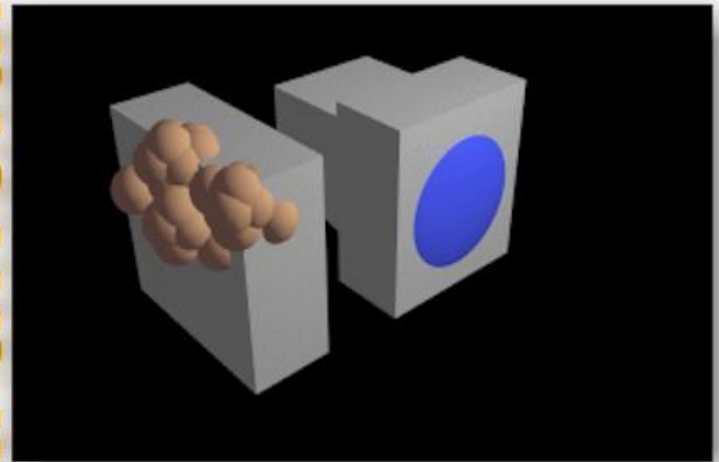


Tema 2: Estrategias de búsqueda no informada



Inteligencia
Artificial



Objetivos

- Conocer el concepto de agente inteligente y el ciclo de vida "percepción, decisión y actuación".
- Adquirir las habilidades básicas para construir sistemas capaces de resolver problemas mediante técnicas de IA.
- Entender que la resolución de problemas en IA implica definir una representación del problema y un proceso de búsqueda de la solución.
- Conocer la representación de problemas basados en estados (estado inicial, objetivo y espacio de búsqueda) para ser resueltos con técnicas computacionales.
- Conocer las técnicas más representativas de búsqueda no informada en un espacio de estados (en profundidad, en anchura y sus variantes), y saber analizar su eficiencia en tiempo y espacio.

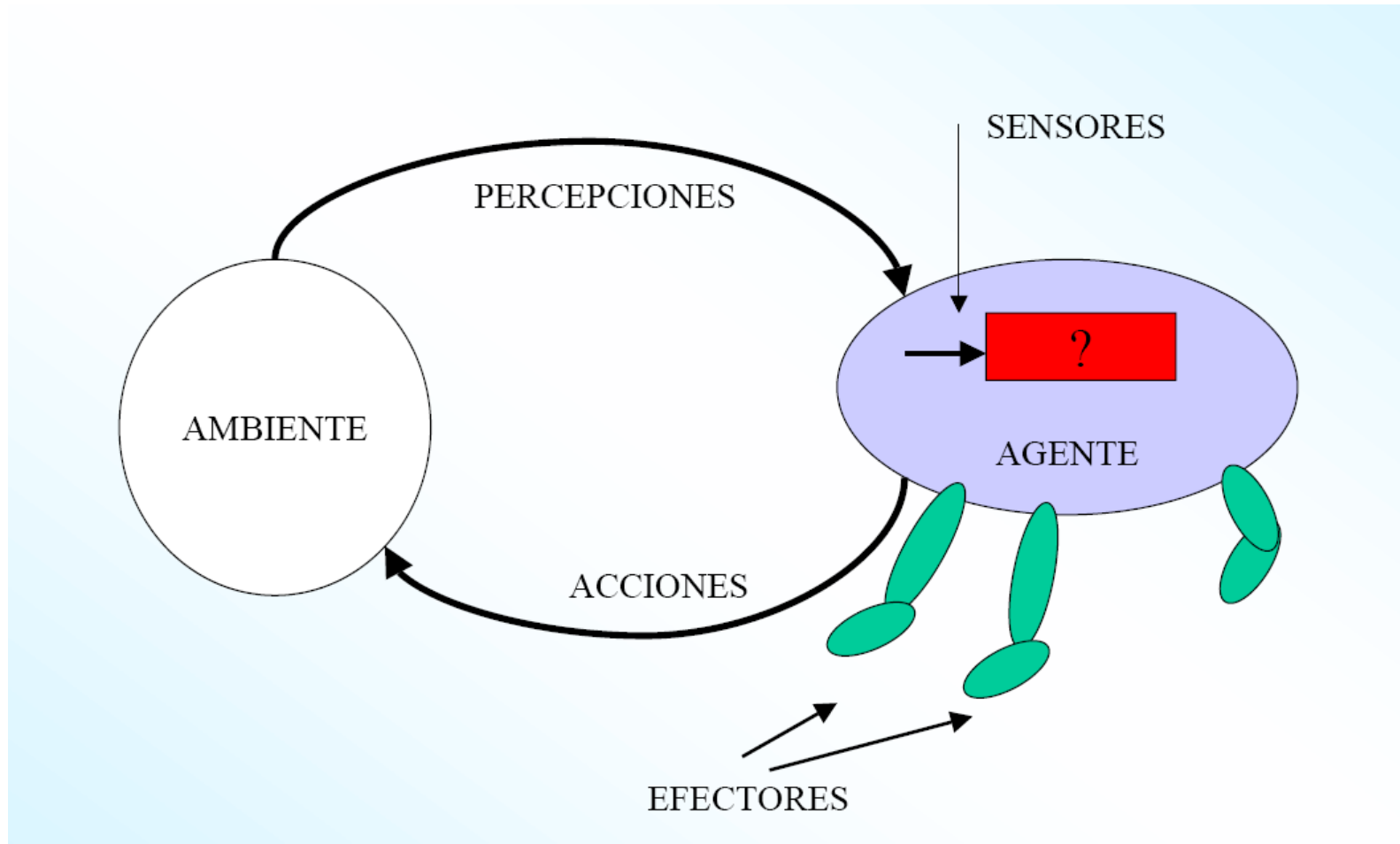
Estudia este tema en...

- Nils J. Nilsson, “*Inteligencia Artificial: Una nueva síntesis*”, Ed. Mc Graw Hill, 2000. pp. 17-32, 63-74, 103-122, 147-162

Contenido

- Diseño de un agente reactivo: arquitecturas de agentes
- Agentes reactivos con memoria
- Diseño de un agente deliberativo: búsqueda
- Ejemplos
- Búsqueda sin información
- Problemas descomponibles y búsqueda

Agentes inteligentes

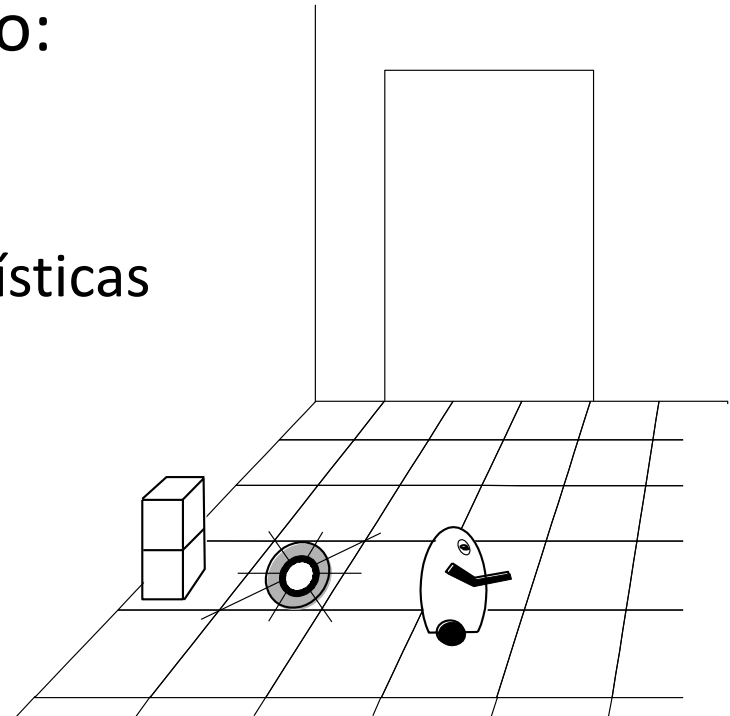


Tipos de agentes

- Agentes reactivos
- Agentes deliberativos
- Agentes que existen en mundos habitados por otros agentes

Representaciones del mundo

- Representaciones del mundo:
 - modelos icónicos
 - modelos basados en características



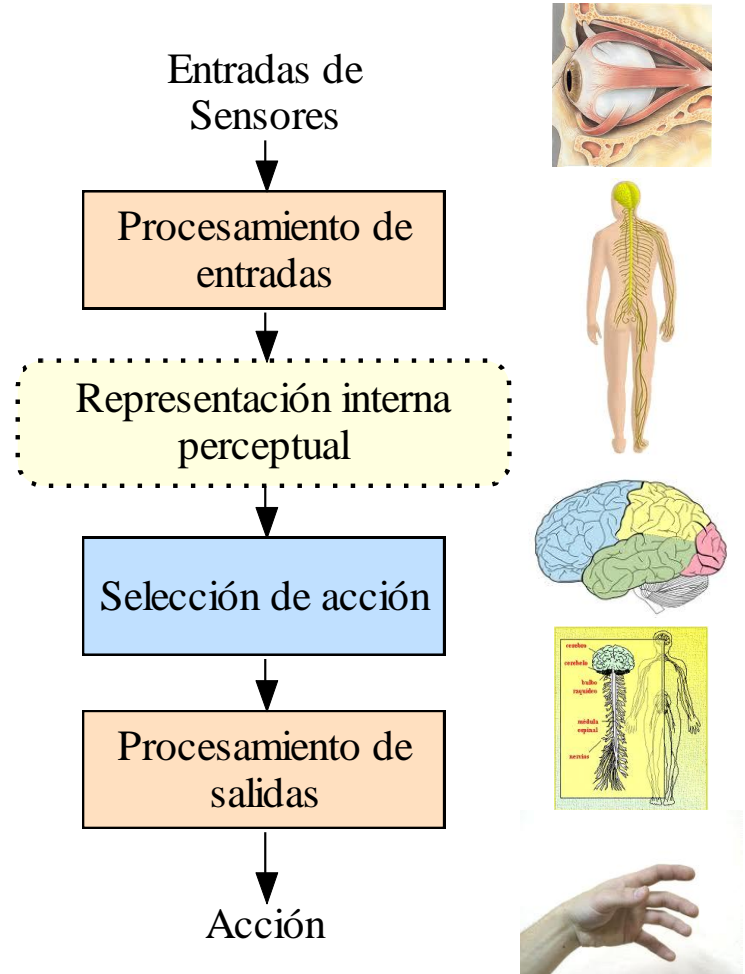
© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

El mundo espacial cuadriculado

Diseño de un agente reactivo

- **Percepción y Acción:**

- El agente reactivo percibe su entorno a través de sensores.
- Procesa la información percibida y hace una representación interna de la misma.
- Escoge una acción, entre las posibles, considerando la información percibida.
- Transforma la acción en señales para los actuadores y la realiza.

