



Universidad
Francisco de Vitoria
UFV Madrid

Ingeniería del Conocimiento

Tema 2: **Representación mediante Espacio de Estados**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Departamento de Ingeniería Informática

Alvaro José García Tejedor

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Curso 2018/19

Objetivos del tema



- 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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



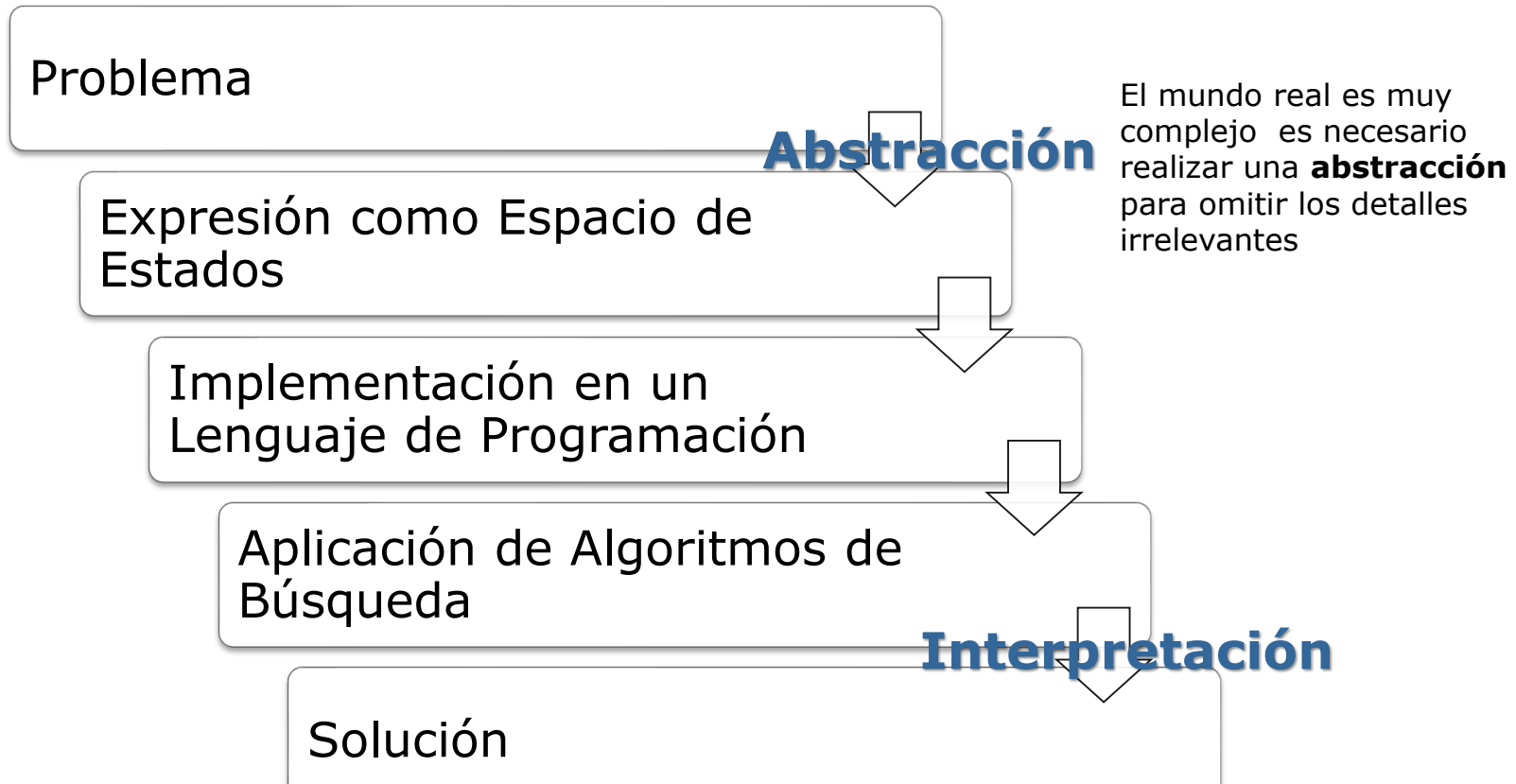
1. Introducción
2. Problemas y resolución
3. Espacio de Estados
 1. Definición
 2. Búsqueda
4. Aplicación
5. Ejemplos

