

1. Representación de problemas según el espacio de estados

- ☐ El 8-puzzle
- ☐ Los misioneros
- ☐ El granjero, el lobo, la col y la cabra
- ☐ Las garrafas

2. Resolución de problemas con Estrategias de búsqueda

- ☐ Métodos no informados o ciegos
- ☐ Métodos informados o heurísticos

1. Espacio de Estados: Conceptos básicos

- ☐ Dado un problema, necesito **representarlo** en el ordenador usando:
 - ☐ **Estado**: situación actual, conjunto de todas las características relevantes
 - ☐ Ajedrez: situación de las piezas en el tablero
 - ☐ Ruta de tráfico: densidad de tráfico en cada calle de la ciudad
- ☐ Cómo evoluciona un problema hasta llegar a la solución:
 - ☐ Con las acciones válidas (**movimientos** usando **operadores**)
 - ☐ Ajedrez: muevo una pieza
 - ☐ Ruta tráfico: escojo ir por una calle
 - ☐ Qué ha cambiado: otra situación diferente (otro **estado**)
 - ☐ Ajedrez: otra situación de las piezas
 - ☐ Ruta de Tráfico: he avanzado por esa calle, estoy en otro lugar
- ☐ **Espacio de Estados**: El conjunto de todas las situaciones posibles
- ☐ **Solución**: un estado o el camino para llegar a él
- ☐ Llegar a las **solución** depende de qué movimientos haga yo:
 - ☐ Qué **Estrategia de Búsqueda** utilizo

Cómo definir el Estado en un problema

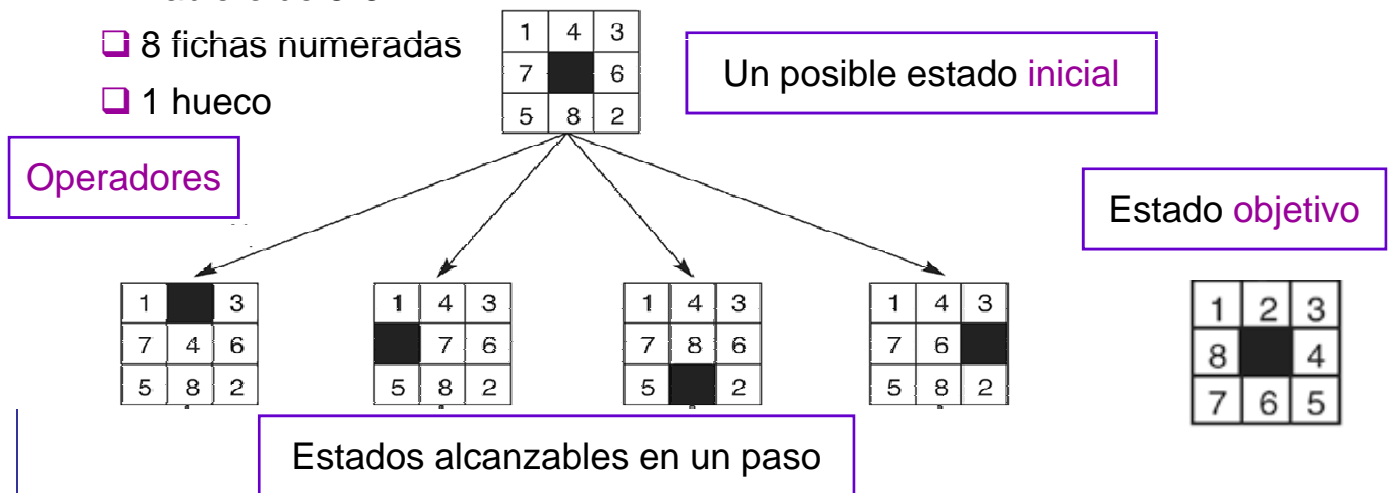
- ❑ Características relevantes. Sí pero...cuáles lo son?
 - ❑ Cuando cambia algo en el estado del problema: qué influye?
- ❑ Donde termina un estado y empieza el siguiente?
 - ❑ EJ: Trayectoria de una nave desde la tierra a Marte
 - ❑ Un estado es una **foto** en un instante hecha cada cierto intervalo de tiempo
 - ❑ Se hace una estimación aproximada de la localización
- ❑ Qué pasa si cambian varias cosas a la vez?
 - ❑ EJ: Jugando al tenis: dos jugadores se mueven a la vez !!
 - ❑ Infinitos estados, cambios continuos sin pausa
 - ❑ Localización aproximada, tiempo continuo pasa a "cortado" en instantes
 - ❑ EJ: Jugando al fútbol: mucha más complejidad
- ❑ Qué pasa si desconocemos partes relevantes del problema?
 - ❑ Aproximaciones, estimaciones de otros problemas conocidos
 - ❑ Heurísticas
 - ❑ Ignorarlas: la búsqueda funcionará peor o no encontrará solución

