

Inteligencia Artificial

Técnicas Completas de Búsqueda de Soluciones

Nicolás Rojas-Morales

Departamento de Informática
Universidad Técnica Federico Santa María

- 1 Técnicas de Búsqueda de Soluciones
 - Árboles de Búsqueda
 - Backtracking
 - Técnicas Look-Back
 - Técnicas Look-Ahead
 - Heurísticas de Selección de Variables/Valores

Visiones:

Visiones:

- ¿Tiene una solución?

Visiones:

Visiones:

- ¿Tiene una solución?
- Encontrar una solución

Visiones:

Visiones:

- ¿Tiene una solución?
- Encontrar una solución
- Encontrar todas las soluciones

Visiones:

Visiones:

- ¿Tiene una solución?
- Encontrar una solución
- Encontrar todas las soluciones
- Encontrar el número de soluciones

Visiones:

Visiones:

- ¿Tiene una solución?
- Encontrar una solución
- Encontrar todas las soluciones
- Encontrar el número de soluciones
- ¿Este valor pertenece a una solución?

Visiones:

Visiones:

- ¿Tiene una solución?
- Encontrar una solución
- Encontrar todas las soluciones
- Encontrar el número de soluciones
- ¿Este valor pertenece a una solución?
- Encontrar todos los valores posibles para una variable (que son parte de una solución)

Visiones:

Visiones:

- ¿Tiene una solución?
- Encontrar una solución
- Encontrar todas las soluciones
- Encontrar el número de soluciones
- ¿Este valor pertenece a una solución?
- Encontrar todos los valores posibles para una variable (que son parte de una solución)
- Encontrar una solución óptima

Árboles de Búsqueda

Árboles de Búsqueda

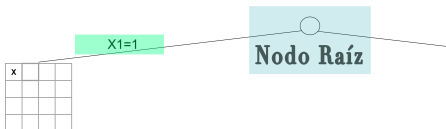
Definición

- Estructura en forma de árbol que permite construir instanciaciones en un problema de búsqueda.

Árboles de Búsqueda

Definición

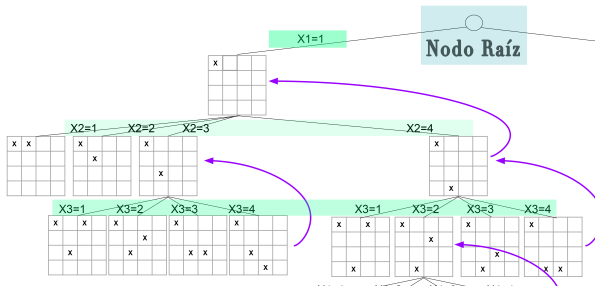
- Estructura en forma de árbol que permite construir instancias en un problema de búsqueda.



Estructura

- Se considera un nodo raíz de partida.
- En cada nivel se realiza la instanciación de una variable.

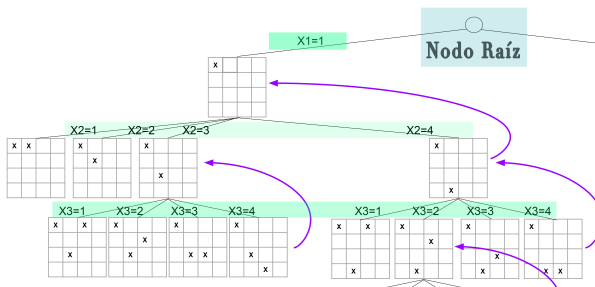
Árboles de Búsqueda



Estructura

- Un árbol de búsqueda posee tantos niveles como variables tiene el problema + 1
- Un nodo puede tener tantos descendientes por nivel como valores tenga el dominio de cada variable

Técnicas



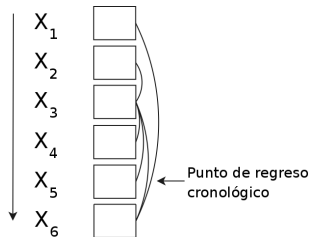
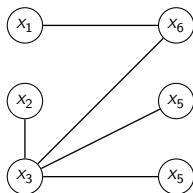
Estudiaremos dos tipos de técnicas:

- Técnicas Look-Back, donde la factibilidad se observa entre la instanciaación actual y las instanciaaciones pasadas.
- Técnicas Look-Ahead, donde la factibilidad se observa entre la instanciaación actual y las posibles instanciaaciones futuras.

