



Universidad
Francisco de Vitoria
UFV Madrid

Ingeniería del Conocimiento

Tema 2: Representación mediante Espacio de Estados



- Ubicación
 - Unidad 2: **BUSQUEDA EN ESPACIO DE ESTADOS**
 - *Tema 2: Representación mediante Espacio de Estados*

- Objetivos generales
 - *Definir Espacio de Estados* y sus *componentes*. Estudiar su Complejidad
 - Comprender la importancia de la adecuada *representación de problemas* en espacio de estados
 - Desarrollar la *capacidad de representar* problemas simples empleando esta formulación
 - Acercamiento al concepto *búsqueda* mediante ejemplos
 - Distinguir los *distintos tipos de búsquedas* de la solución que podremos definir



1. Introducción
2. Problemas y resolución
3. Espacio de Estados
 1. Definición
 2. Búsqueda
4. Aplicación
5. Ejemplos



1. Introducción
2. Problemas y resolución
3. Espacio de Estados
 1. Definición
 2. Búsqueda
4. Aplicación
5. Ejemplos

1. Introducción

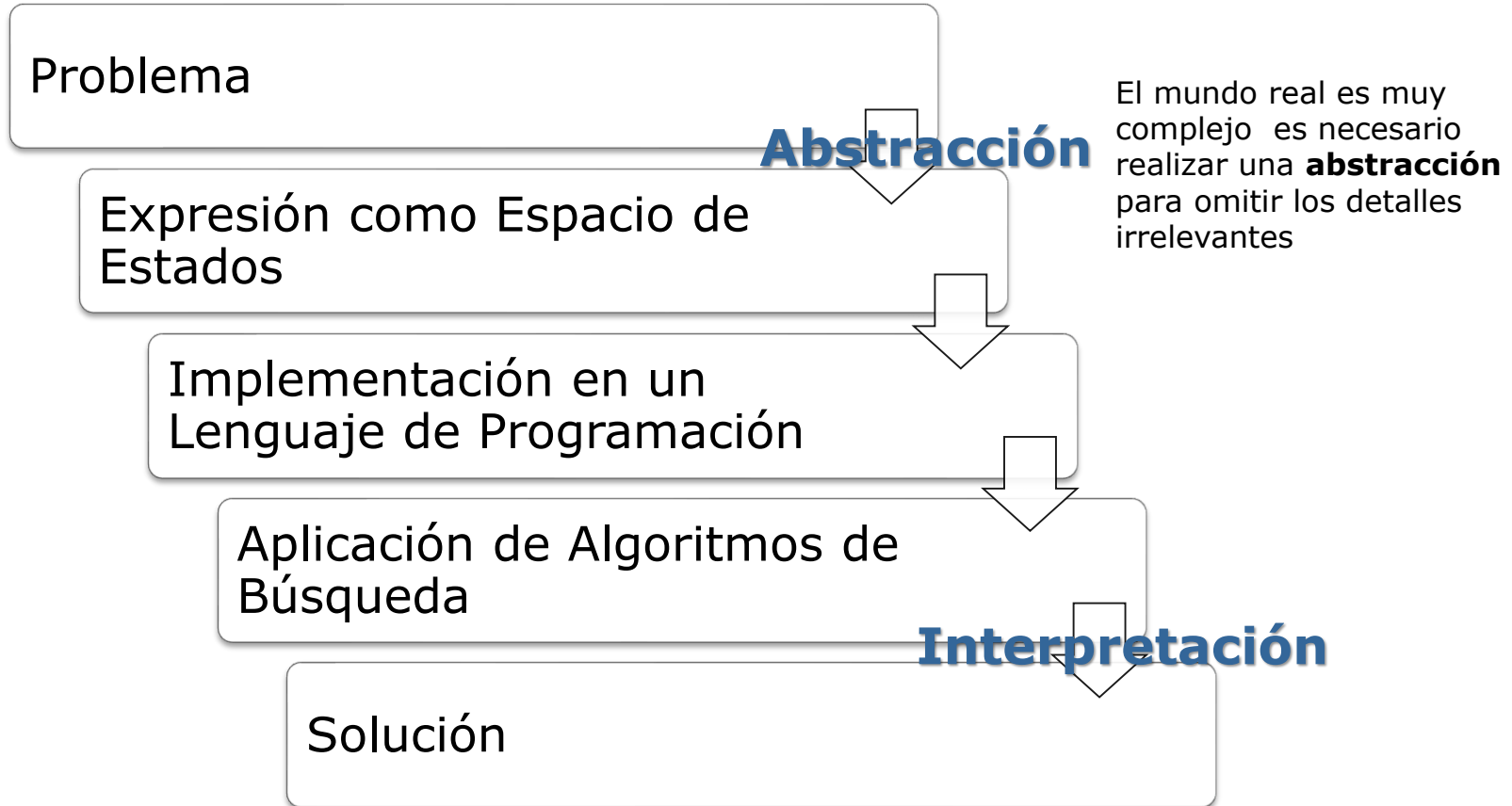


- Los dos elementos básicos para resolver un problema son
 - Representación del problema
 - Primer paso
 - Consiste en especificar el problema usando el paradigma del Espacio de Estados
 - Búsqueda de la solución
 - Buscar entre todos los estados posibles aquel que es solución al problema
 - Mediante una estrategia de búsqueda potente y eficiente
 - Es un mecanismo genérico
- **Ventaja:** se pueden aplicar procedimientos generales de búsqueda de soluciones *independientes* del problema



1. Introducción
2. Problemas y resolución
3. Espacio de Estados
 1. Definición
 2. Búsqueda
4. Aplicación
5. Ejemplos

2. Problemas y resolución



2. Problemas y resolución



- Tipos de problemas según el conocimiento (abstracción) del problema:
 - Si se conoce las acciones y el estado actual
 - Entorno determinista y accesible →
 - Problema de un solo estado inicial (*single-state*)
 - Si conoce las acciones pero no el estado actual
 - Entorno determinista e inaccesible →
 - Problema de conjuntos de estados iniciales (*multiple-state*)
 - Si el conocimiento sobre acciones y estado actual es incompleto
 - Entorno no determinista e inaccesible →
 - Problema de contingencia: Durante la resolución se calcula un árbol de acciones cuyas ramas tratan distintos casos
 - Si se desconoce completamente las acciones
 - Espacio de estados desconocido →
 - Problema de exploración: experimentar y descubrir información sobre acciones y estados