Convenio de representación: Elementos y Pasos

1. Definir componentes de un estado: `estado(...)`
 2. Estado inicial `inicial(Estado)`
Estados objetivos `objetivo(Estado) :- condicionesObjetivo.`
Estados de peligro `peligro(Estado) :- CondiciónPeligro.`
 3. Operadores (o función sucesor o movimiento):
 - ❑ Acciones disponibles para pasar de un estado al siguiente:
`movimiento(Estado, EstadoSig, CosteOper, NombreOper) :-`
Especificación (formada por precondiciones, acciones y por
`\+peligro(EstadoSig) ... evitar estados de peligro`)
 4. Coste del operador : representa el esfuerzo de aplicar dicho operador una vez
 5. Función de coste de la solución *suma coste operadores aplicados*
 6. Solución: camino desde el estado inicial a un estado objetivo
 - ❑ Pueden haber soluciones (caminos) de diferentes costes
- **ver documento** : `convenioEspacioEstados.PDF`

Ejemplo del 8-puzzle

- ❑ Definición de Espacio de estados
 - ❑ Grafo dirigido: vértices-estados, arcos-acciones
 - ❑ Estados alcanzables desde el estado inicial
 - ❑ Definido implícitamente por el estado inicial y los operadores
- ❑ Simplificación del 15-puzzle
 - ❑ Tablero de 3*3
 - ❑ 8 fichas numeradas
 - ❑ 1 hueco



Representar Espacio de Estados: Abstracción adecuada

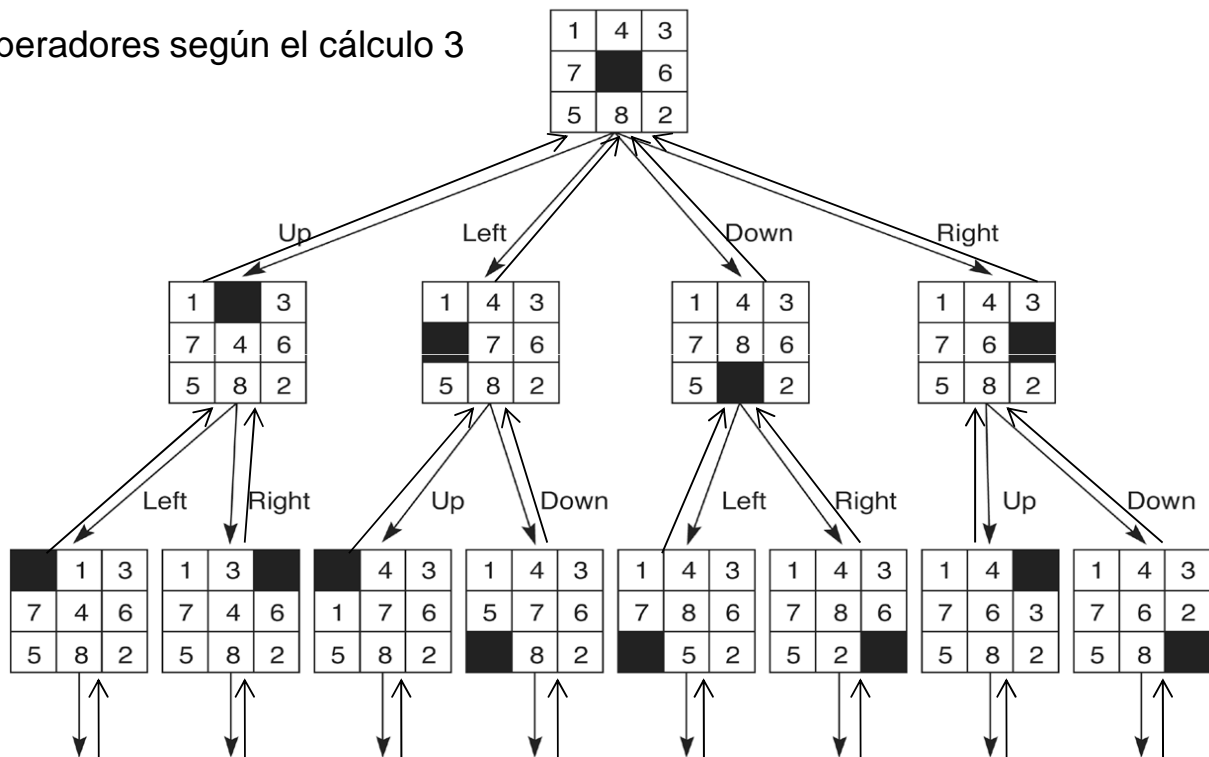
- ❑ Se representa un problema mediante abstracción
 - ❑ Eliminar detalles irrelevantes en la representación
- ❑ Una representación puede simplificar o complicar
 - ❑ La resolución del problema
- ❑ EJ: Representación del problema del 8-puzzle → (es buena?)
 - ❑ El estado no debe incluir:
 - ❑ el material o el color del tablero (irrelevante)
 - ❑ Estados: localización de cada ficha (y hueco)
 - ❑ en cada una de las 9 casillas
 - ❑ Estado inicial: puede ser cualquiera
 - ❑ Coste de operadores:
 - ❑ cada operador tiene coste 1 (asumido para este ejemplo)
 - ❑ Coste del camino: suma de aplicar operadores = número de pasos dados

