



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

Sistemas Inteligentes

Carlos Andrés Sánchez Ríos
Departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica
Instituto Tecnológico Metropolitano

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



Alcaldía de Medellín

Sistemas Inteligentes

AGENDA DE CLASE

Sistemas de búsqueda

- La búsqueda en la IA
 - Como resolver los problemas con búsqueda
 - Tipos de problemas
- Problemas en la vida real
 - Definiciones
- Medidas de rendimiento
- Estrategias de búsqueda
 - Primero en anchura
 - Costo uniforme
 - Primero en profundidad
 - Profundidad limitada
 - BPP con profundidad iterativa
 - Búsqueda unidireccional



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

LA BÚSQUEDA EN LA IA

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



Alcaldía de Medellín

La búsqueda

El razonamiento o resolución de problemas se encuentra relacionado con la búsqueda

Abarca conocimientos que involucran gran parte de los sistemas de IA

Son una herramienta básica para construir sistemas inteligentes

Deducción

Elaboración de planes de actuación

Prueba de teoremas



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

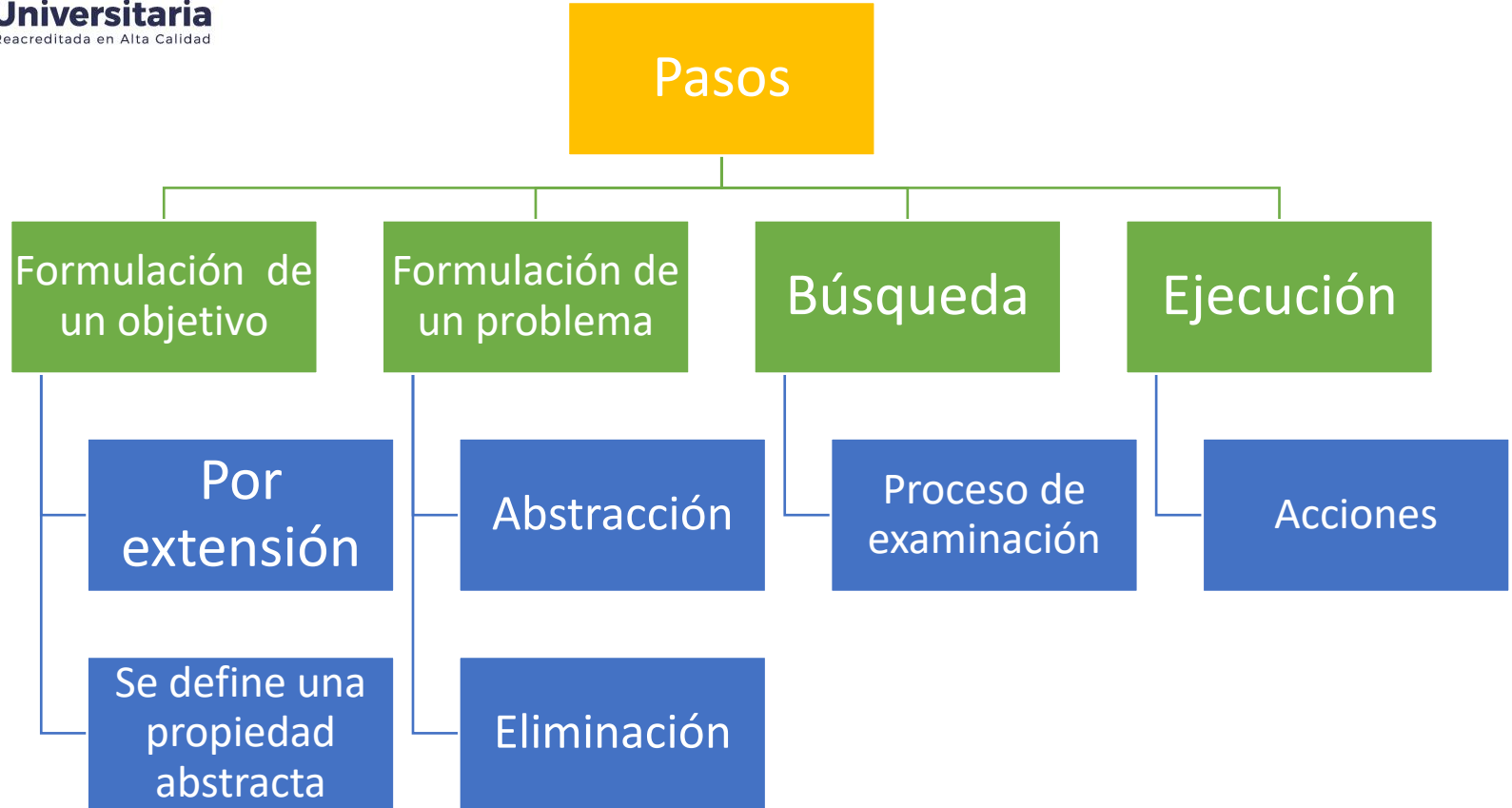
COMO RESOLVER LOS PROBLEMAS CON BÚSQUEDA

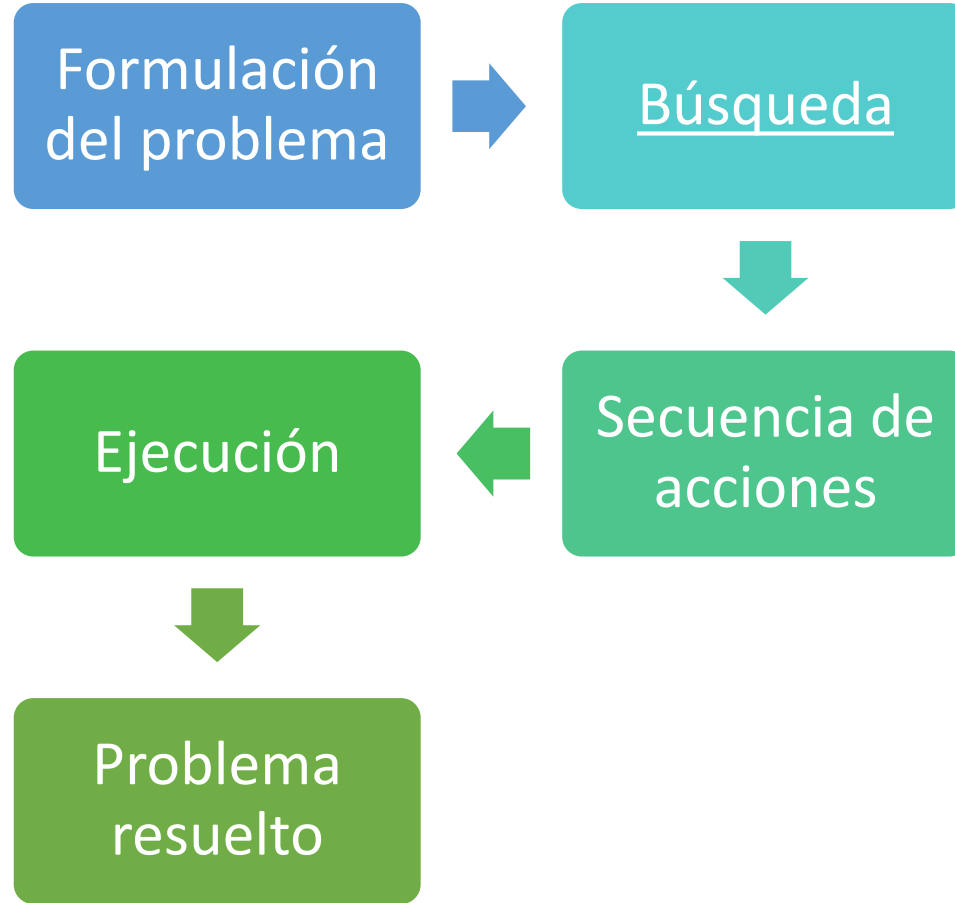
Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