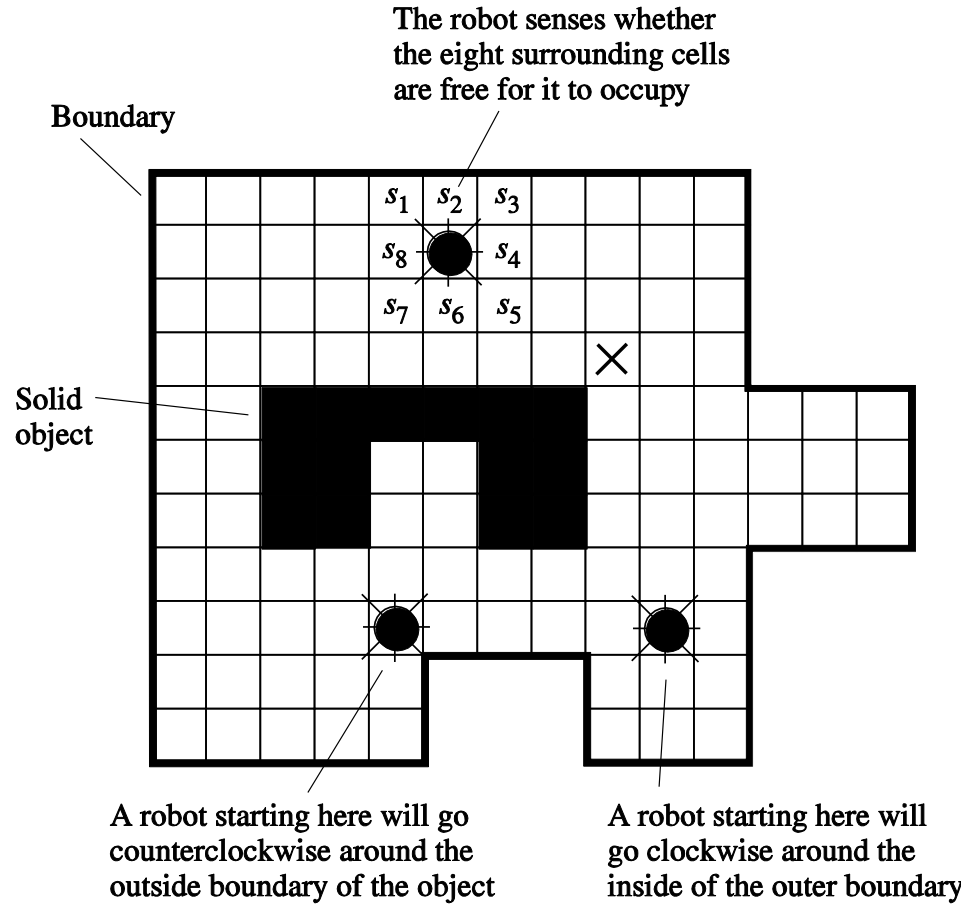


Diseño de un agente reactivo

- **Ejemplo:**

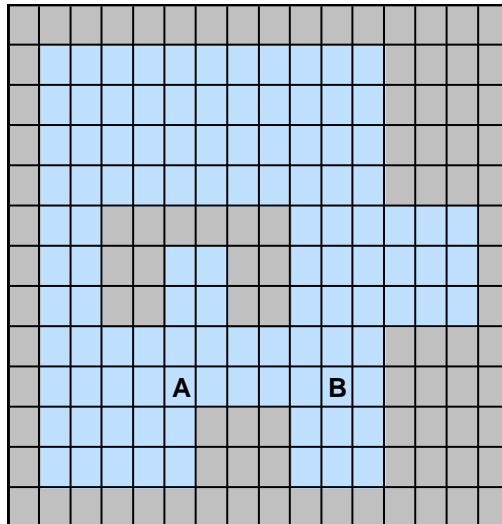
- Supongamos un robot en un mundo dividido en cuadrículas.
- El robot puede percibir si las 8 casillas vecinas están libres o no, con un sensor s_i por cada casilla i .
- El objetivo del robot es ir a una pared y seguir su perímetro indefinidamente.
- Tiene 4 posibles movimientos (de 1 casilla cada uno): Ir a Norte, Sur, Este u Oeste.
- No se permite que el entorno contenga pasillos estrechos (aquellas casillas rodeadas por dos o más obstáculos a ambos lados).

Diseño de un agente reactivo




© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

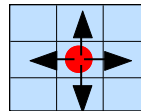
Representación



Sensores:

S_1	S_2	S_3
S_8		S_4
S_7	S_6	S_5

Movimientos:



Usaremos un vector de 8 componentes.

Cada componente i vale 0 si el sensor s_i no detecta obstáculo y vale 1 si lo detecta.

Ejemplo posición **A**:

$A =$

0	0	0	0	1	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

Movimientos posibles

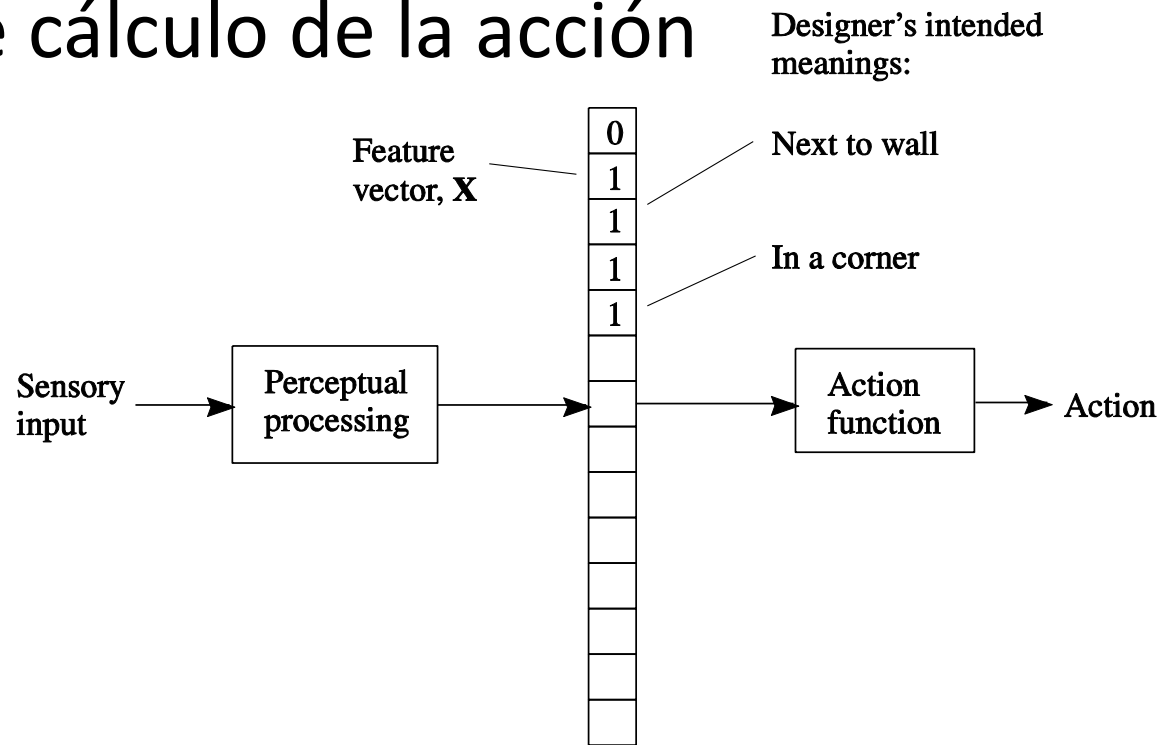
- NORTE: mueve el robot una celda hacia arriba
- ESTE: mueve el robot una celda a la derecha
- SUR: mueve el robot una celda hacia abajo
- OESTE: mueve el robot una celda a la izquierda

TRABAJO DEL DISEÑADOR:

desarrollar una función definida sobre las entradas sensoriales que seleccione la acción apropiada en cada momento para llevar a cabo con éxito la tarea del robot.

Proceso en dos fases

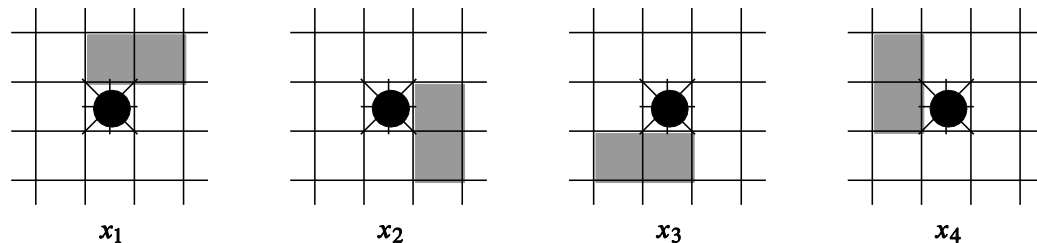
- Procesamiento perceptual
- Fase de cálculo de la acción



© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

Percepción y acción

- Percepción:



In each diagram, the indicated feature has value 1 if and only if at least one of the shaded cells is *not* free.

© 1998 Morgan Kaufman Publishers

- Acción:

- si todas las características son cero, moverse al norte
- si $x_1=1$ y $x_2=0$, moverse al este
- si $x_2=1$ y $x_3=0$, moverse al sur
- si $x_3=1$ y $x_4=0$, moverse al oeste
- si $x_4=1$ y $x_1=0$, moverse al norte

Arquitecturas de agentes reactivos

- Sistemas de producción
- Redes
- Arquitecturas de subsunción

Sistemas de Producción

$$c_1 \rightarrow a_1$$

$$c_2 \rightarrow a_2$$

...

$$c_i \rightarrow a_i$$

...

$$c_m \rightarrow a_m$$

en donde C_i es una función booleana definida sobre el vector de características, habitualmente una conjunción de literales booleanos.

Sistemas de Producción

- **Ejecución del sistema de producción:**

1. Se selecciona la primera regla y se comprueba si se cumple su condición. En caso contrario, se continúa con la siguiente hasta que se encuentre una regla con condición con valor 1.
2. La acción de la primera regla encontrada cuya condición sea 1 es la que se ejecuta. Su acción puede ser:
 - 2.1. La ejecución de una o varias acciones primitivas
 - 2.2. Una llamada a otro sistema de producción
3. **Acción por defecto:** La última regla de producción del sistema debe ser del tipo $1 \rightarrow A$, para ejecutar una acción en caso de que ninguna de las reglas anteriores cumpla su condición de ejecución

Tarea de seguimiento de bordes

Ejemplo de proceso sin fin

$x_4\overline{x_1} \rightarrow$ norte

$x_3\overline{x_4} \rightarrow$ oeste

$x_2\overline{x_3} \rightarrow$ sur

$x_1\overline{x_2} \rightarrow$ este

$1 \rightarrow$ norte

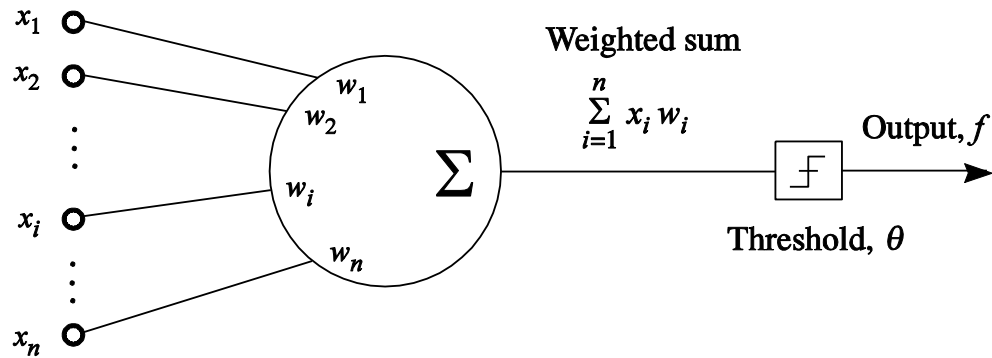
Tarea llevar al robot a una esquina cóncava

$c \rightarrow \text{nil}$

$l \rightarrow s\text{-}b$

Ejemplo de proceso con objetivo

Redes

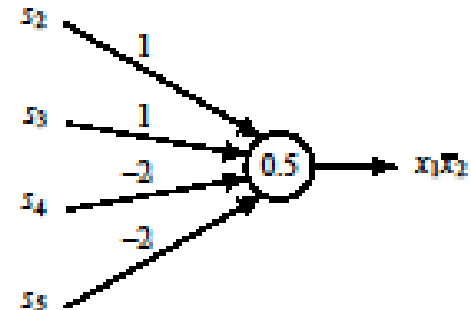


$$f = 1 \text{ if } \sum_{i=1}^n x_i w_i \geq \theta$$

$$= 0 \text{ otherwise}$$

© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

Unidad Lógica con Umbral



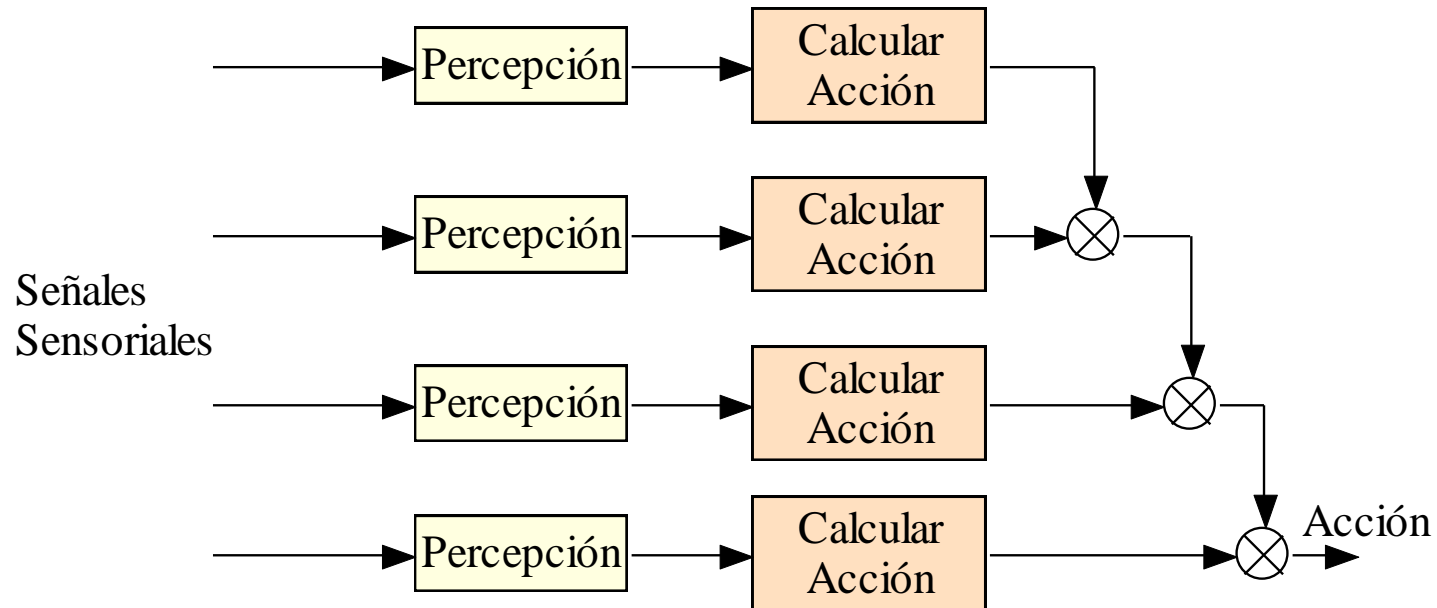
© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

Red neuronal: red de unidades lógicas con umbral

Arquitectura de subsunción

- **La arquitectura de subsunción** consiste en agrupar **módulos de comportamiento**.
- Cada módulo de comportamiento tiene una acción asociada, recibe la percepción directamente y comprueba una condición. Si esta se cumple, el módulo devuelve la acción a realizar.
- Un módulo se puede subsumir en otro. Si el módulo superior del esquema se cumple, se ejecuta este en lugar de los módulos inferiores.

