
6																								
5																								
2, 4	-2	*																						
1, 4	-1																							
1, 2	1																							
2, 3	2																							
4, 6	2																							

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

Memoria a corto plazo

- Iteración 2

Solución actual	Estructura tabú	Primeros 5 candidatos																																													
<table border="1"><tr><td>1</td></tr><tr><td>4</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>6</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>	1	4	3	2	6	5	<table border="1"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>2</td><td></td><td></td><td>3</td><td></td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>5</td><td>2</td></tr></table> <p>$F = 30$</p>	1	2	3	4	5	6	2			3			3				4						5	2	<table border="1"><tr><td>1, 4</td><td>-2</td><td>*</td></tr><tr><td>1, 3</td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>3, 4</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td>2, 4</td><td>2</td><td>T</td></tr><tr><td>2, 6</td><td>2</td><td></td></tr></table>	1, 4	-2	*	1, 3	1		3, 4	2		2, 4	2	T	2, 6	2	
1																																															
4																																															
3																																															
2																																															
6																																															
5																																															
1	2	3	4	5	6																																										
2			3																																												
3				4																																											
				5	2																																										
1, 4	-2	*																																													
1, 3	1																																														
3, 4	2																																														
2, 4	2	T																																													
2, 6	2																																														

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

Memoria a corto plazo

- Iteración 3

Solución actual	Estructura tabú	Primeros 5 candidatos																																																			
<table border="1"><tr><td>4</td></tr><tr><td>1</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>6</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>	4	1	3	2	6	5	<table border="1"><tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>1</td><td></td><td></td><td>3</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>4</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>5</td><td>1</td></tr></table> <p>$F = 28$</p>	2	3	4	5	6	1			3				2				3						4						5	1	<table border="1"><tr><td>1, 4</td><td>2</td><td>T</td></tr><tr><td>1, 3</td><td>2</td><td>*</td></tr><tr><td>2, 6</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td>1, 2</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td>2, 3</td><td>3</td><td></td></tr></table>	1, 4	2	T	1, 3	2	*	2, 6	2		1, 2	3		2, 3	3	
4																																																					
1																																																					
3																																																					
2																																																					
6																																																					
5																																																					
2	3	4	5	6																																																	
1			3																																																		
		2																																																			
	3																																																				
		4																																																			
			5	1																																																	
1, 4	2	T																																																			
1, 3	2	*																																																			
2, 6	2																																																				
1, 2	3																																																				
2, 3	3																																																				

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

Memoria a corto plazo

- Iteración 4

Solución actual	Estructura tabú	Primeros 5 candidatos																																																
<table border="1"><tr><td>4</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>1</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>6</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>	4	3	1	2	6	5	<table border="1"><tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>1</td><td></td><td>3</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td></td><td>2</td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>3</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>5</td></tr></table> <p>$F = 30$</p>	2	3	4	5	6	1		3	2			2		1				3						4						5	<table border="1"><thead><tr><th>Valor de movimiento</th><th></th></tr></thead><tbody><tr><td>1, 3</td><td>-2</td></tr><tr><td>3, 4</td><td>1</td></tr><tr><td>1, 4</td><td>2</td></tr><tr><td>2, 6</td><td>2</td></tr><tr><td>1, 2</td><td>3</td></tr></tbody></table> <p>T</p> <p>*</p> <p>T</p>	Valor de movimiento		1, 3	-2	3, 4	1	1, 4	2	2, 6	2	1, 2	3
4																																																		
3																																																		
1																																																		
2																																																		
6																																																		
5																																																		
2	3	4	5	6																																														
1		3	2																																															
	2		1																																															
		3																																																
			4																																															
				5																																														
Valor de movimiento																																																		
1, 3	-2																																																	
3, 4	1																																																	
1, 4	2																																																	
2, 6	2																																																	
1, 2	3																																																	

