

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC
UNAM, 2014

BÚSQUEDA INFORMADA

M. en C. Arturo Rodríguez García

Galadriel a Frodo, en *El señor de los anillos*:

"Te entrego la luz de Eärendil, nuestra más preciada estrella, que ella te ilumine en los lugares más oscuros cuando las demás luces se apaguen."

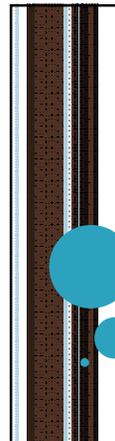


M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC
UNAM, 2014

BÚSQUEDA INFORMADA

- Utiliza conocimiento específico del problema, más allá de la definición del problema en sí mismo.
- A la aproximación general le llamaremos **búsqueda primero el mejor**, que consiste en seleccionar un nodo a expandir a partir de una **función de evaluación $f(n)$** .

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC
UNAM, 2014



BÚSQUEDA VORAZ PRIMERO EL MEJOR (BÚSQUEDA ÁVARA / BÚSQUEDA PRIMERO EL MEJOR)

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC
UNAM, 2014

BÚSQUEDA VORAZ

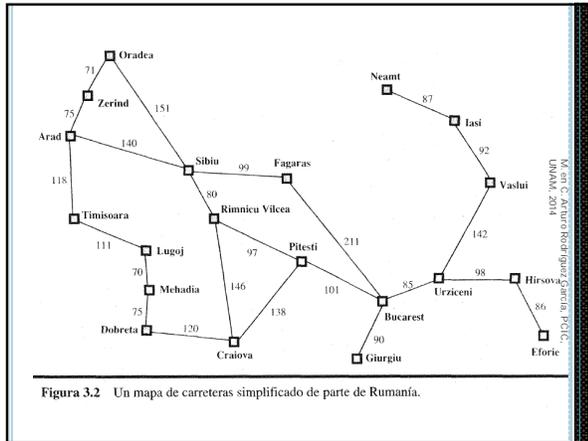
- Expande el nodo más cercano al objetivo.
- Evalúa los nodos utilizando una **función heurística $h(n)$** .
 - $f(n) = h(n)$
 - $h(n)$ = costo estimado del camino más barato desde el nodo n a un objetivo.
- Las funciones heurísticas capturan el conocimiento adicional que se tiene del problema.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC
UNAM, 2014

EJEMPLO

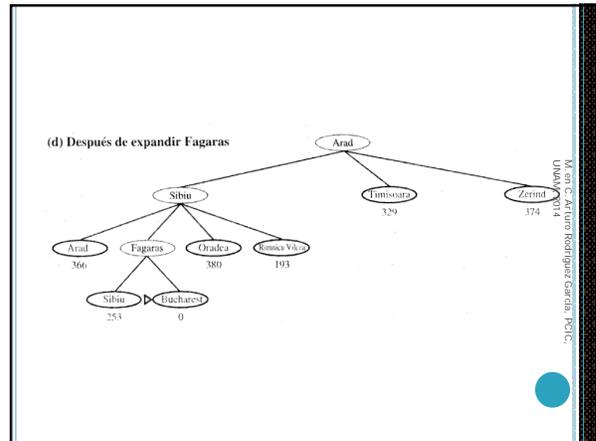
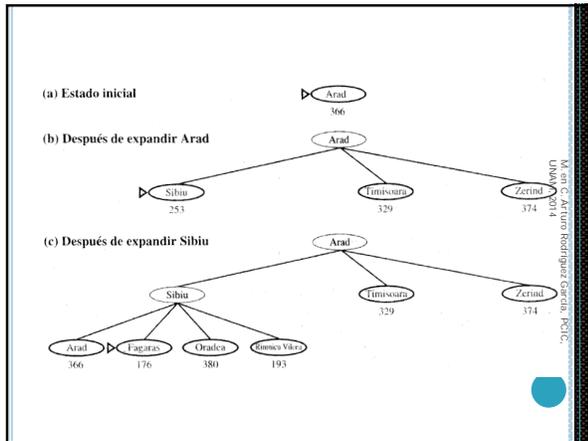
- Supongamos que una persona quiere viajar en carretera por Rumania.
- Estado inicial.- Arad
- Test objetivo.- Llegar a Bucarest.
- Función sucesor y función de costo.- definidas por un mapa.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDIIC
UNAM, 2014



- Como heurística, podemos utilizar la distancia en línea recta a Bucarest.
- Estos valores no forman parte de la descripción del problema.