Arquitectura de subsunción

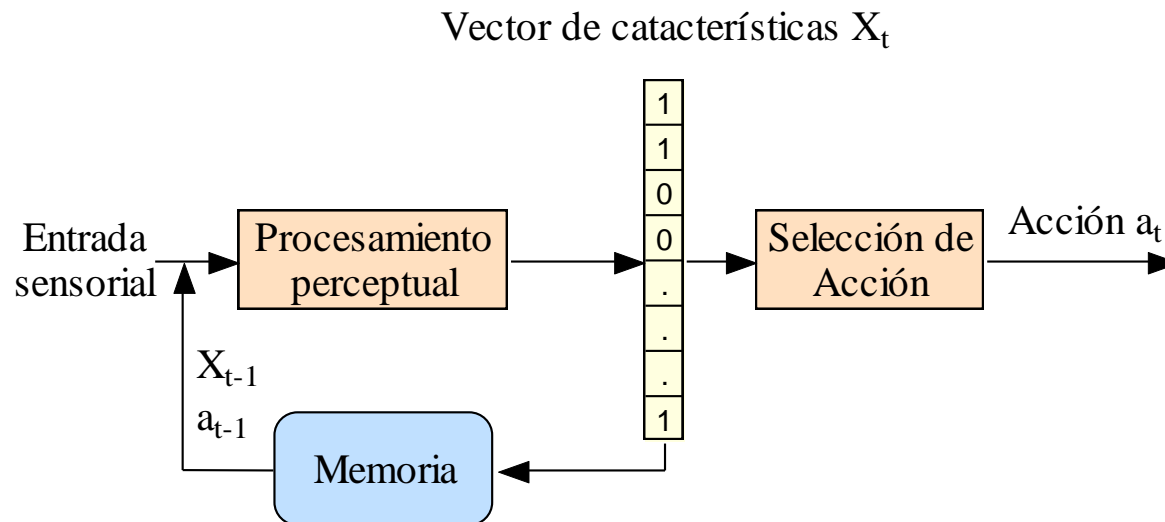


Agentes reactivos con memoria

- Limitaciones del sistema sensorial de un agente.
- Mejorar la precisión teniendo en cuenta la historia sensorial previa: sistemas con memoria

Agentes reactivos con memoria

la representación de un estado en el instante $t+1$ es función de la entradas sensoriales en el instante $t+1$, la representación del estado en el instante anterior t y la acción seleccionada en el instante anterior t .



Ejemplo

- Usaremos las características $w_i = s_i$ $i=2,4,6,8$ y las características restantes del siguiente modo

$w_1=1$ si en el instante anterior $w_2=1$ y el robot se movió al este
 $w_3=1$ si en el instante anterior $w_4=1$ y el robot se movió al sur
 $w_5=1$ si en el instante anterior $w_6=1$ y el robot se movió al oeste
 $w_7=1$ si en el instante anterior $w_8=1$ y el robot se movió al norte

$w_2\overline{w_4} \rightarrow$ este

$w_4\overline{w_6} \rightarrow$ sur

$w_6\overline{w_8} \rightarrow$ oeste

$w_8\overline{w_2} \rightarrow$ norte

$w_1 \rightarrow$ norte

$w_3 \rightarrow$ este

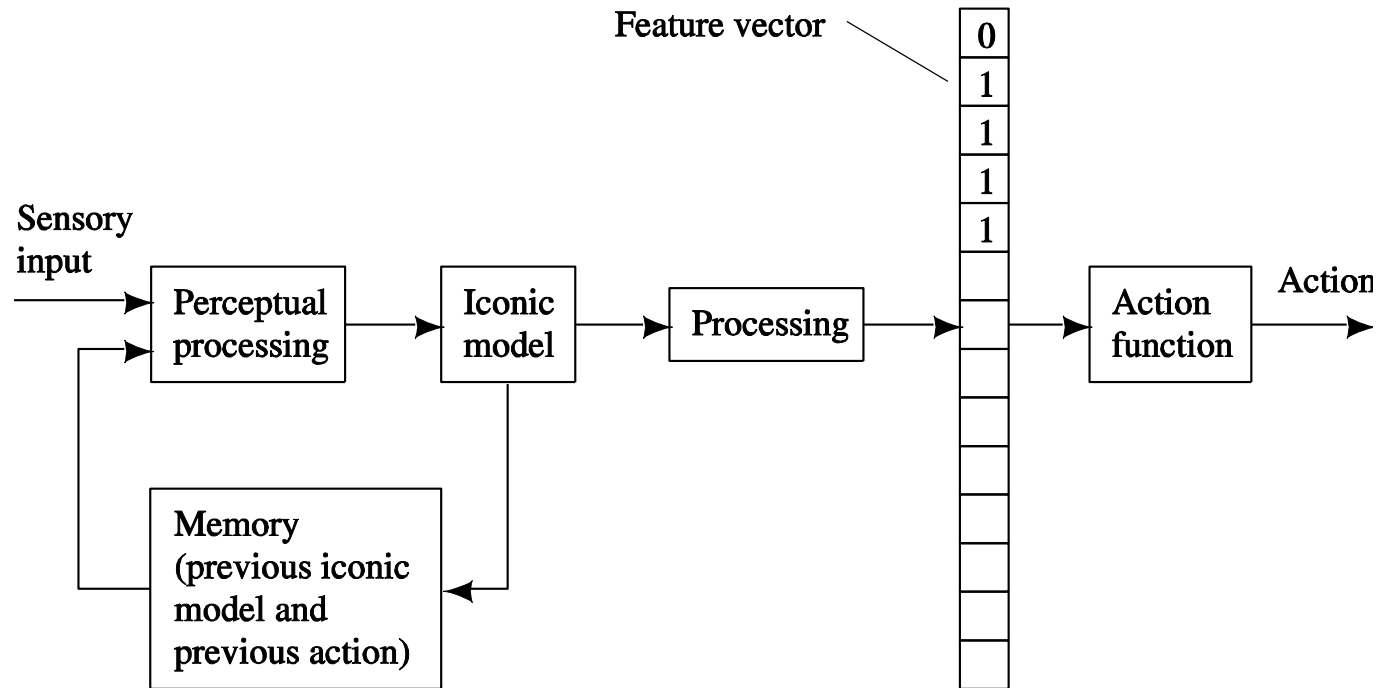
$w_5 \rightarrow$ sur

$w_7 \rightarrow$ oeste

$1 \rightarrow$ norte

Implementación de la memoria con representaciones icónicas

- Adicionalmente el robot podría utilizar otras estructuras de datos: matriz que almacene el mapa con las casillas libres u ocupadas en el momento en el que se percibieron.



Campo de potencial artificial

	1	1	1	1	1	1	1	?
1	0	0	0	0	0	0	0	?
1	0	0	0	0	0	0	0	?
1	0	0	0	0	0	0	0	?
1	0	0	0	0	0	0	0	?
1	0	0	R	0	0	0	0	?
1	0	0	0	0	0	0	0	?
1	0	0	0	0	0	0	0	?
1	0	0	0	0	0	0	0	?
1	?	?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	?	?	?	?

Componente atractiva:

$$p_a(X) = k_1 d(X)^2$$

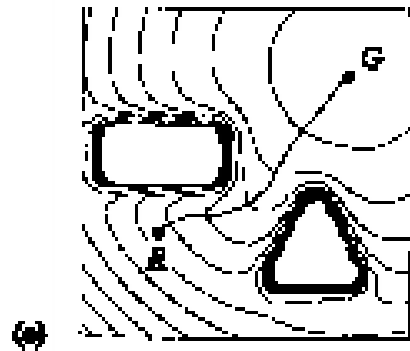
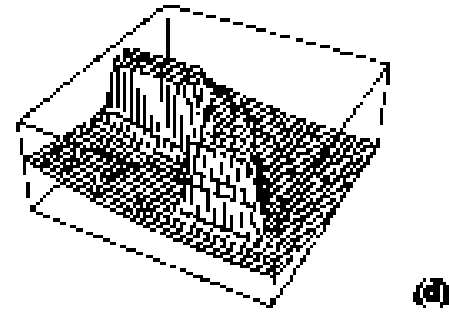
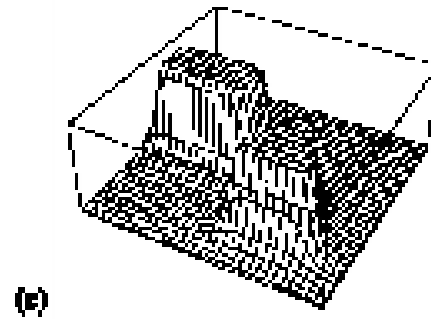
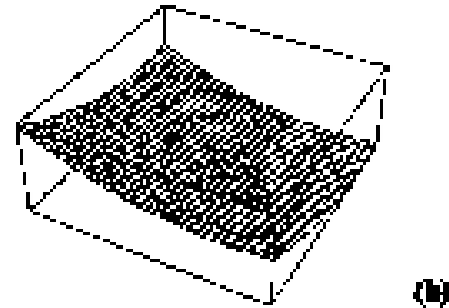
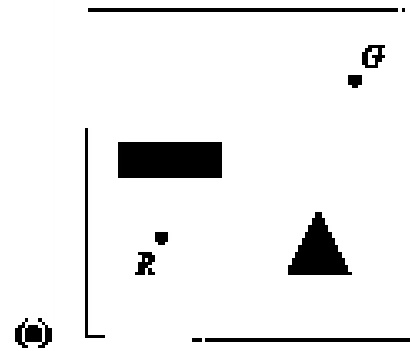
Componente repulsiva:

$$p_r(X) = \frac{k_2}{d_0(X)^2}$$

Potencial:

$$\text{Potencial} = p_a + p_r$$

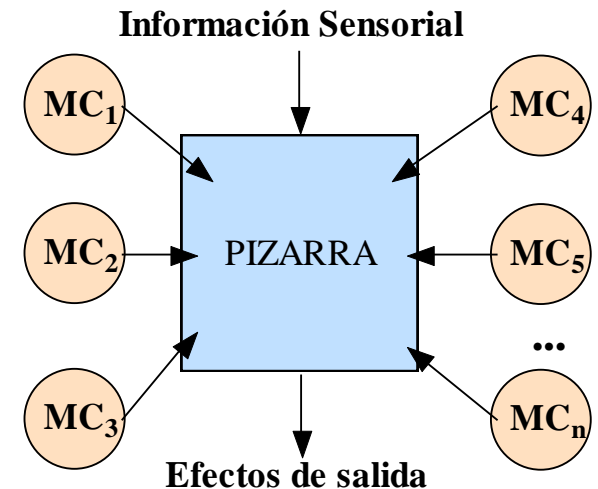
© 1998 Morgan Kaufman Publishers



© MIT Press. All rights reserved.

Implementación de la memoria con sistemas basados en pizarras

- Son extensiones de los sistemas de producción.
- En el agente existen varios programas denominados **Módulos de Conocimiento (MC)**, formados por una parte de condición y otra parte de acción.
- Existe una memoria común a todos los MC denominada **pizarra**.

