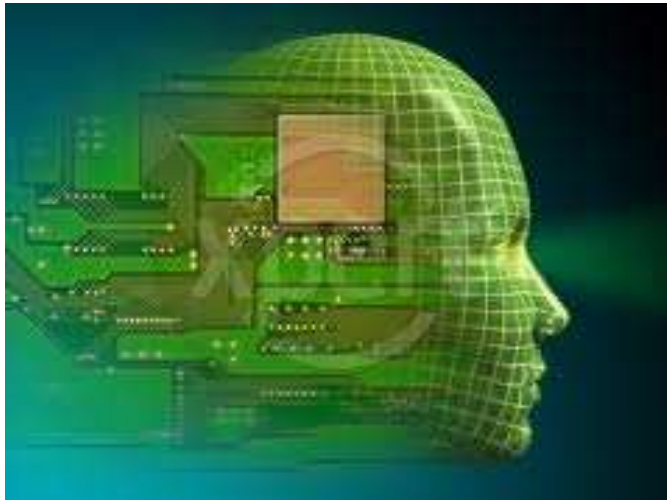


Tema 2: Agentes



Objetivos

- Comprender que el desarrollo de sistemas inteligentes pasa por el diseño de agentes capaces de representar conocimiento y resolver problemas y que puede orientarse a la construcción de sistemas bien completamente autónomos o bien que interactúen y ayuden a los humanos.
- 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.

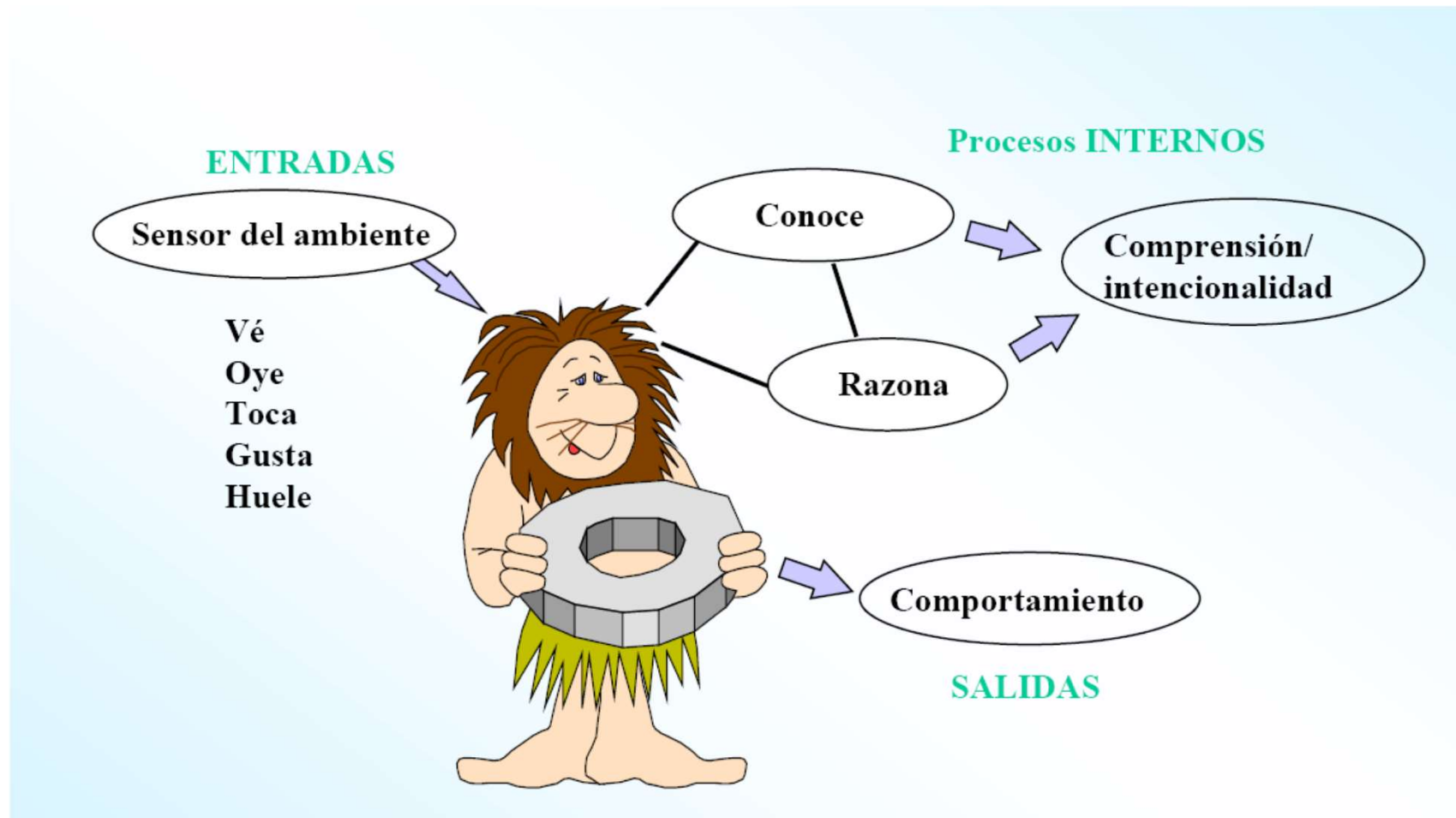
Estudia este tema en...

- Nils J. Nilsson, *“Inteligencia Artificial: Una nueva síntesis”*, Ed. McGraw Hill, 2000. pp. 17-32, 63-74, 103-122, 147-162
- Sobre el concepto de agente inteligente consultar además:
 - Michael Wooldridge, Nicholas R. Jennings, *Intelligent Agents: Theory and Practice*, Knowledge Engineering Review 10 115-152, 1995.

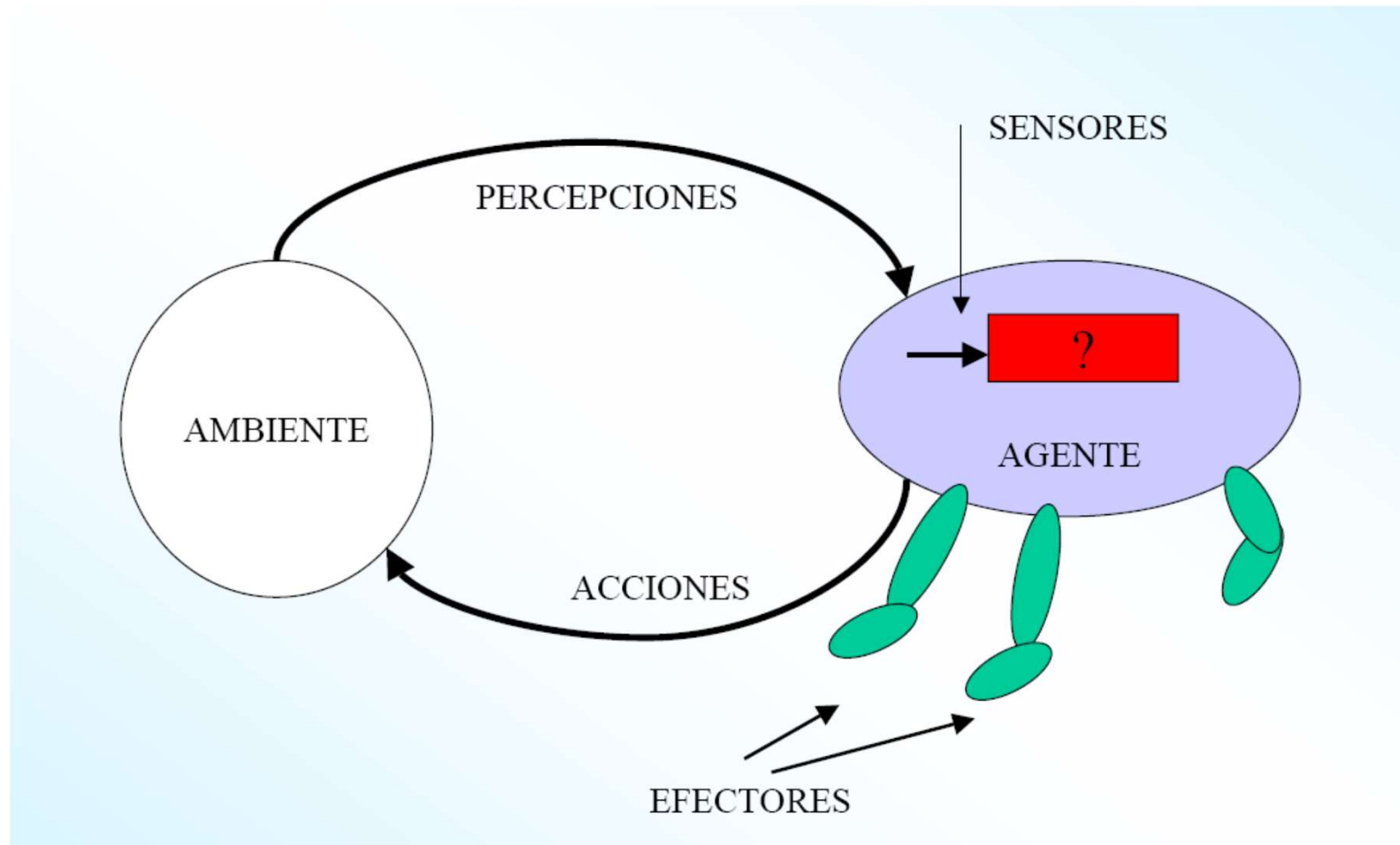
Contenido

- Agentes inteligentes
- Arquitecturas de agentes
- Agentes reactivos

Agentes inteligentes



Agentes



Agentes e Inteligencia Artificial

- **Inteligencia Artificial:** subcampo de la Informática dedicado a la construcción de agentes que exhiben aspectos del comportamiento inteligente
- Los agentes permiten dar una nueva forma de mostrar la Inteligencia Artificial

Concepto de Agente inteligente

- Un **Agente inteligente** es un sistema de ordenador, **situado** en algún entorno, que es capaz de realizar acciones de forma **autónoma** y que es **flexible** para lograr los objetivos planteados.
 - **Situación:** el agente recibe entradas sensoriales de un entorno en donde está situado y realiza acciones que cambian dicho entorno
 - **Autonomía:** el sistema es capaz de actuar sin la intervención directa de los humanos y tiene control sobre sus propias acciones y estado interno