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

2. Problemas y resolución



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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)*

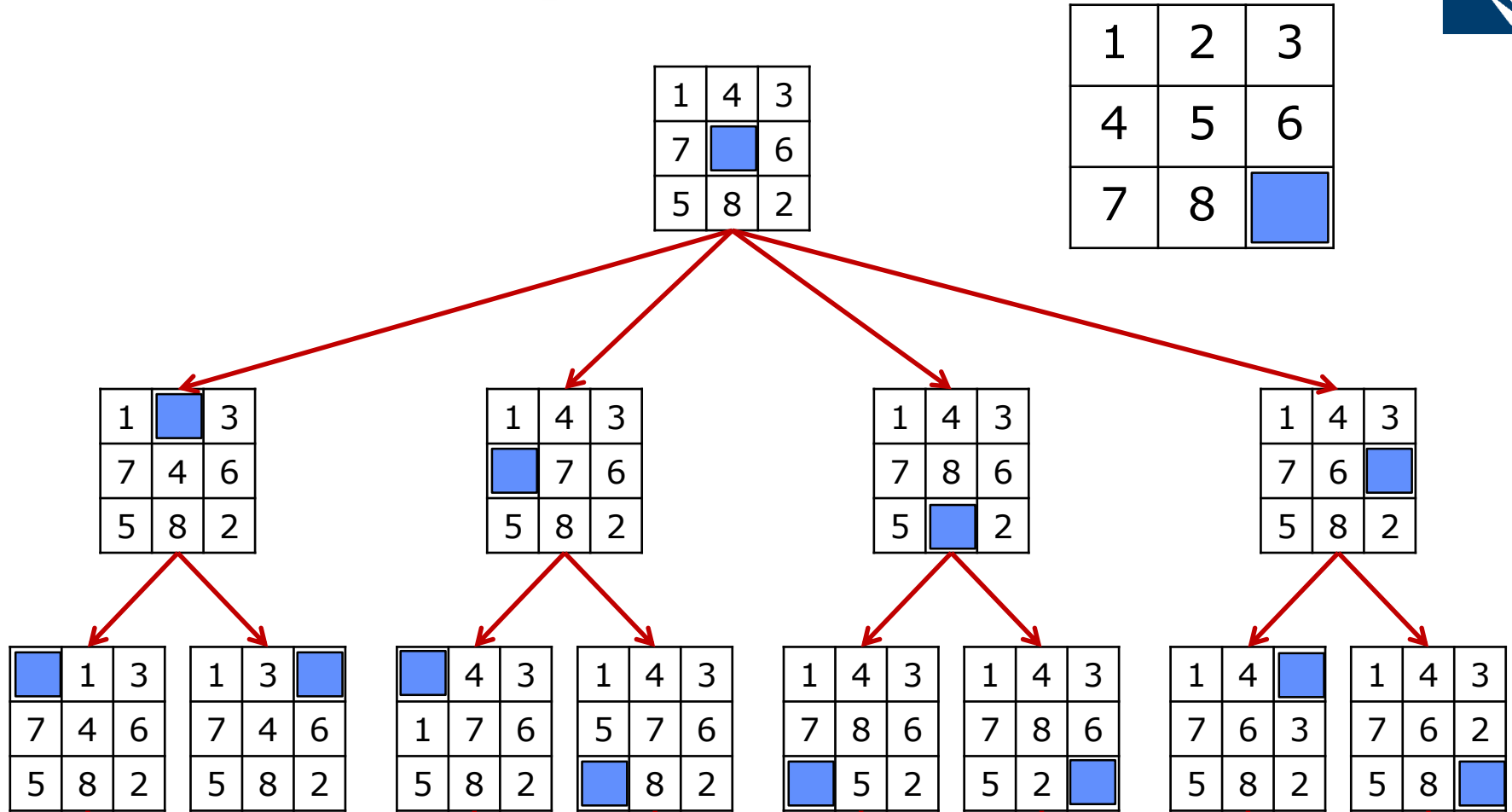
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