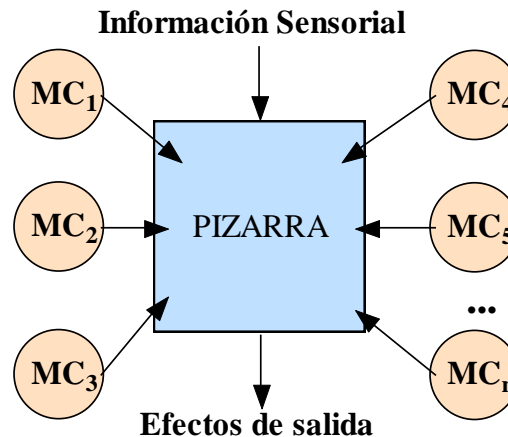


Implementación de la memoria con sistemas basados en pizarras

- Cada MC es “experto” en una parte concreta del problema a resolver.
- Cuando se cumple su condición, un MC puede actualizar la pizarra, realizar una acción concreta o ambas.
- Es necesario implementar un programa de **resolución de conflictos** cuando dos MCs pueden actuar simultáneamente, decidiendo cuál actúa y cuál no o, en su caso, el orden de ejecución de ambos.

Implementación de la memoria con sistemas basados en pizarras

- La actualización de una parte de la pizarra correspondiente a un MC puede desencadenar la ejecución de otros MCs.
- La pizarra, por tanto, alberga la solución que se está construyendo conforme al objetivo general del agente.

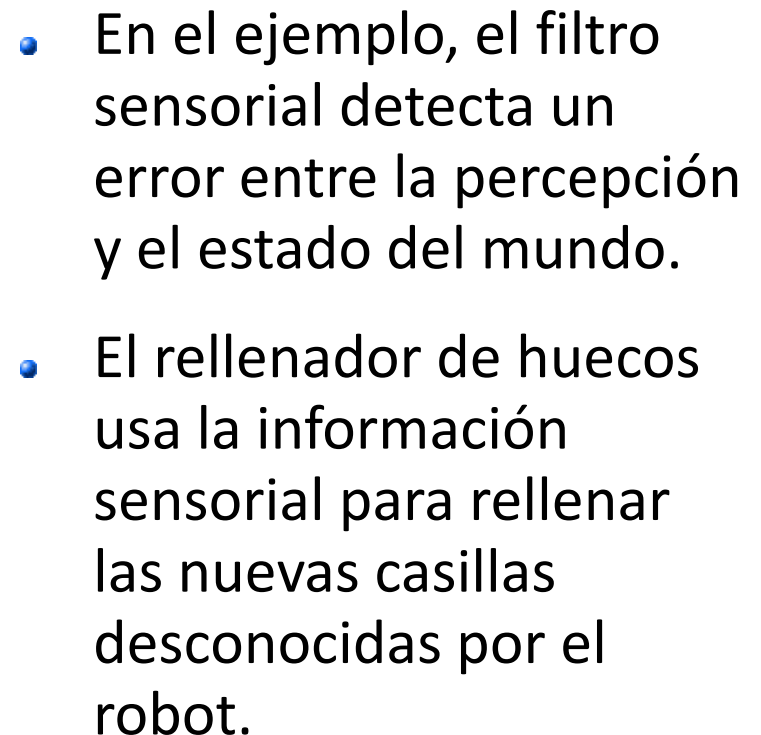


Implementación de la memoria con sistemas basados en pizarras

Ejemplo: Robot para salir de un laberinto.

- La pizarra contiene la información leída desde los sensores (que puede ser imperfecta debido a errores de los mismos). También contiene un mapa del laberinto, que puede tener errores debido a previas lecturas erróneas de los sensores, junto con la posición del robot en el mapa.
- Contamos con 4 MC de acción de movimiento (“Norte”, “Sur”, “Este”, “Oeste”).
- Contamos con 2 MC adicionales:
 - Rellenador de huecos para rellenar el mapa del laberinto.
 - Filtro sensorial para arreglar errores en el mapa.

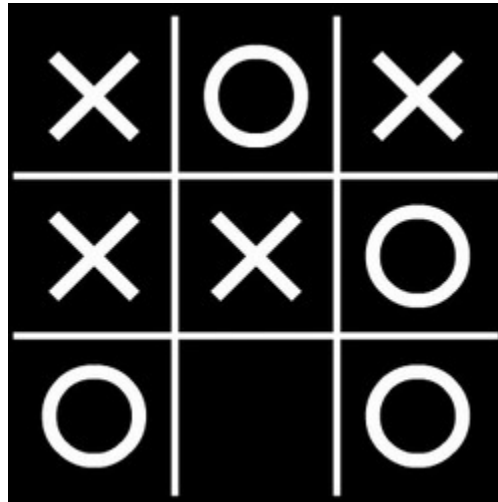
- **Implementación de la memoria con sistemas basados en pizarras. Ejemplo: Robot para salir de un laberinto.**



Ejemplo de agente reactivo: un robot que recorre un pasillo



Ejemplos de agente reactivo: un agente que juega al tres en raya



Características de los agentes reactivos

- Se diseñan completamente y por tanto es necesario anticipar todas las posibles reacciones para todas las situaciones
 - Realizan pocos cálculos
 - Almacenan todo en memoria

Diseño de un agente deliberativo

- El agente dispone de un modelo del mundo en el que habita
- El agente dispone de un modelo de los efectos de sus acciones sobre el mundo
- El agente es capaz de razonar sobre esos modelos para decidir que hacer para conseguir un objetivo

La búsqueda en un espacio de estados

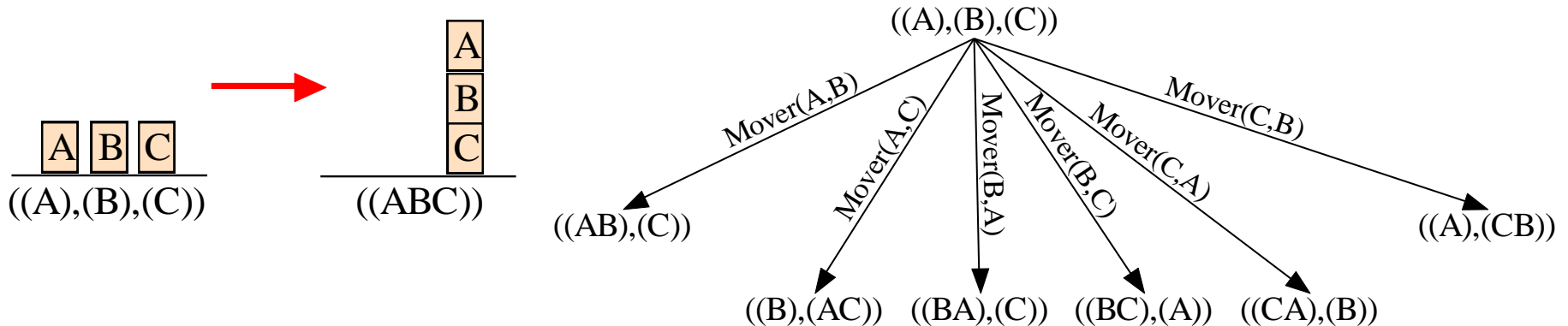
- Espacio de estados – Representación del conocimiento a través de las acciones del agente
- Búsqueda en el espacio de estados – Resolución del problema mediante proyección de las distintas acciones

El mundo de bloques

- Supongamos un mundo cuadriculado con 3 bloques **A, B, C**.
- Inicialmente, todos los bloques están en el suelo.
- El objetivo es apilar los bloques de modo que **A** quede sobre **B**, **B** quede sobre **C**, y **C** esté en el suelo.
- En cada momento, se dispone de la operación **mover(x,y)** para poner **x** sobre **y**, donde **x**=**{A, B, C}** e **y**=**{A, B, C, Suelo}**.
- En cada momento, se conoce el estado del sistema. Lo modelamos con una secuencia de listas de objetos sobre objetos. Inicialmente, el estado es **((A), (B), (C))** y se desea llegar al estado **((ABC))**.
- Asumimos que se descartan los **operadores imposibles mover(A,A), mover(B,B), mover(C,C), etc.**, para cada estado.

El mundo de bloques

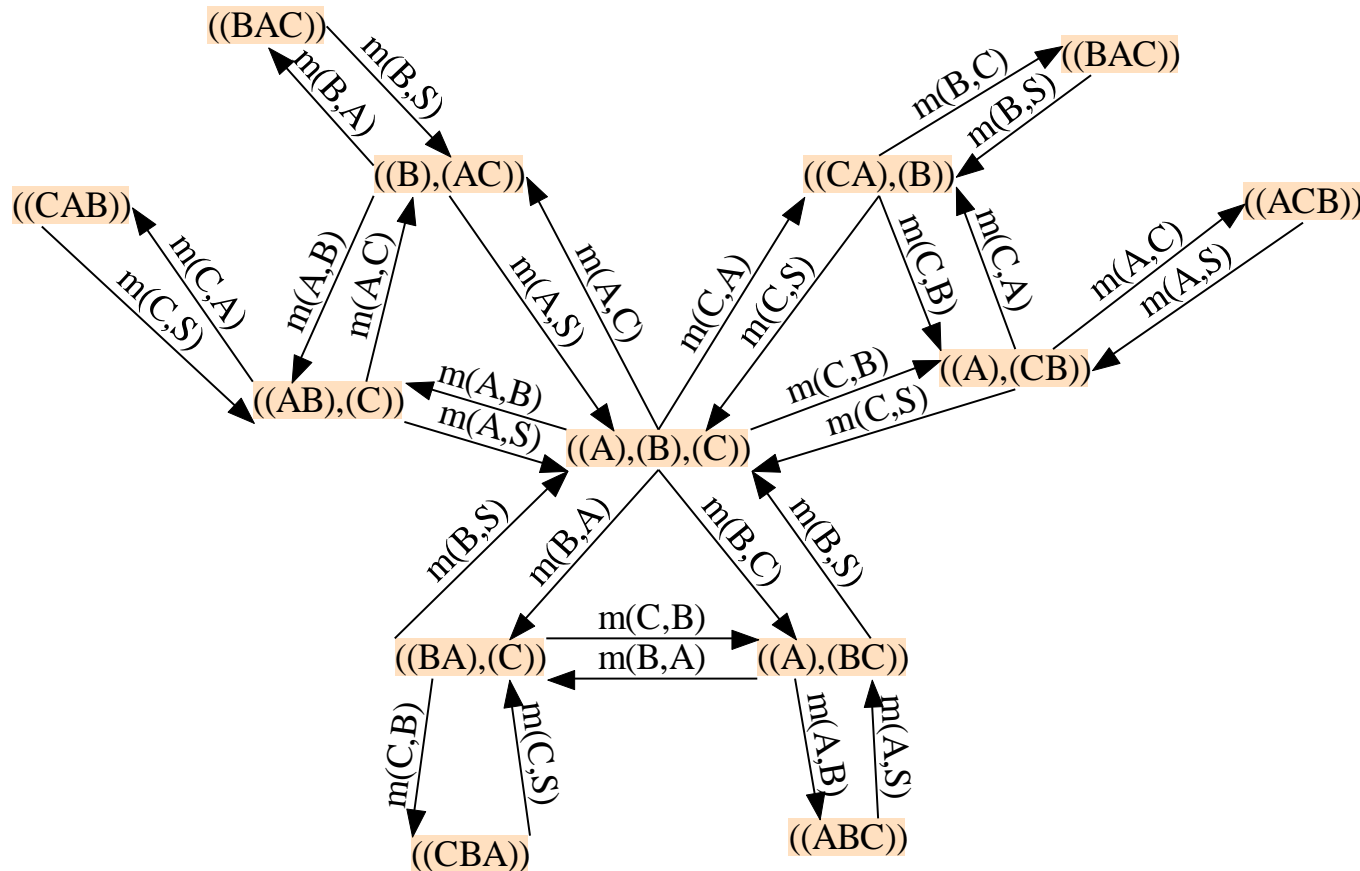
- Una estructura de **grafo dirigido** puede ser útil para buscar secuencias de acciones que nos lleven al objetivo final.
- En esta estructura, **un nodo representa un estado** del sistema y **un arco una posible acción**. La acción, aplicada al estado que representa al nodo origen, producirá el estado del nodo destino.
- Se denomina **grafo de estados**.