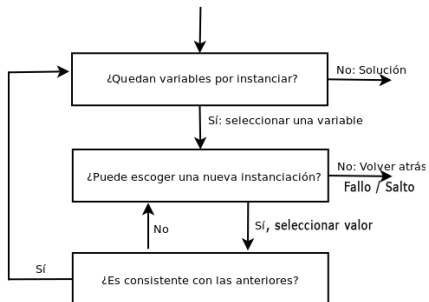
Backtracking

Backtracking [Cronológico]

- En cada nivel se busca un valor posible dentro del dominio de la variable que no genere conflictos con los valores de las variables ya instanciadas.



Estructura

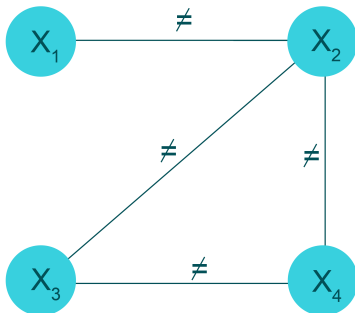


Ejemplo: Coloreo de Mapas

Colorear los países de un mapa con tres colores disponibles: Rojo, Azul y Verde. Se requiere que países adyacentes sean pintados con un color diferente.



Ejemplo: Coloreo de Mapas



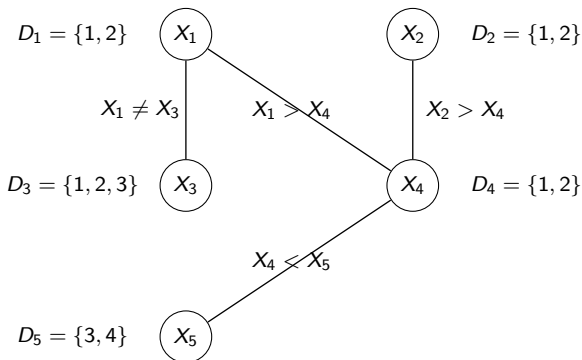
Dominios:

- $D_1 = \{V\}$
- $D_2 = \{R, A, V\}$
- $D_3 = \{A, V\}$
- $D_4 = \{R, A\}$

Para ejecutar BT, se requiere conocer:

- Orden de instanciación de variables: X_1, X_2, X_3, X_4
- Orden de selección de valores en los dominios: Dado.

Ejercicio 1:



- Orden de instanciación de variables: X_1, X_2, X_3, X_4, X_5
- Orden de selección de valores en los dominios: Dado.

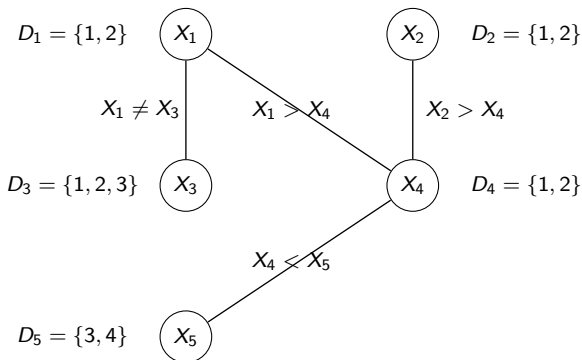
Inteligencia Artificial

Técnicas Completas de Búsqueda de Soluciones

Nicolás Rojas-Morales

Departamento de Informática
Universidad Técnica Federico Santa María

Ejercicio 1:



- Orden de instanciación de variables: X_1, X_2, X_3, X_4, X_5
- Orden de selección de valores en los dominios: Dado.

Backtracking Cronológico 4 reinas

- Variables:

X_i : fila en que se ubica la reina de la columna i

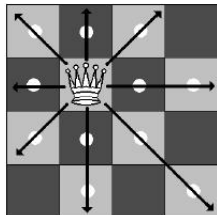
- Dominios:

D_i : $\{1, 2, 3, 4\}$

- Restricciones:

$$X_i \neq X_j, \quad \forall i \neq j$$

$$|X_i - X_j| \neq |i - j|, \quad \forall i \neq j$$



Backtracking Cronológico 4 reinas

- Variables:

X_i : fila en que se ubica la reina de la columna i

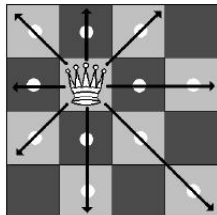
- Dominios:

D_i : $\{1, 2, 3, 4\}$

- Restricciones:

$$X_i \neq X_j, \quad \forall i \neq j$$

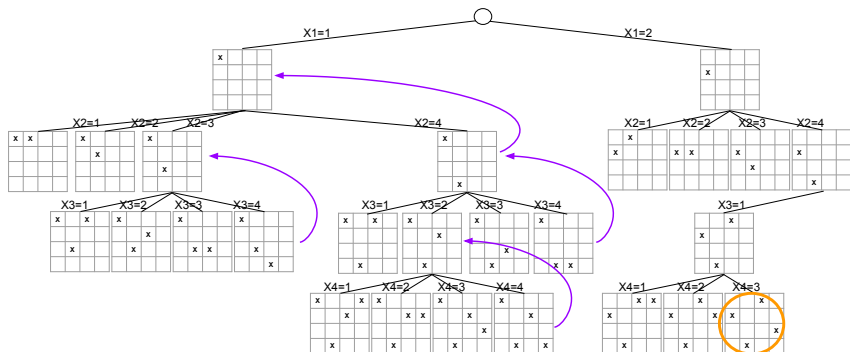
$$|X_i - X_j| \neq |i - j|, \quad \forall i \neq j$$



Requerimiento:

- Orden de instanciación de variables: X_1, X_2, X_3, X_4
- Orden de selección de valores en los dominios: $\{1, 2, 3, 4\}$

Backtracking Cronológico 4 reinas



Thrashing

Thrashing

Cuando el algoritmo de búsqueda **falla** repetidamente por la misma razón.

Causas:

- Nodo consistencia
- Arco consistencia

Técnicas Look-Back (Retorno dirigido/inteligente):

- GBJ: Retorno Guiado por el Grafo de Restricciones
- CBJ: Retorno Guiado por los Conflictos

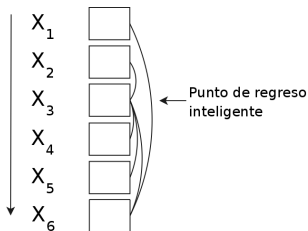
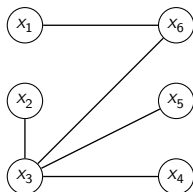
Técnicas Look-Back

Técnicas Look-Back

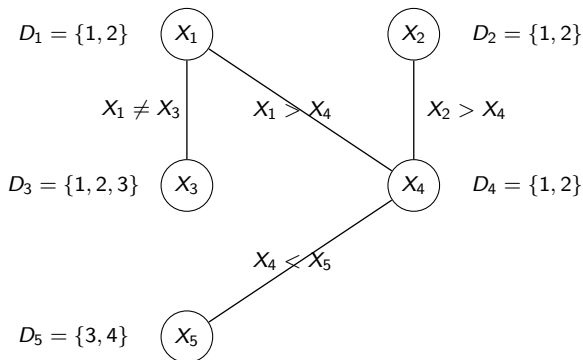
- BT: Backtracking cronológico
- GBJ: Retorno Guiado por el Grafo de Restricciones (BT+GBJ)
- CBJ: Retorno Guiado por los Conflictos (BT+CBJ)

GBJ: Retorno Guiado por el Grafo de Restricciones

- En caso de error (**fallo**) sobre una variable, se regresa a la variable conectada (por una restricción) más recientemente instanciada (en el árbol).
- Método interesante para los grafos de restricciones sparse (poco denso).



Ejercicio 1: GBJ



- Orden de instanciación de variables: X_1, X_2, X_3, X_4, X_5
- Orden de selección de valores en los dominios: Dado.