Alcaldía de Medellín

“Para poder resolver un problema, debemos construir un modelo en el cual basar nuestras decisiones, y así tomar estas, con base a las consecuencias (hipotéticas)”







Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

EJEMPLO

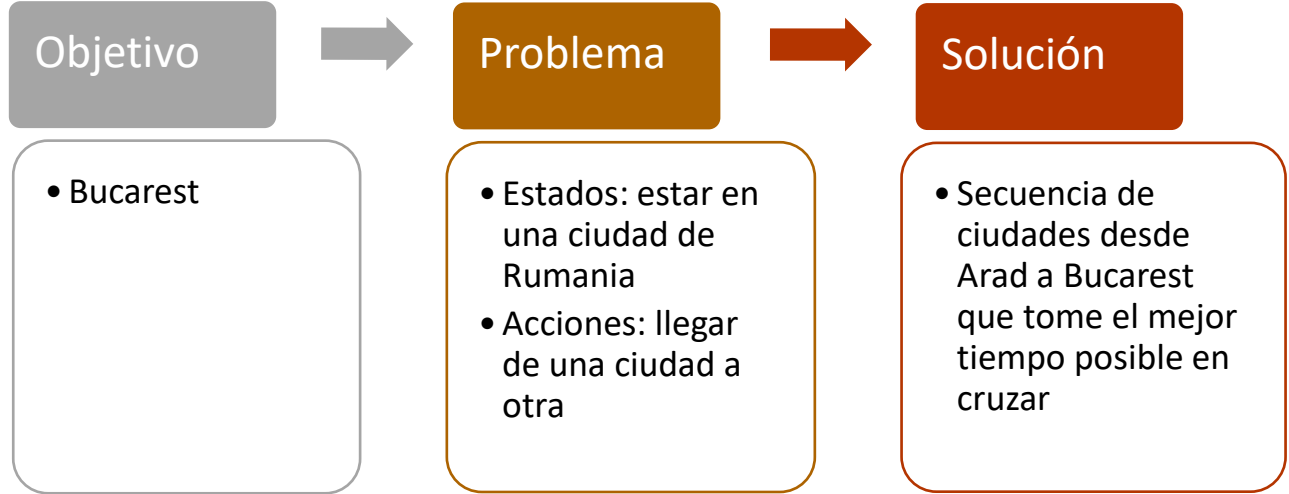
Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*