1. Introducción
2. Problemas y resolución
3. Espacio de Estados
 1. Definición
 2. Búsqueda
4. Aplicación
5. Ejemplos

3.1 Definición de Espacio de Estados



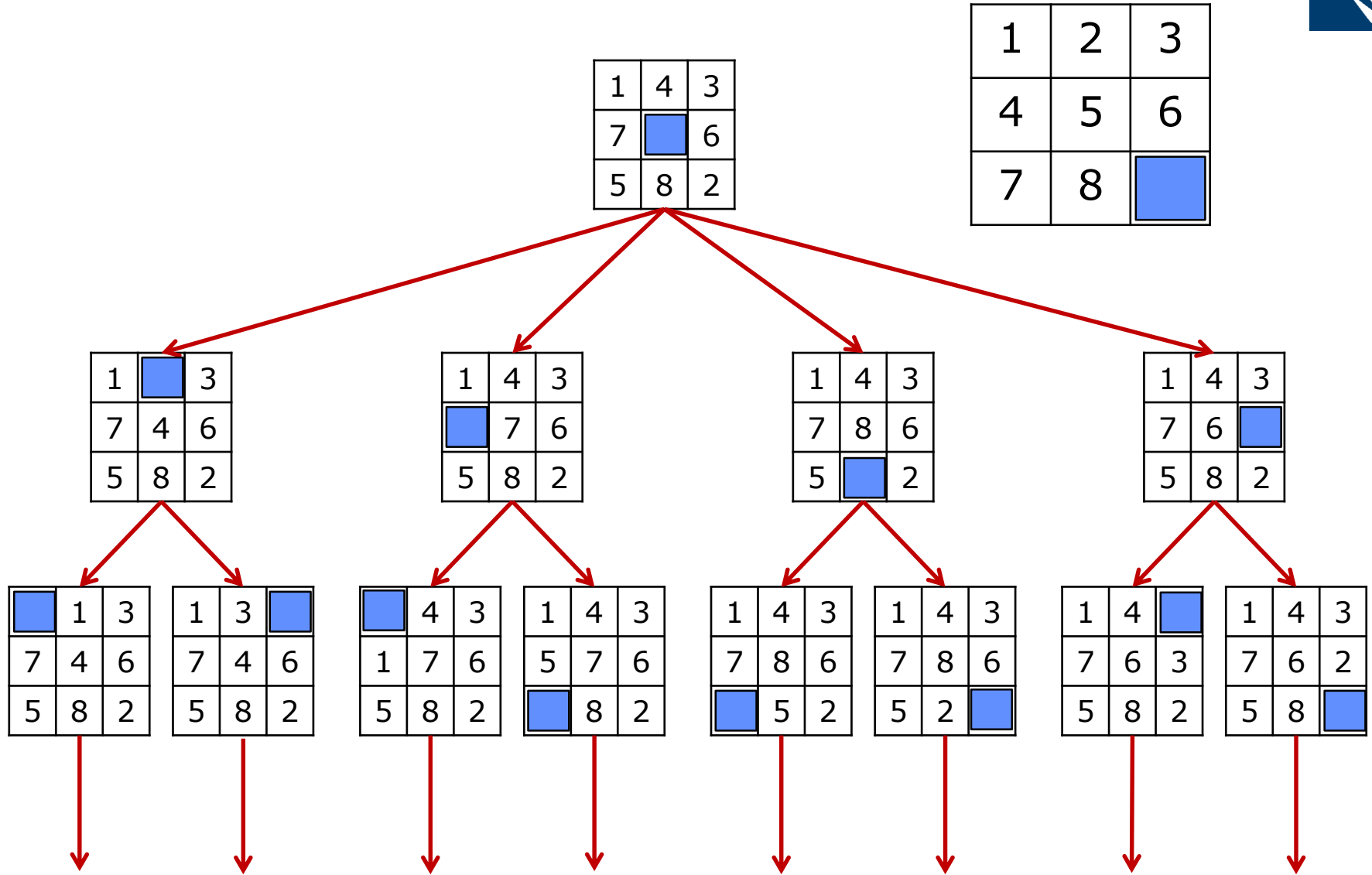
- *Espacio de Estados* de un problema: forma de representar un problema para facilitar su resolución.

Modelo matemático de un sistema físico consistente en un grafo en el que se representan todos y cada uno de los posibles estados en los que se puede encontrar el sistema y que debe de ser representable mediante un árbol

- *Especificar un problema como espacio de estados es describir cada de uno de los componentes de ese espacio (es decir, del grafo que lo representa)*



3.1 Definición de Espacio de Estados



3.1 Definición de Espacio de Estados



- **Grafo**: estructura de información compuesta de **Nodos** (*piezas de información*) + **Arcos** (*uniones entre ellos*)
 - Hojas: nodos sin descendientes (los últimos)
 - Camino: sucesión de nodos siguiendo los arcos
 - Ciclo: camino cerrado (bucle)

- **Árbol**:
 - Es un **grafo dirigido acíclico conexo**
 - *Grafo dirigido*: los arcos indican el sentido de la relación
 - *Grafo acíclico*: no tiene ciclos
 - *Grafo conexo*: entre dos nodos siempre hay un camino
 - En el que
 - Hay un único nodo raíz
 - Cada nodo tiene un único padre
 - Para cada nodo existe un único camino que lo conecta con el nodo raíz

3.1 Definición de Espacio de Estados



- Elementos del Espacio de Estados para problemas single-state

| Elemento | Pregunta |
|--|---|
| Conjunto de estados del problema | ¿Cuántos estados hay? ¿Cómo se representan? ¿Cuál es el <i>árbol</i> de estados? |
| Estado(s) inicial(es) | ¿cuál es la <i>situación inicial</i> de la que se parte? |
| Estado(s) final(es) o test de finalización | ¿cuál es el <i>objetivo final</i> ? |
| Conjunto de operadores permitidos para cambiar de estado | ¿Qué <i>acciones</i> se pueden llevar a cabo en cada momento para cambiar las situaciones y cómo cambian? |
| Función de coste de la solución $g(x)$ | ¿Cuánto <i>cuesta alcanzar</i> esa situación en concreto? Suma del coste de las <i>acciones del camino</i> desde el estado inicial hasta ese estado |

- Un camino es una *secuencia de operadores*.