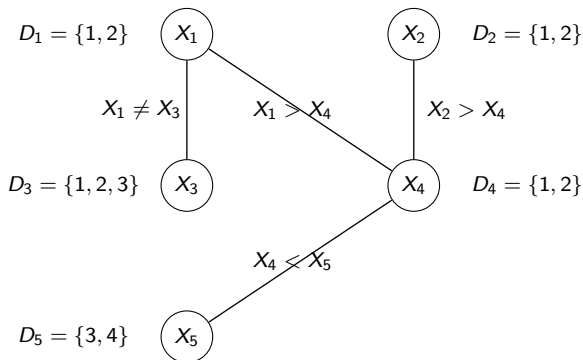
Inteligencia Artificial

Técnicas Completas de Búsqueda de Soluciones

Nicolás Rojas-Morales

Departamento de Informática
Universidad Técnica Federico Santa María

Ejercicio 1: GBJ

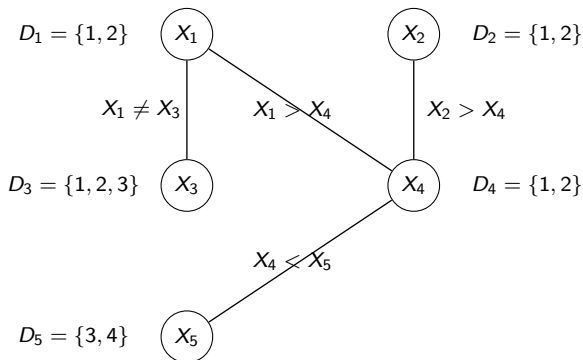


- Orden de instanciación de variables: X_1, X_2, X_3, X_4, X_5
- Orden de selección de valores en los dominios: Dado.

CBJ: Retorno Guiado por Conflictos

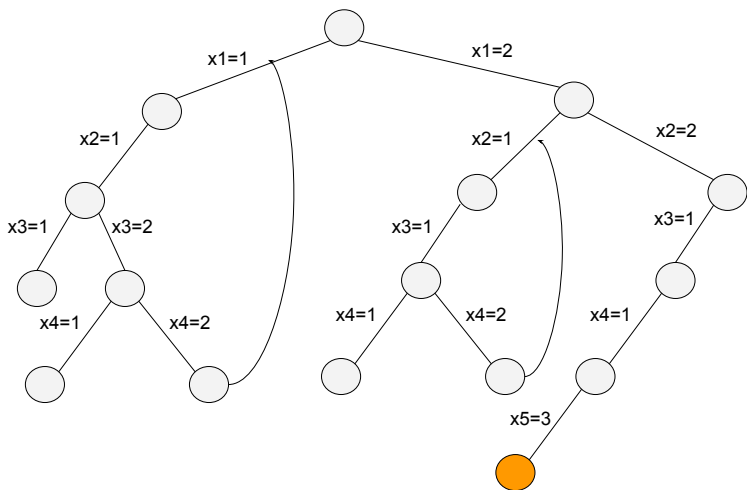
- Para cada variable guardar el conjunto de conflictos $Conf(x_i)$
- Para cada valor erróneo (inconsistente) registrar en $Conf(x_i)$ la variable **más prematuramente instanciada** y **en conflicto** con el intento actual de instanciación.
- Cuando no quedan valores a intentar (**fallo**), el conjunto entrega las causas del problema y el punto de regreso será la variable más recientemente instanciada en $Conf(x_i)$.
- Cuando hay saltos, se actualiza el conjunto de conflictos hasta el punto donde llega.

Ejercicio 1: CBJ

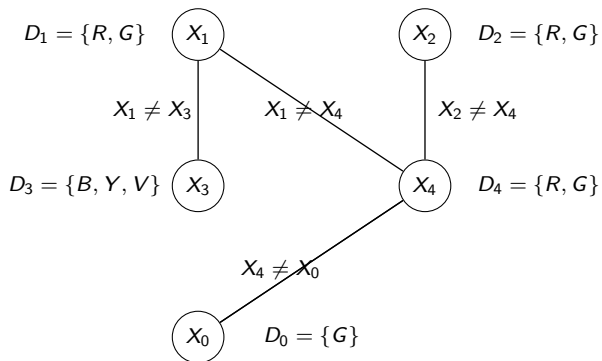


- Orden de instanciación de variables: X_1, X_2, X_3, X_4, X_5
- Orden de selección de valores en los dominios: Dado.