3.1 Definición de Espacio de Estados



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



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

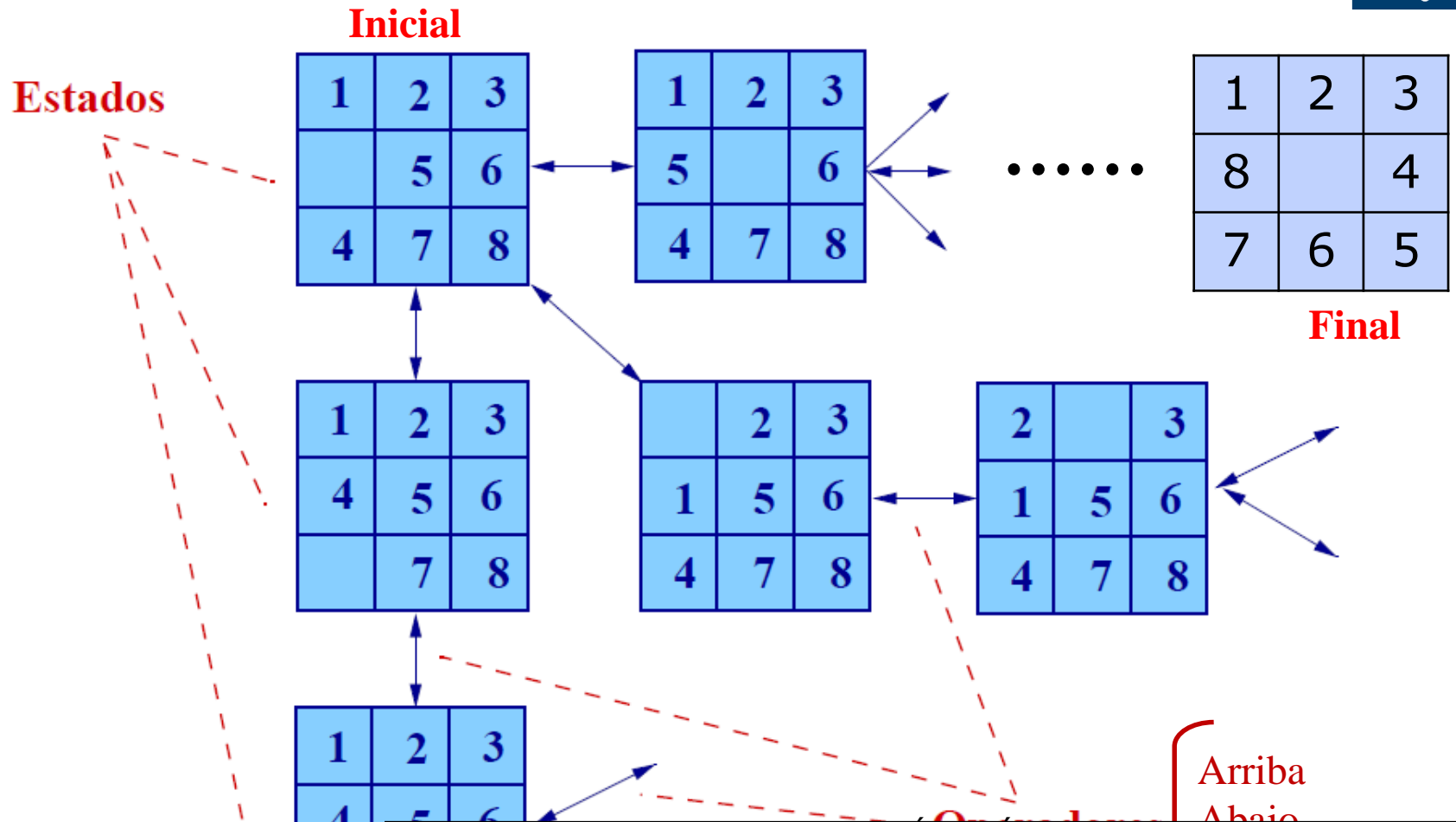
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