Arad	366	Mehadia	241
Bucarest	0	Neamt	234
Craiova	160	Oradea	380
Dobreta	242	Pitesti	100
Eforie	161	Rimnicu Vilcea	193
Fagaras	176	Sibiu	253
Giurgiu	77	Timisoara	329
Hirsova	151	Urziceni	80
Iasi	226	Vaslui	199
Lugoj	244	Zerind	374



- No es óptimo. El camino encontrado Arad-Sibiu-Fagaras-Bucarest tiene costo de 450.
- El camino Arad-Sibiu-Rimnicu Vilcea-Pitesti-Bucarest con un costo de 418 es una mejor solución.

Figura 3.2 Un mapa de carreteras simplificado de parte de Rumanía.

LA AVARICIA ES MALA...

- En cada paso, el algoritmo trata de ponerse tan cerca del objetivo como sea posible.

- ¿Qué pasa si queremos ir de Iasi a Fagaras? Primero se expandiría Neamt por estar más cerca de Fagaras, pero entraríamos en un callejón sin salida.

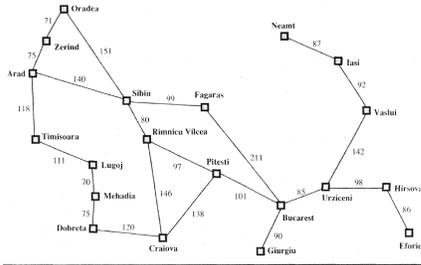


Figura 3.2 Un mapa de carreteras simplificado de parte de Rumanía.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

- No es óptima.
- Es incompleta (puede quedarse en un camino infinito).
- Complejidad en tiempo y en espacio: $O(b^n)$

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

BÚSQUEDA A*

BÚSQUEDA A*

- Evalúa los costos mediante la función de evaluación $f(n) = g(n) + h(n)$
 - $g(n)$ = costo para alcanzar el nodo
 - $h(n)$ = costo de ir al nodo objetivo