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

Memoria a corto plazo

- Iteración 5

Solución actual	Estructura tabú	Primeros 5 candidatos	Valor de movimiento																																																			
<table border="1"><tr><td>3</td></tr><tr><td>4</td></tr><tr><td>1</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>6</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>	3	4	1	2	6	5	<table border="1"><tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>1</td><td></td><td>2</td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td><td>3</td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>5</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>5</td></tr></table> <p>$F = 31$</p>	2	3	4	5	6	1		2	1		2					3		3			4			5						5	<table border="1"><tr><td>3, 4</td><td>-1</td><td>T</td></tr><tr><td>1, 3</td><td>-1</td><td>T</td></tr><tr><td>1, 4</td><td>1</td><td>T</td></tr><tr><td>2, 6</td><td>2</td><td>*</td></tr><tr><td>1, 2</td><td>3</td><td></td></tr></table>	3, 4	-1	T	1, 3	-1	T	1, 4	1	T	2, 6	2	*	1, 2	3		
3																																																						
4																																																						
1																																																						
2																																																						
6																																																						
5																																																						
2	3	4	5	6																																																		
1		2	1																																																			
2																																																						
3		3																																																				
4			5																																																			
				5																																																		
3, 4	-1	T																																																				
1, 3	-1	T																																																				
1, 4	1	T																																																				
2, 6	2	*																																																				
1, 2	3																																																					

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

Memoria a corto plazo

- Iteración 6

Solución actual	Estructura tabú	Primeros 5 candidatos	Valor de movimiento																																																			
<table border="1"><tr><td>3</td></tr><tr><td>4</td></tr><tr><td>1</td></tr><tr><td>6</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>	3	4	1	6	2	5	<table border="1"><tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td>3</td></tr><tr><td></td><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>4</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>5</td><td></td></tr></table> <p>$F = 33$</p>	2	3	4	5	6	1					2				3		3	2					4						5		<table border="1"><tr><td>2, 6</td><td>-2</td><td>T</td></tr><tr><td>3, 4</td><td>-1</td><td>T</td></tr><tr><td>1, 3</td><td>-1</td><td>T</td></tr><tr><td>1, 4</td><td>1</td><td>*</td></tr><tr><td>3, 6</td><td>2</td><td></td></tr></table>	2, 6	-2	T	3, 4	-1	T	1, 3	-1	T	1, 4	1	*	3, 6	2		
3																																																						
4																																																						
1																																																						
6																																																						
2																																																						
5																																																						
2	3	4	5	6																																																		
1																																																						
2				3																																																		
	3	2																																																				
		4																																																				
			5																																																			
2, 6	-2	T																																																				
3, 4	-1	T																																																				
1, 3	-1	T																																																				
1, 4	1	*																																																				
3, 6	2																																																					

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

Memoria a corto plazo

- Iteración 7

Solución actual	Estructura tabú	Primeros 5 candidatos																																																			
		Valor de movimiento																																																			
<table border="1"><tr><td>3</td></tr><tr><td>1</td></tr><tr><td>4</td></tr><tr><td>6</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>	3	1	4	6	2	5	<table border="1"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr><tr><td>3</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>5</td><td></td><td></td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	2					2	3		1					4								5			<table border="1"><tr><td>3, 4</td><td>-4</td><td>T</td></tr><tr><td>2, 6</td><td>-2</td><td>T</td></tr><tr><td>1, 4</td><td>-1</td><td>T</td></tr><tr><td>1, 3</td><td>0</td><td>*</td></tr><tr><td>3, 6</td><td>1</td><td></td></tr></table>	3, 4	-4	T	2, 6	-2	T	1, 4	-1	T	1, 3	0	*	3, 6	1	
3																																																					
1																																																					
4																																																					
6																																																					
2																																																					
5																																																					
1	2	3	4	5	6																																																
2					2																																																
3		1																																																			
	4																																																				
			5																																																		
3, 4	-4	T																																																			
2, 6	-2	T																																																			
1, 4	-1	T																																																			
1, 3	0	*																																																			
3, 6	1																																																				
	$F = 34$																																																				