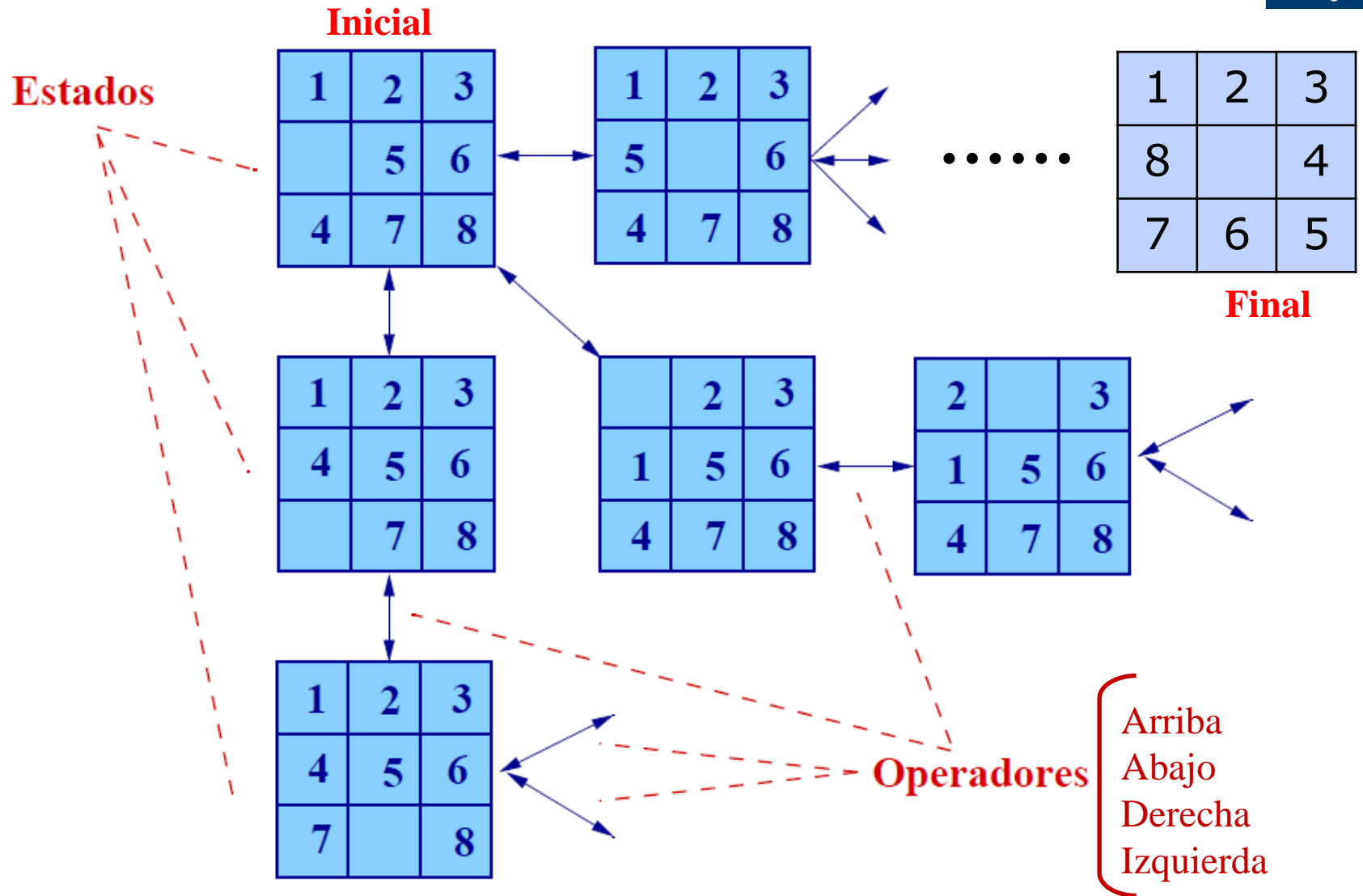
3.1 Definición de Espacio de Estados



1. Conjunto de Estados
 1. Abstracción
 2. Nivel Conceptual
 3. Nivel Lógico
 4. N° de Estados
2. Estado Inicial
3. Estado Final
4. Operadores
 1. Definición/Nombre
 2. Precondición
 3. Estado resultante
 4. Poscondición
 5. Precedencia
5. Coste
6. Grafo



3.1 Definición de Espacio de Estados



3.1 Definición de Espacio de Estados



- Representación de Estados
 - Abstracción de propiedades
 - Niveles de representación
 - *Nivel conceptual*: se especifican estados y operadores, sin hacer referencia a estructuras de datos o algoritmos que vayan a usarse
 - Descripción de todas las posibles situaciones en el problema
 - Hay descripciones válidas e inválidas (violán el enunciado) → no son estados
 - Enumeración de estados (solo los válidos)
 - Formas de describir los estados:
 - Enumerativa.
 - Declarativa.
 - *Nivel lógico*: se elige una estructura de datos para los estados y se determina el formato de codificación de los operadores
 - Importancia de una buena representación de los estados
 - Solo considerar información relevante para el problema
 - Representación suficiente y necesaria