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

- $f(n) = g(n) + h(n)$
- $f(\text{Craiova}) = 140 + 80 + 146 + 160 = 526$

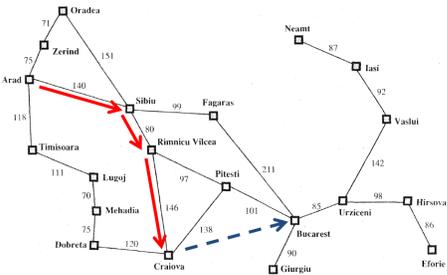


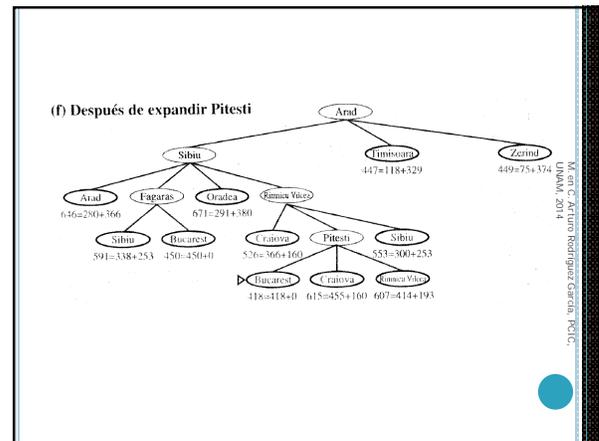
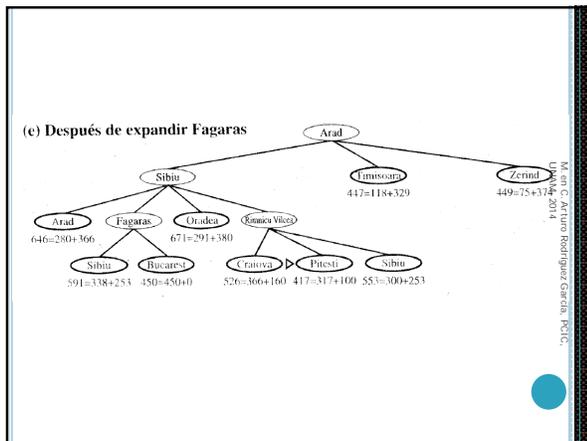
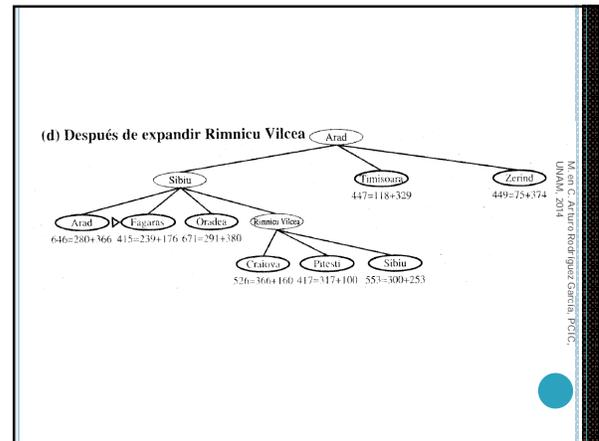
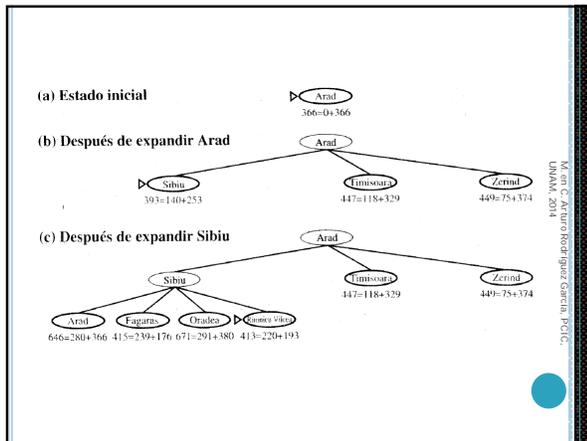
Figura 3.2 Un mapa de carreteras simplificado de parte de Rumanía.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

¿ES ÓPTIMO?

- A* es óptimo si $h(n)$ es una heurística admisible.
- Una heurística es **admisible** si $h(n)$ no sobrestima el costo de alcanzar el objetivo.
- Un ejemplo de heurística admisible es la distancia en línea recta al objetivo (pues el camino más corto entre dos puntos es una línea recta, por lo que la línea recta no puede ser una sobrestimación).

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014



DEMOSTRACIÓN

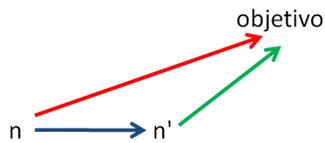
- Por demostrar: A* es óptimo si $h(n)$ es admisible.
- Supongamos que G_1 es la solución óptima cuyo costo es C^* , pero que en la frontera del árbol aparece una solución subóptima G_2 .
- $f(G_2) = g(G_2) + h(G_2) = g(G_2) + 0 = g(G_2) > C^*$
- Ahora consideremos un nodo n de la frontera que está en un camino óptimo hacia G_1 . Si $h(n)$ no sobrestima el costo del camino solución, entonces $f(n) = g(n) + h(n) \leq C^*$
- Entonces $f(n) \leq C^* < f(G_2)$ por lo que A* elegirá a n en vez de a G_2 para expandir.

EVITANDO ESTADOS REPETIDOS

- Implica que buscamos en un grafo en lugar del árbol de búsqueda. Para que funcione existen dos opciones:
 - Opción 1.- Desechar el camino más caro de dos caminos encontrados que llevan al mismo nodo.
 - Opción 2.- Asegurar que el camino óptimo a cualquier estado repetido es siempre el que seguimos primero. Para ello, $h(n)$ debe ser consistente (o monótona).