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

- En algunas aplicaciones, la memoria a corto plazo de la búsqueda tabú es suficiente para producir soluciones de alta calidad
- **La búsqueda tabú se vuelve mucho más potente incluyendo memoria de largo plazo y sus estrategias de reinicialización asociadas**
- Memoria a largo plazo
 - Estrategias de intensificación
 - Estrategias de diversificación

Metaheurísticas basadas en trayectorias

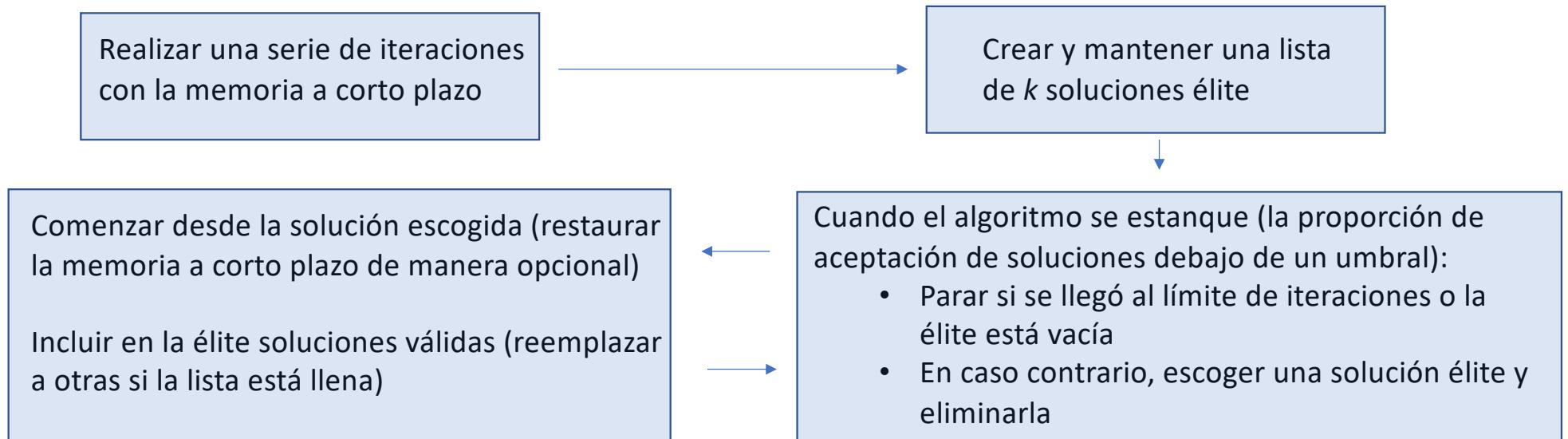
Búsqueda Tabú

- Estrategias de intensificación
 - Se basan en la reinicialización de la búsqueda que efectúa un **regreso a regiones atractivas del espacio de búsqueda**. Se mantiene un **registro de las mejores soluciones**
 - Se puede introducir una medida de diversificación para asegurar que las **soluciones registradas difieren unas de otras en cierto grado**
- Cuatro variantes
 - Solución desde la que se reinicializa
 - Reanudar el proceso desde la mejor
 - Usar una pila de longitud limitada de las mejores y coger la cabeza de la pila
 - Restauración de la memoria a corto plazo
 - Almacenar la memoria a corto plazo en el momento en el que se encontró: Restaurar
 - Borrar la memoria a corto plazo: Iniciar desde cero