Espacio de E.: Elección de abstracción para Representación

- ❑ Estados y operadores “cooperan” para la resolución del problema
 - ❑ Su representación debe ser compatible
- ❑ Los operadores deben ser
 - ❑ Tan **generales** como sea posible: parametrizarlos
 - ❑ reducir el número de (operadores) reglas distintas.
 - ❑ **Deterministas**: aplicados al mismo estado dan siempre el mismo resultado
- ❑ Ejemplo del Puzzle, tres modos de definir operadores
 1. $9! \cdot 4$ operadores: uno por estado y movto -- muy específicos
hay $9!$ estados y cada uno sus estados sucesores (máximo 4)
 2. $8 \cdot 4$ operadores: uno por **ficha** (hay 8) y --preferible pero puede mejorarse
movto (arriba, abajo, derecha o izquierda)
 3. 4 operadores que mueven el **hueco** arriba, abajo, derecha o izquierda
parametrizado (i, j) que indica donde está el hueco

Fragmento del espacio de estados del 8-puzzle

Operadores según el cálculo 3



Espacio de Estados: Niveles de representación

❑ Descripción de la Representación:

- ❑ Especifican estados y operadores a nivel conocimiento
- ❑ con diagramas o texto

❑ Implementación de la Representación:

- ❑ Define estados mediante una estructura de datos
- ❑ Define operadores en un lenguaje formal
- ❑ Implementación de estados y operadores en un lenguaje de programación

❑ Ejemplo: Representación de los estados del 8-puzzle

❑ Descripción

- ❑ Estados: localización de cada ficha y del hueco en cada una de las 9 casillas

❑ Implementación: Muchas opciones

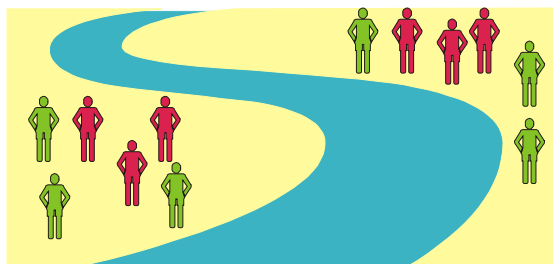
- ❑ matriz 3*3,
- ❑ vector de longitud 9,
- ❑ conjunto de hechos {(superior_izda = 3), (superior_centro = 8), ...}

Ejemplo: los misioneros y los caníbales

❑ Enunciado

(H1EJ3)

- ❑ 3 misioneros y 3 caníbales en la orilla de un río junto con 1 bote
- ❑ El objetivo es que pasen todos a la otra orilla
- ❑ Hay dos restricciones
 - ❑ Deben cruzar usando el bote en el que sólo pueden ir 1 o 2 personas
 - ❑ En ninguna de las orillas puede haber más caníbales que misioneros