CONSISTENCIA

- Una heurística es consistente si:
 - $h(n) \leq c(n, a, n') + h(n')$ (desigualdad del triángulo)



M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

- A*:

 - Es completo
 - Es óptimo
 - Enfrenta como dificultad que, para la mayoría de los problemas, el espacio de búsqueda crece exponencialmente.
 - Requiere mucha memoria porque mantiene todos los nodos generados en memoria.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

BÚSQUEDA A* DE PROFUNDIDAD ITERATIVA (A*PI)

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

A*PI

- Adapta la idea de realizar búsqueda iterativas, usando como corte el costo de $f(n)$, en vez de la profundidad (como lo hace la Búsqueda de Profundidad Iterativa).

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

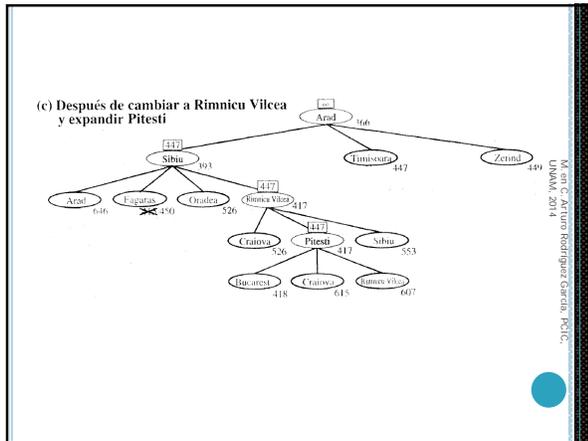
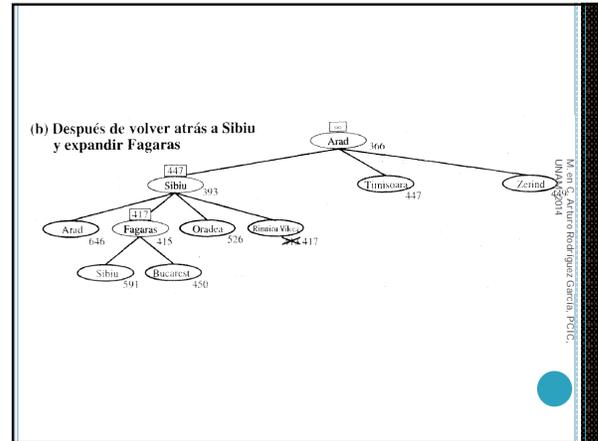
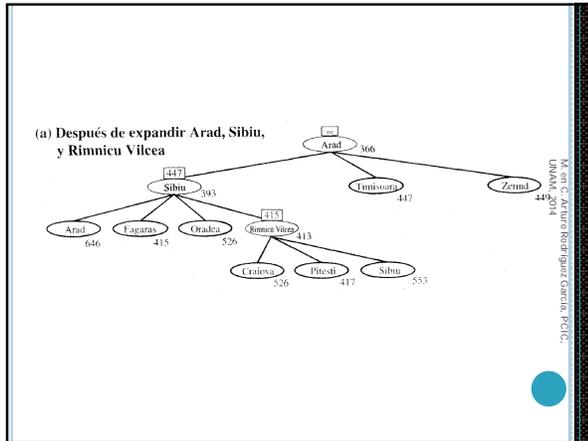
BÚSQUEDA RECURSIVA DEL PRIMERO MEJOR (BRPM)

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014

BRPM

- Mantiene la pista del mejor camino alternativo desde cualquier antepasado del nodo actual. Si el nodo actual excede ese límite, vuelve atrás al camino alternativo.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C UNAM, 2014



- BRPM es más eficiente que A*PI, pero todavía sufre de regeneración excesiva de nodos, pues cada cambio de opinión puede requerir expansiones de nodos olvidados para volver a crear el camino.
 - Es óptimo si $h(n)$ es admisible.
 - Su complejidad en espacio es $O(bd)$.
 - La complejidad en tiempo depende de la exactitud de la información heurística.
- M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