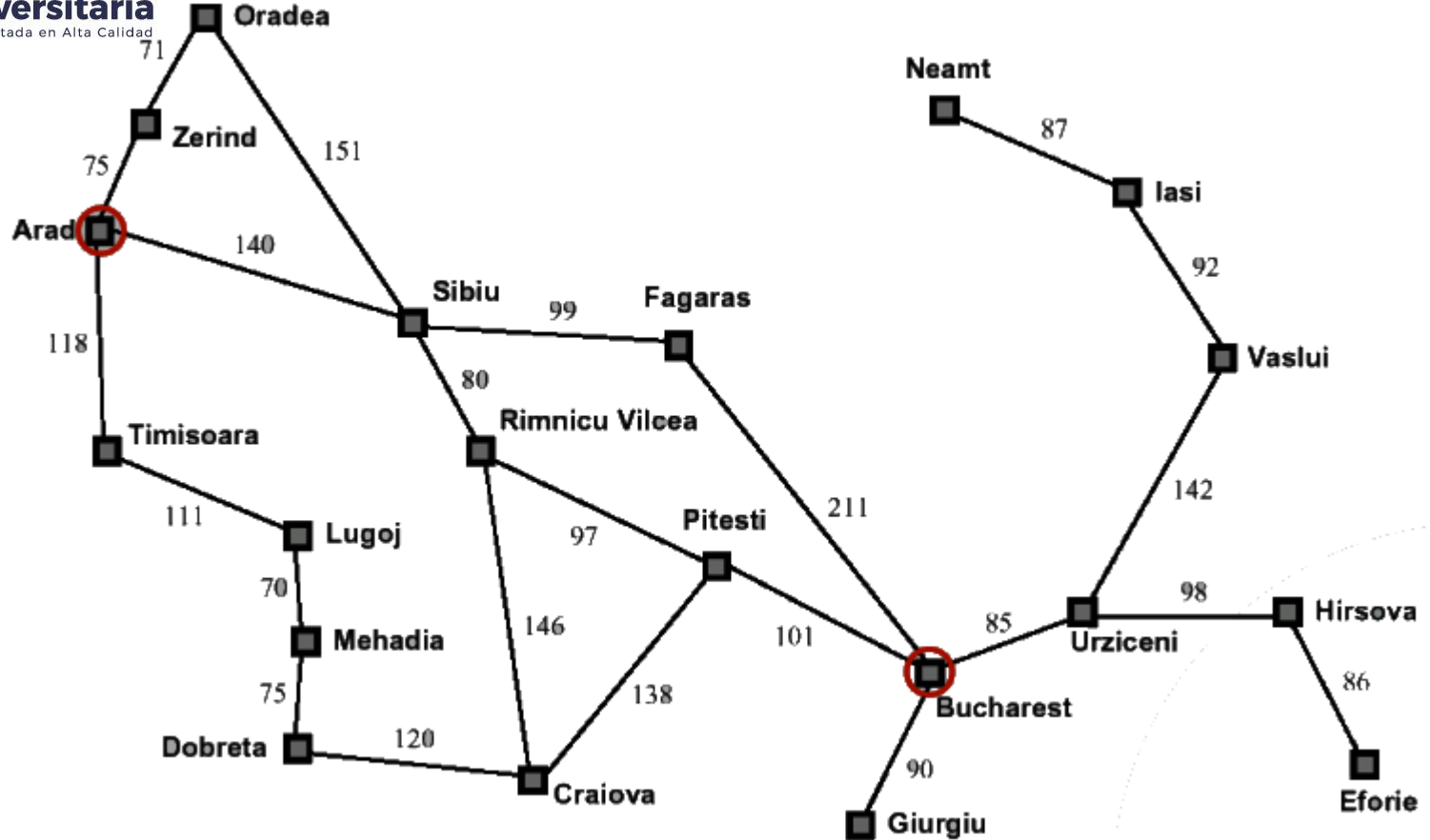


Alcaldía de Medellín

Como encontrar una ruta en Rumania

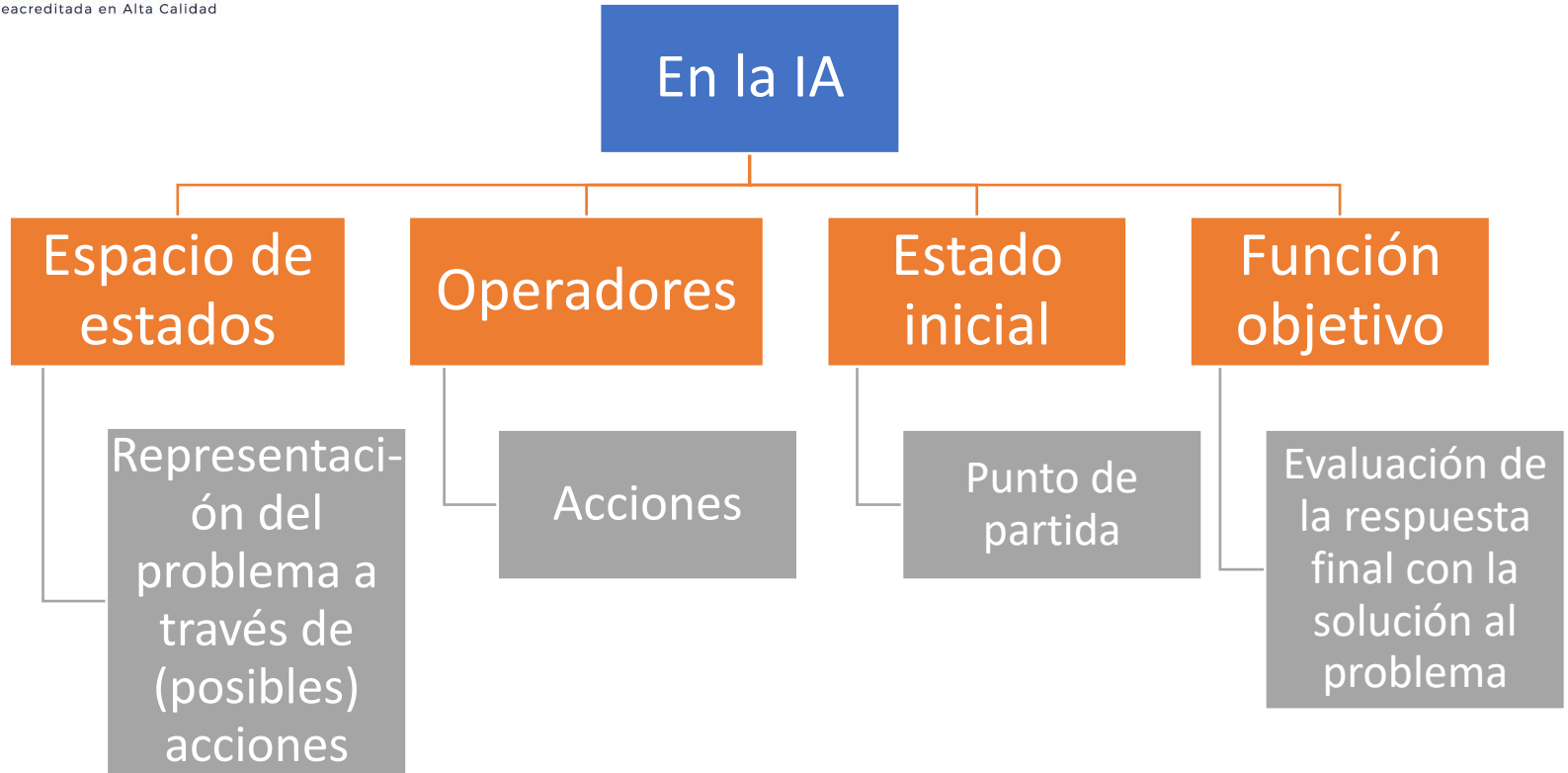
Se está de vacaciones a Arad (Rumania) y el vuelo regreso parte mañana de Bucarest





Tomado de: Centro de inteligencia artificial, Universidad de Oviedo.

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



- **Estado inicial del agente:** punto de partida para la búsqueda: En(Arad)
- **Función sucesor** que dado un estado x devuelve un conjunto ordenado de pares $\langle \text{acción}, \text{sucesor} \rangle$
 $\{ \langle \text{Ir(Sibiu)}, \text{En(Sibiu)} \rangle, \langle \text{Ir(Timisoara)}, \text{En(Timisoara)} \rangle, \langle \text{Ir(Zerind)}, \text{En(Zerind)} \rangle \}$
 - Espacio de estados o de búsqueda es el conjunto de estados alcanzables desde el estado inicial aplicando distintas acciones. Es un grafo donde los nodos son estados y los arcos acciones
 - Camino es una secuencia de estados conectado por una secuencia de acciones
- **Coste del camino (g)** es una función que asigna un coste numérico a cada camino. Suele ser la suma de costes de cada acción individual, $g(x,a,y)$
 - Suma de kilómetros de la ruta entre dos ciudades
- **Test objetivo** determina si un estado es objetivo: En(Bucarest)
 - **Solución:** secuencia de acciones que llevan del estado inicial a un estado objetivo. Las que tengan coste del camino mínimo, serán las óptimas



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

TIPOS DE PROBLEMAS

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



Alcaldía de Medellín

Tipos de
problemas/
Entornos

Totalmente/parcialmente
observable

Rumania: totalmente
observable, el agente percibe
totalmente el entorno

Determinista/estocástico

Rumania: determinista, el agente sabe en
qué estado se encontrará después de
realizar una acción