Flexibilidad

- **Reactivo:** el agente debe percibir el entorno y responder de una forma temporal a los cambios que ocurren en dicho entorno
- **Deliberativo:** el agente percibe los cambios en el entorno y conoce las consecuencias de sus acciones en el entorno.
- **Pro-activo:** los agentes no deben simplemente actuar en respuesta a su entorno, deben de ser capaces de exhibir comportamientos dirigidos a lograr objetivos que sean oportunos, y tomar la iniciativa cuando sea apropiado
- **Social:** los agentes deben de ser capaces de interactuar, cuando sea apropiado, con otros agentes artificiales o humanos para completar su propio proceso de resolución del problema y ayudar a otros con sus actividades

Sistemas basados en agentes

- Un Sistema Basado en Agentes será un sistema en el que la abstracción clave utilizada es precisamente la de agente
- **Sistemas multi-agente:** un sistema diseñado e implementado con varios agentes interactuando
- Los sistemas multi-agente son interesantes para representar problemas que tienen
 - múltiples formas de ser resueltos,
 - múltiples perspectivas y/o
 - múltiples entidades para resolver el problema

Interacción entre agentes

- **Cooperación:** trabajar juntos para resolver algo
- **Coordinación:** organizar una actividad para evitar las interacciones perjudiciales y explotar las beneficiosas
- **Negociación:** llegar a un acuerdo que sea aceptable por todas las partes implicadas

Sistemas Multi-Agente

- **Inteligencia Artificial Distribuida**
 - Resolución de Problemas Distribuida
 - Sistemas Multi-Agente
- SMA: una red más o menos unida de resolutores de problemas que trabajan conjuntamente para resolver problemas que están más allá de las capacidades individuales o del conocimiento de cada resolutor del problema
- Resolutor=agente (autónomo y de naturaleza heterogénea)

Características de un SMA

- Cada agente tiene información incompleta, o no todas las capacidades para resolver el problema, así cada agente tiene un punto de vista limitado.
- No hay un sistema de control global.
- Los datos no están centralizados.
- La computación es asíncrona.

Cooperación y Negociación

- Cooperación: herramienta fundamental en la formación de equipos (p.e. ROBOCUP)



ROBOCUP

Promover investigación en robótica e IA.
Desafíos complejos pero atractivos al público general. Iniciada en 1997.



- Negociación: coordinación y resolución de conflictos

<http://www.robocup.org/>

Team Sweaty Offenburg 2020

<https://www.youtube.com/watch?v=W6uT0NmYzJW>

[Highlights - Robocup 2018 SPL Finals: Nao-Team HTWK vs. B ...](https://www.youtube.com/watch?v=pmFKoKtRW6s)

<https://www.youtube.com/watch?v=pmFKoKtRW6s>



Arquitecturas de Agentes

- Arquitecturas deliberativas
- Arquitecturas reactivas
- Arquitecturas híbridas

Arquitecturas deliberativas

- **Sistema de símbolos físicos:** un conjunto de entidades físicas (símbolos) que pueden combinarse para formar estructuras, y que es capaz de ejecutar procesos que operan con dichos símbolos de acuerdo a conjuntos de instrucciones codificadas simbólicamente
- La **hipótesis de sistema de símbolos físicos** dice que tales sistemas son capaces de generar acciones inteligentes
- **Agente deliberativo:** aquel que contiene un modelo simbólico del mundo explícitamente representado, y cuyas decisiones se realizan a través de un razonamiento lógico basado en emparejamientos de patrones y manipulaciones simbólicas

Arquitecturas deliberativas

- El problema de trasladar en un tiempo razonable para que sea útil el mundo real en una descripción simbólica precisa y adecuada
- El problema de representar simbólicamente la información acerca de entidades y procesos complejos del mundo real, y como conseguir que los agentes razonen con esta información para que los resultados sean útiles

Arquitecturas Reactivas

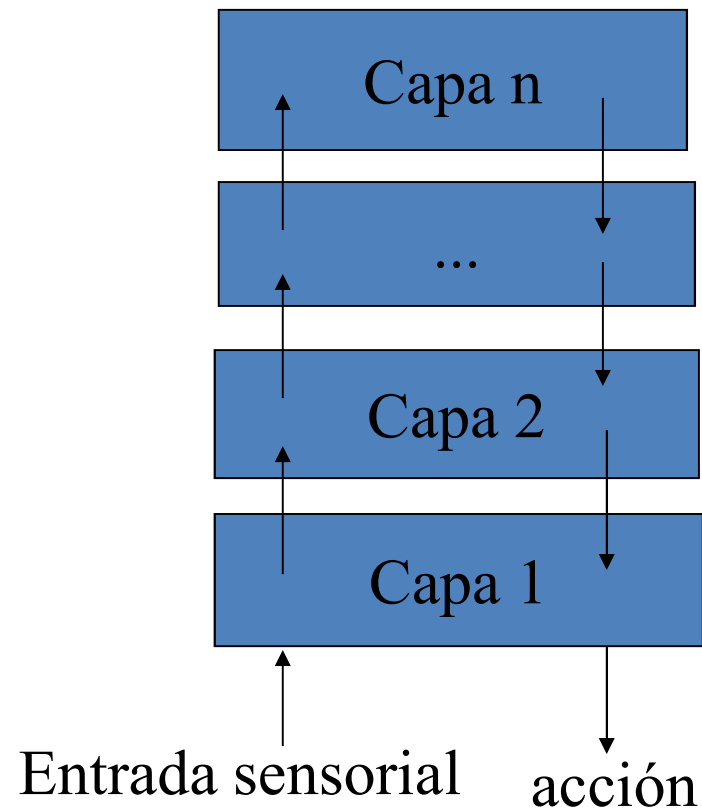
- Una arquitectura reactiva es aquella que no incluye ninguna clase de modelo centralizado de representación simbólica del mundo, y no hace uso de razonamiento complejo
 - El comportamiento inteligente puede ser generado sin una representación explícita de la clase que la IA simbólica propone
 - El comportamiento inteligente puede ser generado sin un razonamiento abstracto explícito de la clase que la IA propone
 - La inteligencia es una propiedad emergente de ciertos sistemas complejos

Arquitecturas Reactivas

- La inteligencia “real” está situada en el mundo, y no es sistemas incorpóreos tales como la demostración de teoremas o los sistemas expertos
- El comportamiento “inteligente” surge como el resultado de la interacción del agente con su entorno. La inteligencia está “en el ojo de espectador” no es una propiedad innata ni aislada