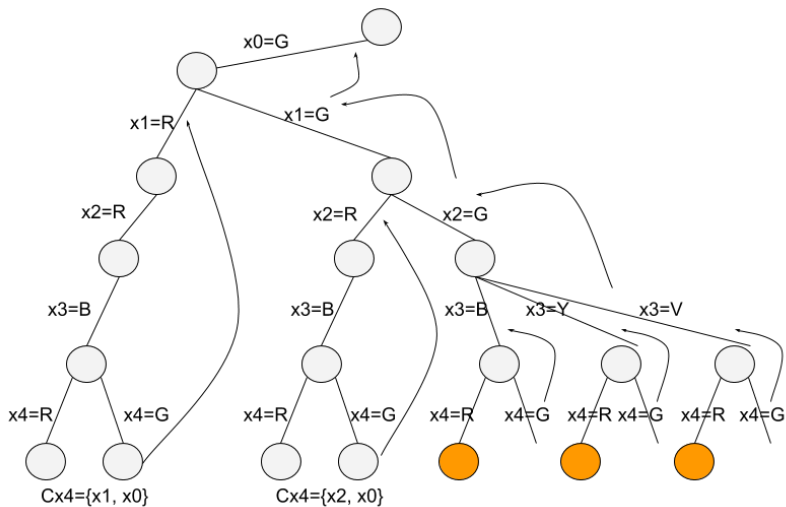
Ejercicio 1: CBJ



Ejercicio 2: Tarea



Ejercicio 2:



Inteligencia Artificial

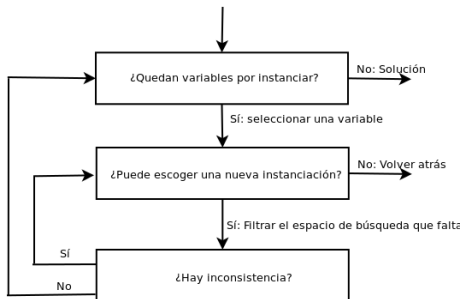
Técnicas Completas de Búsqueda de Soluciones

Nicolás Rojas-Morales

Departamento de Informática
Universidad Técnica Federico Santa María

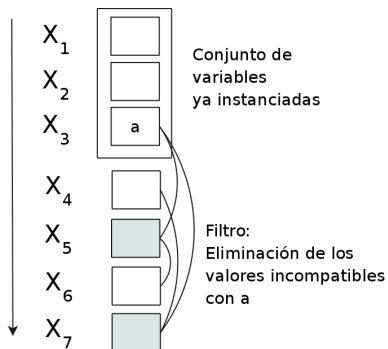
Técnicas Look-Ahead

Estructura

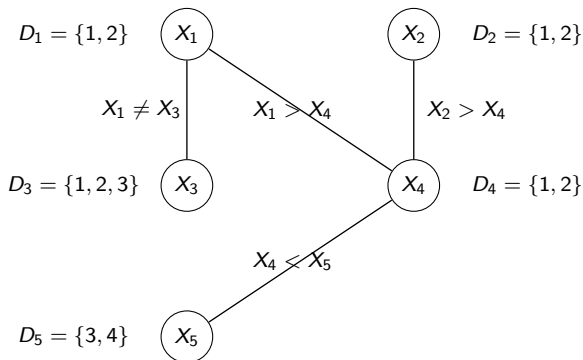


Forward Checking

- Forward Checking



Ejercicio 1: FC



- Orden de instanciación de variables: X_1, X_2, X_3, X_4, X_5
- Orden de selección de valores en los dominios: Dado.

Forward Checking 4 reinas

- Variables:

X_i : fila en que se ubica la reina de la columna i

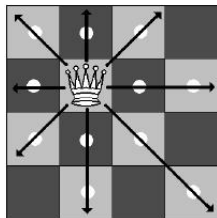
- Dominios:

D_i : $\{1, 2, 3, 4\}$

- Restricciones:

$$X_i \neq X_j, \quad \forall i \neq j$$

$$|X_i - X_j| \neq |i - j|, \quad \forall i \neq j$$



Forward Checking 4 reinas

- Variables:

X_i : fila en que se ubica la reina de la columna i

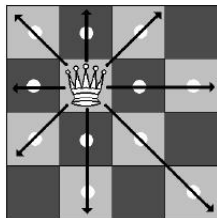
- Dominios:

D_i : $\{1, 2, 3, 4\}$

- Restricciones:

$$X_i \neq X_j, \quad \forall i \neq j$$

$$|X_i - X_j| \neq |i - j|, \quad \forall i \neq j$$

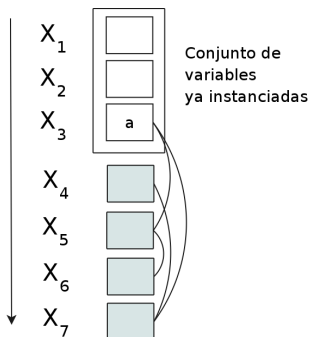


Requerimiento:

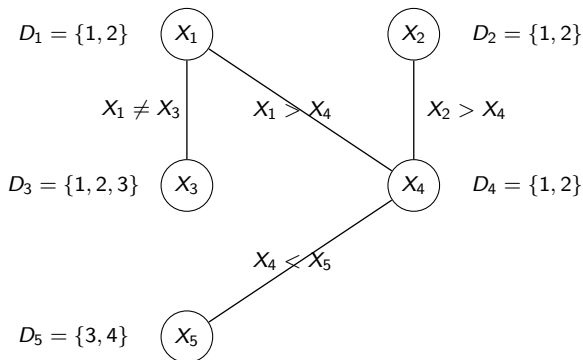
- Orden de instanciación de variables: X_1, X_2, X_3, X_4
- Orden de selección de valores en los dominios: $\{1, 2, 3, 4\}$

Real Full Look-Ahead

- Real Full Look-Ahead: a medida que se va instanciando, se realiza Arco Consistencia en el espacio de búsqueda no instanciado.



Ejercicio 1: RFLA



- Orden de instanciación de variables: X_1, X_2, X_3, X_4, X_5
- Orden de selección de valores en los dominios: Dado.

Real Full Look-Ahead 4 reinas

- Variables:

X_i : fila en que se ubica la reina de la columna i

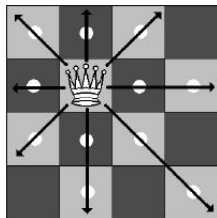
- Dominios:

D_i : $\{1, 2, 3, 4\}$

- Restricciones:

$$X_i \neq X_j, \quad \forall i \neq j$$

$$|X_i - X_j| \neq |i - j|, \quad \forall i \neq j$$



Requerimiento:

- Orden de instanciación de variables: X_1, X_2, X_3, X_4
- Orden de selección de valores en los dominios: $\{1, 2, 3, 4\}$

Inteligencia Artificial

Técnicas Completas de Búsqueda de Soluciones

Nicolás Rojas-Morales

Departamento de Informática
Universidad Técnica Federico Santa María

Heurísticas de Selección de Variables/Valores

Heurísticas de Selección de Variables/Valores

heurístico, ca.

(Del griego hallar, inventar).

- ① f. Técnica de la indagación y del descubrimiento.
- ② f. En algunas ciencias, manera de buscar la solución de un problema mediante métodos no rigurosos, como por tanteo, reglas empíricas, etc.

Heurísticas de Selección de Variables/Valores

heurístico, ca.

(Del griego hallar, inventar).

- ① f. Técnica de la indagación y del descubrimiento.
- ② f. En algunas ciencias, manera de buscar la solución de un problema mediante métodos no rigurosos, como por tanteo, reglas empíricas, etc.

Tipos de Heurísticas:

- Orden de instanciación de las variables
- Orden de elección de los valores (de las variables) desde los (sus) dominios

Tipos de Orden:

- Orden Estático: Establecido antes de comenzar la búsqueda
- Orden Dinámico: Cambia con el transcurso de la búsqueda

Heurísticas de elección de Valores

Criterios:

- Búsqueda de UNA solución: Elección de los valores menos restringidos → **Heurística de Minimización de Conflictos**
- Búsqueda de la solución óptima: Elección del mejor localmente según el criterio a optimizar.
- Búsqueda de todas las soluciones: Orden indiferente.

Heurísticas de elección de las Variables

Criterios:

- La variable asociada a la mayor cantidad de restricciones (Variable más conectada)
- La variable unida a las restricciones más difíciles
- Orden del dominio más pequeño

Ejemplo: (BT,FC)+Elección de Variables

Problema:

- Variables: i, j y k
- Dominios:
 - $D_i = \{a, b\}$
 - $D_j = \{a, b\}$
 - $D_k = \{a, b, c\}$
- Restricciones:
 - $i = k$
 - $j = k$

Considere los siguientes ordenes de instanciación de variables:

- 1 $i - j - k$
- 2 $k - j - i$

Se busca encontrar todas las soluciones.