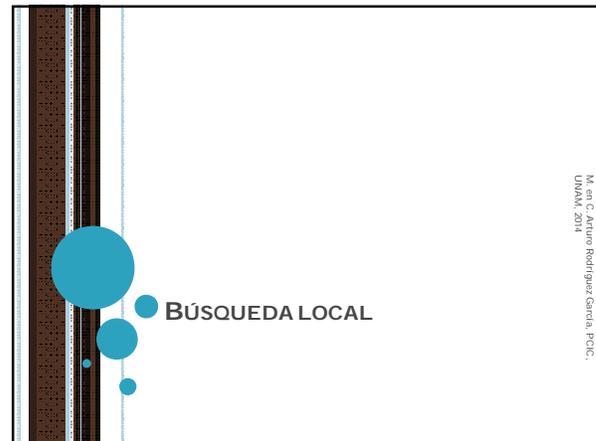
BÚSQUEDA A*MS
(BÚSQUEDA A* CON MEMORIA ACOTADA SIMPLE)

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

- A*MS**
- Trabaja como A*, expandiendo la mejor hoja hasta que la memoria se llena.
 - Cuando se ha alcanzado el límite de memoria, para añadir un nuevo nodo se retira uno viejo.
 - Siempre se retira el peor nodo hoja, devolviendo el valor a su padre.
 - De este modo, el antepasado de un subárbol olvidado sabe la calidad del mejor camino en el subárbol.
 - A*MS vuelve a generar el subárbol sólo cuando todos los otros caminos parecen peores que el camino olvidado.
- M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

- Es completo y óptimo siempre y cuando la memoria sea suficiente.
- Una desventaja es que a menudo el algoritmo es forzado a cambiar hacia adelante y hacia atrás continuamente entre un conjunto de caminos solución candidatos.
- La regeneración repetida de nodos hace que problemas que son resolubles por A* se vuelvan intratables para A*MS.

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014



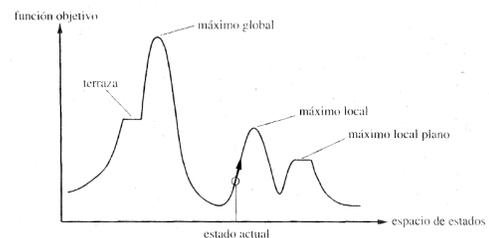
M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

BÚSQUEDA LOCAL

- En muchos problemas, el camino al objetivo es irrelevante. Por ejemplo, en el problema de las 8 reinas lo que importa es la configuración final de las reinas, no el orden en el cual se añaden.
- La búsqueda local funciona con un único estado actual. Los caminos seguidos no se retienen.
- Ventajas:
 - Usan muy poca memoria.
 - A menudo encuentran soluciones razonables en espacios de estados grandes o infinitos (continuos).

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

PAISAJE DEL ESPACIO DE ESTADOS



M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

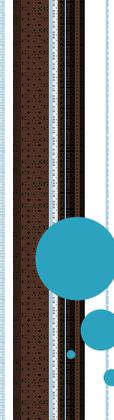
- Si la elevación corresponde al costo, entonces el objetivo es encontrar el mínimo global.
- Si la elevación corresponde a una función objetivo, entonces el objetivo es encontrar el máximo global.
- Los algoritmos de búsqueda exploran el paisaje.
- Un algoritmo completo encuentra un objetivo si existe.
- Un algoritmo óptimo encuentra siempre el mínimo/máximo global.

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

MÉTODOS DE BÚSQUEDA LOCAL

- Búsqueda de ascensión de colinas.
- Recocido simulado.
- Búsqueda por haz local.
- Algoritmos genéticos.

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014



BÚSQUEDA DE ASCENSIÓN DE COLINAS

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

BÚSQUEDA DE ASCENSIÓN DE COLINAS

- Consiste en moverse en dirección del valor creciente, hasta alcanzar un pico en donde ningún vecino tenga valor más alto.

