



CI-5437  
Inteligencia Artificial I  
Proyecto I  
Búsqueda

Kelwin Fernández y Alejandro Machado  
Universidad Simón Bolívar

Junio de 2010

# 1. Decisiones de implementación

## 1.1. Representación de Perfiles

Para la representación de un perfil, se optó por compactar las preferencias que representen la misma permutación de candidatos, de esta forma cada permutación  $a_0, a_1, \dots, a_n$  de estos aparecerá a lo sumo una vez en un perfil. En cada perfil, las preferencias se encuentran almacenadas en un vector de forma ordenada.

Todo esto garantiza que cada perfil esté unívocamente representado independientemente de cuáles cambios elementales han sido aplicados para llegar hasta él, evitando así la repetición de estados.

Se establece adicionalmente una relación de orden sobre perfiles,  $\sqsubseteq$ , determinada por el orden lexicográfico de sus preferencias.

## 1.2. Representación de Estados

Se tiene que en el espacio de búsqueda de este problema el factor de ramificación (*branching factor*) es de lo sumo  $m \cdot (n - 1)$ , donde  $m$  es el número de electores y  $n$  el número de candidatos.

Con el número máximo de candidatos establecido en 250 y suponiendo un (realista) número de  $10^6$  de electores, el factor de ramificación máximo será  $249 \times 10^6$ .

Si la representación de cada estado tuviese la información completa del perfil en ella, al ejecutar tan sólo un cambio elemental en el algoritmo de búsqueda en amplitud habremos de mantener en memoria 55 *petabytes*.

Es por esto que se consideró optar por una representación compacta para los estados.

### BFS

En el caso de BFS el número de nodos crecerá exponencialmente, por lo que una representación compacta permitirá ahorrar recursos para que el algoritmo pueda concluir su ejecución, en ciertos casos, sin agotar la memoria del computador.

En lugar de almacenar un perfil completo, para cada estado se guarda cuál fue el último cambio elemental realizado (cuál candidato, en cuál preferencia), y un apuntador al estado padre.

Es necesario mantener una lista de estados “cerrados” (ya generados por el algoritmo) para una correcta implementación de búsqueda en amplitud. En este caso, los estados visitados se mantuvieron en un vector ordenado mediante la siguiente relación de orden sobre Estado:

Sean  $a, b$  estados generados por el algoritmo de búsqueda en profundidad:

$$a \prec b \equiv f(a) < f(b) \vee (f(a) = f(b) \wedge Perfil(a) \sqsubseteq Perfil(b))$$

Donde  $f$  es una función de clasificación asociada a los estados y  $Perfil(a)$  es el perfil generado por el estado  $a$ . El valor de la función de clasificación para cada estado es precalculado al generarlo y se obtiene de forma semejante a la función heurística sugerida para el algoritmo IDA\*. Dando un orden  $a_0, a_1, \dots, a_n$  sobre los candidato, tenemos que la función de clasificación de un estado  $s$  viene dada por:

$$f(s) = \sum_{i \in [0..n]} (B^i \cdot T'(a_i)),$$

donde  $B$  es una constante que dispersa los resultados de cada  $T'(a_i)$  para evitar colisiones. En esta implementación se escogió  $B = 10$ , pues este valor aportó resultados experimentales bastante satisfactorios.

La intuición detrás de esta decisión es la siguiente: dos estados que evalúan a un diferente valor de la función de clasificación deben ser distintos, y por lo tanto no hay que obtener los perfiles asociados y compararlos, lo cual consume tiempo. En algunos casos, una búsqueda binaria sobre el vector de nodos visitados puede arrojar el resultado que se necesita sin tener que obtener ningún perfil.

Adicionalmente se almacena la profundidad de cada estado, a fin de no seguir expandiendo fronteras del último nivel si ya se ha hallado una solución en éste.

## IDA\*

Para este algoritmo se utilizó un solo perfil. Cuando se va a expandir un nodo, se considera uno de sus sucesores, se aplica un cambio elemental y se llama recursivamente a su sucesor. Una vez que el sucesor devuelve una respuesta, se desaplica el cambio elemental y se expande al próximo hijo. Este proceso se repite hasta agotar los cambios elementales.

De esta forma se reduce la memoria utilizada de  $b \cdot d$  a  $d$ , donde  $b$  es el *branching factor* y  $d$  la longitud de camino.