Arquitecturas Híbridas

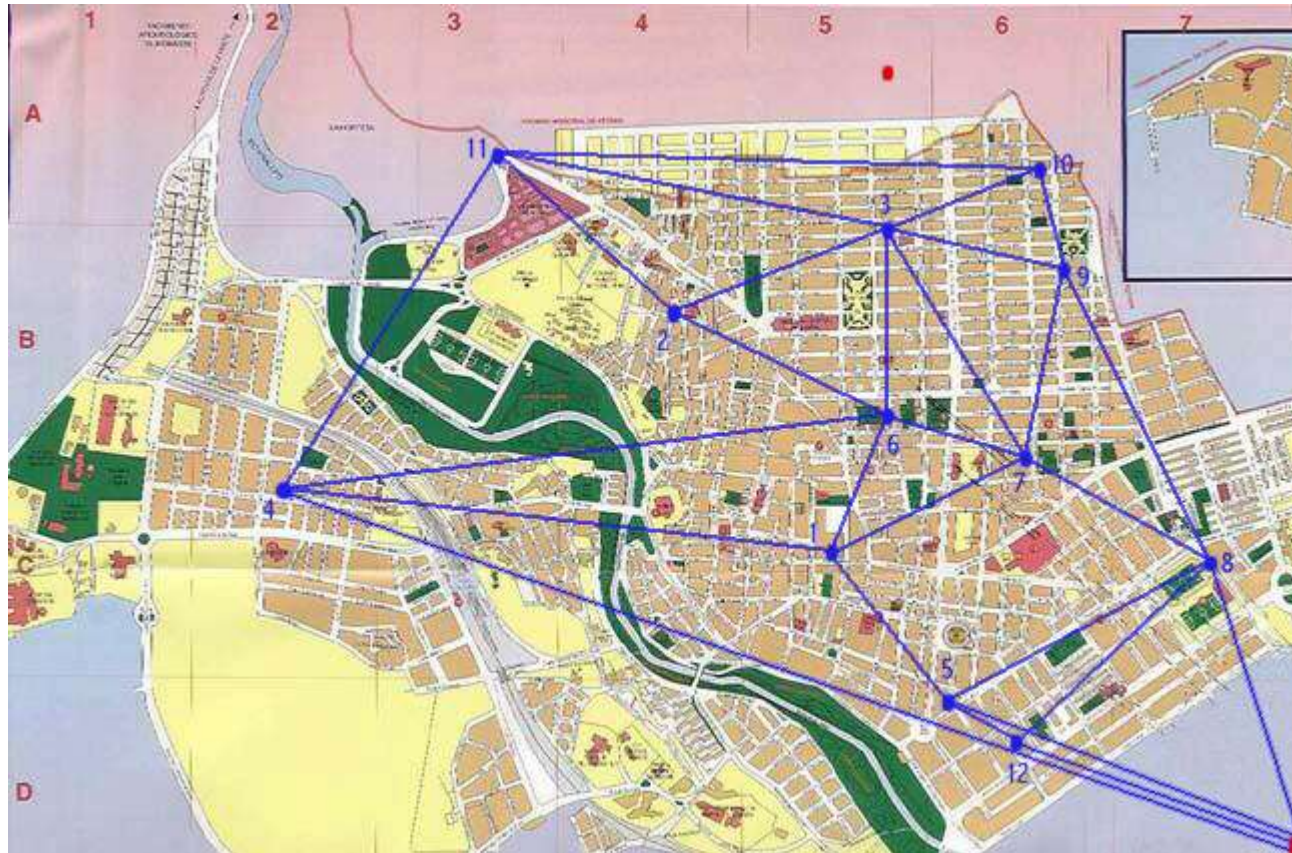
- Estructura vertical



Ejemplo de agentes reactivo: un robot que recorre un pasillo



Ejemplo de agente deliberativo: Problema del viajante de comercio



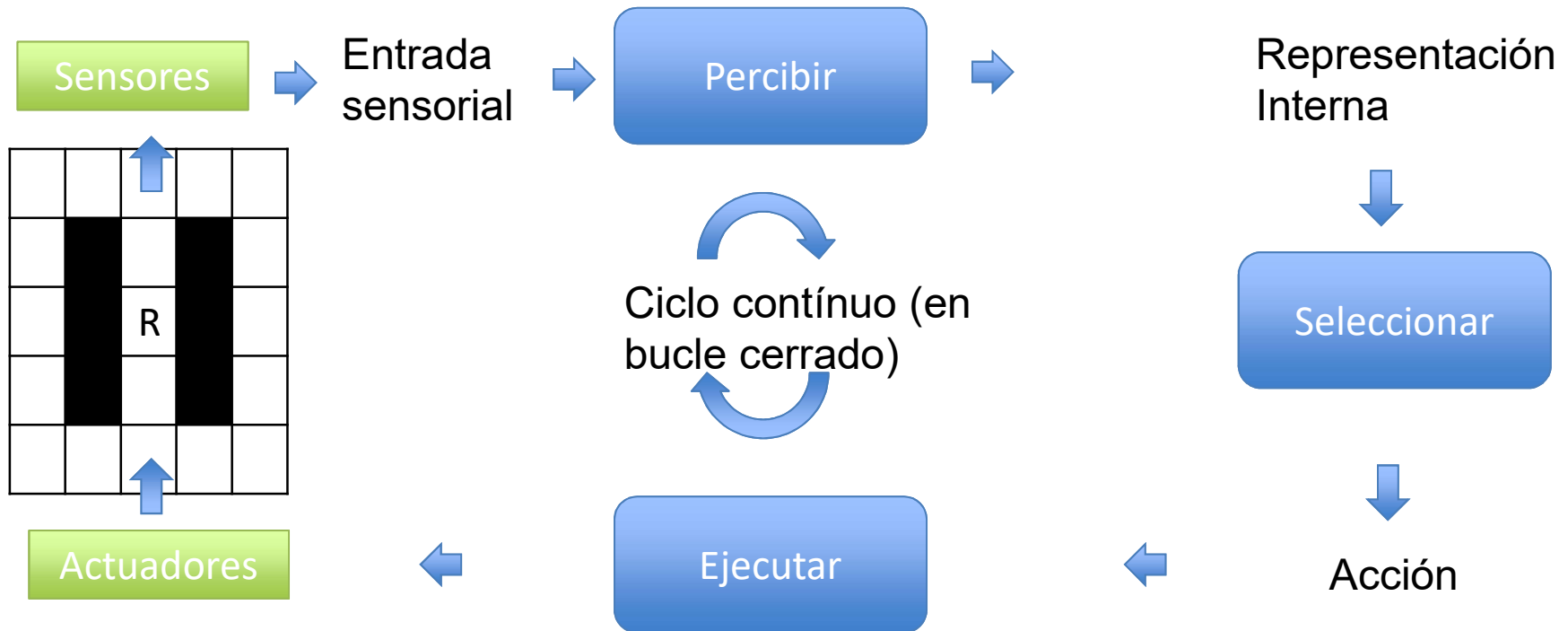
Agentes reactivos

- Representaciones del mundo
- Diseño de un agente reactivo: arquitecturas de agentes
- Agentes reactivos con memoria