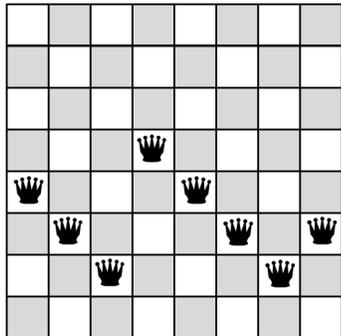
M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

PROBLEMA DE LAS 8 REINAS

- Formulación de estados completa. Cada estado tiene ocho reinas sobre el tablero, una por columna.
- La función sucesor devuelve todos los estados posibles generados por mover una reina a otro cuadrado en la misma columna (8 reinas x 7 espacios disponibles para cada una = 56 sucesores).
- La función heurística es el número de pares de reinas que están sobre la misma línea horizontal, vertical o diagonal (sin importar si en el estado actual no se puedan atacar por la presencia de una tercer reina entre ellas).

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

- En el estado actual, la función de costo es $h=17$.



M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

- Se calcula la función de costo para cada estado sucesor.

18	12	14	13	13	12	14	14
14	16	13	15	12	14	12	16
14	12	18	13	15	12	14	14
15	14	14	♠	13	16	13	16
♠	14	17	15	♠	14	16	16
17	♠	16	18	15	♠	15	♠
18	14	♠	15	15	14	♠	16
14	14	13	17	12	14	12	18

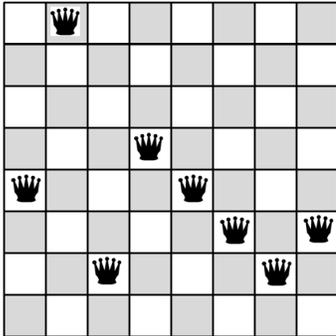
M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

- Se elige el movimiento que lleve al estado con la menor función de costo.

18	12	14	13	13	12	14	14
14	16	13	15	12	14	12	16
14	12	18	13	15	12	14	14
15	14	14	♠	13	16	13	16
♠	14	17	15	♠	14	16	16
17	♠	16	18	15	♠	15	♠
18	14	♠	15	15	14	♠	16
14	14	13	17	12	14	12	18

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

- En el estado actual, la función de costo es $h=12$.



M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

- A la ascensión de colinas se le llama también **búsqueda local voraz**.
- Este método a menudo funciona bien y progresa rápidamente hacia las soluciones.
- Sin embargo, el método a veces se atasca debido a máximos locales o mesetas.
- Para el problema de las 8 reinas, comenzando desde un estado aleatorio, este algoritmo se estanca el 86% de las veces. Sin embargo, trabaja rápidamente: en promedio, 4 pasos cuando tiene éxito, y 3 cuando fracasa.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

BÚSQUEDA DE ASCENSIÓN DE COLINAS CON MOVIMIENTO LATERAL

- Si se llega a un estado desde el cual no existe un estado mejor al cual moverse, pero sí existen estados con igual función de costo, entonces se realiza un movimiento a uno de esos estados.
- Se debe poner un límite al número de movimientos laterales para no caer en un bucle infinito.
- En el caso del problema de las 8 reinas, esto aumenta el éxito a 94%, con un promedio de 21 pasos cuando se tiene éxito y 64 cuando se fracasa.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

BÚSQUEDA DE ASCENSIÓN DE COLINAS ESTOCÁSTICA

- Escoge aleatoriamente de entre los movimiento ascendentes.
- La probabilidad de selección puede variar con la pendiente del movimiento ascendente.
- Converge más despacio, pero en algunos paisajes de estados encuentra mejores soluciones.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

BÚSQUEDA DE ASCENSIÓN DE COLINAS DE PRIMERA OPCIÓN

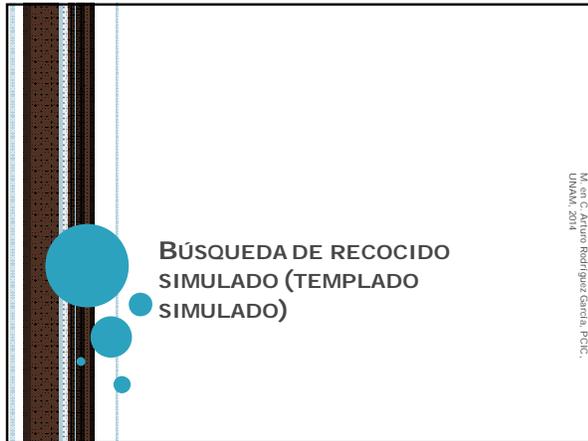
- Implementa una ascensión de colinas estocástica generando sucesores al azar hasta que se genera uno que es mejor que el estado actual.
- Es una buena estrategia cuando un estado tiene muchos sucesores.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014

BÚSQUEDA DE ASCENSIÓN DE COLINAS CON REINICIO ALEATORIO

- Es una serie de búsquedas desde estados iniciales generados aleatoriamente, parándose cuando se encuentra un objetivo.
- Es completo, por la razón trivial de que generará eventualmente un estado objetivo como el estado inicial.