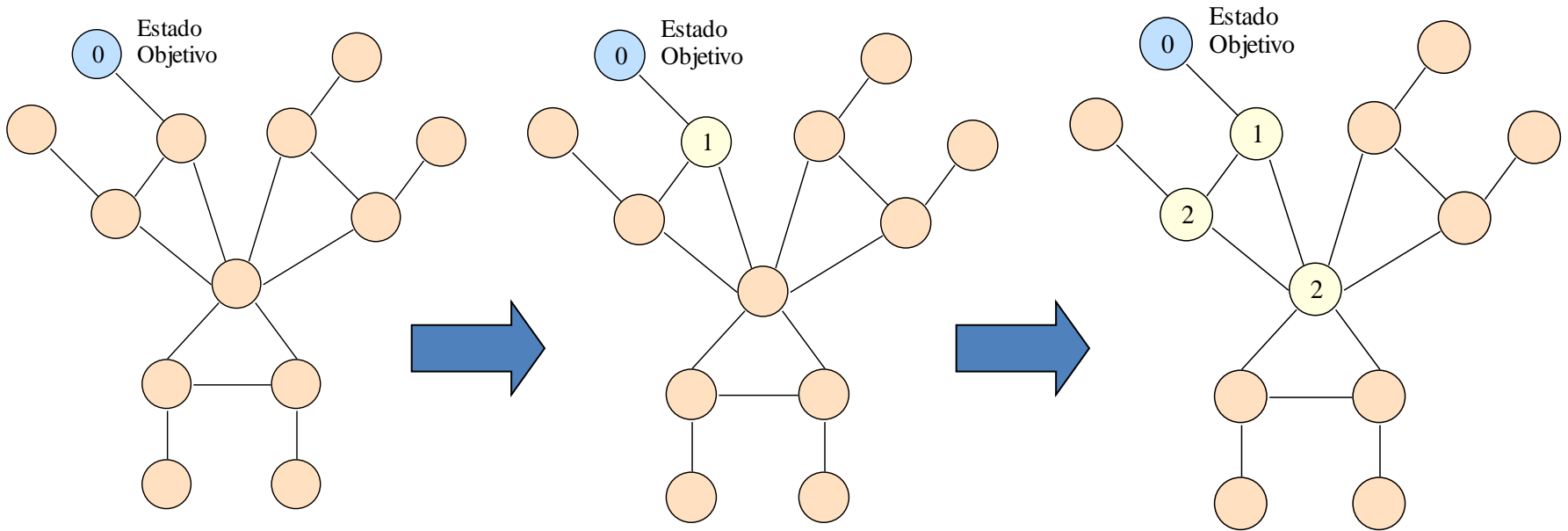
El mundo de bloques

- A la secuencia de acciones que lleva al agente desde un **estado inicial** hasta un **estado destino** se denomina **plan**.
- La búsqueda de dicha secuencia se denomina **planificación**.
- **Grafos explícitos:** Aquellos grafos que, por su reducido tamaño, representan la totalidad del problema y puede buscarse un camino sobre el mismo que nos lleve desde el estado original hasta el estado objetivo.
- **Grafos implícitos:** Son demasiado grandes como para mantenerlos en memoria. En su lugar, se guardan las operaciones que generan los estados y se va generando el grafo explícito según se va resolviendo el problema en cada paso.

Espacio de estados en el mundo de bloques

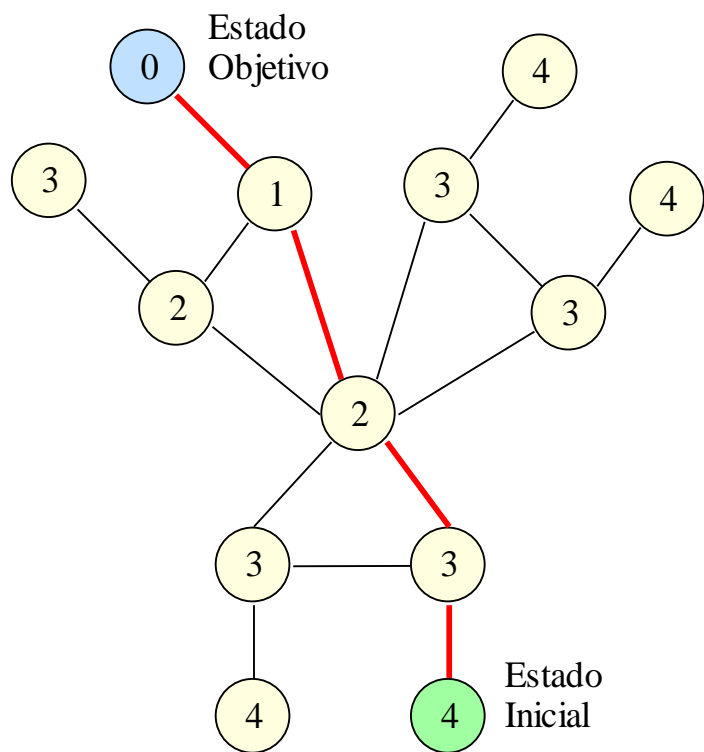


Búsqueda



Búsqueda

- **Ejemplo de planificación en el mundo de los bloques:**
Planificación de acciones.



Estado Inicial: **((ABC))**

Acción 1: **Mover(A, Suelo)**

Acción 2: **Mover(B, Suelo)**

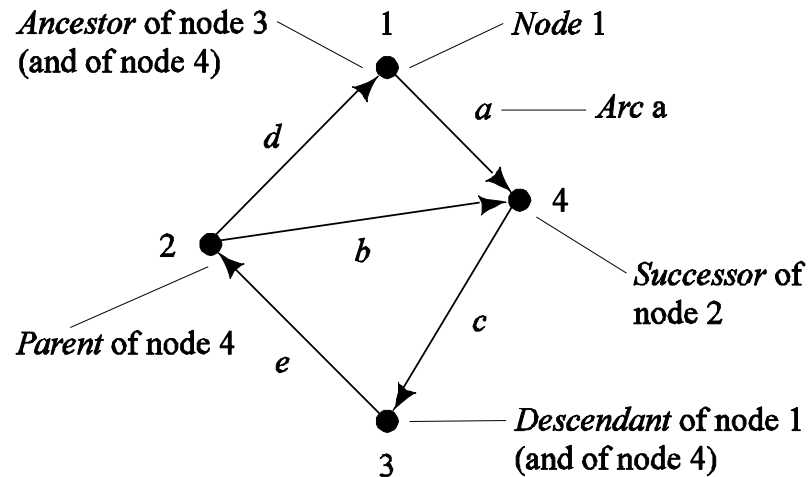
Acción 3: **Mover(A, C)**

Acción 4: **Mover(B, A)**

Estado objetivo alcanzado: **((BAC))**

Búsqueda en grafos

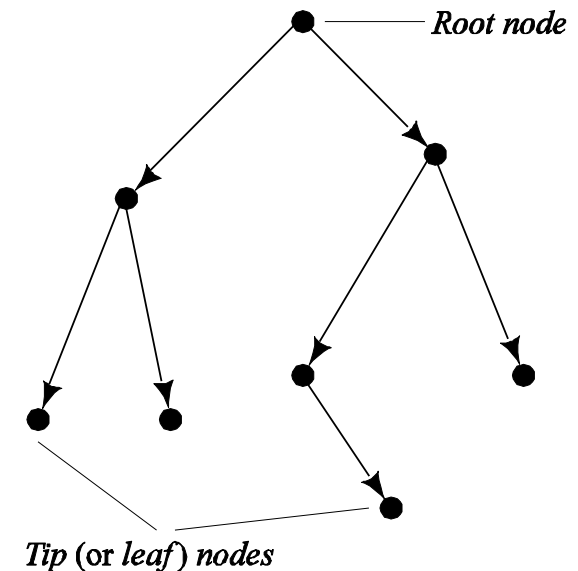
Graph notation



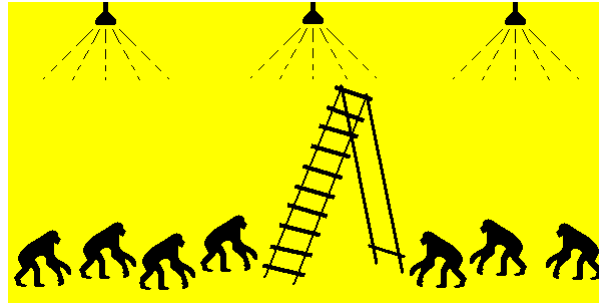
$c(a)$, alternatively $c(1, 4)$, is the *cost* of arc a
(d, a), alternatively $(2, 1, 4)$, is a *path* from node 2 to node 4

© 1998 Morgan Kaufman Publishers

Tree notation



Ejemplo de agente deliberativo: Problema del mono y los plátanos

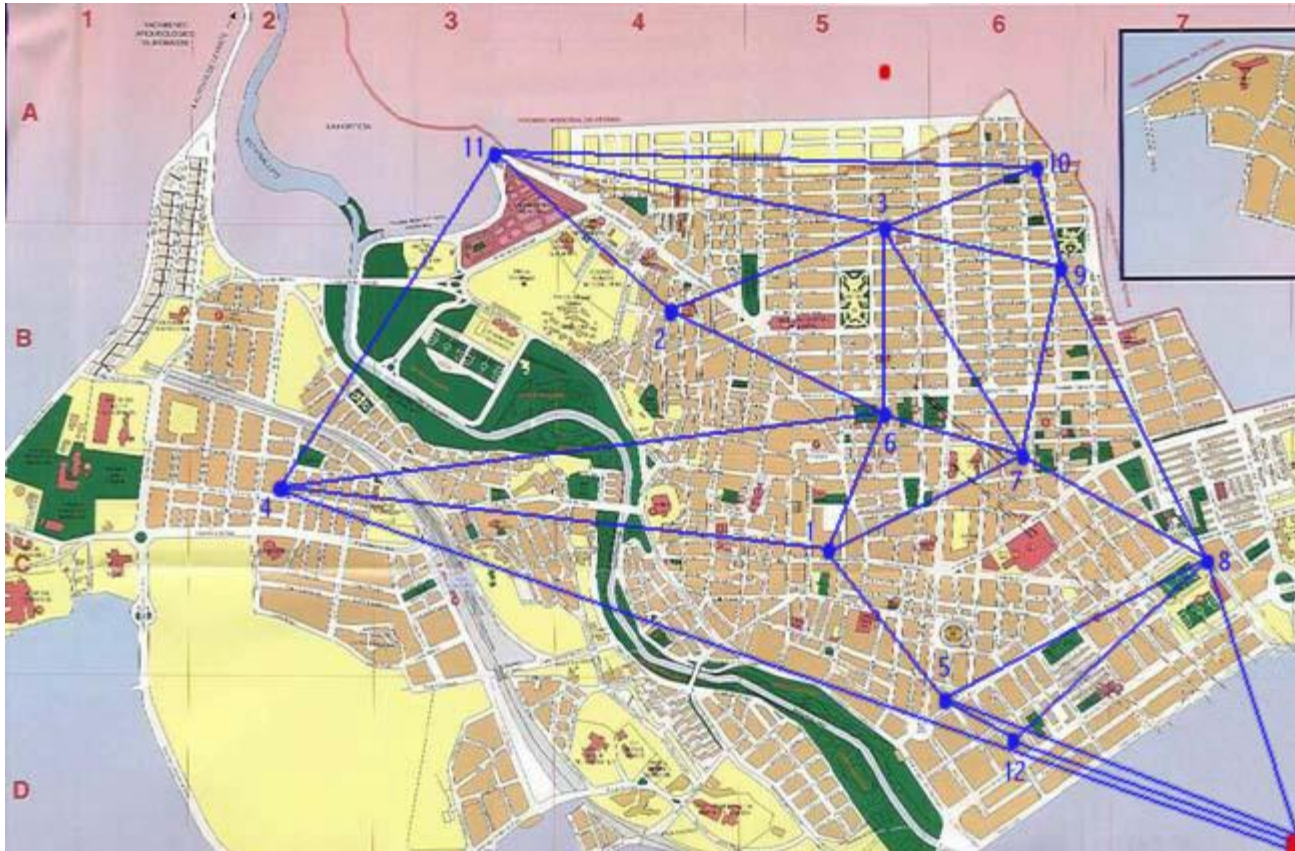


- “Un mono está en la puerta de una habitación. En el centro de la habitación hay un plátano colgado del techo, pero no puede alcanzarlo desde el suelo. En la ventana de la habitación hay una caja, que el mono puede mover y a la que puede encaramarse para alcanzar el plátano. El mono puede realizar las siguientes acciones: desplazarse de la puerta al centro, del centro a la ventana y viceversa; empujar la caja a la vez que se desplaza; subirse y bajarse de la caja; coger el plátano. El problema consiste en encontrar una secuencia de acciones que permita al mono coger el plátano.”