 - La representación escogida influye en el número de estados y éste en los procedimientos de búsqueda de soluciones

3.1 Definición de Espacio de Estados



- Operadores:
 - Representan un conjunto finito de acciones básicas que transforman unos estados en otros
 - Elementos que describen un operador
 - Aplicabilidad: precondition y postcondición
 - Estado resultante de la aplicación de un operador (aplicable) a un estado
 - Hay estados válidos pero inalcanzables (espacios **no** conexos)
 - Criterio para elegir operadores.
 - Depende de la representación de los estados
 - Preferencia por representaciones con menor número de operadores (lo más generales y aplicables posible)
 - Ejemplo: en el 8-puzzle
 - 32 operadores si consideramos el movimiento de los bloques
 - 4 operadores si consideramos el movimiento del hueco

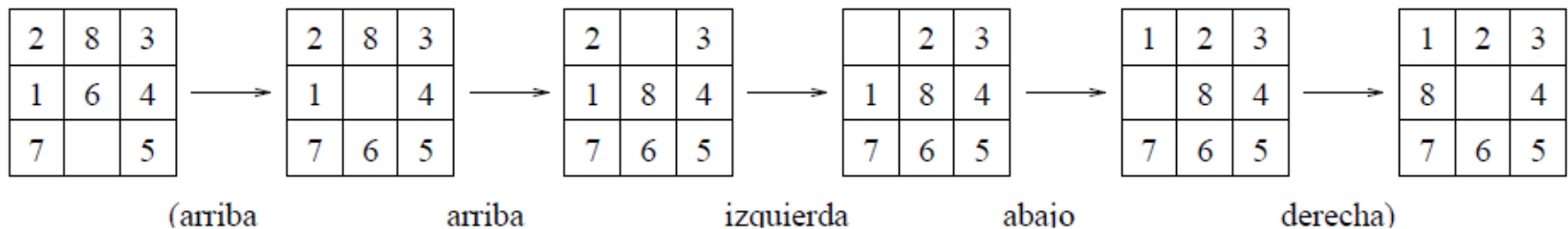


3.1 Definición de Espacio de Estados

- Solución

Resolución del problemas = búsqueda de la solución en el espacio de los posibles estados (grafo) en que se puede encontrar un problema

Una solución es un camino que conduce del estado inicial a un estado que satisface el test de objetivo