Episódico/secuencial

Rumania: secuencial, cada acción depende de
las acciones anteriores

Estático/dinámico

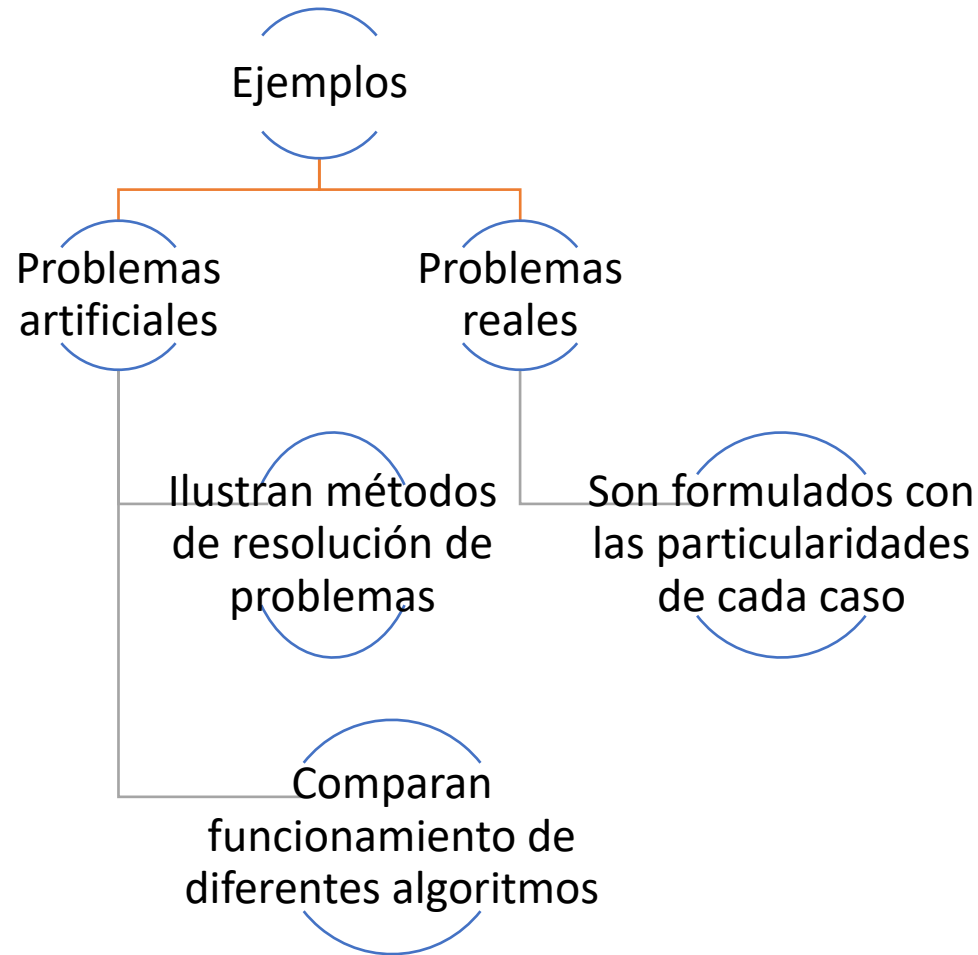
Rumania: estático, la formulación y búsqueda se hacen
sin prestar atención a cualquier cambio que pudiera
ocurrir en el entorno

Discreto/continuo

Rumania: discreto, no se tiene
en cuenta la variable tiempo

Individual/Multiagente

Rumania: individual, sólo
interviene un agente





Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

EJEMPLOS

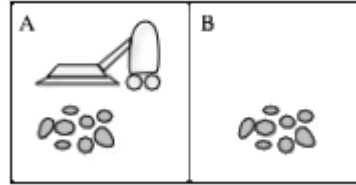
Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



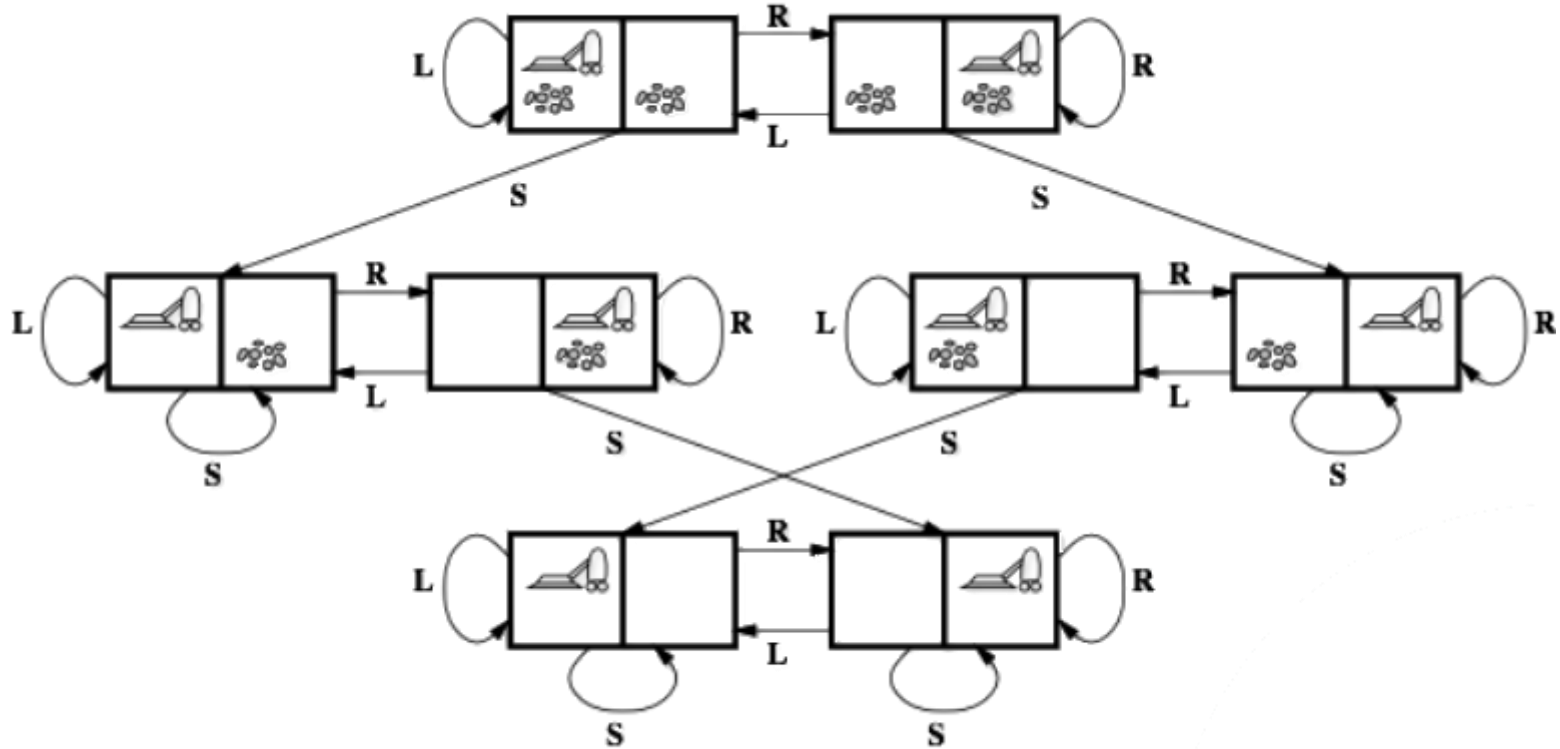
Alcaldía de Medellín

Aspiradora

- La aspiradora puede estar en una de dos habitaciones donde puede o no haber suciedad:



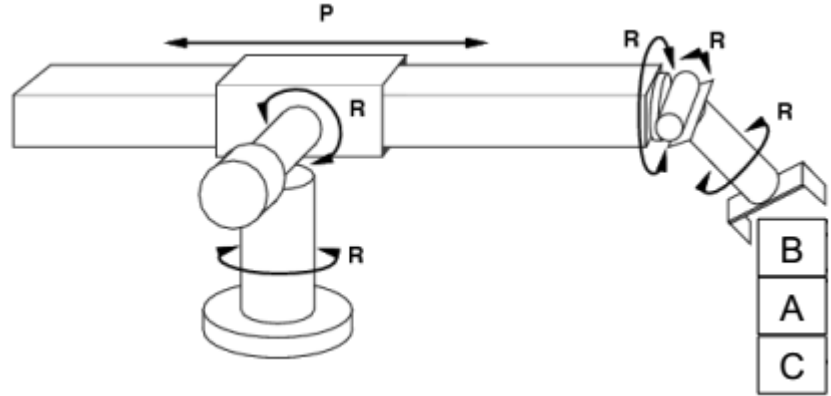
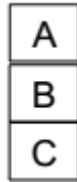
- Estados: $2 \times 2^2 = 8$ posibles
- Estado inicial: Cualquiera de los posibles Función sucesor: genera estados resultantes de aplicar Izquierda, Derecha, o Aspirar
- Test objetivo: todas las habitaciones limpias
- Coste: suma del número de acciones realizadas
- Si hubiera n habitaciones tendríamos n^2 estados



Las acciones son: Izquierda (L), Derecha (R), Aspirar (S)

Bloques

- Estados: 13 posibles estados
- Estado inicial: cualquiera de los posibles
- Función sucesor: mover un bloque
- Coste: suma del número de acciones realizadas
- Test objetivo:





Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

PROBLEMAS EN LA VIDA REAL

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



Alcaldía de Medellín



Generalización del problema de ir hasta Bucarest

Se añaden complicaciones adicionales como el coste en tiempo, dinero, disponibilidad de Transporte

Problemas turísticos:

Visitar varias ciudades al menos una vez

Problema del viajante de comercio (TSP):

Sólo una vez en cada ciudad y además han de recorrerse todas con un coste mínimo

Distribución VLSI:

Disposición de componentes y conexiones en un chip verificando que el área es mínima

Navegación de un robot:

Generalización de la búsqueda de una ruta en un espacio continuo

Secuenciación para ensamblaje automático

Diseño de proteínas

Juegos

Búsquedas en internet



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

DEFINICIONES

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



Alcaldía de Medellín

Árbol de búsqueda:

- Es generado por el estado inicial y la función sucesor. En general será un grafo

Nodo de búsqueda:

- Cada nodo de un árbol de búsqueda que representa un estado del problema

Expansión de un nodo:

- Aplicar la función sucesor al estado representado por el nodo para generar nodos sucesores

Estrategia de búsqueda:

- Determina el estado a expandir en cada momento. En esencia, se trata de escoger una opción y posponer la exploración de otras opciones para más tarde

Frontera:

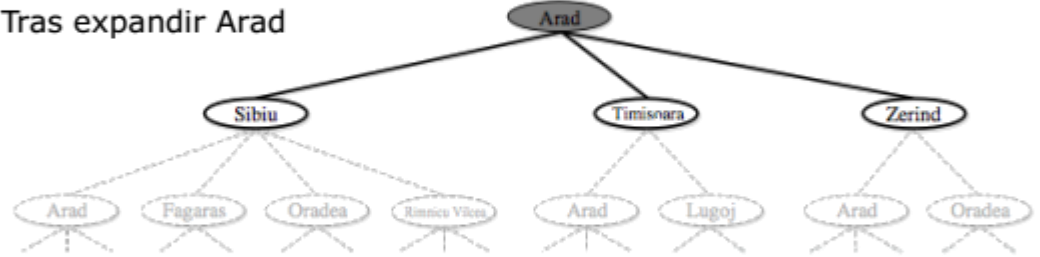
- Son un conjunto de nodos generados y aún no expandidos. La estrategia de búsqueda selecciona qué estado expandir de entre los de la frontera

Árbol de búsqueda

El estado inicial



Tras expandir Arad



Tras expandir Sibiu



Algoritmo

función Búsqueda_Árboles(problema, estrategia) devuelve
solución o fallo

inicializa el árbol con el estado inicial del problema

bucle hacer

si no hay candidatos a expandir

entonces devolver fallo

escoger, según estrategia, un nodo hoja para expandir

si el nodo es objetivo

entonces devolverla correspondiente solución

sino expandir el nodo y añadir los sucesores al árbol

fin bucle hacer

Los nodos

Los nodos no son equivalentes a los estados

La representación de los nodos suele depender del problema

Se suelen describir mediante:

- ° el estado que representan
- ° su nodo padre
- ° la acción que lleva al nodo
- ° el coste del camino hasta ese nodo: $g(n)$
- ° la profundidad del nodo



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

MEDIDAS DE RENDIMIENTO

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



Alcaldía de Medellín

Completitud: Si existe solución ¿la encuentra?

Optimización: Si la encuentra ¿es la mejor?

Complejidad espacio-temporal: ¿cuánto tiempo y memoria necesita para encontrar una solución?

En informática teórica se expresa mediante el tamaño del grafo

En IA la dificultad del problema se expresa en función de:

- Factor de ramificación (b): máximo número de sucesores de cualquier nodo
- Profundidad del objetivo (d): profundidad del nodo objetivo menos profundo
- Profundidad máxima (m) de cualquier camino en el espacio de estados
- ¿Qué cantidad de recursos se requieren para encontrar la solución? Máximo número de nodos almacenados en memoria
- ¿Cuánto se tarda en encontrar la solución? Suele medirse en términos de número de nodos generados



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

ESTRATEGIAS DE BÚSQUEDA

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



Alcaldía de Medellín

Búsqueda a ciegas o no informada: no tienen información para medir la calidad de los estados

- Primero en anchura
- Coste uniforme
- Primero en profundidad
- Profundidad limitada
- Primero en profundidad con profundidad iterativa
- Bidireccional

Búsqueda informada o heurística: saben estimar si un estado es “más prometedor” que otro

- Voraz primero el mejor
- Algoritmo A*
- Escalada (hill-climbing)
- Temple simulado (simulated annealing)
- Haz local (beam search)
- Algoritmos genéticos



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

PRIMERO EN ANCHURA

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



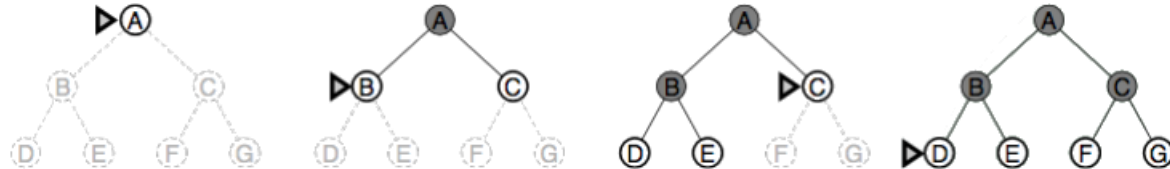
Alcaldía de Medellín

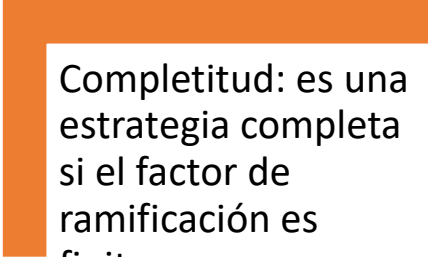
Se expande el nodo raíz, a continuación se expanden todos los sucesores, luego los sucesores de éstos,