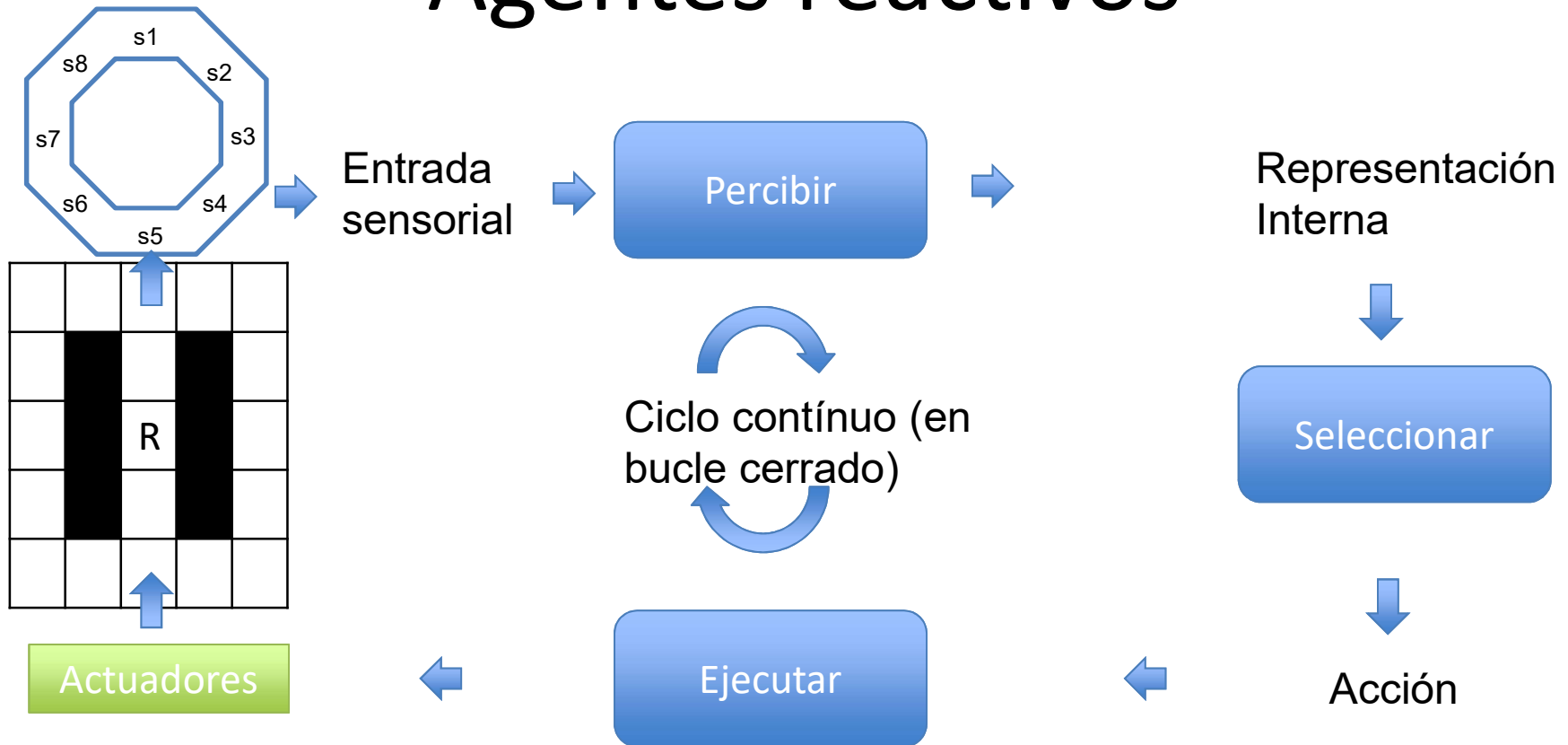
Agentes reactivos



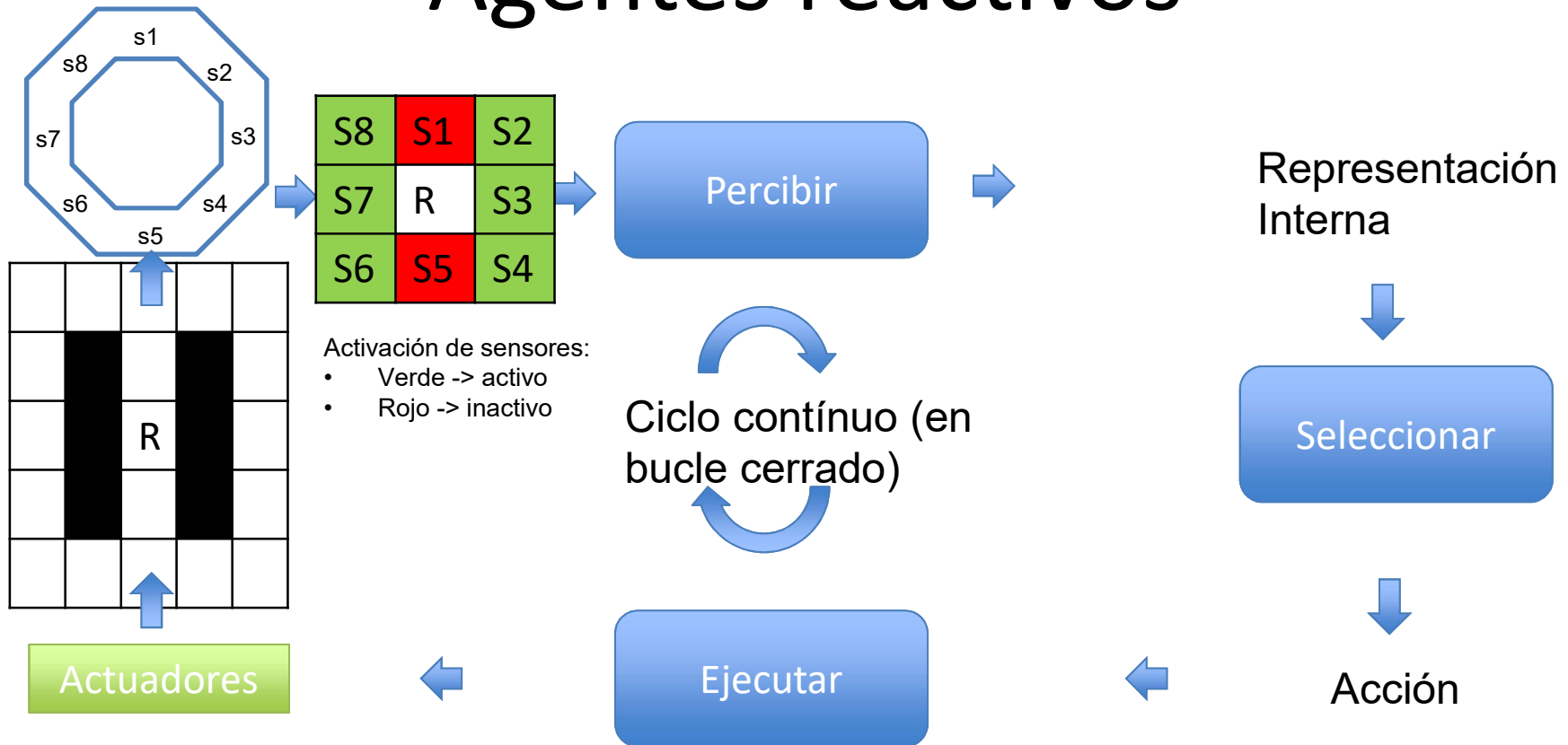
Agentes reactivos



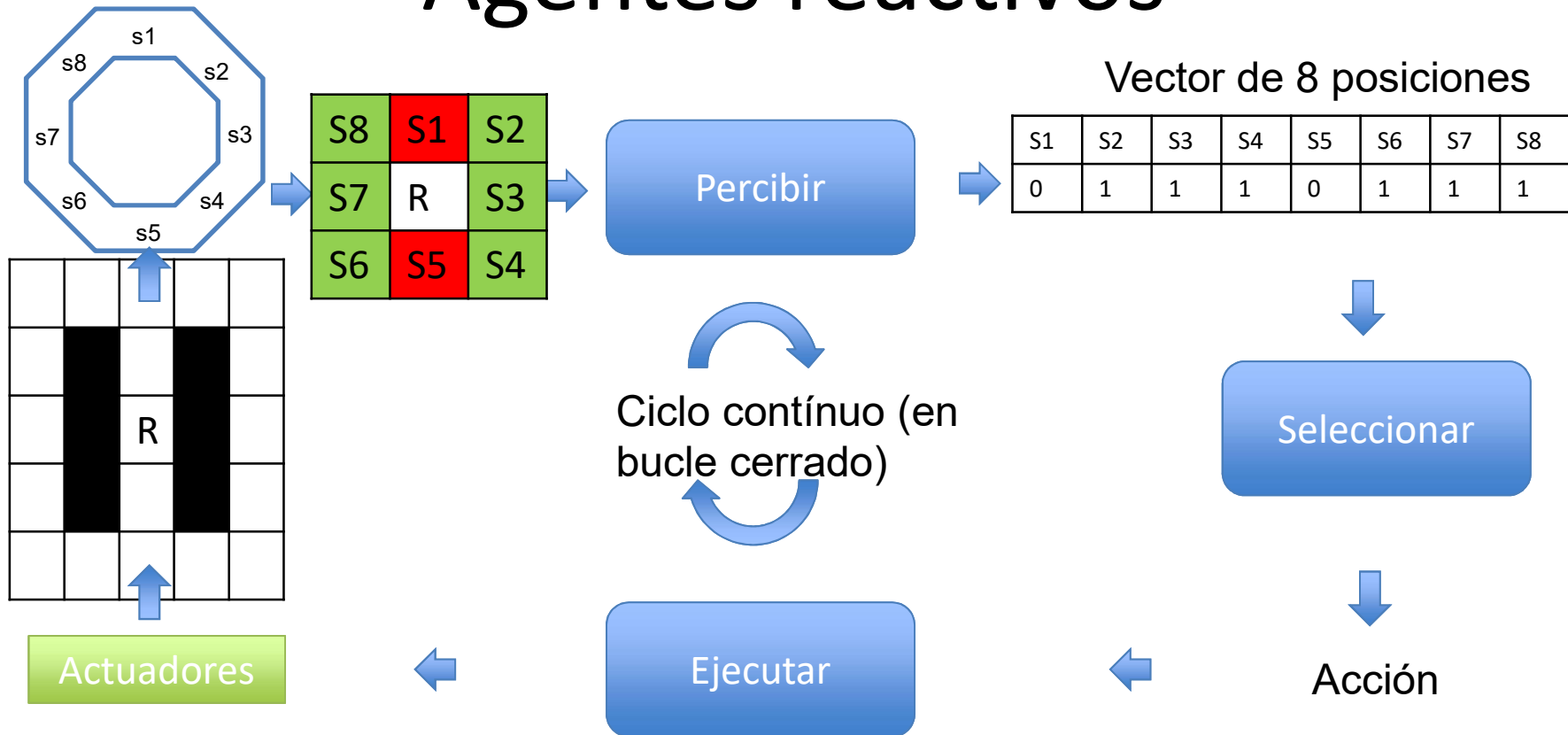
Agentes reactivos



Agentes reactivos

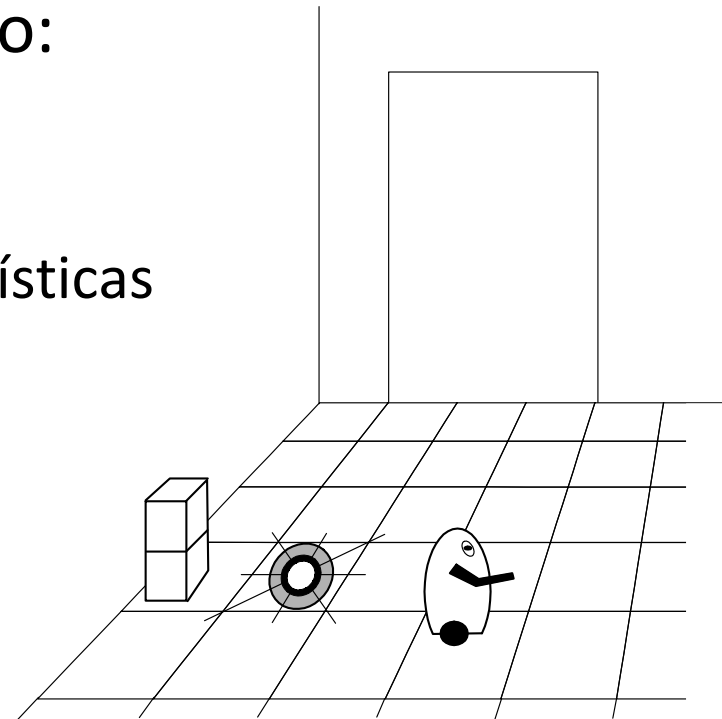


Agentes reactivos



Representaciones del mundo

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

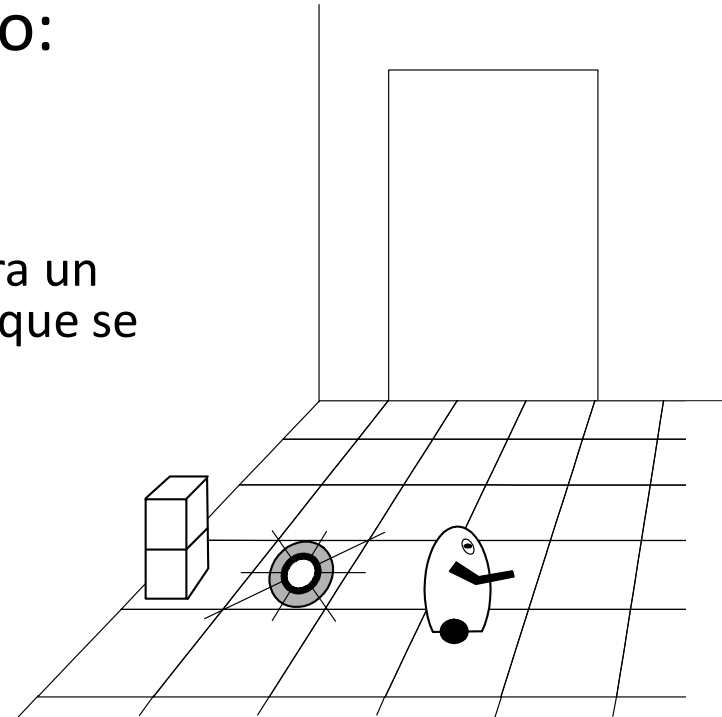


© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

El mundo espacial cuadriculado

Representaciones del mundo

- Representaciones del mundo:
 - modelos icónicos
 - Estructura de datos que muestra un reflejo lo más fiel posible de lo que se observa.



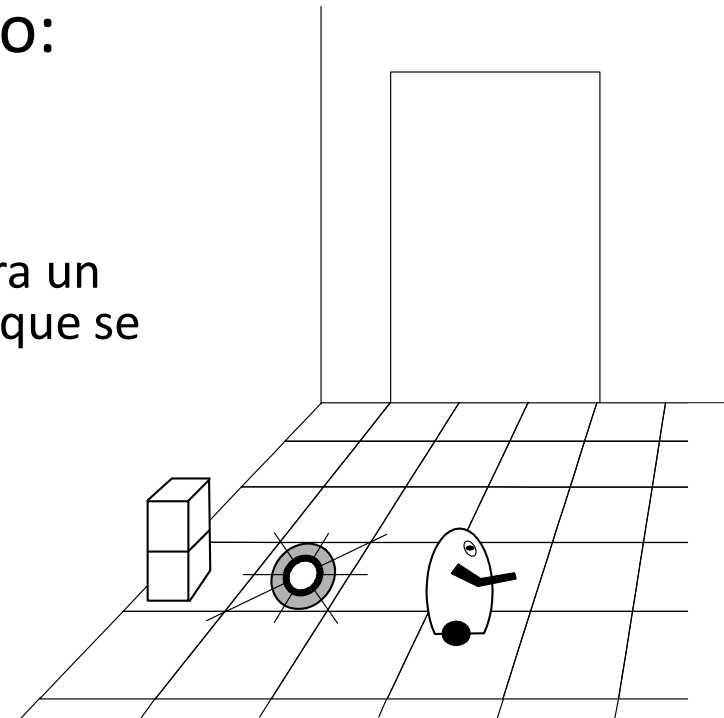
© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

El mundo espacial cuadriculado

Representaciones del mundo

- Representaciones del mundo:
 - modelos icónicos
 - Estructura de datos que muestra un reflejo lo más fiel posible de lo que se observa.