- ❑ Representar el problema según el paradigma del espacio de estados y dibujar el espacio de estados

Ejemplo: los misioneros y los caníbales

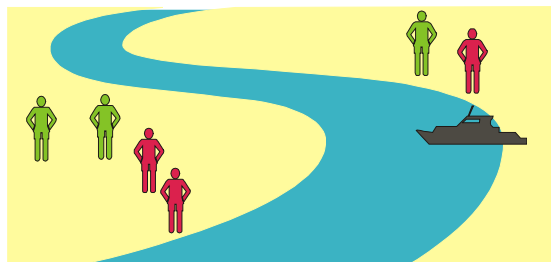
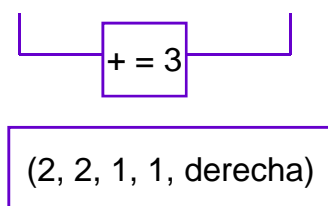
-- A --

Descripción de la Representación

- Es necesario abstraer y dejar fuera características irrelevantes como: intentar identificar a las personas concretas $M1, M2, M3, C1, C2, C3$
- 7 "personajes" → ¿guardamos la posición de todos?
- Estado = nº de misioneros, caníbales y bote en cada orilla

Posibilidades para representar el estado

- $(M1, M2, M3, C1, C2, C3, B)$
- $(NM_OI, NC_OI, NM_OD, NC_OD, B)$



Ejemplo: los misioneros y los caníbales

-- B --

Descripción de la Representación

PASO 1: definir el estado

- Estado** = nº de misioneros, caníbales y bote en la orilla de partida
- Acordamos que la orilla inicial sea el margen izquierdo del río
- Se asume: cruce del río instantáneo (irrelevante el tiempo)
- Estado = (NM, NC, B)
 - NM es el número de misioneros en la orilla izquierda (0, 1, 2 o 3)
 - NC es el número de caníbales en la orilla izquierda (0, 1, 2 o 3)
 - B es la posición del bote (0= dcha ó 1 = izq)

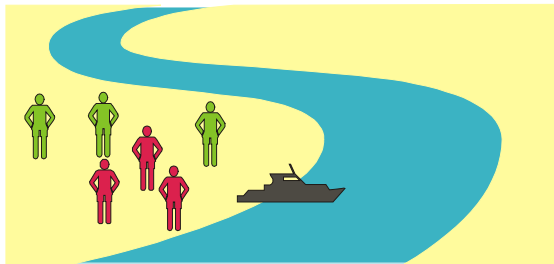
El sitio donde está el bote es fundamental para los viajes

- Determina si son o no aplicables ciertos operadores
 - $(2, 1, 0) \neq (2, 1, 1)$

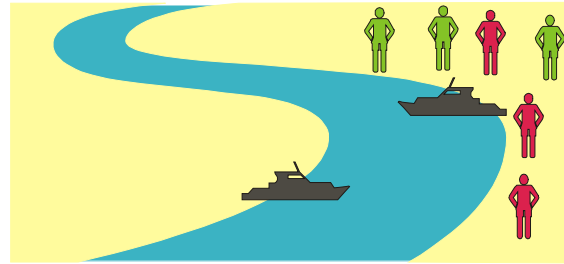
Ejemplo: los misioneros y los caníbales

-- B --

PASO 2: definir estados inicial y objetivo

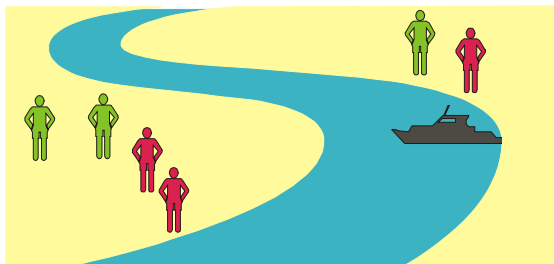


Estado inicial (3, 3, 1)



