

Metaheurísticas trayectoriales: Tabu Search

**Universidad Rey Juan Carlos
Master Oficial en Sistemas Telemáticos e Informáticos**

Tabu Search

Abraham Duarte - Micael Gallego - Francisco Gortázar - Juan José
Pantrigo

Introducción

- La Búsqueda Tabú (*Tabu Search* – TS) es un procedimiento de búsqueda cuya característica distintiva es el uso de:
 - memoria adaptativa y
 - estrategias especiales de resolución de problemas
- Propuesto por Fred Glover en 1977
- Características fundamentales:
 - Fuertemente basado en el uso de **memoria**
 - Procedimientos **sistemáticos** (se minimizan las componentes aleatorias)
 - Procedimientos implícitos y explícitos de **aprendizaje**
 - Busca un compromiso entre intensificación y diversificación

Introducción

Memoria a corto plazo:

- TS puede verse como una metaheurística que se superpone a una técnica de búsqueda y que se encarga de evitar que dicha técnica caiga en óptimos locales **prohibiendo** (o, en un sentido más general, **penalizando**) ciertos **movimientos, atributos o soluciones**.
- Al clasificar ciertos movimientos como prohibidos ("**tabú**"), se pretende escapar de ciclos durante la búsqueda.

Introducción

TS se caracteriza por dos aspectos principales:

- **Permite movimientos de empeoramiento** para escapar de óptimos locales: incorpora un mecanismo de generación de vecinos modificado que evita la exploración de zonas del espacio de búsqueda que ya han sido visitadas.
- Emplea **mecanismos de reinicialización** para mejorar la capacidad del algoritmo para la exploración-explotación del espacio de búsqueda.

Estas dos características se consiguen a través de:

- **Memoria a corto plazo**: o basada en lo reciente
- **Memoria a largo plazo**: o basada en lo frecuente

Introducción

Memoria a corto plazo:

- TS puede verse como una metaheurística que se superpone a una técnica de búsqueda y que se encarga de evitar que dicha técnica caiga en óptimos locales **prohibiendo** (o, en un sentido más general, **penalizando**) ciertos **movimientos**, **atributos** o **soluciones**.
- Al clasificar ciertos movimientos como prohibidos ("**tabú**"), se pretende escapar de ciclos durante la búsqueda.

Introducción

Memoria a largo plazo:

- Guarda información que permite guiar la búsqueda *a posteriori*, después de una primera etapa en la que se han realizado una o varias ejecuciones del algoritmo aplicando la memoria a corto plazo.
- La información guardada en esta memoria se puede utilizar para reiniciar la búsqueda desde otra solución inicial de acuerdo a dos estrategias:
 - **Intensificar la búsqueda**, volviendo a visitar zonas prometedoras del espacio (que contenían buenas soluciones), ya exploradas parcialmente
 - **Diversificar la búsqueda**, visitando nuevas zonas no exploradas aún

Memoria a corto plazo

- Sea x una solución y $N(x)$ una vecindad de x
- TS restringe $N(x)$ a otra vecindad restringida $N^*(x)$ de la que se elige la mejor solución para el movimiento, aunque éste suponga un empeoramiento de la solución
- La lista de soluciones admitidas en $N^*(x)$ se calcula en función de la estructura de la lista tabú, que puede ser:
 - **Lista de soluciones tabú-activas:** Se prohíben soluciones ya visitadas
 - **Lista de movimientos tabú-activos:** Se eliminan las soluciones de $N(x)$ que se obtienen realizando movimientos tabú desde x
 - **Lista de atributos tabú-activos:** Se eliminan de $N(x)$ los vecinos con un par (atributo, valor) determinado que ya ha aparecido en alguna solución explorada anteriormente

Memoria a corto plazo

- Un atributo, movimiento o solución que se haya incluido en la lista tabú en algún momento de la búsqueda no permanece en ella para siempre
- Se denomina “**permanencia tabú**” (*tabu tenure*) al intervalo de tiempo durante el que un atributo o movimiento permanece tabú-activo o una solución es tabú
- Este parámetro se mide en número de iteraciones. Una vez transcurrido el valor especificado, el elemento en cuestión deja de ser tabú activo y se elimina de la lista