B		P	P	P		
B						
B						
B	{b1,b2}	O				
B				R		
B	B	B	B	B	B	...

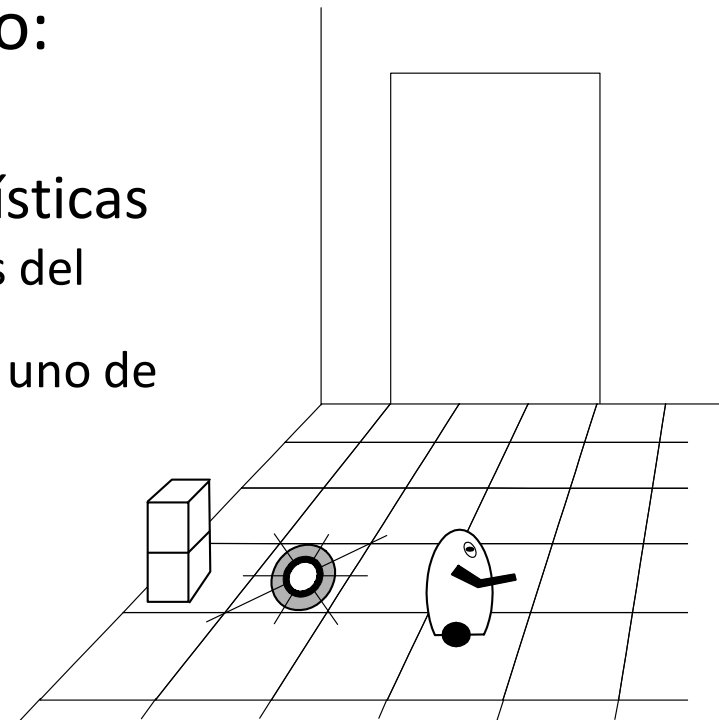
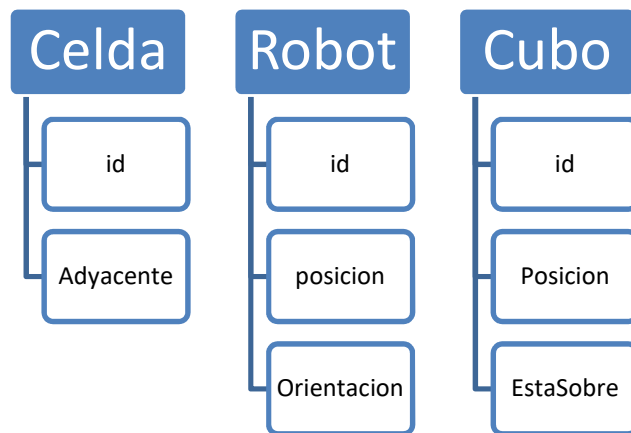


© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

El mundo espacial cuadriculado

Representaciones del mundo

- Representaciones del mundo:
 - modelos basados en características
 - Se centran en definir los objetos del mundo y asociar características/atributos a cada uno de ellos (propiedades y relaciones)



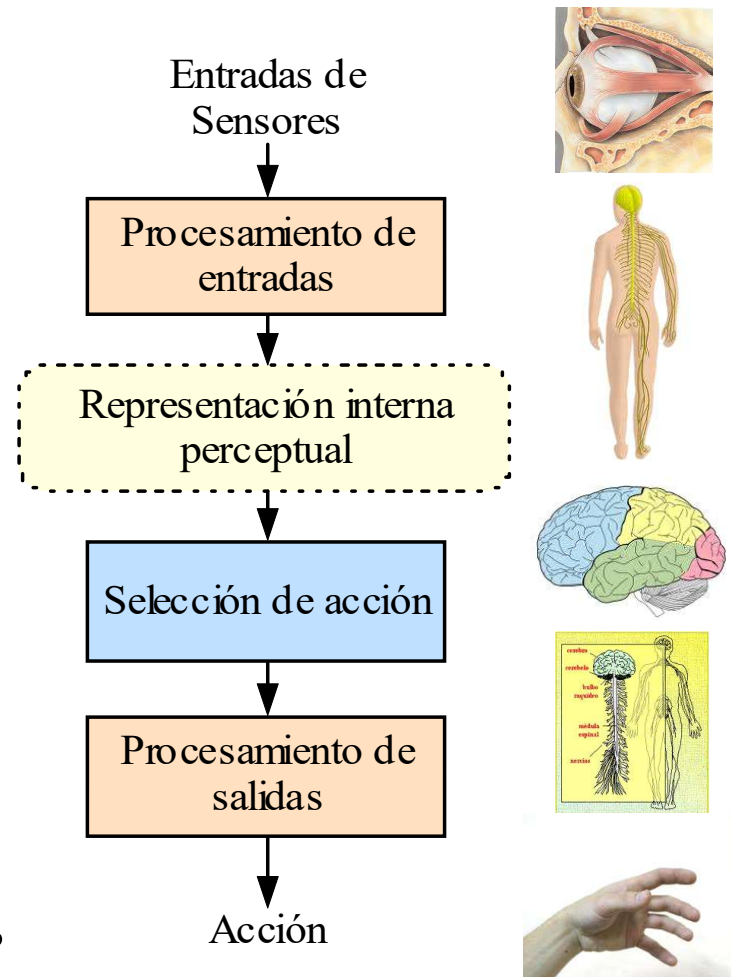
© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

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: Elementos a considerar**

- **Descripción del entorno:**

- Supongamos un robot en un mundo dividido en cuadrículas.

- **Información sensorial:**

- El robot puede percibir si las 8 casillas vecinas están libres o no, con un sensor s_i por cada casilla i .

- **Especificación del comportamiento:**

- El objetivo del robot es ir a una pared y seguir su perímetro indefinidamente.

- **Repertorio de acciones:**

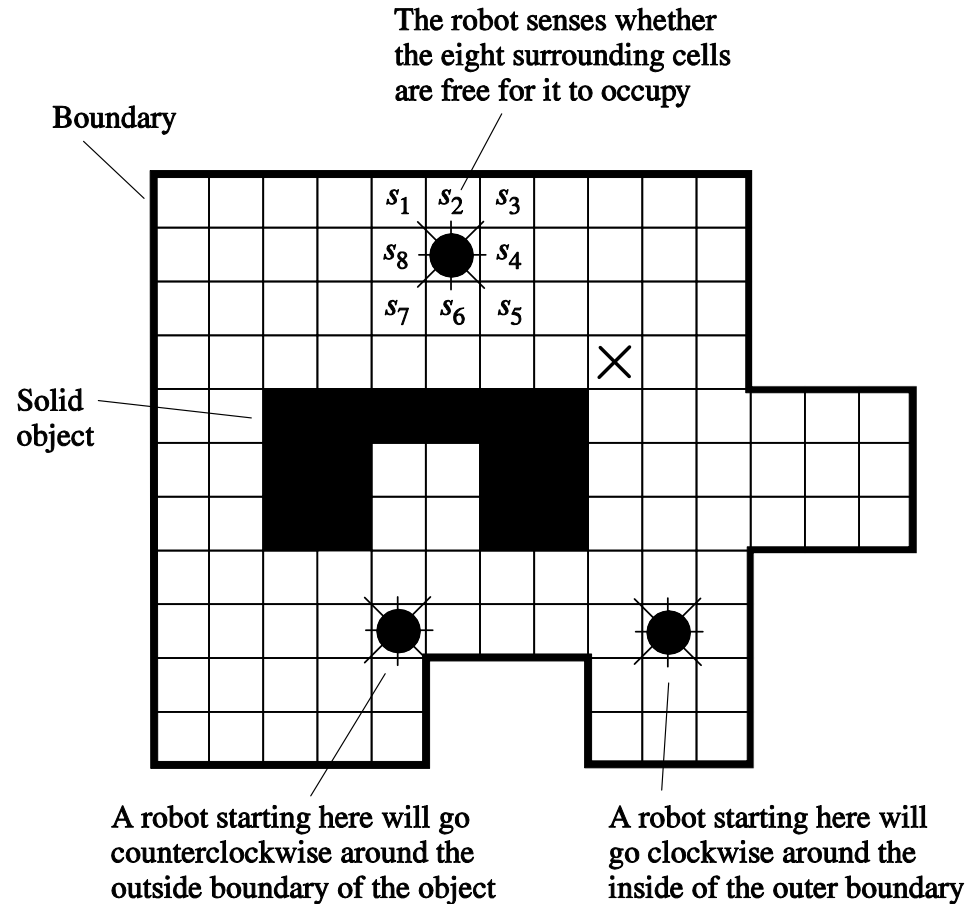
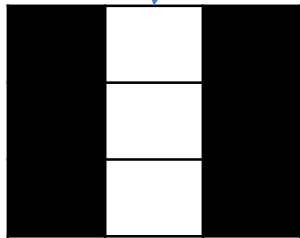
- Tiene 4 posibles movimientos (de 1 casilla cada uno): Ir a Norte, Sur, Este u Oeste.