- Solución óptima: la que minimiza la función de coste

3.1 Definición de Espacio de Estados



| Dominio | Número de estados | Tiempo (10^7 nodos/s) |
|-------------------------------------|---|-------------------------------|
| 8-puzzle | $\left(\frac{N^2!}{2}\right)_{N=3} = 181,440$ | 0.01 segundos |
| 15-puzzle | $\left(\frac{N^2!}{2}\right)_{N=4} = 10^{13}$ | 11,5 días |
| 24-puzzle | $\left(\frac{N^2!}{2}\right)_{N=5} = 10^{25}$ | $31,7 \times 10^9$ años |
| Hanoi (3,2) | $(3^n)_{n=2} = 9$ | 9×10^{-7} segundos |
| Hanoi (3,4) | $(3^n)_{n=4} = 81$ | $8,1 \times 10^{-6}$ segundos |
| Hanoi (3,8) | $(3^n)_{n=8} = 6561$ | $6,5 \times 10^{-4}$ segundos |
| Hanoi (3,16) | $(3^n)_{n=16} = 4,3 \times 10^7$ | 4,3 segundos |
| Hanoi (3,24) | $(3^n)_{n=24} = 2,824 \times 10^{11}$ | 0,32 días |
| Cubo de Rubik $2 \times 2 \times 2$ | 10^6 | 0,1 segundos |
| Cubo de Rubik $3 \times 3 \times 3$ | $4,32 \times 10^{19}$ | 31.000 años |

3.2 Búsqueda en Espacio de Estados

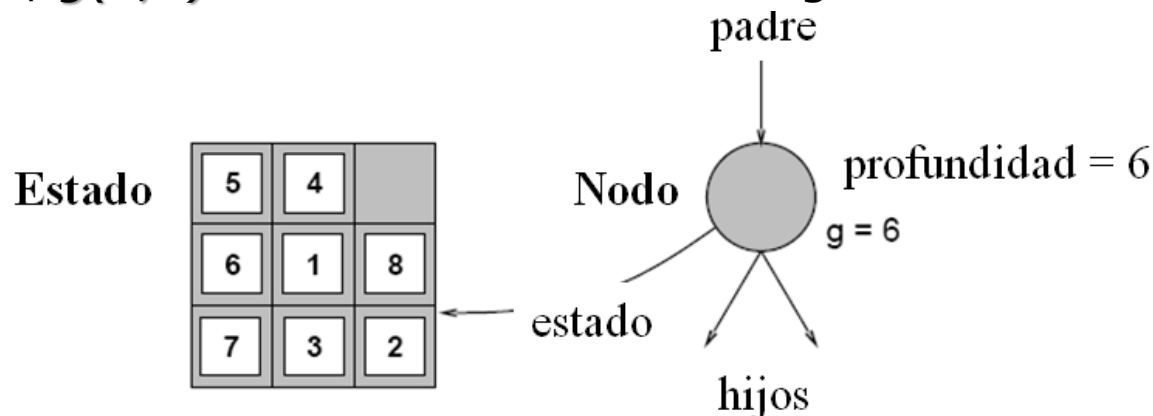


- La búsqueda es la **exploración simulada del grafo del espacio de estados por medio de la generación de sucesores de los estados ya explorados**
 - Genera un árbol de soluciones a partir del estado inicial del Espacio de Estados y los operadores que generan estados
 - El árbol generado depende del algoritmo de búsqueda utilizado
- **Nodo**: estructura de datos que forma parte de un árbol de búsqueda
 - Frontera: conjunto de nodos pendientes de expandir
- **Objetivo**: encontrar una secuencia de operadores que, partiendo del estado inicial, obtenga un estado final

3.2 Búsqueda en Espacio de Estados



- Parámetros de un nodo:
 - Estado: basta con poder diferenciarlo de otros
 - Padre: nodo del que es sucesor
 - Hijos: nodos sucesores
 - Acción: acción que nos llevó del padre a hijo
 - Factor de ramificación, b : número de sucesores de un nodo (propiedad del grafo de estados)
 - Profundidad del árbol de búsqueda, d : número de pasos desde el origen (propiedad del problema concreto a resolver)
 - Coste, $g(o,n)$: coste de ir desde el origen al nodo n ($\sum g_i$)