En general, se expanden todos los nodos de un nivel antes de expandir cualquier nodo del nivel siguiente

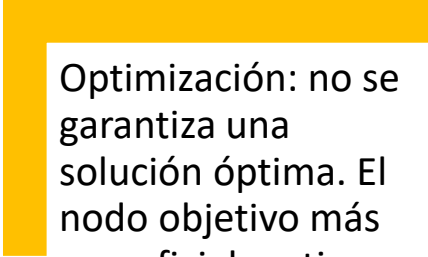
La estrategia sería una cola FIFO

Cada nodo generado debe permanecer en memoria, ya que es parte de la frontera, o un antepasado de un nodo frontera

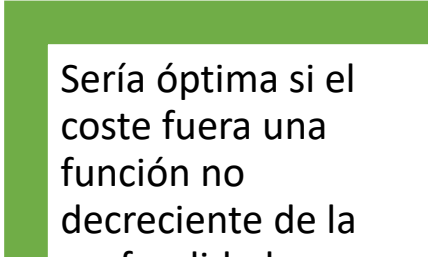




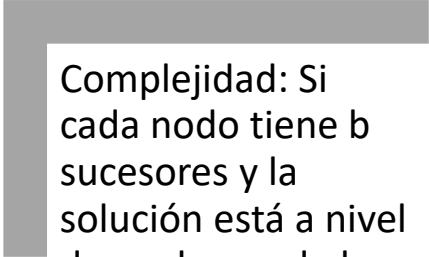
Completitud: es una estrategia completa si el factor de ramificación es finito



Optimización: no se garantiza una solución óptima. El nodo objetivo más superficial no tiene por qué ser la solución es óptima



Sería óptima si el coste fuera una función no decreciente de la profundidad



Complejidad: Si cada nodo tiene b sucesores y la solución está a nivel d , en el peor de los casos tenemos que expandir todos menos el último nodo del nivel d



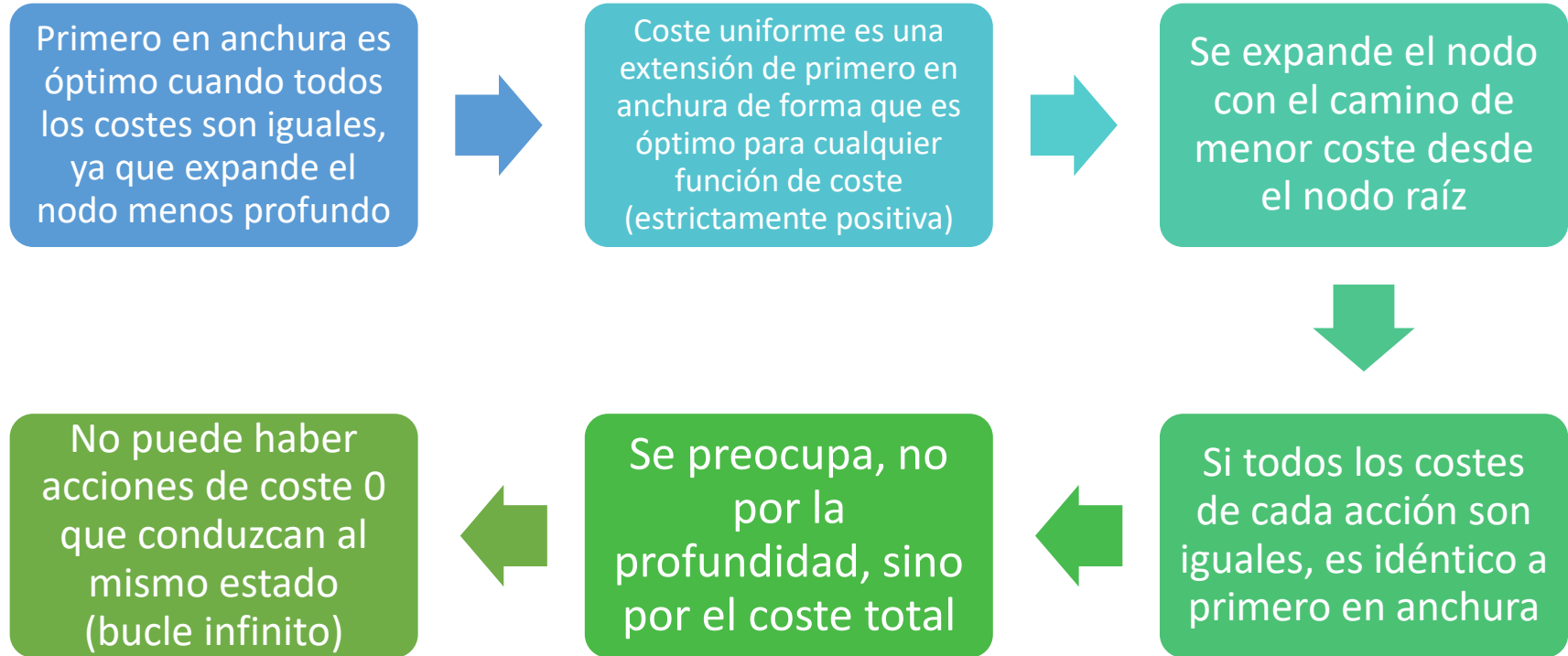
Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

COSTO UNIFORME

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



Alcaldía de Medellín



Complejidad: está garantizada si el coste de cada acción es mayor o igual que una constante positiva pequeña (ϵ)

Optimización: la condición anterior también garantiza la optimización

El algoritmo expande nodos en orden creciente de coste del camino, por lo que el primer nodo objetivo seleccionado para expandir es la solución óptima

Complejidad: depende del coste. Si el coste óptimo es C^* y suponemos que el coste mínimo de cada acción es ϵ , entonces la complejidad en el peor caso es:



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

PRIMERO EN PROFUNDIDAD

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*

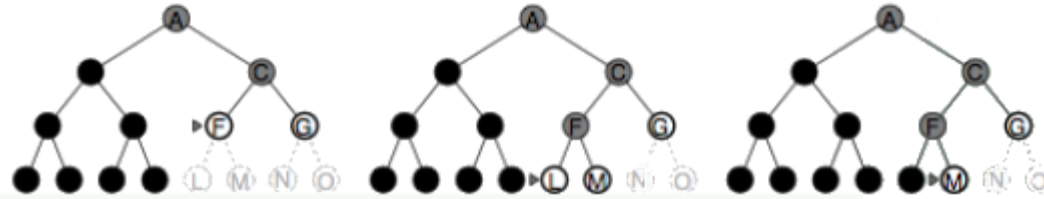
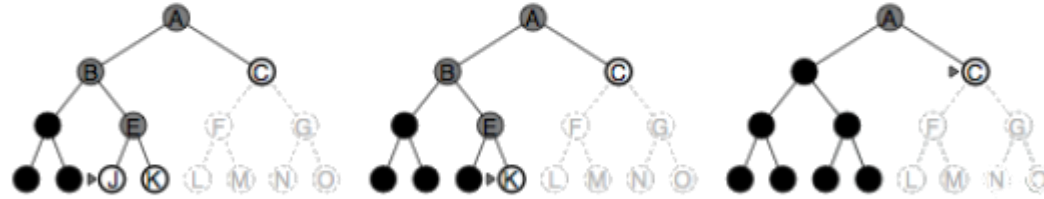
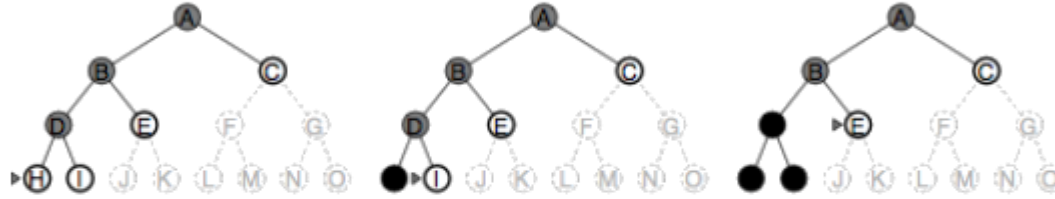
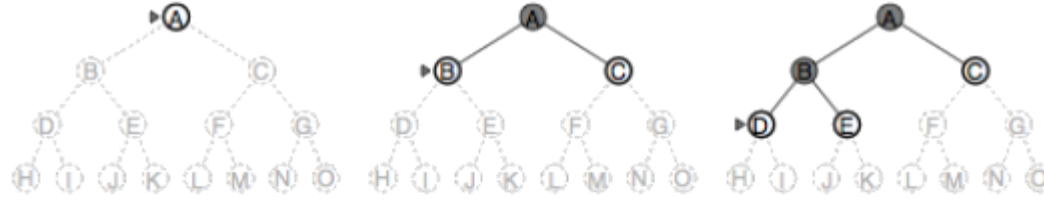


Alcaldía de Medellín

Se expande primero el
nodo más profundo en
la frontera actual del
árbol de búsqueda

Cuando todos los nodos
del nivel más profundo
no tienen sucesor, la
búsqueda retrocede al
nivel anterior

La estrategia se
implementaría con una
pila LIFO



Complejidad: si hay ramas infinitas el proceso de búsqueda podría no terminar, aún teniendo una solución próxima a la raíz

Optimización: no se garantiza que la solución sea óptima

Complejidad temporal: si mes la profundidad máxima del árbol, la complejidad temporal es de orden

Complejidad espacial: requiere almacenar sólo $bm+1$ nodos. La complejidad espacial es de orden



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

PROFUNDIDAD LIMITADA

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



Alcaldía de Medellín

Trata de aliviar el problema de los árboles ilimitados (con ramas infinitas) con la búsqueda primero en profundidad

Se efectúa búsqueda primero en profundidad pero hasta una profundidad máxima l

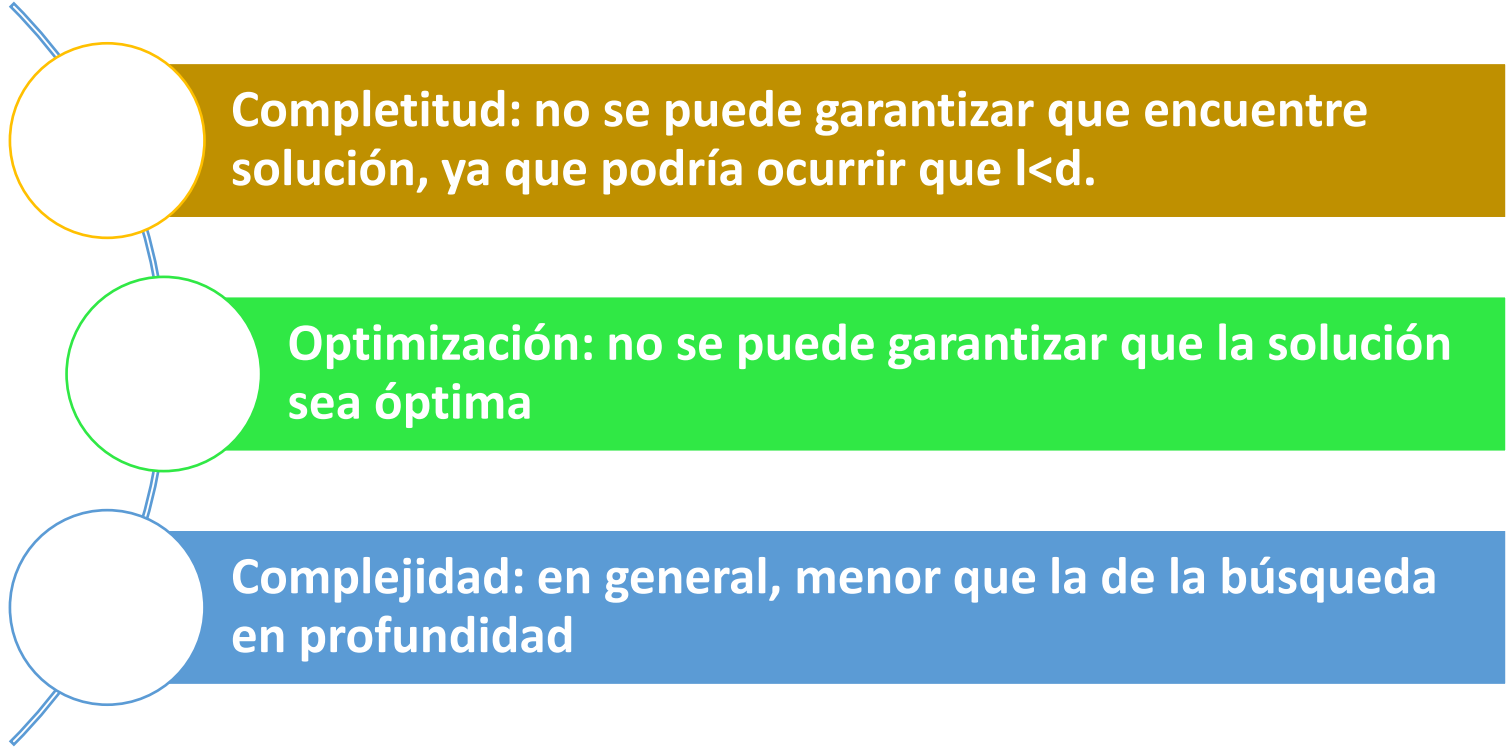
Primero en profundidad = profundidad limitada con $l = \infty$ (ó m)