3.1 Definición de Espacio de Estados



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



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)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

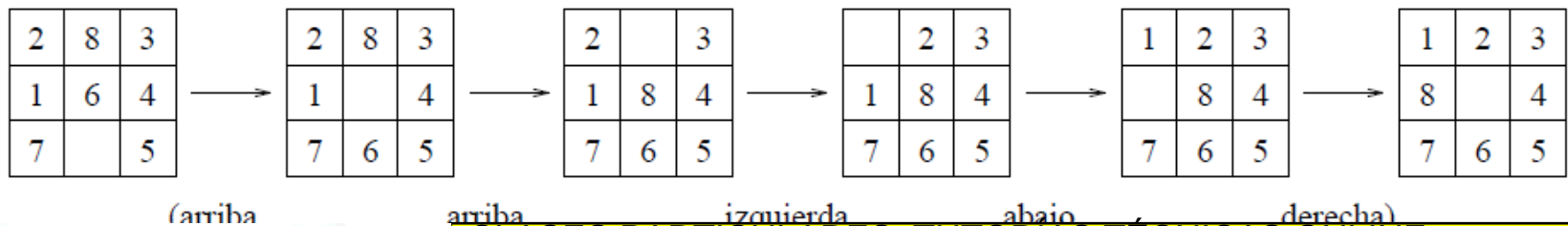


3.1 Definición de Espacio de Estados

- 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



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



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,

Cartagena99

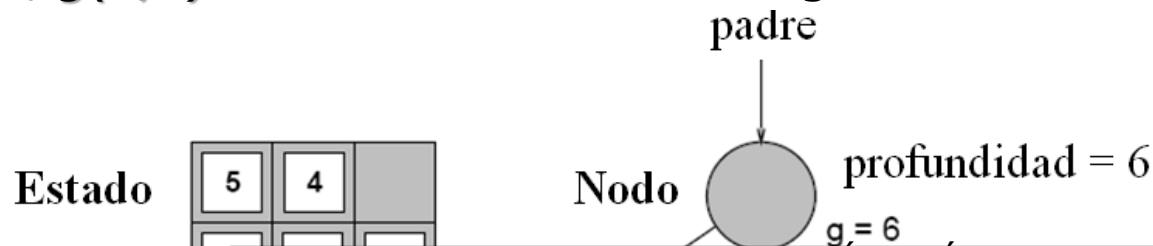
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



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 ($\sum g_i$)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