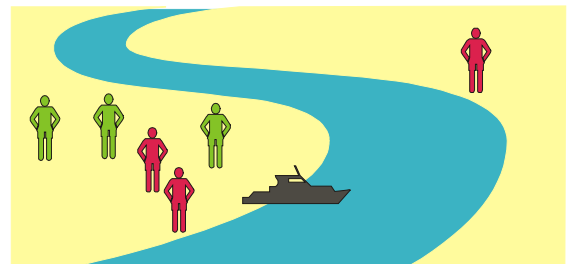
Estado objetivo (0, 0, 0)

(0, 0, 1) no es posible



(2, 2, 0)

Estados intermedios no peligrosos



(3, 2, 1)

Ejemplo: los misioneros y los caníbales

-- B --

- ❑ **Operadores** ¿Qué determina un cambio de estado? (PASO 3)
- ❑ Hay 5: el bote siempre cruza el río junto a 1 o 2 personas
 - ❑ 1 misionero: M
 - ❑ 2 misioneros: MM
 - ❑ 1 caníbal: C
 - ❑ 2 caníbales: CC
 - ❑ 1 misionero y 1 caníbal: MC
- ❑ Especificación de operadores (por ahora asumo coste operador = 1)
 - ❑ El sitio donde está el bote es fundamental
 - ❑ P.ej., no podría cruzar ningún misionero en los estados $(0, _, 1)$ y $(3, _, 0)$
 - ❑ $cruzaM(NM, NC, B)$
 - ❑ Precondiciones: $\{ (NM > 0 \wedge B = 1) \vee (NM < 3 \wedge B = 0) \}$
 - ❑ Acciones: $si\ B = 1\ entonces\ NM := NM - 1 \wedge B := 0 \rightarrow (NM - 1, NC, 0)$
 $si\ B = 0\ entonces\ NM := NM + 1 \wedge B := 1 \rightarrow (NM + 1, NC, 1)$
- ❑ Función de coste de camino = número de veces que se cruza el río

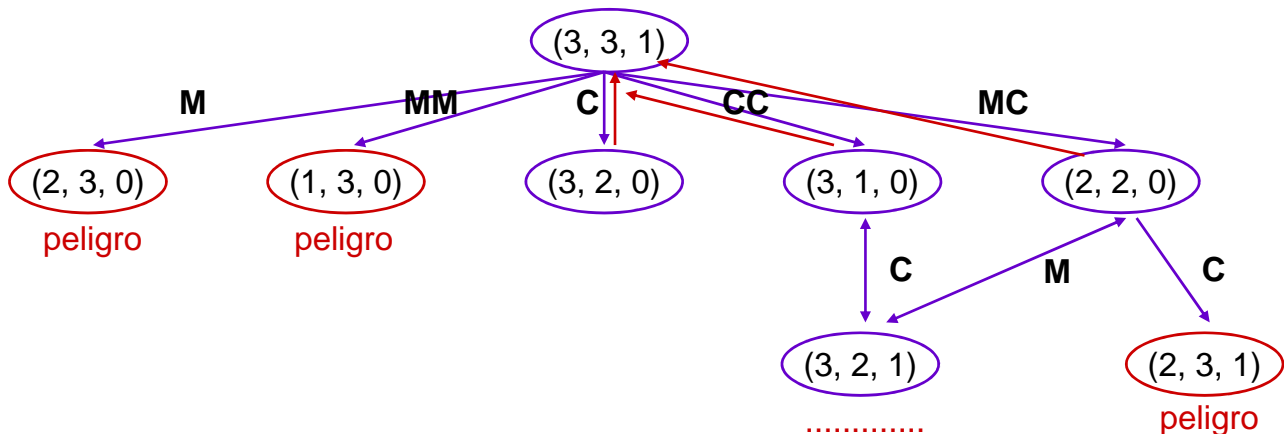
- ❑ **Situaciones de peligro** ¿en bote? ¿en orillas? (PASO 2 , cont.)
- ❑ En el bote no hay peligro (por viajar un máximo de 2 personas en él)
 - ❑ Si el máximo fuese 3 o 4, sí habría peligro (y sería otro problema)
 - ❑ Hay que comprobar la condición de peligrosidad en las orillas (en estados)
- ❑ Estudio de la peligrosidad de un estado (NM , NC , B)
 - ❑ $(3, 3, 1)$ y $(2, 2, 0)$ no son estados peligrosos
 - ❑ $(1, 2, 0)$ y $(2, 3, 0)$ son ejemplos de estados peligrosos
 - ❑ ¿Bastará $NM < NC$ como condición de peligrosidad?
 - ❑ En $(2, 1, 0)$ ¿no hay peligro?
 - ❑ ¡En la orilla derecha hay 1 misionero con 2 caníbales!
 - ❑ En $(0, 2, 1)$ ¿hay peligro?
 - ❑ ¡Si no hay misioneros no hay peligro!
- ❑ Condición de peligrosidad
 - ❑ $(NM < NC \wedge NM \neq 0) \vee (NM > NC \wedge NM \neq 3)$