Lamentablemente se añade alguna complicación adicional si escogemos l tal que $l < d$. Entonces el objetivo está fuera del límite de profundidad

El límite de profundidad puede estar basado en el conocimiento previo del problema:

Diámetro del espacio de estados: la profundidad máxima para alcanzar cualquier estado desde otro

Para la mayor parte de problemas no conocemos un límite de profundidad bueno hasta que no resolvemos el problema





Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad


BPP CON PROFUNDIDAD ITERATIVA

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



Alcaldía de Medellín


- Se trata de aplicar repetidas veces la búsqueda con profundidad limitada, aumentando en cada ocasión el límite de profundidad (0, 1, 2, ...) hasta encontrar un estado objetivo (cuando alcancemos la profundidad d)
- Trata de combinar las ventajas de la búsqueda en anchura (completitud) y primero en profundidad (complejidad)
- Los estados se generan en cada iteración, es poco costoso. Los nodos de profundidad d son generados 1 vez, los de $d-1$ 2 veces, ..., los de la raíz d veces
- Es más rápida que la búsqueda en anchura ya que no genera sucesores en el nivel $d+1$
- Es el método de búsqueda a ciegas preferido cuando hay un espacio grande de búsqueda y no se conoce d .

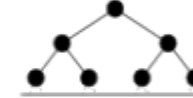
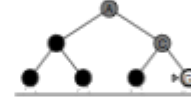
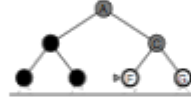
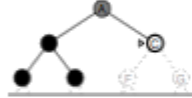
Límite=0 



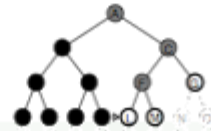
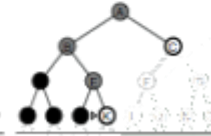
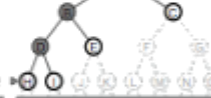
Límite=1 



Límite=2 



Límite=3 



Tomado de: Centro de inteligencia artificial, Universidad de Oviedo.

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*

Complejidad
Complejidad: es como una búsqueda en anchura por niveles. Hereda de ésta su carácter completo cuando el factor de ramificación es finito

Optimización: si todas las acciones tienen el mismo coste, también hereda la capacidad de encontrar soluciones óptimas

Complejidad

Nodos: $d \cdot b + (d - 1) \cdot b^2 + (d - 2) \cdot b^3 + \dots + 1 \cdot b^d$



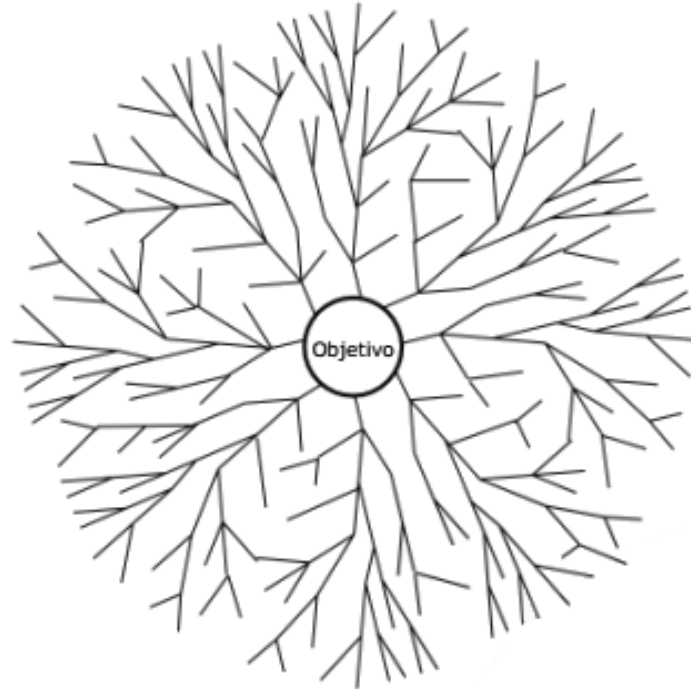
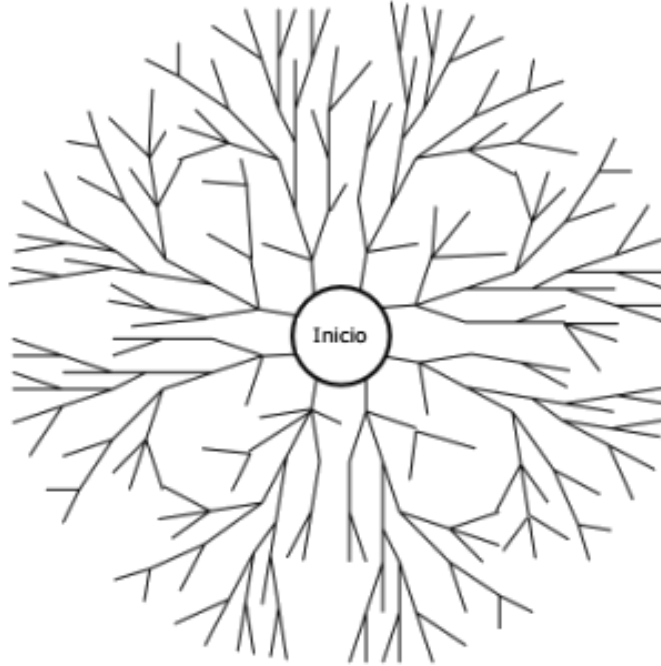
Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

BÚSQUEDA BIDIRECCIONAL

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



Alcaldía de Medellín



**El área de dos círculos pequeños es menor que
área de uno grande**

Tomado de: Centro de inteligencia artificial, Universidad de Oviedo.

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*

Se ejecutan dos búsquedas simultáneas: una hacia delante, desde el estado inicial y la otra hacia atrás, desde el objetivo

Se para cuando ambas búsquedas se encuentren: se comprueba que el nodo expandido de un árbol esté en la frontera del otro

La búsqueda hacia atrás puede plantear dificultades ya que no siempre es fácil calcular los nodos predecesores.

El caso más difícil se plantea cuando el test objetivo da únicamente una descripción implícita de algún conjunto (posiblemente grande) de estados objetivo

Su principal problema es que requiere mucho espacio

Tomado de: Centro de inteligencia artificial, Universidad de Oviedo.

Somos Innovación Tecnológica con

Sentido Humano



Si las búsquedas son primero en anchura

- Es completo
- Es óptimo para costes uniforme

Otras combinaciones en cuanto a los algoritmos de búsqueda utilizados pueden sacrificar la completitud, optimización o ambas



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad

¡Gracias!

Somos Innovación Tecnológica con *Sentido Humano*



Alcaldía de Medellín