Memoria a corto plazo

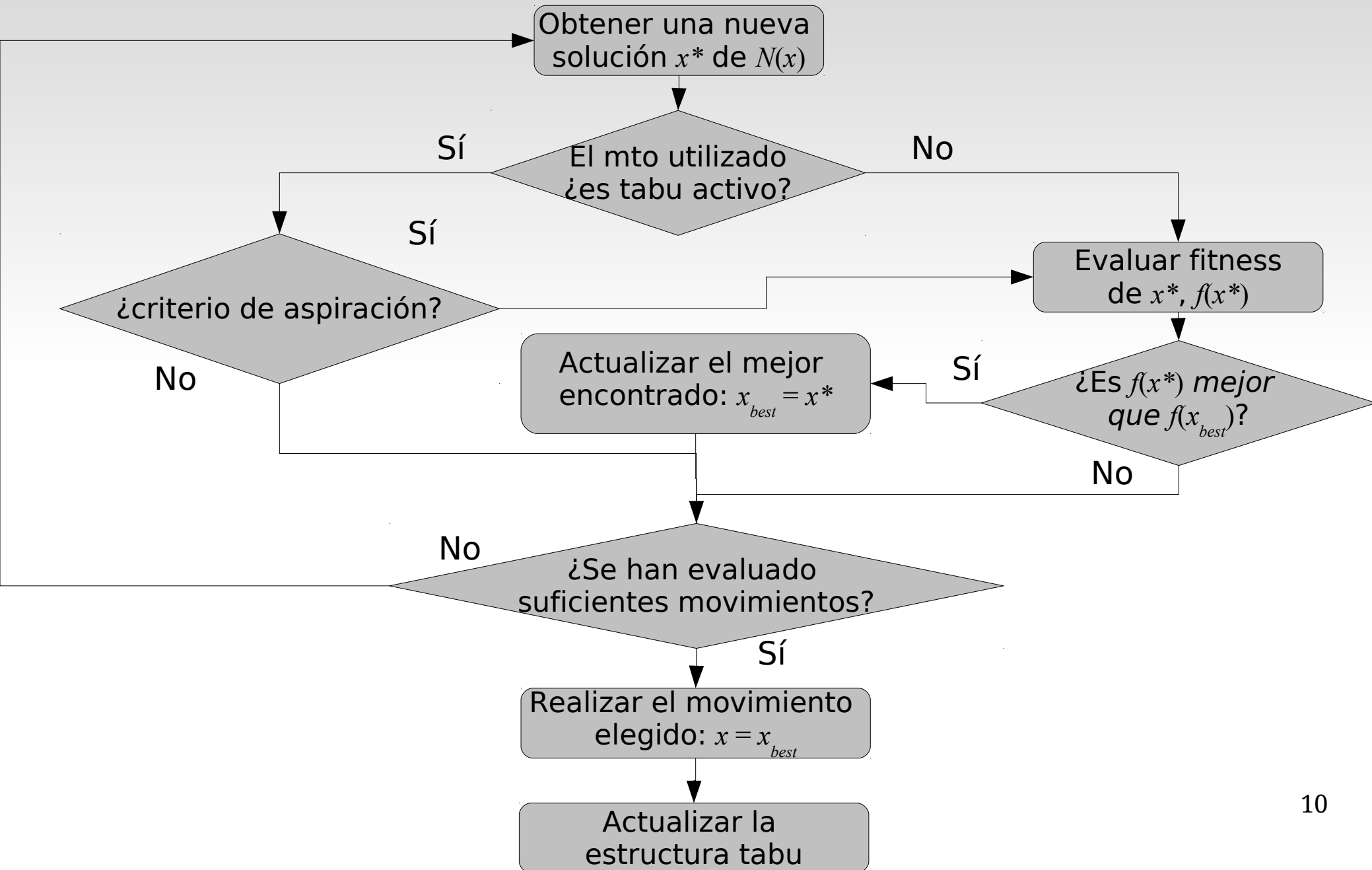
Criterio de aspiración

- Permiten determinar cuándo pueden ser reemplazadas las restricciones tabú, de modo que se elimina una clasificación tabú aplicada a un movimiento.