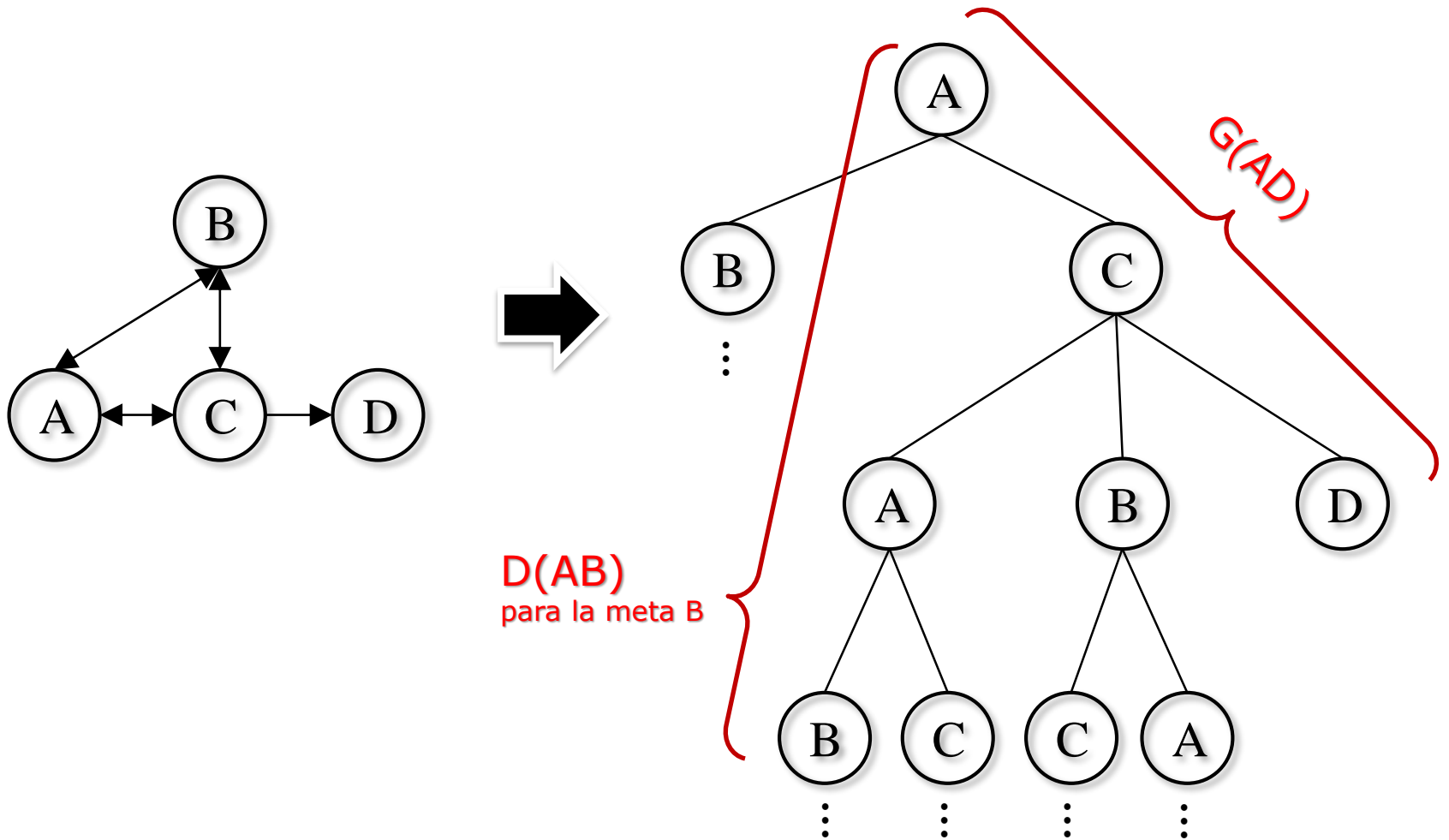
3.2 Búsqueda en Espacio de Estados



- El espacio de búsqueda (*árbol*) se construye incrementalmente sobre el espacio de estados (*grafo*)
- La elección del nodo a analizar en cada momento determina una *estrategia* de búsqueda
- Aunque el grafo sea finito, el árbol puede ser infinito (ciclos del grafo)
 - Nodos distintos del árbol pueden corresponderse con el mismo estado del espacio de estados