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

- Enfoque simple de intensificación



Metaheurísticas basadas en trayectorias

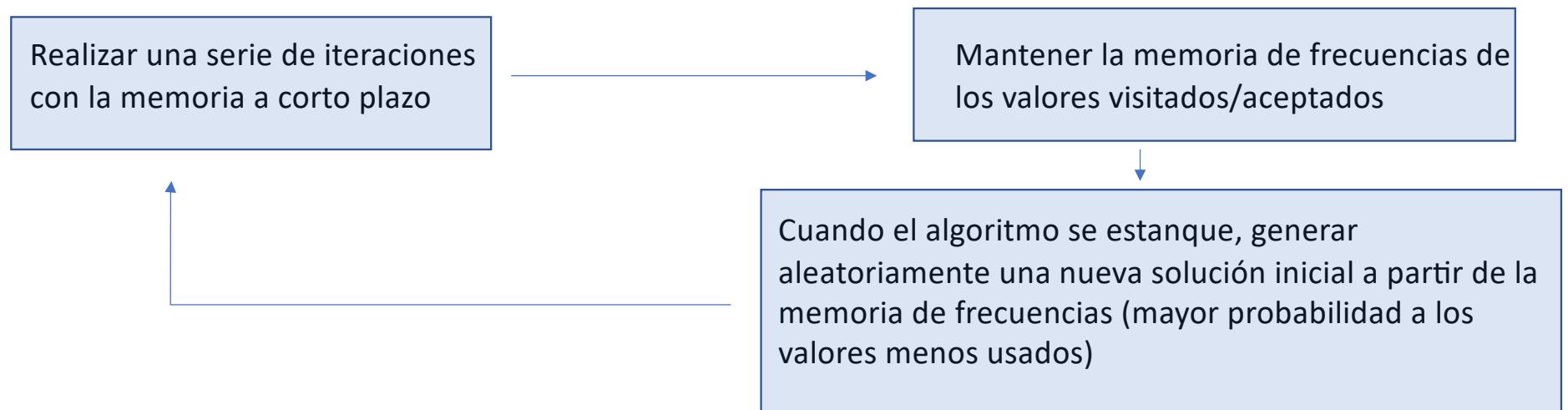
Búsqueda Tabú

- Estrategias de diversificación
 - Conducen hacia nuevas regiones del espacio de búsqueda no exploradas aún
 - **La búsqueda se reinicializa** cuando se estanca, partiendo de una **solución no visitada**
 - **Solución a partir de la memoria de frecuencias**, dando lugar a una mayor probabilidad de aparición de los valores menos habituales.
- Oscilación estratégica
 - Interacción efectiva entre intensificación y diversificación

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

- Enfoque simple de diversificación



Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

Memoria a corto y a largo plazo

- Iteración 15

Solución actual		Estructura tabú (Reciente)						Primeros 5 candidatos		
		1	2	3	4	5	6		Valor	
3	1				3					
1	2						2			
4	3	3			1					
6	2	4	3	1	3					
2	5	5								
5	6		3			1				

Valor Penalizado

S. Ventura - J.M. Luna

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda Tabú

¿Qué se os ocurre para el viajante de comercio??

Índice

- Búsqueda basada en trayectorias
- Métodos básicos de búsqueda local
- **Metaheurísticas basadas en trayectorias**
 - Enfriamiento simulado (*Simulated Annealing*)
 - Búsqueda Tabú
 - Búsqueda local iterativa

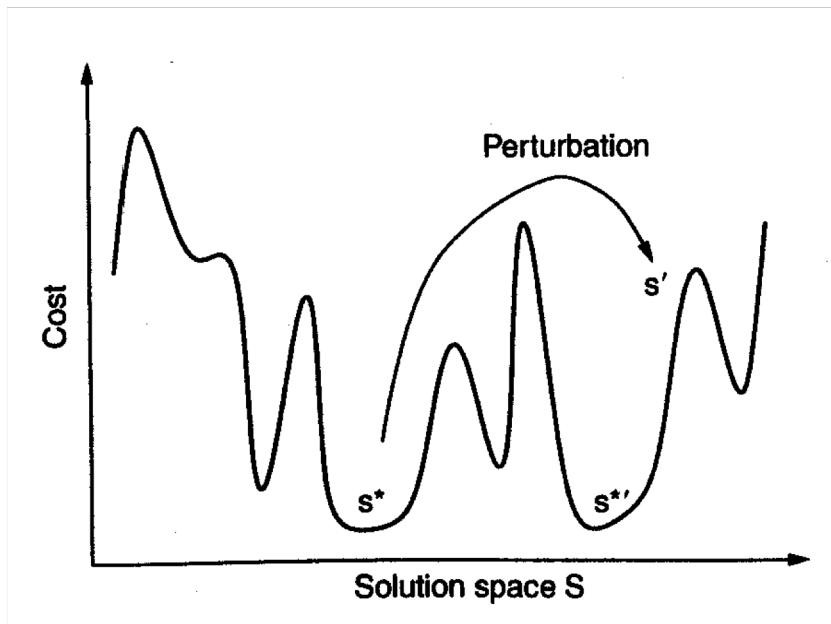
Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda local iterativa (*Iterated Local Search – ILS*)