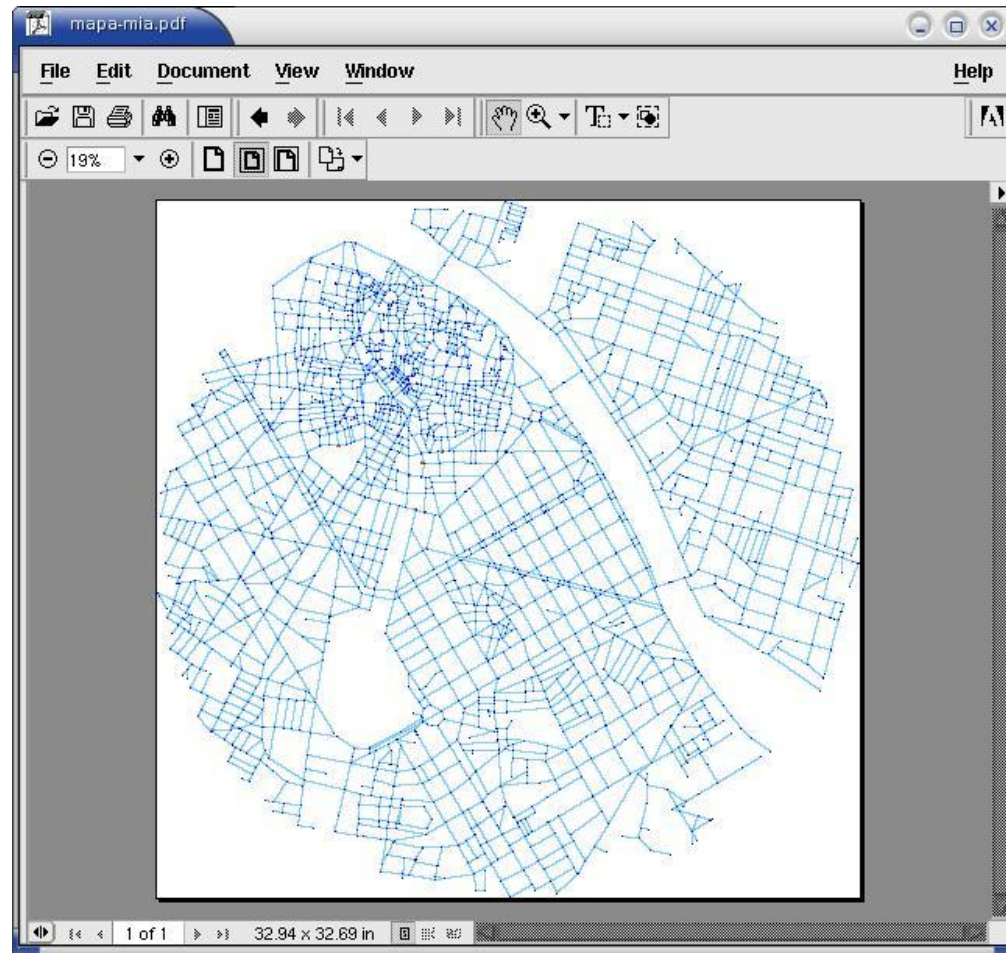
Problema del mono y los plátanos

- Como estado se puede utilizar una lista con cuatro elementos (X, Y, W, Z) donde:
 - X: posición del mono en la habitación (puerta, centro, ventana).
 - Y: situación del mono respecto a la caja (suelo, caja).
 - W: posición de la caja en la habitación (puerta, centro, ventana).
 - Z: posesión del plátano (tiene, no_tiene).
- Para describir todas las posibles acciones del mono, se necesitan seis operadores: andar, empujar, subir, bajar, coger y soltar. Sin embargo, para el problema que nos ocupa, son suficientes cuatro operadores: andar, empujar, subir y coger; nos limitaremos a estos 4 operadores .
- El operador andar se puede definir como:
 - (X, suelo, W, Z) -----> (Y, suelo, W, Z)
- para indicar que el mono se desplaza de la posición X a la posición Y.
- El estado se puede representar por la estructura *estado(X, Y, W, Z)*, que simplemente refleja la definición del estado.

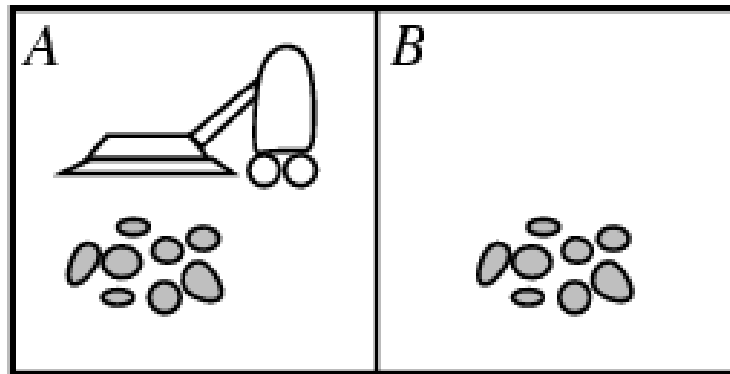
Ejemplo de agente deliberativo: Problema del viajante de comercio



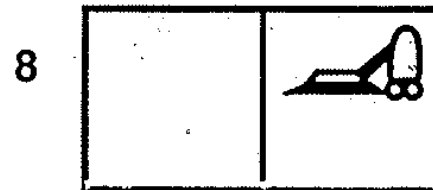
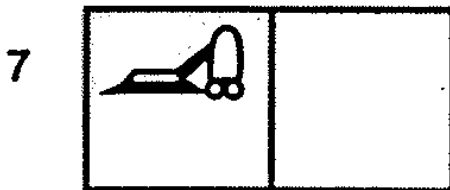
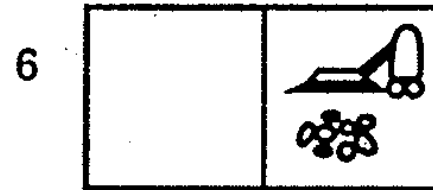
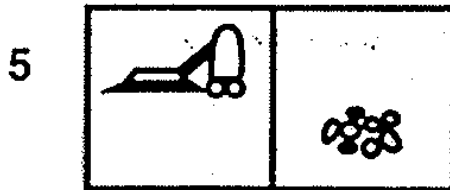
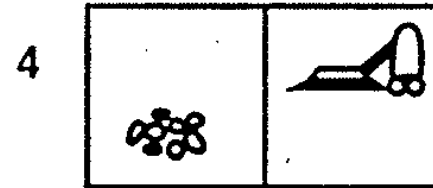
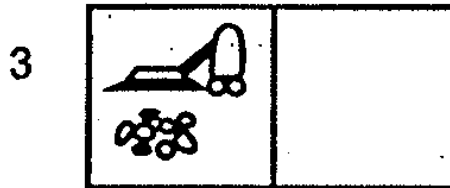
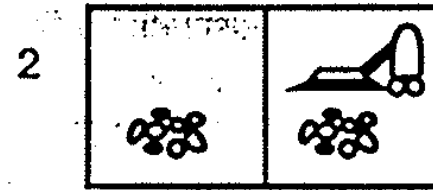
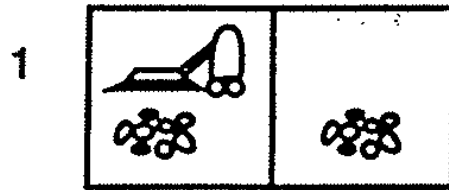
Ejemplo de agente deliberativo: Mapa de Carreteras



Ejemplo de un agente deliberativo: Problema de la aspiradora



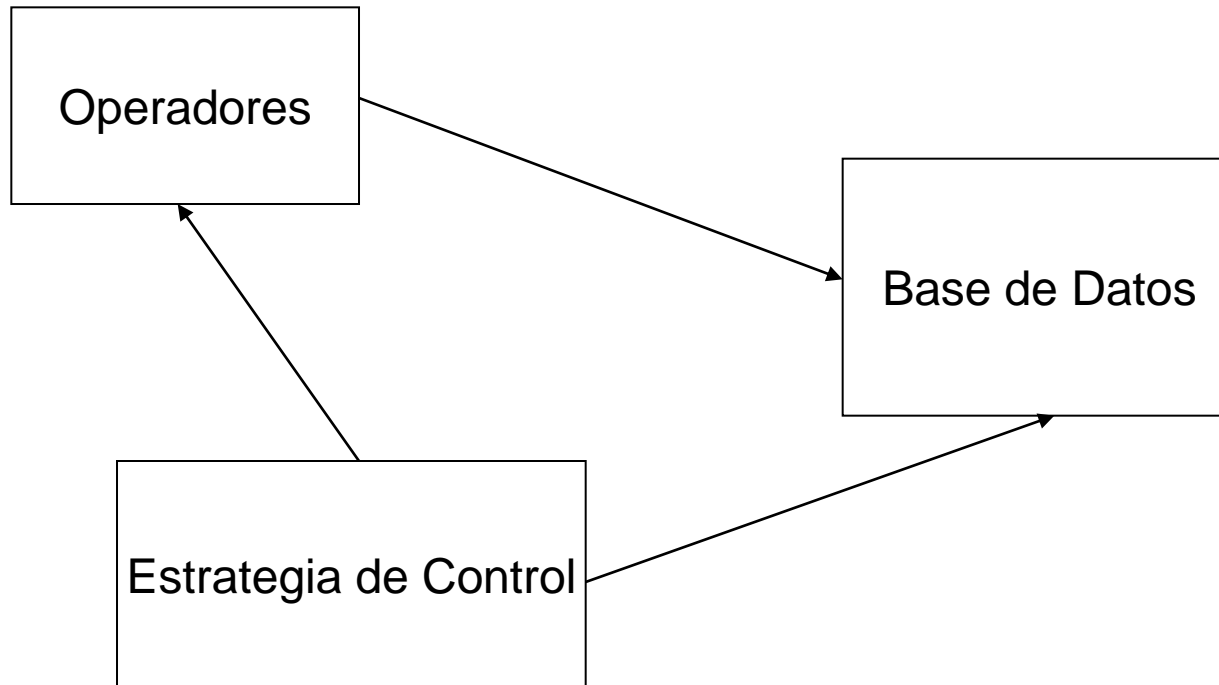
Problema de la aspiradora



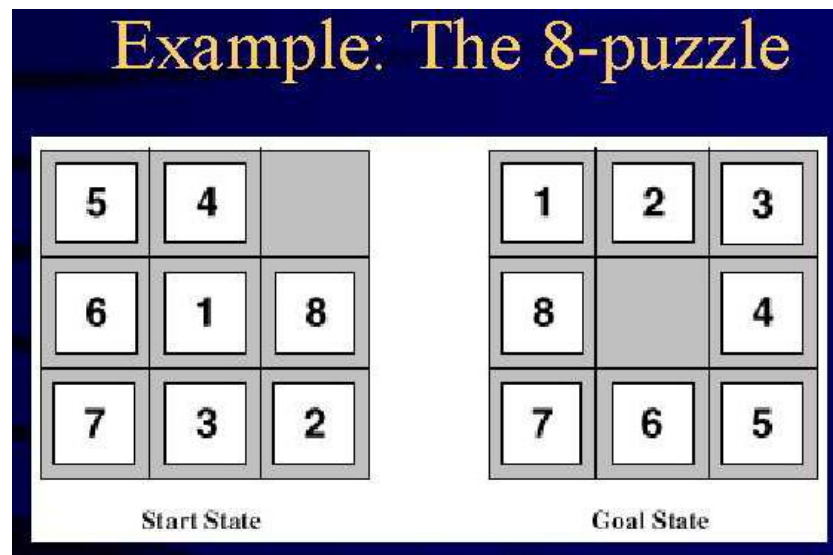
Búsqueda sin información

- Búsqueda en anchura
- Búsqueda en profundidad
- Búsqueda con costo

Sistemas de Búsqueda



Representación de un problema



Procedimiento Búsqueda

1. DATOS \leftarrow base de datos inicial
2. **until** DATOS satisface la condición de terminación
do
3. **begin**
4. **select** alguna regla R en el conjunto de reglas que pueda ser aplicada a DATOS
5. DATOS \leftarrow resultado de aplicar R a DATOS
6. **end**

Estrategias de control

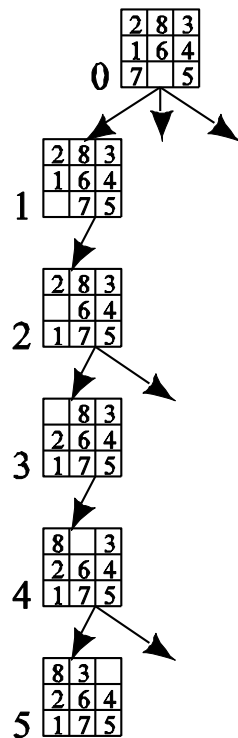
- Estrategias irrevocables
- Estrategias tentativas
 - Retroactivas
 - Búsqueda en grafos