3.2 Búsqueda en Espacio de Estados



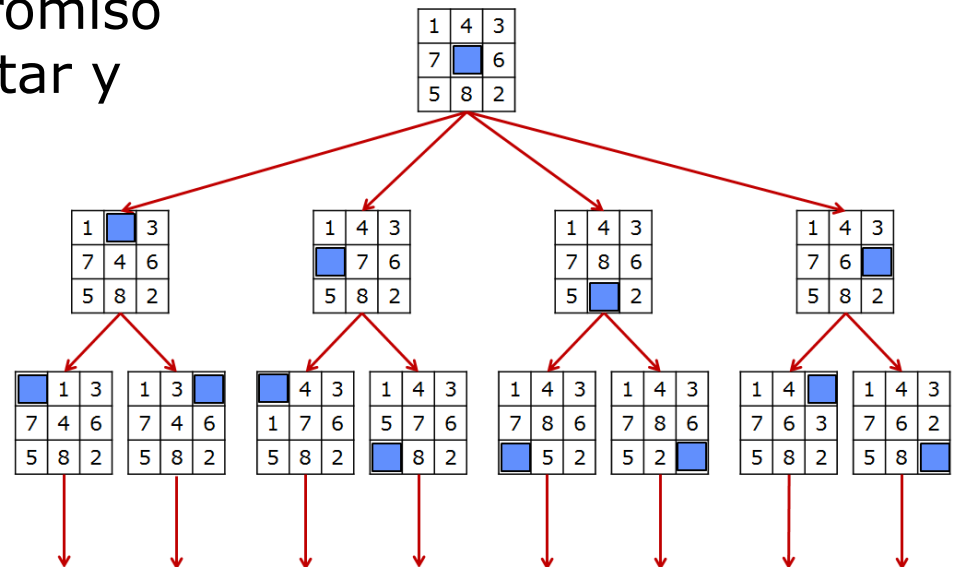


3.2 Búsqueda en Espacio de Estados

- Es imprescindible evitar la repetición de estados (ciclos del grafo) pero tiene un coste:
 - Evitar aplicación sucesiva de operadores inversos (barato)
 - Guardar o marcar estados del camino actual
 - Marcar todos los estados generados para evitar la repetición de cualquier estado (costoso)

- Hay que llegar a un compromiso entre lo que se intenta evitar y el coste de evitarlo

- Esto es un árbol (no un grafo) y ya está "optimizado"



3.2 Búsqueda en Espacio de Estados



- Los problemas
 - de un solo estado (*single-state*)
 - de conjuntos de estados (*multiple-state*)se pueden resolver mediante estrategias de
búsqueda no informada o ciega
(no hay información adicional disponible)

- El resto de problemas **y** los problemas
 - *single-state*
 - *multiple-state*demasiado complejos (con espacios de estados imposibles)
requieren del uso de
búsqueda informada o heurística
(las heurísticas ayudan a disminuir la complejidad del problema)



1. Introducción
2. Problemas y resolución
3. Espacio de Estados
 1. Definición
 2. Búsqueda
4. Aplicación
5. Ejemplos

4. Aplicación



- Tipos de problemas:
 - Determinar si existe solución y encontrar un estado final.
 - Buscar cualquier solución lo más rápidamente posible.
 - Buscar todas las soluciones.
 - Buscar la solución más corta.
 - Buscar la solución menos costosa.

4. Aplicación



- Casos reales
 - Buscar rutas
 - Redes de ordenadores
 - Sistemas automáticos de guiado en viajes
 - Planificación de viajes
 - Problema del viajante: cada ciudad exactamente una vez
 - Diseño del layout de VLSI
 - Navegación de Robots
 - Aplicaciones espaciales (Curiosity, etc.)
 - Videojuegos
 - Ensamblaje automático: el orden importa, búsqueda geométrica difícil
 - Diseño de proteínas: plegado en 3D de fragmentos
 - Búsqueda en internet: respuestas, precios, ...



1. Introducción
2. Problemas y resolución
3. Espacio de Estados
 1. Definición
 2. Búsqueda
4. Aplicación
5. Ejemplos