M. en C. Arturo Rodríguez García, PDI-C
UNAM, 2014



BÚSQUEDA DE RECOCIDO SIMULADO (TEMPLADO SIMULADO)

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.Eng.
UNAM, 2014

RECOCIDO O TEMPLADO

- En metalurgia, es el proceso para templar o endurecer metales y cristales, calentándolos a una temperatura alta y luego gradualmente enfriarlos.



M. en C. Arturo Rodríguez García, P.Eng.
UNAM, 2014

BÚSQUEDA DE RECOCIDO SIMULADO

- Imaginemos que estamos buscando el mínimo global (mediante la función de costo). Si colocamos una pelota de ping pong en el paisaje y la dejamos rodar se irá hacia uno de los mínimos (ya sea local o global).
- El truco es sacudir el paisaje, con fuerza adecuada para que pueda escapar de mínimos locales, pero no del mínimo global.
- La solución consiste en sacudir primero con fuerza e ir reduciendo la intensidad de la sacudida.

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.Eng.
UNAM, 2014

BÚSQUEDA DE RECOCIDO SIMULADO

- Es similar a la ascensión de colinas.
- En vez de escoger el mejor movimiento, escoge un movimiento aleatorio. Se tienen dos opciones:
 - Si el movimiento mejora la situación, es aceptado.
 - Si el movimiento no mejora la situación, es aceptado con una probabilidad menor que 1 (la cual va disminuyendo exponencialmente).

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.Eng.
UNAM, 2014



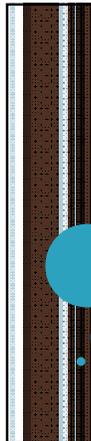
BÚSQUEDA POR HAZ LOCAL

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.Eng.
UNAM, 2014

BÚSQUEDA POR HAZ LOCAL

- Comienza con k estados generados aleatoriamente.
- En cada paso se generan los sucesores de los k estados. Si alguno es objetivo, se para el algoritmo. De lo contrario, se juntan todos los sucesores de los k estados en una sola lista. Se seleccionan los k mejores sucesores de la lista.
- De esta manera, la información útil es pasada entre los k hilos paralelos de búsqueda.
- La búsqueda de haz estocástica, elige aleatoriamente a los sucesores.

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.Eng.
UNAM, 2014

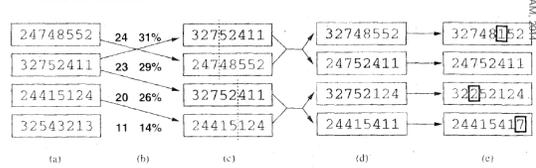


ALGORITMOS GENÉTICOS

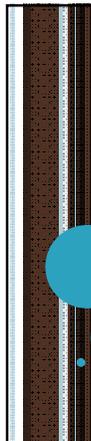
M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

ALGORITMOS GENÉTICOS

- Variante de la búsqueda de haz estocástica en la que los estados sucesores se generan combinando dos estados.



M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014



BÚSQUEDA LOCAL EN ESPACIOS CONTINUOS

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

BÚSQUEDA LOCAL EN ESPACIOS CONTINUOS

- Utilizar cálculo diferencial para encontrar máximos y mínimos.
- Utilizar métodos numéricos (por ejemplo, el método de Newton-Raphson).
- Utilizar métodos de investigación de operaciones (programación lineal).

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014

REFERENCIAS

- *Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno.* Stuart Russell y Peter Norvig. 2ª Edición. Capítulo 4. Páginas 107-153.

M. en C. Arturo Rodríguez García, P.D.C.
UNAM, 2014