- **Restricciones adicionales:**

- 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

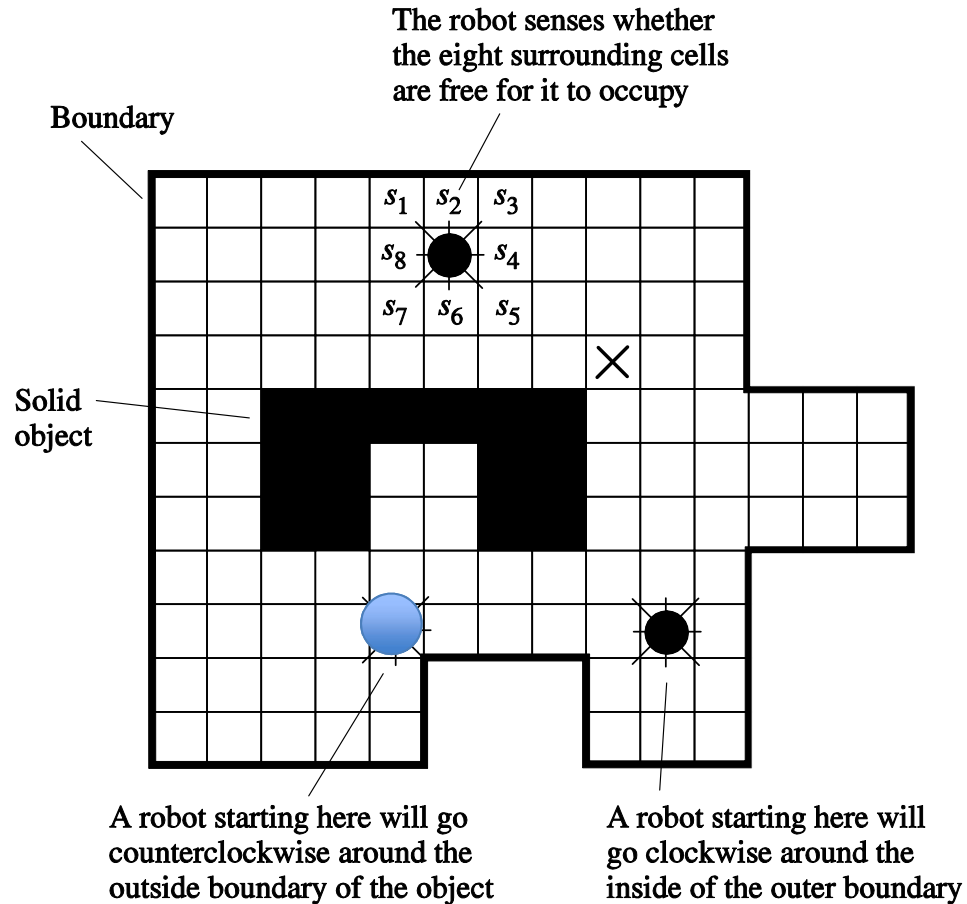
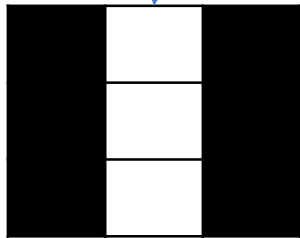
No permitido para evitar situaciones conflictivas. ¿Qué muro habría que seguir?



© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

Diseño de un agente reactivo

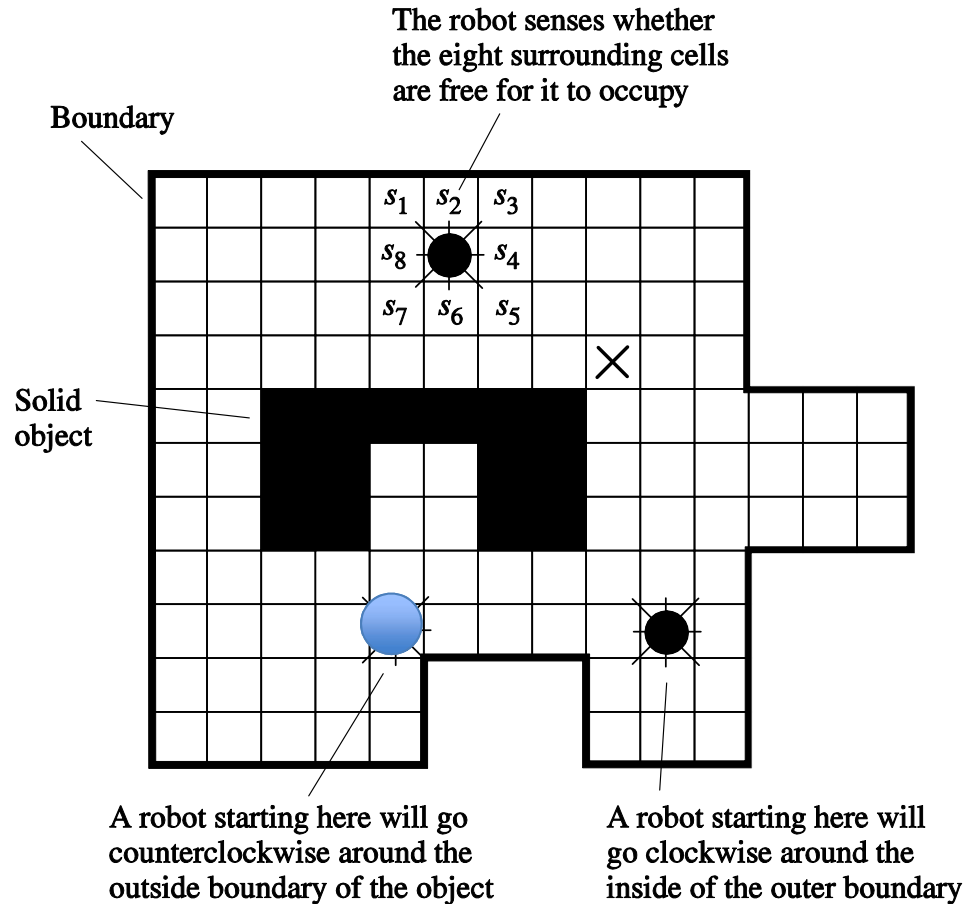
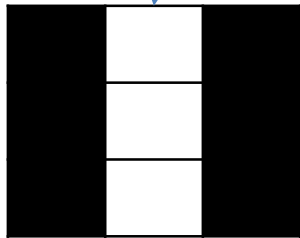
No permitido para evitar situaciones conflictivas. ¿Qué muro habría que seguir?



© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

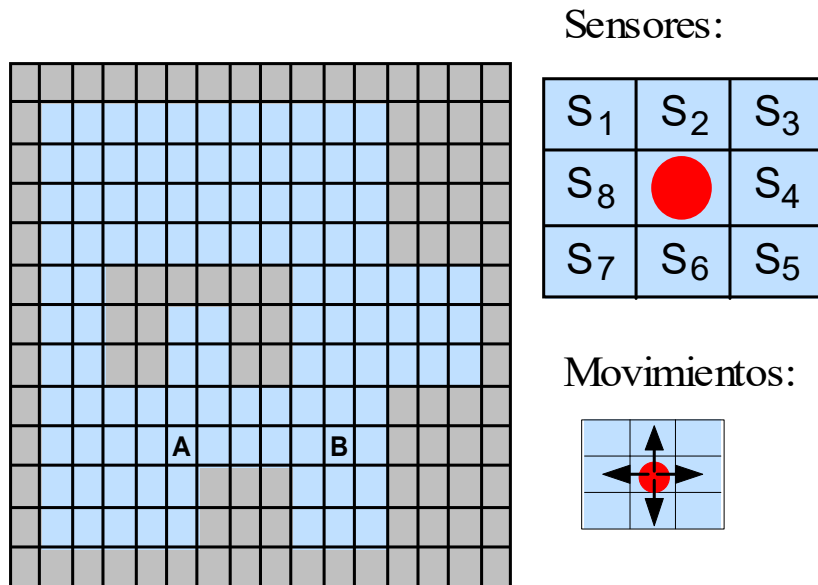
Diseño de un agente reactivo

No permitido para evitar situaciones conflictivas. ¿Qué muro habría que seguir?



© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

Representación interna



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
---	---	---	---	---	---	---	---

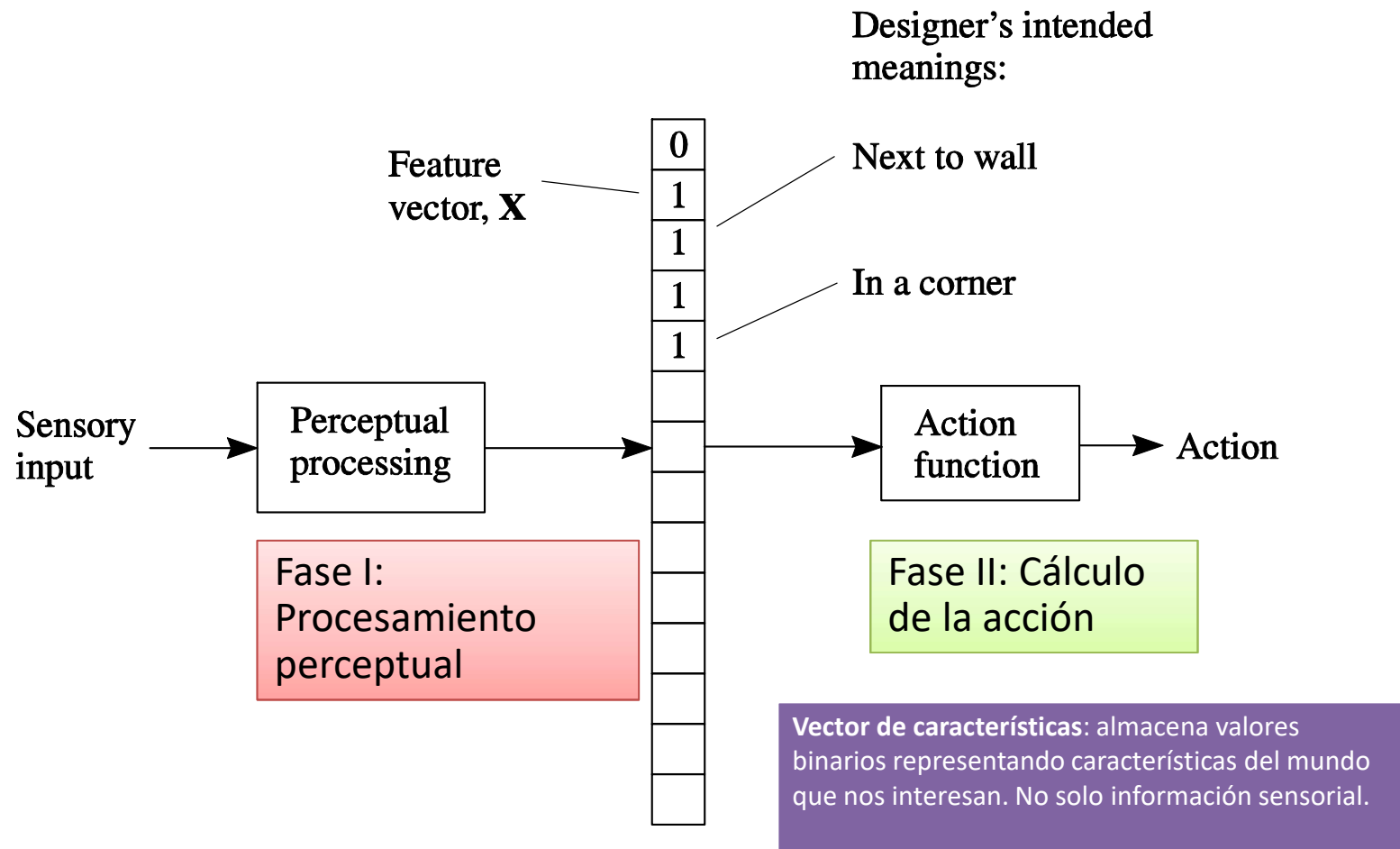
Movimientos posibles

- 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: Determinar la **función del agente**