Calidad de la Búsqueda en Árboles

Técnicas

- Técnicas Look-Back
- Técnicas de Look-Ahead

Criterios

- Tamaño del Árbol (Cantidad de Instanciaciones)
 - Ancho
 - Profundidad
- Retornos (Saltos)
- Chequeos (de Restricciones)

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
---------------	-------------------------------------	------------------	----------

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2
$k = b$			2

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		$j \rightarrow i$	2

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		$j \rightarrow i$	2
$i = b$			0

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		$j \rightarrow i$	2
$i = b$			0
$j = a$			0

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		$j \rightarrow i$	2
$i = b$			0
$j = a$			0
$k = a$			2

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		$j \rightarrow i$	2
$i = b$			0
$j = a$			0
$k = a$			2
$k = b$			2

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		$j \rightarrow i$	2
$i = b$			0
$j = a$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		j	2

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		$j \rightarrow i$	2
$i = b$			0
$j = a$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		$j \rightarrow i$	2
$i = b$			0
$j = a$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		$j \rightarrow i$	2
$i = b$			0
$j = a$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2
$k = b$	Solución $i = b, j = b, k = b$		2

Ejemplo: BT + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}, D_k = \{a, b, c\}, i = k, j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$			0
$j = a$			0
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		$j \rightarrow i$	2
$i = b$			0
$j = a$			0
$k = a$			2
$k = b$			2
$k = c$		j	2
$j = b$			0
$k = a$			2
$k = b$	Solución $i = b, j = b, k = b$		2
$k = c$		$j \rightarrow i$	2

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
---------------	-------------------------------------	------------------	----------

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$			0

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$			0
$j = a$			1

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$			0
$j = a$			1
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		1

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$			0
$j = a$			1
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		1
$i = b$		j	1

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$			0
$j = a$			1
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		1
$i = b$		j	1
$j = b$		k	1

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$			0
$j = a$			1
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		1
$i = b$		j	1
$j = b$		k	1
$k = b$			0

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$			0
$j = a$			1
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		1
$i = b$		j	1
$j = b$		k	1
$k = b$			0
$j = a$			1

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$			0
$j = a$			1
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		1
$i = b$		j	1
$j = b$		k	1
$k = b$			0
$j = a$			1
$j = b$			1

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$			0
$j = a$			1
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		1
$i = b$		j	1
$j = b$		k	1
$k = b$			0
$j = a$			1
$j = b$			1
$i = a$			1

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$			0
$j = a$			1
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		1
$i = b$		j	1
$j = b$		k	1
$k = b$			0
$j = a$			1
$j = b$			1
$i = a$			1
$i = b$	Solución $i = b, j = b, k = b$	$j \rightarrow k$	1

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$			0
$j = a$			1
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		1
$i = b$		j	1
$j = b$		k	1
$k = b$			0
$j = a$			1
$j = b$			1
$i = a$			1
$i = b$	Solución $i = b, j = b, k = b$	$j \rightarrow k$	1
$k = c$			0

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$			0
$j = a$			1
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		1
$i = b$		j	1
$j = b$		k	1
$k = b$			0
$j = a$			1
$j = b$			1
$i = a$			1
$i = b$	Solución $i = b, j = b, k = b$	$j \rightarrow k$	1
$k = c$			0
$j = a$			1

Ejemplo: BT + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$			0
$j = a$			1
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$		1
$i = b$		j	1
$j = b$		k	1
$k = b$			0
$j = a$			1
$j = b$			1
$i = a$			1
$i = b$	Solución $i = b, j = b, k = b$	$j \rightarrow k$	1
$k = c$			0
$j = a$			1
$j = b$		k	1

Ejemplo: FC + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
---------------	-------------------------------------	------------------	----------

Ejemplo: FC + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$	$D_k = \{a, \cancel{b}, \cancel{c}\}$		3

Ejemplo: FC + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$	$D_k = \{a, \cancel{b}, \cancel{c}\}$		3
$j = a$	$D_k = \{a\}$		1

Ejemplo: FC + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$	$D_k = \{a, \cancel{b}, \cancel{c}\}$		3
$j = a$	$D_k = \{a\}$		1
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$	j	0

Ejemplo: FC + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$	$D_k = \{a, \cancel{b}, \cancel{c}\}$		3
$j = a$	$D_k = \{a\}$		1
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$	j	0
$j = b$	$D_k = \emptyset$	i	1