La lista de estados visitados se representa con un protocolo *LIFO* que permite simular las llamadas recursivas. En esta lista se presentan los continuos cambios que se han venido aplicando para, de esta forma, poder construir desde el estado inicial cada uno de los nodos intermedios.

## 2. Obtención de sucesores

### BFS

Para obtener los sucesores de un estado, debe construirse primero el perfil asociado y luego aplicar todos los posibles cambios elementales sobre éste.

### IDA\*

Se aplica un cambio elemental sobre el perfil actual, y se explora el perfil hijo. Posteriormente, se deshace este cambio elemental; este proceso se repite para cada transición posible.

## 3. Optimizaciones

### General

1. Agregar un votante a una preferencia existente dentro de un perfil es  $O(\log(n))$ , donde  $n$  es el número de preferencias. Esto se logra manteniendo las preferencias ordenadas dentro de cada perfil.

### BFS

1. Los estados generados se mantienen en un vector ordenado, lo que garantiza, al utilizar búsqueda binaria, que a lo sumo se realizará un número logarítmico (en el número de estados generados) de comparaciones para determinar si se debe generar un nuevo estado.
2. Se mantienen en memoria dos perfiles. Uno de ellos es el perfil correspondiente al estado recién expandido, y el otro corresponde al perfil padre de la iteración anterior. En búsqueda en profundidad,  $b$  nodos

de la frontera utilizarán el mismo padre, y con esto se evita el cálculo adicional de generar cada perfil desde el inicial.

3. Se guarda el nivel de profundidad para no expandir nodos más allá de una meta.
4. Gracias a la función de clasificación se evita generar cada perfil del vector de estados generados.
5. Los nodos generados se almacenan en un vector ordenados bajo la relación de orden dada para los estados, permitiendo así una búsqueda logarítmica.

## **IDA\***

1. Al no verificar repeticiones sobre el espacio de búsqueda, los tiempos de ejecución del algoritmo de IDA\* mejoran considerablemente, por lo tanto se consideró una opción adicional que permite correr el algoritmo sin verificar repeticiones.

## **4. Opciones añadidas**

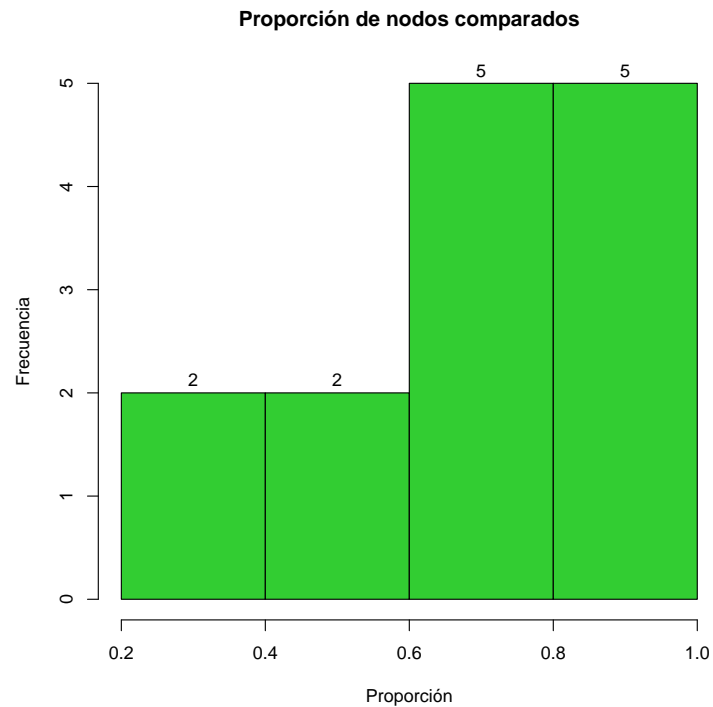
- **-prop**: Imprime en cada intento de generar un nuevo estado la proporción de comparaciones resueltas utilizando la función de clasificación.
- **-nomem**: Permite ejecutar el algoritmo IDA\* sin verificar