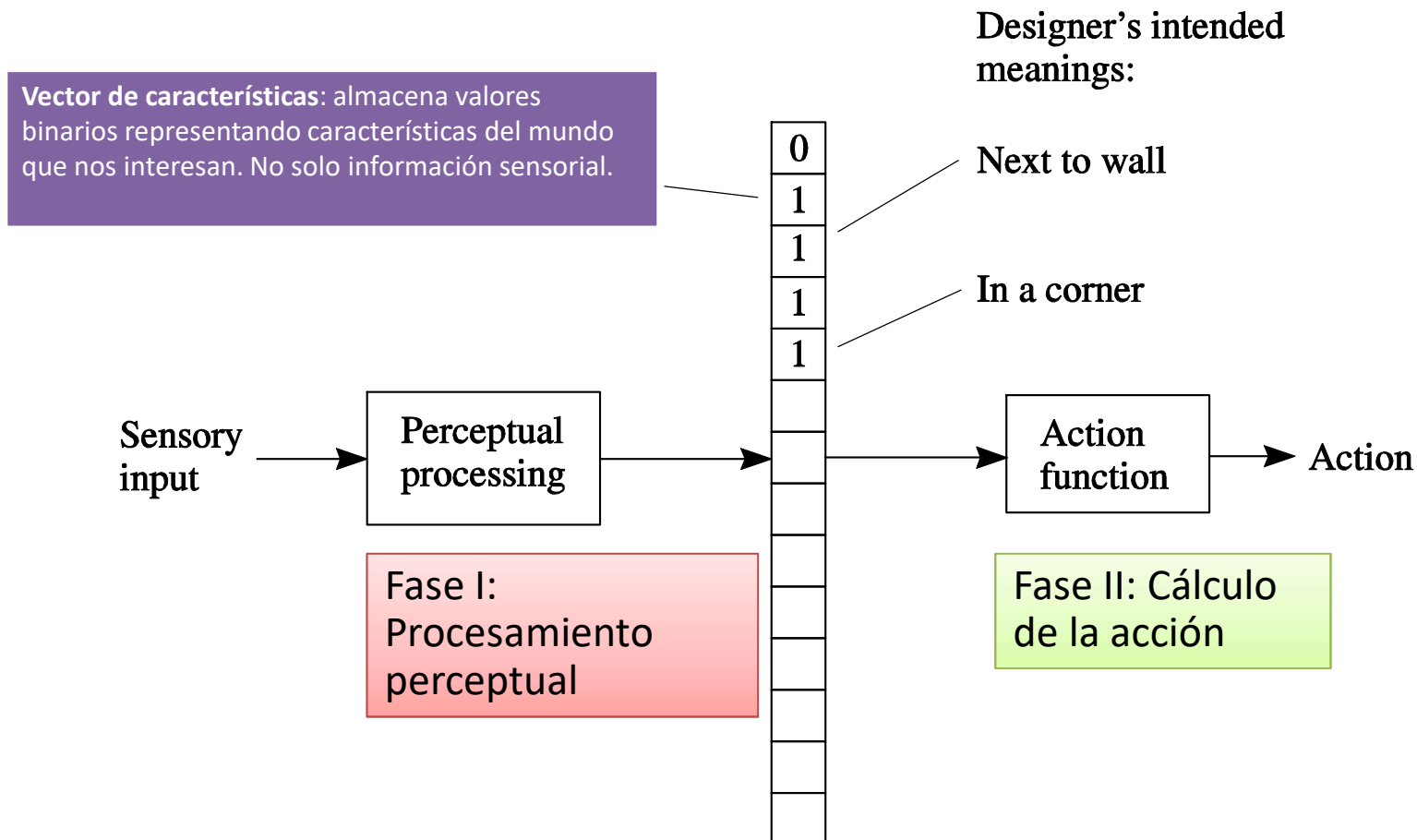
desarrollar una función definida sobre las entradas sensoriales que seleccione la acción apropiada en cada momento para llevar a cabo con éxito la tarea del robot.

Función del agente: Proceso en dos fases



© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

Función del agente: Proceso en dos fases



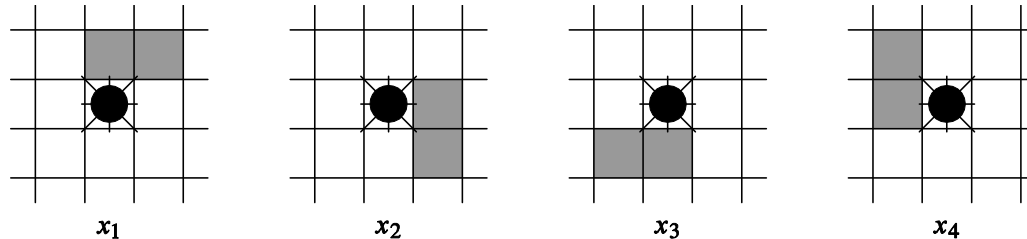
© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

Percepción y acción

- Percepción:

Vector de características:
simplifica y ayuda a definir el
proceso de selección de acción.

Características adicionales a las entradas
sensoriales



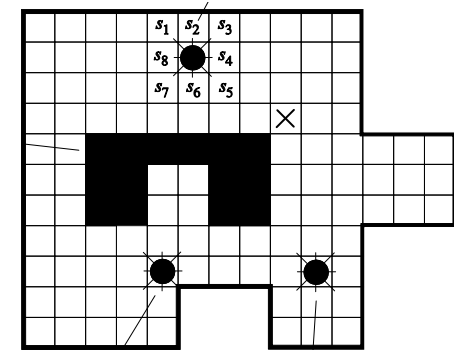
In each diagram, the indicated feature has value 1 if and only if at least one of the shaded cells is *not* free.

© 1998 Morgan Kaufman Publishers

- Acción: a partir de las características se define una política de actuación.

Definición de los criterios de selección de 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

$$c_1 \rightarrow a_1$$

$$c_2 \rightarrow a_2$$

...

$$c_i \rightarrow a_i$$

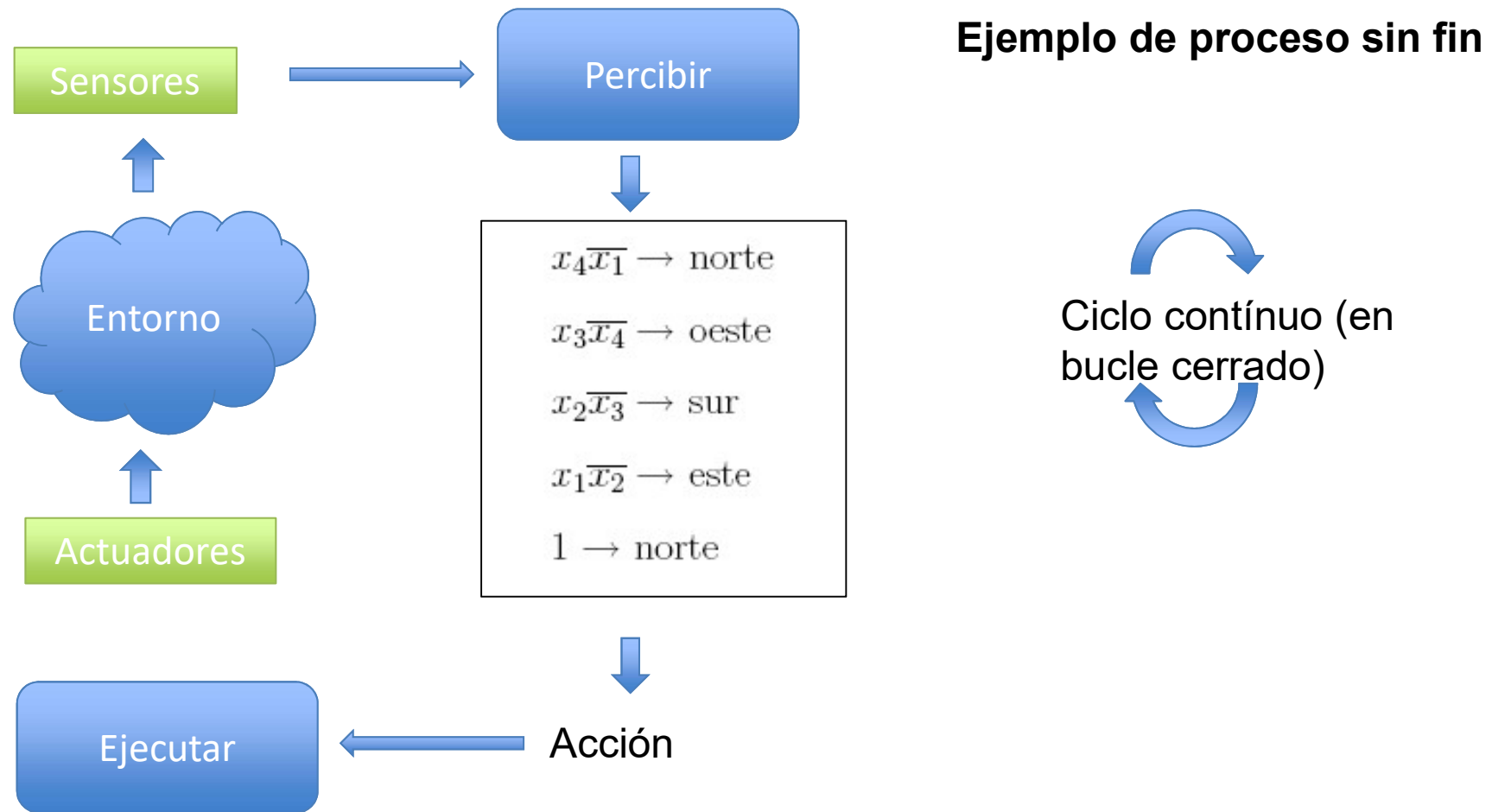
...