Ejemplos:

- Aspiración por objetivo:
 - Forma global: si la solución resultante es la mejor encontrada hasta el momento
 - Forma local: si la solución resultante es la mejor encontrada hasta el momento en una región determinada
- Aspiración por defecto: Si todos los movimientos son tabú y no se pueden aplicar criterios de aspiración sobre ellos, se elige el menos tabú.

Esquema general de Tabu Search



Ejemplo de estudio

Problema de la separación de antenas:

- Determinar dónde colocar antenas de tal forma que se maximice la cobertura en una determinada región.
- Se dispone de N posibles localizaciones donde colocar M antenas ($M < N$).
- El criterio es: maximizar la mínima distancia entre las M localizaciones seleccionadas.
- Se dispone de la información de distancia entre cualquier par de localizaciones.

Ejemplo de estudio

Ejemplo de solución para el MMDP:

- $N = 6$ localizaciones y hay que colocar $M = 3$ antenas
- Un ejemplo de solución sería $s = \{e_2, e_3, e_6\}$
- Una posible representación para esta solución es:

$$s = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline & e_1 & e_2 & e_3 & e_4 & e_5 & e_6 \\ \hline & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

- El valor $f(s)$ de la solución s se calcula como:

$$f(s) = \min\{d(e_2, e_3), d(e_2, e_6), d(e_3, e_6)\} = \min\{3, 1, 7\} = 1$$

	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6
e_1	-	3	4	5	7	5
e_2	3	-	3	4	8	1
e_3	4	3	-	6	4	7
e_4	5	4	6	-	5	9
e_5	7	8	4	5	-	8
e_6	5	1	7	9	8	-

Ejemplo de estudio

- **Entorno:** Consideraremos el entorno formado por todos los posibles intercambios de pares entre elementos seleccionados ($e_i = 1$) y no seleccionados ($e_j = 0$).

Intercambio $e_2 \rightarrow e_4$

0	1	1	0	0	1
---	---	---	---	---	---



Solución después del intercambio

0	0	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---

- **Valor asociado al movimiento:** Todos los intercambios tienen un valor de movimiento asociado, relacionado con el cambio en la función objetivo.

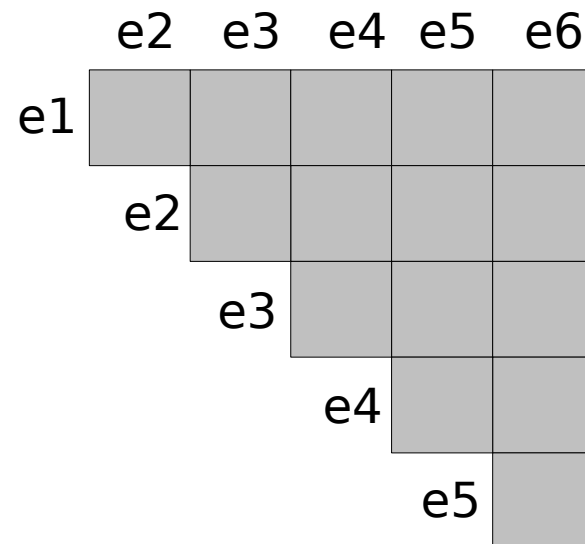
Valor de $f(s)$

e2,e4	6
e2,e5	4
e2,e1	4
e3,e1	1
e3,e4	1

....