## **5. Discusión de resultados**

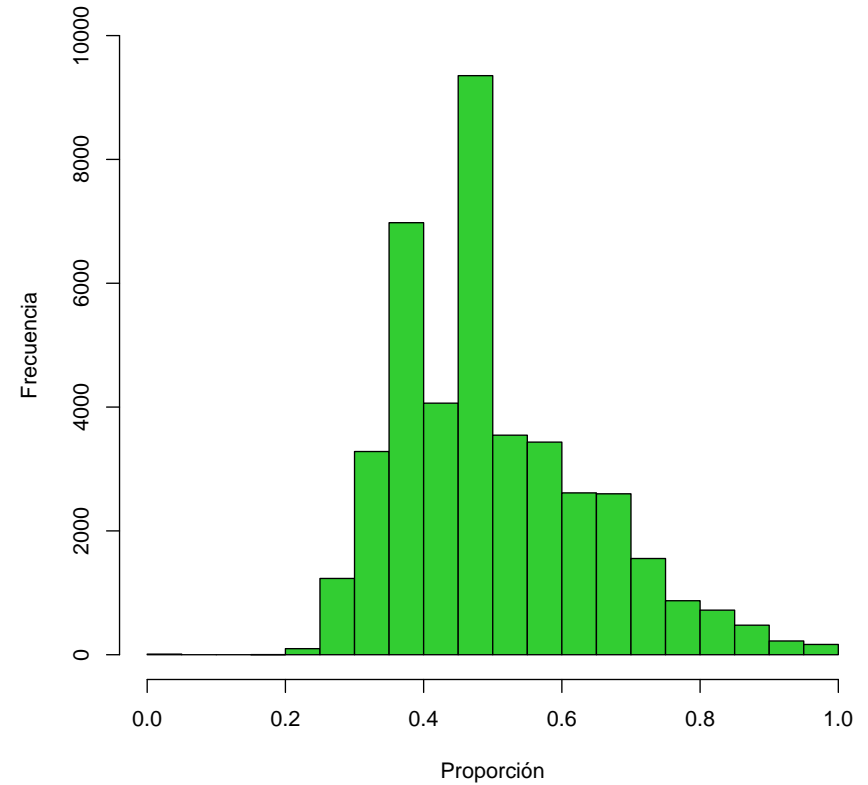
En los siguientes ejemplos se evalúa el rendimiento de la función de clasificación utilizada para búsqueda en profundidad. Cada gráfico muestra la proporción de nodos que no tuvieron que ser comparados en corridas completas del algoritmo (nodos evitados entre nodos totales).