Ejemplo: FC + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$	$D_k = \{a, \cancel{b}, \cancel{c}\}$		3
$j = a$	$D_k = \{a\}$		1
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$	j	0
$j = b$	$D_k = \emptyset$	i	1
$i = b$	$D_k = \{\cancel{a}, b, \cancel{c}\}$		3

Ejemplo: FC + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$	$D_k = \{a, \cancel{b}, \cancel{c}\}$		3
$j = a$	$D_k = \{a\}$		1
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$	j	0
$j = b$	$D_k = \emptyset$	i	1
$i = b$	$D_k = \{\cancel{a}, b, \cancel{c}\}$		3
$j = a$	$D_k = \emptyset$		1

Ejemplo: FC + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$	$D_k = \{a, \cancel{b}, \cancel{c}\}$		3
$j = a$	$D_k = \{a\}$		1
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$	j	0
$j = b$	$D_k = \emptyset$	i	1
$i = b$	$D_k = \{\cancel{a}, b, \cancel{c}\}$		3
$j = a$	$D_k = \emptyset$		1
$j = b$	$D_k = \{b\}$		1

Ejemplo: FC + (i - j - k)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$i = a$	$D_k = \{a, \cancel{b}, \cancel{c}\}$		3
$j = a$	$D_k = \{a\}$		1
$k = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$	j	0
$j = b$	$D_k = \emptyset$	i	1
$i = b$	$D_k = \{\cancel{a}, b, \cancel{c}\}$		3
$j = a$	$D_k = \emptyset$		1
$j = b$	$D_k = \{b\}$		1
$k = b$	Solución $i = b, j = b, k = b$	$j \rightarrow i$	0

Ejemplo: FC + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
---------------	-------------------------------------	------------------	----------

Ejemplo: FC + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$	$D_i = \{a, \cancel{b}\}, D_j = \{a, \cancel{b}\}$		4

Ejemplo: FC + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$	$D_i = \{a, \cancel{b}\}, D_j = \{a, \cancel{b}\}$		4
$j = a$			0

Ejemplo: FC + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$	$D_i = \{a, \cancel{b}\}, D_j = \{a, \cancel{b}\}$		4
$j = a$			0
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$	$j \rightarrow k$	0

Ejemplo: FC + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$	$D_i = \{a, \cancel{b}\}, D_j = \{a, \cancel{b}\}$		4
$j = a$			0
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$	$j \rightarrow k$	0
$k = b$	$D_i = \{\cancel{a}, b\}, D_j = \{\cancel{a}, b\}$		4

Ejemplo: FC + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$	$D_i = \{a, \cancel{b}\}, D_j = \{a, \cancel{b}\}$		4
$j = a$			0
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$	$j \rightarrow k$	0
$k = b$	$D_i = \{\cancel{a}, b\}, D_j = \{\cancel{a}, b\}$		4
$j = b$			0

Ejemplo: FC + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$	$D_i = \{a, \cancel{b}\}, D_j = \{a, \cancel{b}\}$		4
$j = a$			0
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$	$j \rightarrow k$	0
$k = b$	$D_i = \{\cancel{a}, b\}, D_j = \{\cancel{a}, b\}$		4
$j = b$			0
$i = b$	Solución $i = b, j = b, k = b$	$j \rightarrow k$	0

Ejemplo: FC + (k - j - i)

$$D_i = D_j = \{a, b\}$$

$$D_k = \{a, b, c\}$$

$$i = k$$

$$j = k$$

Instanciación	Filtros (Vars-dominios resultantes)	Punto de retorno	Chequeos
$k = a$	$D_i = \{a, \cancel{b}\}, D_j = \{a, \cancel{b}\}$		4
$j = a$			0
$i = a$	Solución $i = a, j = a, k = a$	$j \rightarrow k$	0
$k = b$	$D_i = \{\cancel{a}, b\}, D_j = \{\cancel{a}, b\}$		4
$j = b$			0
$i = b$	Solución $i = b, j = b, k = b$	$j \rightarrow k$	0
$k = c$	$D_i = \emptyset, D_j = \emptyset$		2 (4)

Inteligencia Artificial

Técnicas Completas de Búsqueda de Soluciones

Nicolás Rojas-Morales

Departamento de Informática
Universidad Técnica Federico Santa María