Ejemplo de estudio

- El mecanismo principal para explotar la memoria en la búsqueda tabú es clasificar un subconjunto de movimientos en un entorno como prohibidos (o **tabú**).
- La clasificación depende de la historia de la búsqueda, determinada mediante lo reciente o frecuente que ciertos movimientos o componentes de soluciones, llamados atributos, han participado en la generación de soluciones pasadas.
- Ejemplo: **elementos** o **intercambios**



Ejemplo de estudio: Inicio

	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6
e_1	-	3	4	5	7	5
e_2	3	-	3	4	8	1
e_3	4	3	-	6	4	7
e_4	5	4	6	-	5	9
e_5	7	8	4	5	-	8
e_6	5	1	7	9	8	-

Solución Actual

e_1	0
e_2	1
e_3	1
e_4	0
e_5	0
e_6	1

fitness = 1

Estructura Tabú

e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6

Valor de $f(s)$

e_2, e_4	6
e_2, e_5	4
e_2, e_1	4
e_3, e_1	1
e_3, e_4	1

....

Ejemplo de estudio: 2ª iter

	e ₁	e ₂	e ₃	e ₄	e ₅	e ₆
e ₁	-	3	4	5	7	5
e ₂	3	-	3	4	8	1
e ₃	4	3	-	6	4	7
e ₄	5	4	6	-	5	9
e ₅	7	8	4	5	-	8
e ₆	5	1	7	9	8	-

Solución Actual

e1	0
e2	0
e3	1
e4	1
e5	0
e6	1

fitness = 6

Estructura Tabú

e1	e2	e3	e4	e5	e6
	3				

Valor de $f(s)$

e3,e2	1
e3,e5	4
e3,e1	5
e4,e2	1
e4,e1	4

Tabú

Tabú

....

Ejemplo de estudio: 3ª iter

	e1	e2	e3	e4	e5	e6
e1	-	3	4	5	7	5
e2	3	-	3	4	8	1
e3	4	3	-	6	4	7
e4	5	4	6	-	5	9
e5	7	8	4	5	-	8
e6	5	1	7	9	8	-

Solución Actual

e1	1
e2	0
e3	0
e4	1
e5	0
e6	1

fitness = 5

Estructura Tabú

e1	e2	e3	e4	e5	e6
	2	3			

Valor de $f(s)$

....

Memoria a largo plazo

- Una estrategia basada en memoria a corto plazo puede ser suficiente para producir soluciones de muy alta calidad
- Sin embargo, TS posee estrategias que le convierten en un procedimiento de búsqueda más potente. Estas estrategias incluyen el uso de **memoria a largo plazo** o basada en lo frecuente
- La memoria de largo plazo se puede usar para llevar a cabo estrategias de:
 - Intensificación
 - Diversificación
- La estructura utilizada más comúnmente es la **memoria de frecuencias**, que registra el número de veces que cada valor de un atributo ha pertenecido a soluciones visitadas en la búsqueda.

Memoria a largo plazo

- Se pueden utilizar diferentes tipos de estructuras auxiliares para la memoria a largo plazo, dependiendo del tipo de problema tratado. Por ejemplo:
 - En **problemas binarios**, se puede usar un vector de dimensión n , para almacenar el número de veces que cada variable tomó el valor 0 ó 1
 - Para **problemas enteros**, se puede utilizar una matriz bidimensional, que guarde las veces que la variable i toma el valor k
 - Si es un **problema de permutaciones**, se puede utilizar una matriz bidimensional, como contador de las veces que el valor i ha ido seguido del j

Memoria a largo plazo

Estructuras auxiliares para la memoria a largo plazo basada en frecuencias en el caso de estudio:

Atributos:

e1	e2	e3	e4	e5	e6
1	2	4	0	1	6

Movimientos:

e2					
e3	1				
e4		1			
e5				2	
e6					
	e1	e2	e3	e4	e5

Memoria a largo plazo

Posibles usos de la memoria basada en frecuencias:

- Reinicializar la búsqueda con una nueva solución inicial que se construye utilizando la información almacenada en la memoria a largo plazo, favoreciendo las componentes menos frecuentes frente a las más habituales
- Utilizar la información de lo frecuente para modificar temporalmente el caso del problema, potenciando la elección de los valores de los atributos menos usados en la búsqueda.