Modelo de estrategia retroactiva

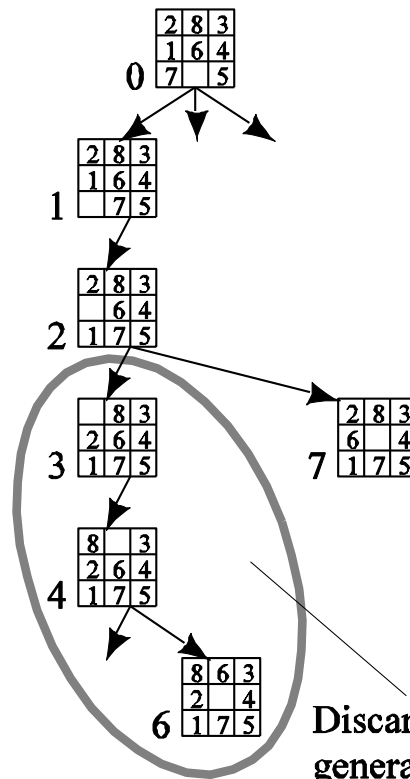
BACKTRACK(LISTABD)

1. DATOS \leftarrow PRIMER(LISTABD)
2. If MIEMBRO(DATOS,SUPR(LISTABD)) return FALLO
3. If TERM(DATOS) return NADA
4. If SINSALIDA(DATOS) return FALLO
5. If LONGITUD(LISTABD) > LIMITE return FALLO
6. REGLAS \leftarrow APLIREGL(DATOS)
7. CICLO: if NOHAY(REGLAS) return FALLO
8. R \leftarrow PRIMER(REGLAS)
9. REGLAS \leftarrow SUPR(REGLAS)
10. RDATOS \leftarrow R(DATOS)
11. RLISTABD \leftarrow CONS(RDATOS,LISTABD)
12. CAMINO \leftarrow BACKTRACK(RLISTABD)
13. If CAMINO=FALLO go CICLO
14. return CONS(R,CAMINO)

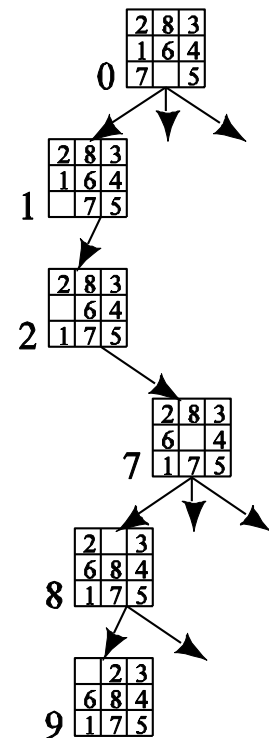
Búsqueda en profundidad retroactiva



(a)



(b)

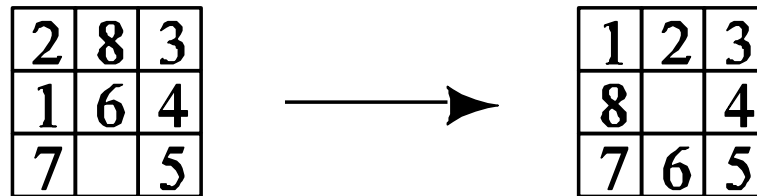


(c)

© 1998 Morgan Kaufman Publishers

Búsqueda en grafos

- Imposibilidad de representar el problema mediante un grafo implícito
- Problema del 8-puzzle:



© 1998 Morgan Kaufman Publishers

- El conjunto de nodos del grado de estados para esta representación del 8-puzzle es $9! = 362.880$

Búsqueda en grafos

- Formulación de los problemas para poder aplicar sobre ellos los métodos de búsqueda
- Métodos que nos permitan representar grandes espacios de búsqueda mediante grafos implícitos
- Métodos eficientes de búsqueda en grafos de gran tamaño

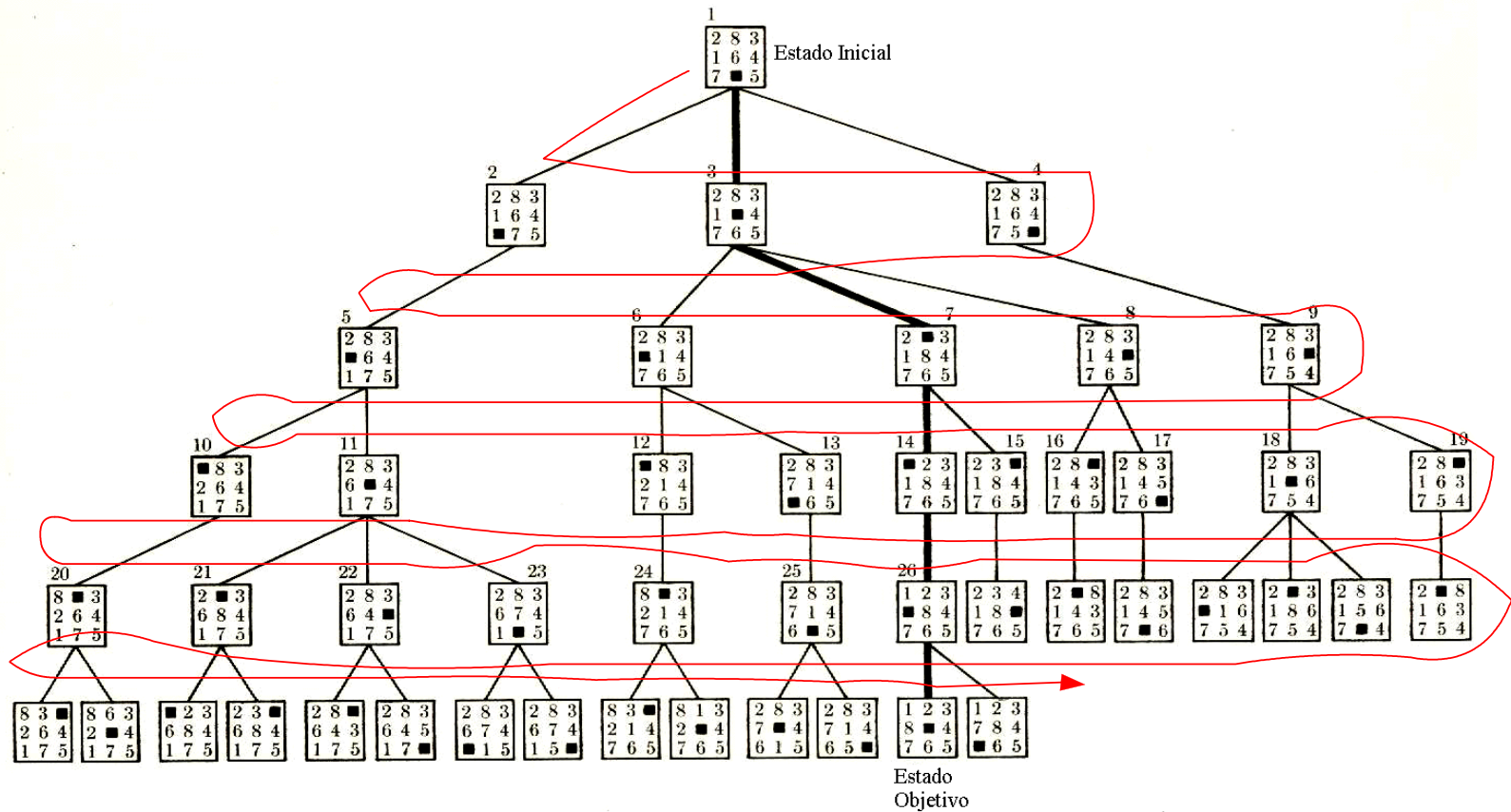
Búsqueda en grafos

- Descripción para etiquetar el nodo inicial
- Las funciones para transformar las descripciones de los estados: operadores
- Una condición de éxito

Búsqueda en anchura

1. Crear una variable llamada LISTA-NODOS y asignarle el estado inicial
2. Hasta que se encuentre un estado objetivo o LISTA-NODOS esté vacía, hacer:
 1. Eliminar el primer elemento de LISTA-NODOS y llamarlo E. Si LISTA-NODOS está vacía, terminar
 2. Para cada regla que se empareje con el estado descrito en E hacer:
 1. Aplicar la regla para generar un nuevo estado
 2. Si el nuevo estado es un estado objetivo, terminar y devolver este estado
 3. En caso contrario, añadir el nuevo estado al final de LISTA-NODO

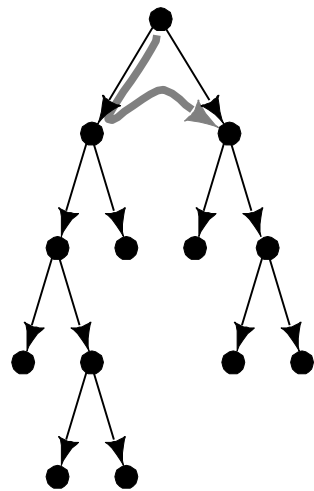
Búsqueda en anchura



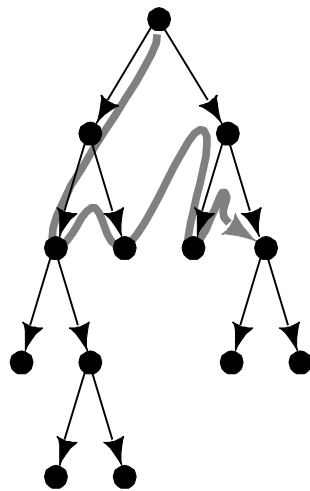
Búsqueda con costo

1. Poner el nodo inicial s en una lista, llamada ABIERTOS, de nodos no expandidos.
2. Crear una lista, llamada CERRADOS, de nodos expandidos, inicialmente vacía.
3. Si ABIERTOS está vacía no existe solución. Terminar.
4. Suprimir de ABIERTOS el nodo i con mínima $g(i)$ y colocarlo en CERRADOS.
5. Si i es un nodo objetivo se ha encontrado la solución. Terminar.
6. En otro caso, expandir el nodo i , si no tiene sucesores ir a 3.
7. Para cada nodo sucesor j del nodo i , insertarlo correctamente en ABIERTOS, asignando $g(j)=g(i)+c(i,j)$.
8. Ir a 3.