### 0.1. Ejemplo 1: 1 cambio elemental

Media	Mediana	Desviación estándar	Rango intercuartil
0.7202	0.7083	0.2586	0.4583



**Proporción de nodos comparados**

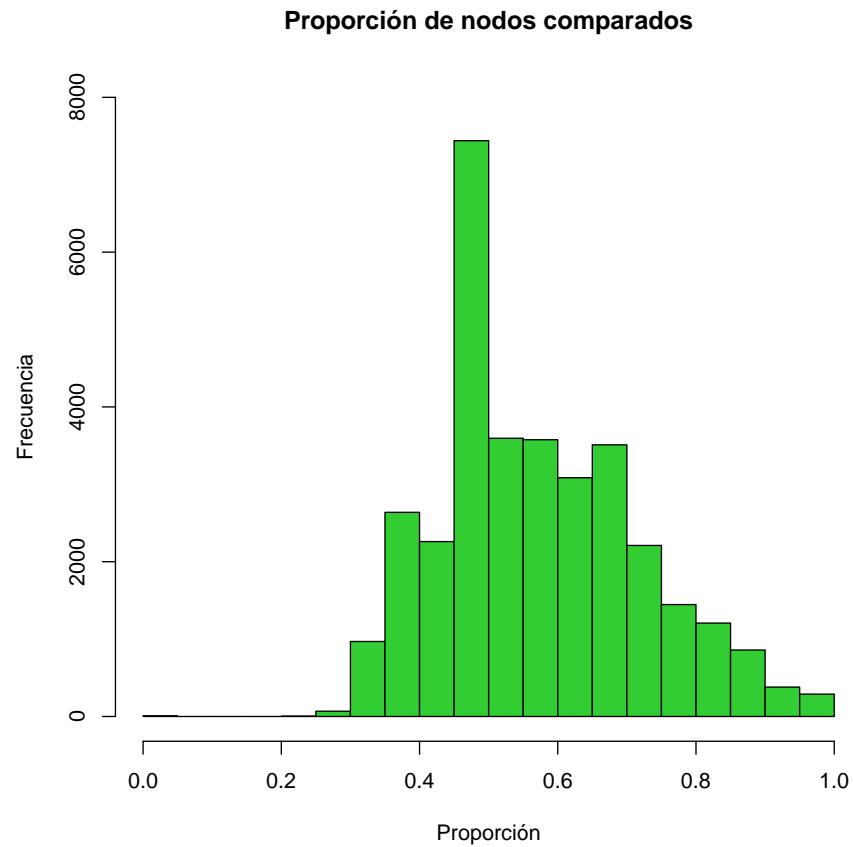


### 0.2. Ejemplo 2: 3 cambios elementales

Media	Mediana	Desviación estándar	Rango intercuartil
0.5041	0.5000	0.1435	0.1987

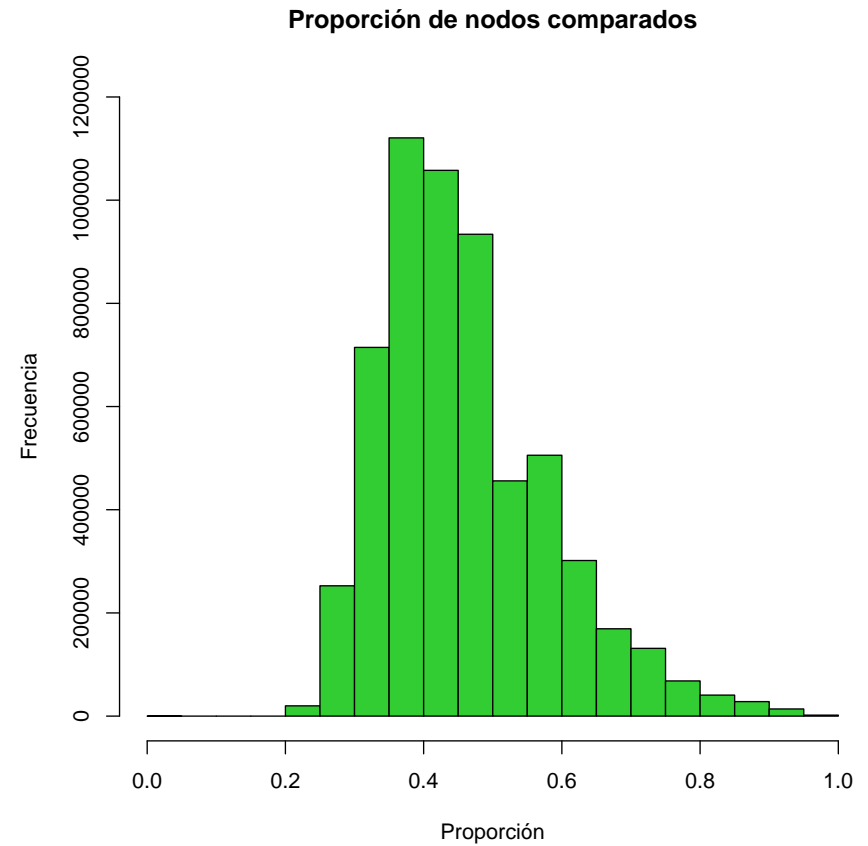
### 0.3. Ejemplo 3: 4 cambios elementales

Media	Mediana	Desviación estándar	Rango intercuartil
0.5772	0.5455	0.1464	0.2051



### 0.4. Ejemplo 4: 6 cambios elementales

Media	Mediana	Desviación estándar	Rango intercuartil
0.4671	0.4444	0.1211	0.1610



En base a estos resultados, puede afirmarse que aproximadamente la mitad de las veces la función de clasificación evita que se realicen comparaciones (costosas) entre perfiles para revisar si uno ha sido visitado.

## 6. Recomendaciones

Un enfoque diferente que podría haberse tomado al enfrentarse el problema de modelar los estados es el de representar las preferencias con enteros que codifiquen cada una de las posibles permutaciones de candidatos. Para esto sería necesaria una librería o lenguaje de programación que maneje números enteros arbitrariamente grandes.

En este sentido, sería interesante explorar qué tanto pueden mejorarse los resultados utilizando un algoritmo eficiente capaz de codificar permutaciones en números y viceversa.

Un algoritmo con estas características está descrito en [1].

## Referencias

- [1] Bonet, B. *Efficient Algorithms to Rank and Unrank Permutations in Lexicographic Order*. AAAI-Workshop on Search in AI and Robotics. 2008, Universidad Simón Bolívar, Venezuela.