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

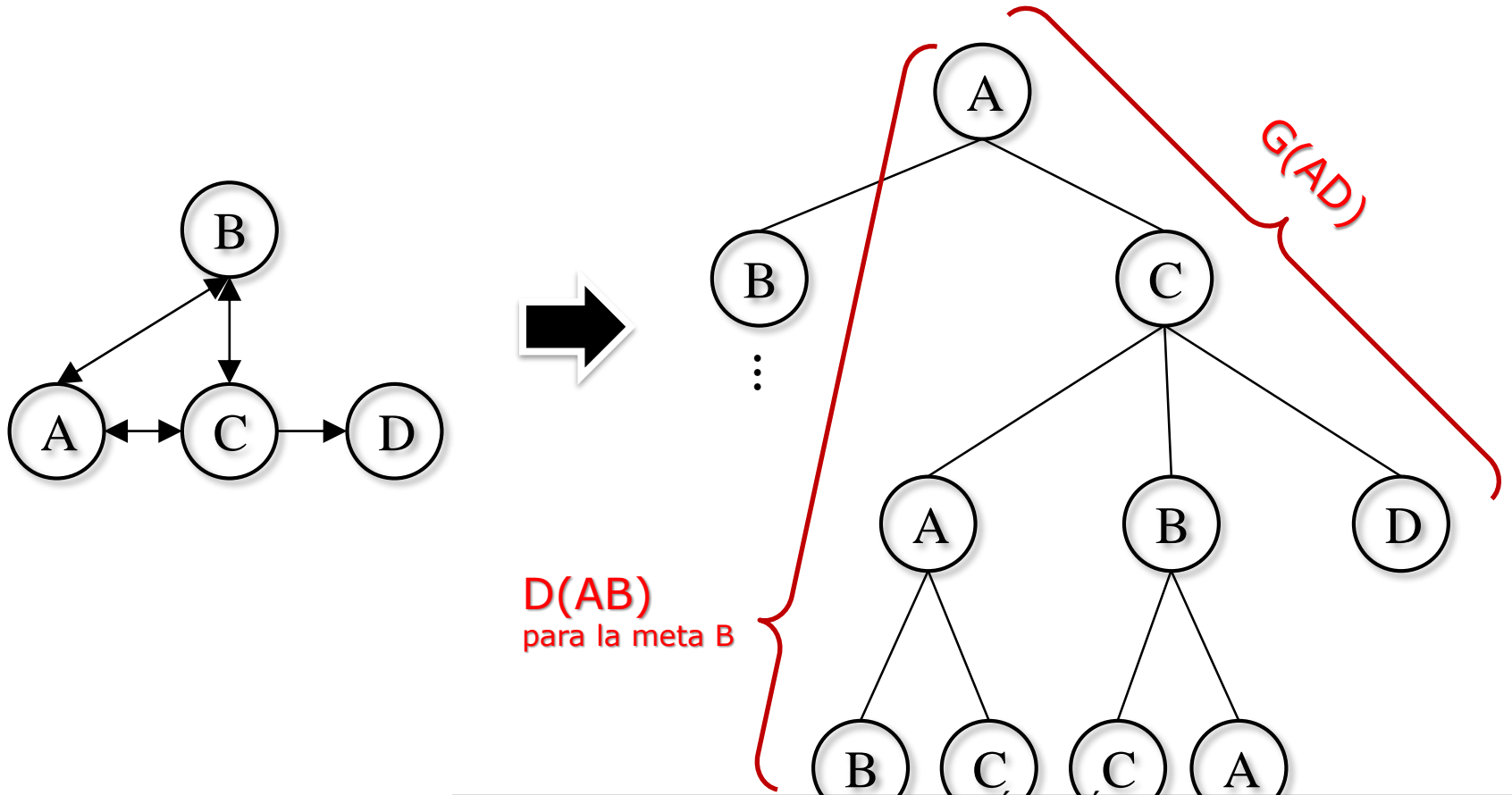
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



3.2 Búsqueda en Espacio de Estados



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

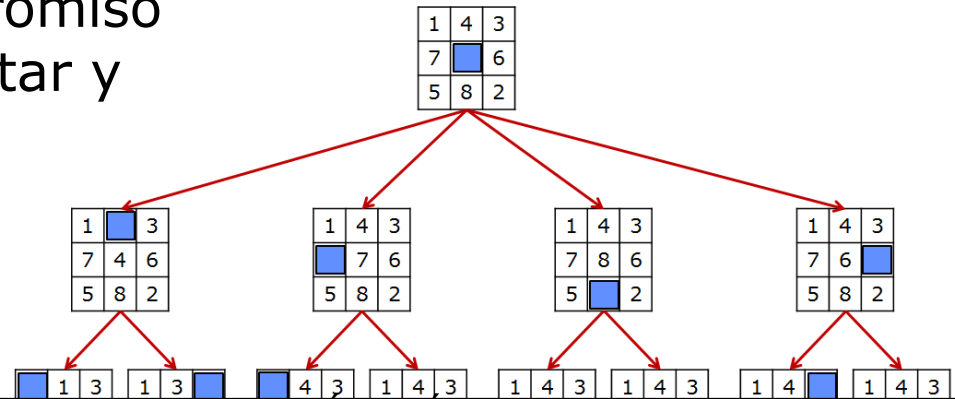


3.2 Búsqueda en Espacio de Estados

- 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



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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, ...

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70