- ❑ **Espacio de estados** (cálculo del tamaño)
- ❑ En principio, habría $4*4*2 = 32$ estados posibles (NM , NC , B)
 - ❑ Hay 4 **estados inalcanzables** (por lo tanto, hay 28 **estados alcanzables**)
 - ❑ Obvios como $(0, 0, 1)$ y $(3, 3, 0)$
 - ❑ Y no tan obvios como $(3, 0, 1)$ y $(0, 3, 0)$
 - ❑ Hay 12 **estados de peligro**
 - ❑ $(1, 2, _)$, $(2, 3, _)$, $(1, 3, _)$, $(2, 1, _)$, $(2, 0, _)$, $(1, 0, _)$
 - ❑ Hay 16 **estados alcanzables seguros**
- ❑ Por lo tanto, el espacio de estados se compone de $12+16 = 28$ estados
- ❑ A veces la condición de peligrosidad aparece dentro del operador
 - ❑ Supone no generar los estados de peligro al aplicar un operador
 - ❑ En ese caso, el espacio de estados estaría compuesto por 16 estados
- ❑ Nosotros la especificaremos aparte en la mayoría de las ocasiones
 - ❑ Impone condiciones sobre el nuevo estado y no sobre el estado actual

Ejemplo: los misioneros y los caníbales

-- B --

□ Espacio de estados



□ Desarrollad vosotros el resto del espacio de estados

□ A partir del estado $(3, 2, 1)$

□ Grafo dirigido con ciclos

□ Estados de peligro:

□ No se resuelve el problema, por lo que no se sigue por ahí

peligro

Ejemplo: los misioneros y los caníbales

-- B --

□ Implementación en Prolog

□ Estado inicial con predicado *inicial/1*

`inicial(estado(3, 3, 1)).`

□ Estado objetivo con predicado *objetivo/1*

`objetivo(estado(0, 0, 0)).`

□ Condición de peligrosidad con predicado *peligro/1*

`peligro(estado(NM, NC, _)) :-`

`(NM < NC, NM \= 0) ; (NM > NC, NM \= 3).`

□ Operadores con predicado *movimiento/4*

`movimiento(estado(NM, NC, B), estado(NNM, NC, NB), 1, cruzaM) :-`

`((NM > 0, B = 1) ; (NM < 3, B = 0)),`

`((B = 1) -> (NNM is NM-1) ; (NNM is NM+1)),`

`opuesta(B, NB), \+(peligro(estado(NNM, NC, NB))).`

Representación: pensar en estados y operadores

- ❑ La representación de los estados afecta
 - ❑ La facilidad/dificultad de la especificación de operadores
 - ❑ Y a la complejidad para resolver el problema
- ❑ Ejemplo de los misioneros
 - ❑ $(M1, M2, M3, C1, C2, C3, B)$
 - ❑ $cruzaM1(M1, M2, M3, C1, C2, C3, B)$
 - ❑ Precondiciones: $\{M1 = B\}$
 - ❑ Acciones: $si\ B = izquierda\ entonces\ M1 := derecha \wedge B := derecha$
 $si\ B = derecha\ entonces\ M1 := izquierda \wedge B := izquierda$
 - ❑ Habría que especificar 21 operadores
 - ❑ 3 para cruzar a un misionero
 - ❑ 3 para cruzar a un caníbal
 - ❑ 3 para cruzar a dos misioneros
 - ❑ 3 para cruzar a dos caníbales
 - ❑ 9 para cruzar a un caníbal y a un misionero
 - ❑ $(NM_OI, NC_OI, NM_OD, NC_OD, B)$
 - ❑ La información redundante supone hacer cambios en más componentes