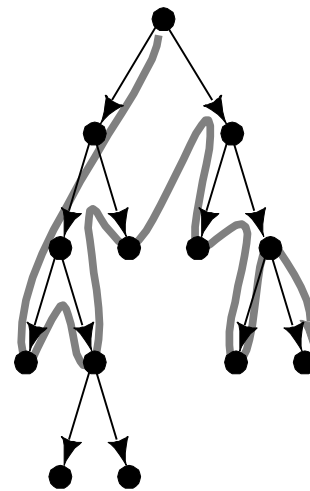
Descenso iterativo



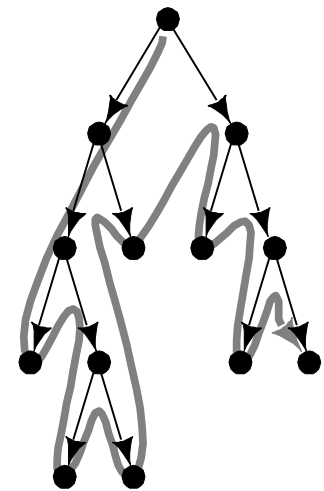
Depth bound = 1



Depth bound = 2



Depth bound = 3



Depth bound = 4

© 1998 Morgan Kaufman Publishers

Problemas descomponibles

- Base de datos inicial (C,B,Z)
- Operadores

R1: $C \longrightarrow (D,L)$

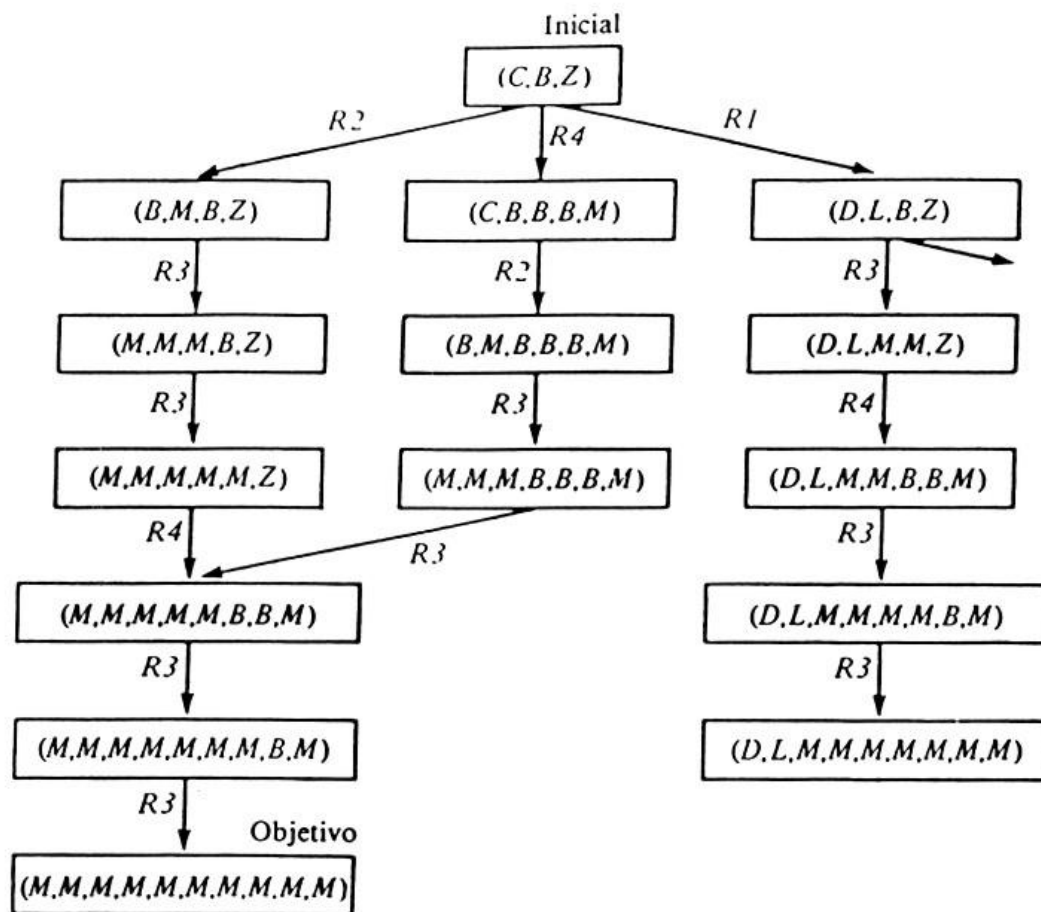
R2: $C \longrightarrow (B,M)$

R3: $B \longrightarrow (M,M)$

R4: $Z \longrightarrow (B,B,M)$

- Objetivo

Resolución del problema

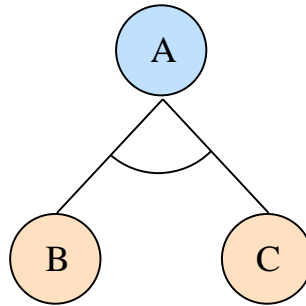


Grafo Y/O

- Descomposición de problemas: arcos Y
- Resolución de problemas: arcos O
- Concepto de solución: subgrafo solución

Grafo Y/O

- **Grafo Y:** Para completar el objetivo/tarea **A**, es necesario terminar antes los objetivos/tareas **B** y **C**.

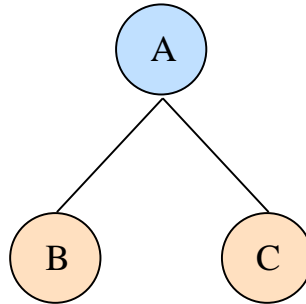


- En el cálculo proposicional, la expresión del grafo Y anterior correspondiente sería de la siguiente forma:

$$\mathbf{B \cdot C \rightarrow A}$$

Grafo Y/O

- **Grafo O:** Para completar el objetivo/tarea **A**, es necesario terminar antes o bien el objetivo/tarea **B**, o bien el objetivo/tarea **C**.

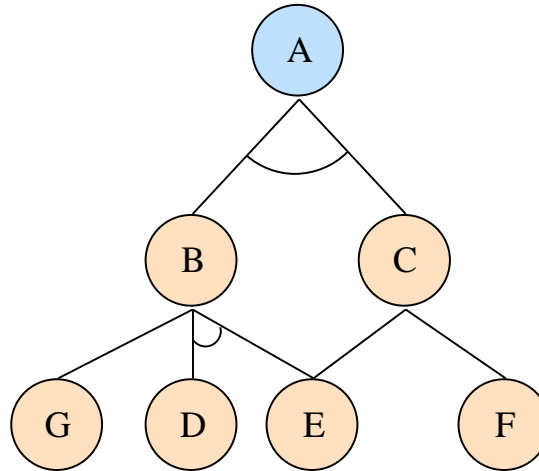


- En el cálculo proposicional, la expresión del grafo O anterior correspondiente sería de la siguiente forma:

$$\mathbf{B+C \rightarrow A}$$

Grafo Y/O

- **Grafo Y/O:** Combinación de grafos Y y grafos O que indican el orden de consecución de tareas a realizar para alcanzar el objetivo.



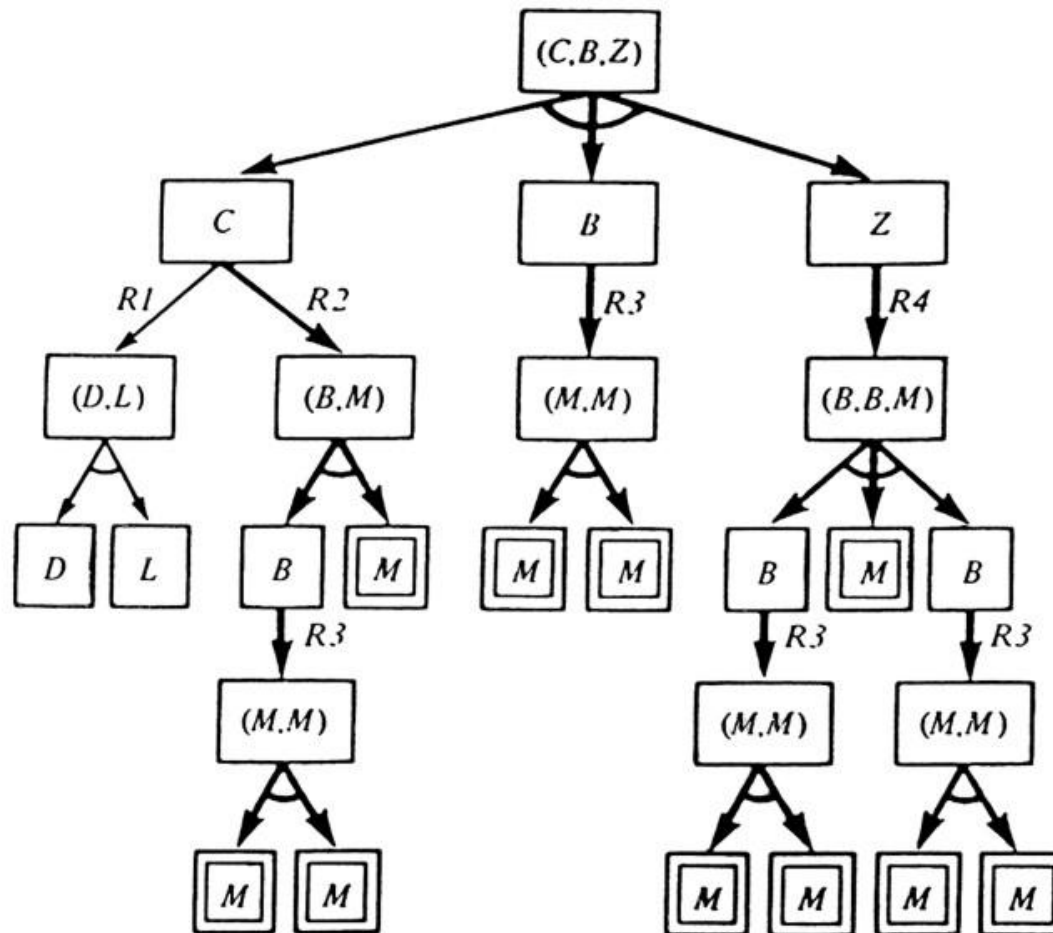
- En el cálculo proposicional, la expresión del grafo Y/O anterior correspondiente sería de la siguiente forma:

$$\mathbf{B \cdot C \rightarrow A; G + D \cdot E \rightarrow B; E + F \rightarrow C}$$

Grafo Y/O

- **Para resolver un grafo Y/O**, cada nodo se resuelve de la siguiente manera:
 - Si es un nodo Y: Resolver todos sus hijos. Combinar la solución y solucionar el nodo. Devolver su solución.
 - Si es un nodo O: Resolver un hijo y ver si devuelve solución. En caso contrario, resolver el siguiente hijo, etc. Cuando ya esté resuelto algún hijo, combinar la solución en el nodo y devolverla.
 - Si es un nodo terminal: Resolver subproblema asociado y devolverla.
- **Mejora:** Para seleccionar el orden de resolución de nodos hijos, se puede utilizar alguna medida de estimación del coste de resolución.

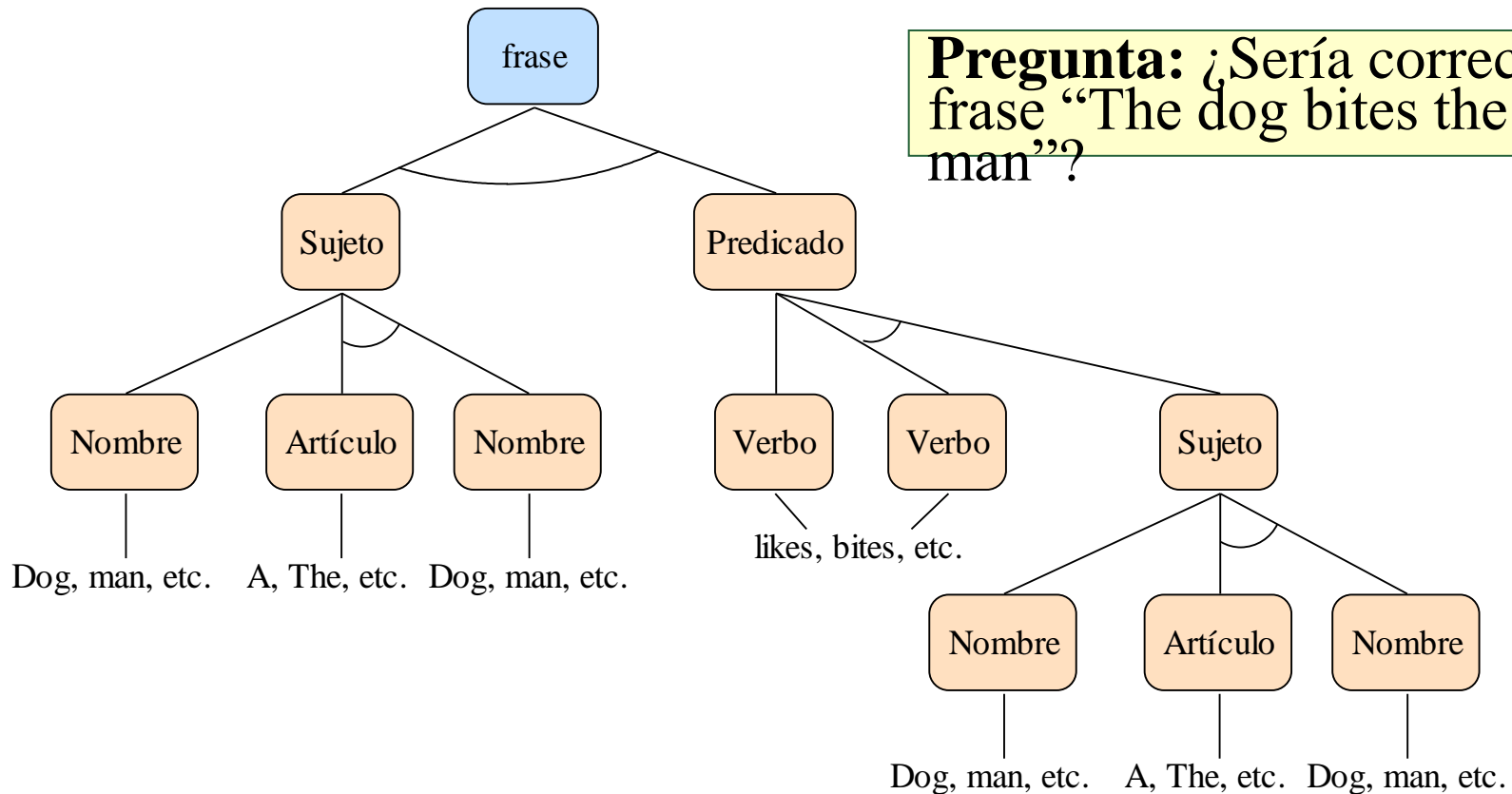
Nueva resolución del problema



Escenario 1: Reconocimiento de frases de lengua inglesa

- Una frase está formada por un sujeto seguido de un predicado.
- El sujeto puede ser un sustantivo o un artículo seguido de un sustantivo.
- El predicado puede ser un verbo, o un verbo seguido de un complemento directo cuya estructura es idéntica a la del sujeto de la frase.

Escenario 1: Reconocimiento de frases de lengua inglesa



Escenario 2: Resolución de integrales

- Para simplificar, supongamos que el computador conoce las transformaciones y técnicas de integración, incluidas en una Base de Datos o de Conocimiento.
- Esta técnica es la que implementa el programa MACSYMA, muy utilizado por matemáticos.
- Supongamos que queremos hacer la siguiente integración:

$$\int \frac{x^4}{(1-x^2)^2} dx$$

Escenario 2: Resolución de integrales