- La base de este tipo de algoritmos es la aplicación repetida de un algoritmo de búsqueda local a una solución inicial que se obtiene por mutación de un óptimo local previamente encontrado
- **Cuatro componentes principales:**
 - Solución inicial
 - Procedimiento de búsqueda local
 - Procedimiento de perturbación o modificación
 - Criterio de aceptación de a qué solución se aplica la perturbación

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda local iterativa (*Iterated Local Search – ILS*)



Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda local iterativa (*Iterated Local Search – ILS*)

Comienzo-ILS

$S_o \leftarrow$ Generar una solución inicial

$S \leftarrow$ Búsqueda local (S_o)

Repetir

$S' \leftarrow$ Modificar (S , historia)

$S'' \leftarrow$ Búsqueda Local (S')

$S \leftarrow$ Criterio de aceptación ($S, S'',$ historia)

Actualizar *MejorSolución*

Hasta (Condición de parada)

Devolver *MejorSolución*

Fin-ILS

Índice

- Búsqueda basada en trayectorias
- Métodos básicos de búsqueda local
- **Metaheurísticas basadas en trayectorias**
 - Enfriamiento simulado (*Simulated Annealing*)
 - Búsqueda Tabú
 - Búsqueda local iterativa
 - **Búsqueda por entornos variables (VNS)**

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda por entornos variables (*Variable Neighborhood Search*)

- Se basa en la idea de un cambio sistemático de entorno o vecindad dentro de una búsqueda local (**aumentando el tamaño cuando la búsqueda no avanza**)
- **Se basa en tres hechos:**
 - Un mínimo local en un entorno no lo es necesariamente en otro
 - Un mínimo global lo es en todos los entornos
 - En muchos problemas, los mínimos locales con los mismos o distintos entornos están relativamente cerca

Metaheurísticas basadas en trayectorias

Búsqueda por entornos variables (*Variable Neighborhood Search*)

Sea E_k ($k = 1, \dots, k_{\max}$) un conjunto finito de estructuras de vecindario (entorno) preseleccionadas

Comienzo-VNS

```
S <- Generar solución inicial  
k <- 1  
mientras (k <= kmax)  
    S' <- Mutación en Ek (S)  
    S'' <- Búsqueda Local (S')  
    si S'' mejor que S entonces  
        S <- S''; k <- 1  
    si no  
        k <- k+1  
    finsi  
fin mientras  
Devolver S
```

Fin

Índice

- Búsqueda basada en trayectorias
- Métodos básicos de búsqueda local
- **Metaheurísticas basadas en trayectorias**
 - Enfriamiento simulado (*Simulated Annealing*)
 - Búsqueda Tabú
 - Búsqueda local iterativa
 - Búsqueda por entornos variables (VNS)
 - **GRASP**

Metaheurísticas basadas en trayectorias

GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*)

- Es un método multiarranque en el que cada iteración construye una solución *greedy* a la que aplicada una búsqueda local que toma dicha solución como punto de partida
- Este proceso se repite varias veces y la mejor solución encontrada sobre todas las iteraciones GRASP se devuelve como la salida
- **Procedimiento iterativo**
 - Greedy
 - + - Búsqueda local

Metaheurísticas basadas en trayectorias

GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*)

Procedimiento GRASP

mientras (no se satisfaga el criterio de parada)

$S \leftarrow$ Construcción Solución Greedy ()

$S' \leftarrow$ Búsqueda Local (S)

 Actualizar (S' , *Mejor_Solución*)

fin mientras

Devolver (*Mejor_Solución*)

FIN-GRASP