Representación: pensar en estados y operadores

- ❑ Ejemplo del 8-puzzle: posibilidades para los operadores
 - ❑ Centrarse en los **estados** era planteable (1 operador / 1 estado)
 - ❑ $9! \cdot 4 = 1.451.520$ operadores
 - ❑ Centrarse en **la ficha a mover** era factible
 - ❑ $8 \cdot 4$ operadores
 - ❑ Puede **parametrizarse** la especificación de los operadores
 - ❑ Dependiendo de cómo se haga la representación de estados
 - ❑ Debe facilitar localizar y cambiar cuál es la posición de una ficha concreta
 - ❑ $izquierda(Ficha), derecha(Ficha), arriba(Ficha), abajo(Ficha)$
 - ❑ Aunque así sea más fácil, seguirían saliendo 32 operadores
 - ❑ Centrarse **en el hueco** (la mejor opción)
 - ❑ Salían 4 operadores



☐ Test japonés

- ☐ Todo el mundo tiene que cruzar el río
- ☐ Sólo 2 personas pueden cruzar a la vez
- ☐ El padre no puede permanecer con ninguna de sus hijas sin que esté presente la madre
- ☐ La madre no puede permanecer con ninguno de sus hijos sin que esté presente el padre
- ☐ El ladrón no puede permanecer con ningún miembro de la familia sin que esté presente el policía
- ☐ Sólo saben manejar la balsa la madre, el padre y el policía: sin uno de ellos a bordo, la balsa no se mueve

☐ Aplicación: para empezar haz clic sobre el círculo azul

- ☐ Para mover las personas haz clic sobre ellos
- ☐ Para que la balsa cruce el río, haz clic sobre la pala del otro lado

Ejercicio: las garrafas de 4 y 3 litros

□ Enunciado

- 2 garrafas vacías con capacidades de 4 y 3 litros, respectivamente
- Objetivo: la garrafa de 4 litros ha de contener exactamente 2 litros
- Medios: grifo para rellenarlas y posibilidad de trasvasar líquido de una garrafa a la otra, hasta que la 1ª se vacíe o la 2ª se llene

□ Descripción Representación

- Estados: líquido que contienen las garrafas de 4 y 3 litros
 - pares (x, y) donde x es el nº de litros que contiene la garrafa de 4 litros e y es el nº de litros en la garrafa de 3 litros
 - Estado inicial: $(0, 0)$ ¿Objetivo?
- Operadores (*p.e. llena-4: llenar del grifo la garrafa de 4 litros*)
 - como reglas: precondition y acción asociada
 - *llena-4* (x, y) : ¿Resto operadores?
 - precondition: $x < 4$ (*si no, sería un movim absurdo, sin cambio de estado*)
 - acción: construir el estado $(4, y)$

Ejercicio: el granjero, el lobo, la cabra y la col

□ El problema del granjero, el lobo, la cabra y la col

- Un granjero, un lobo, una cabra y una col se encuentran en la orilla izquierda de un río
- El objetivo es que pasen a la orilla derecha del río
- Las restricciones son:
 - deben cruzar en una barca
 - la barca debe ser tripulada por el granjero
 - la barca sólo tiene capacidad para un pasajero más
 - el lobo se comerá al la cabra si se los deja juntos sin compañía en una de las orillas (sin granjero; la col no lo evita)
 - la cabra se comerá la col si se los deja solos (sin granjero)

□ Ejercicio:

- Representación de estados (incluyendo el inicial y el objetivo)
- Condición de peligrosidad
- Especificación de operadores y dibujar espacio de estados

Ejercicios de representación: Hoja 1

☐ Hoja 1 de ejercicios:

- ☐ Las garrafas (*ejercicio 1*)
- ☐ El granjero, el lobo, la cabra y la col (*ejercicio 2*)
- ☐ El laberinto (*ejercicio 12*)
- ☐ El juego de cartas del 15 (*ejercicio 13*)
- ☐ Mundo de bloques (*ejercicio 14*)
- ☐ El problema del mono (*ejercicio 15*)
- ☐ → Crear un enunciado adecuado (*ejercicio 18*)
 - ☐ Interesante porque descubres tus dudas en reconocer problemas

☐ Por ahora, resolved sólo la parte de representación

- ☐ No dejaremos soluciones
 - ☐ Son para que los hagáis
 - ☐ Ver en clase como se resuelven algunos de ellos