$$c_m \rightarrow a_m$$

Un conjunto de reglas + un proceso de selección de reglas

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

Tarea de seguimiento de bordes



Tarea llevar al robot a una esquina cóncava

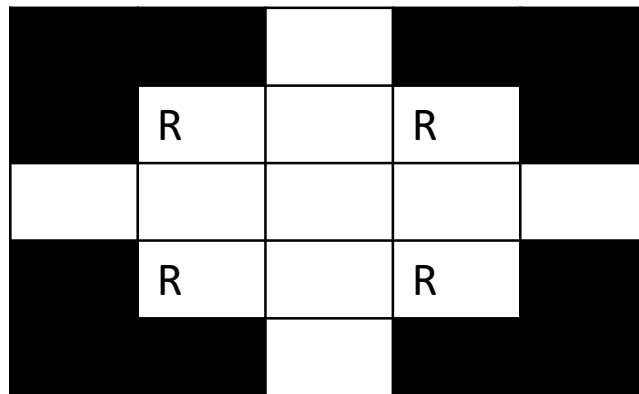
Característica: esquina cóncava detectada

Ejemplo de proceso con objetivo

$c \rightarrow \text{nil}$

Acción idle: no hacer nada

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



Tarea llevar al robot a una esquina cóncava

Ejemplo de proceso con objetivo

$c \rightarrow \text{nil}$

$1 \rightarrow \text{s-b}$



Llamada a la
función que
implementa el
seguimiento
de bordes



$x_4\overline{x_1} \rightarrow \text{norte}$

$x_3\overline{x_4} \rightarrow \text{oeste}$

$x_2\overline{x_3} \rightarrow \text{sur}$

$x_1\overline{x_2} \rightarrow \text{este}$

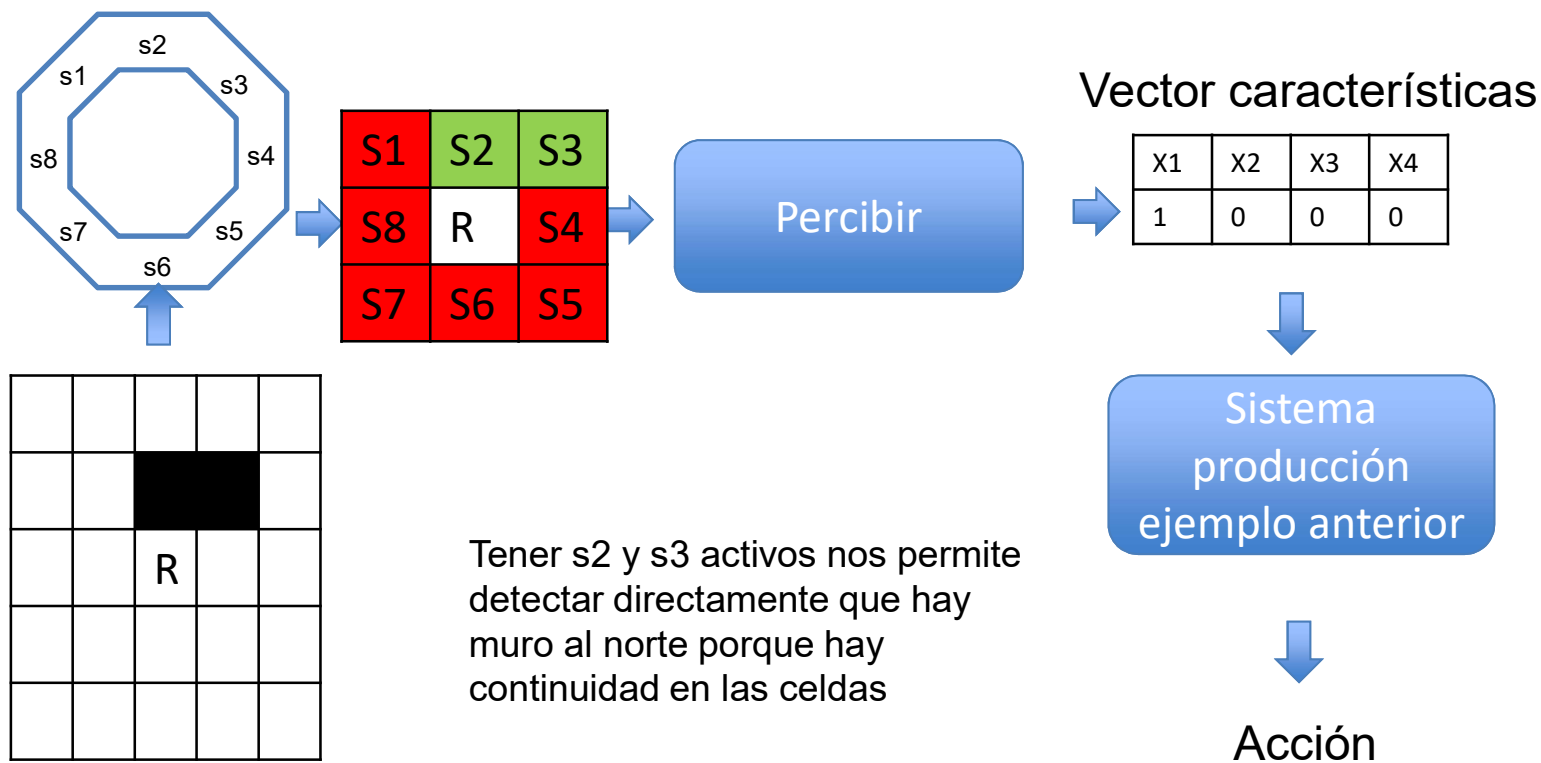
$1 \rightarrow \text{norte}$

Agentes reactivos con memoria

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

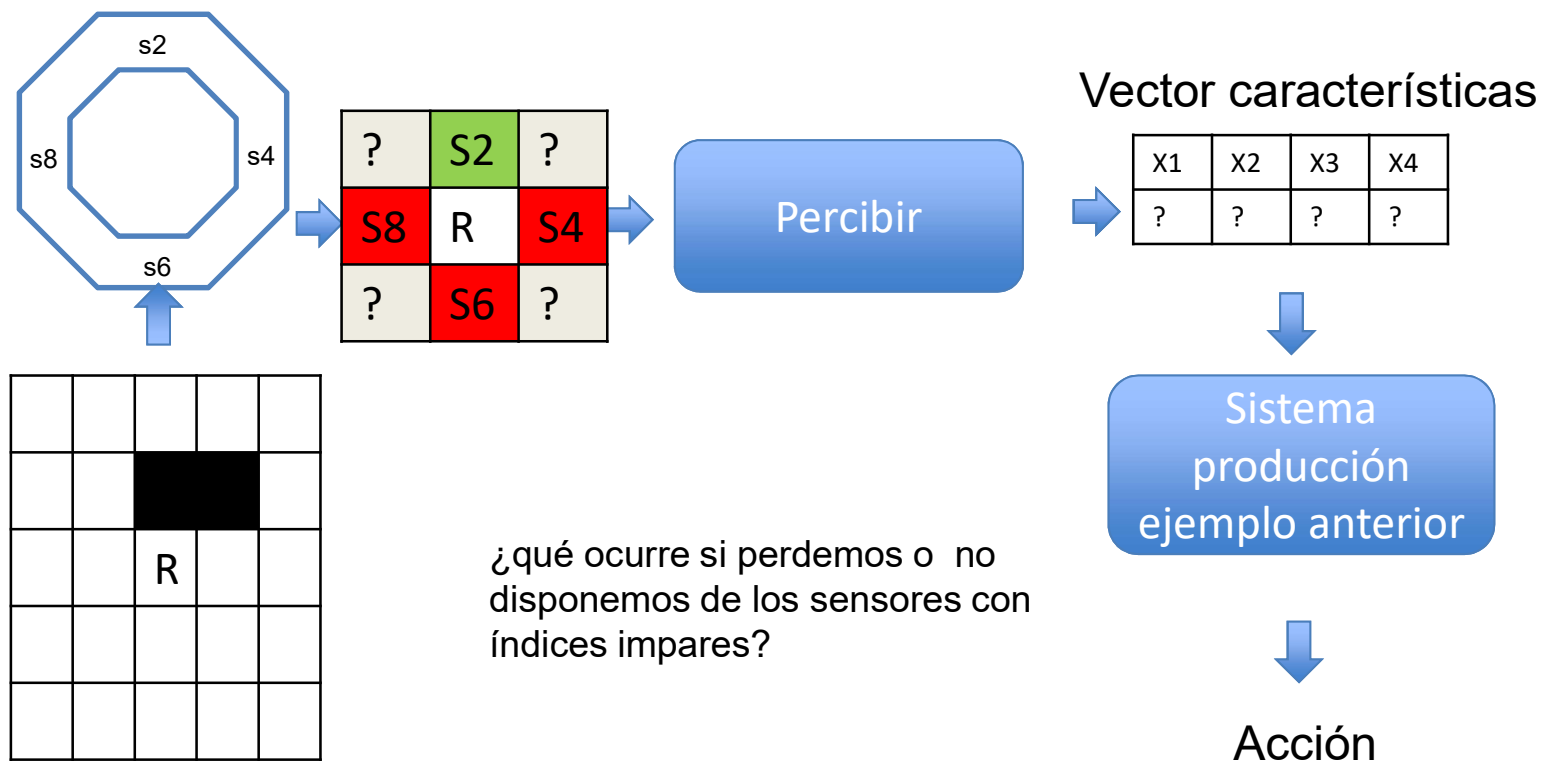
Agentes reactivos con memoria

- Limitaciones del sistema sensorial de un agente.



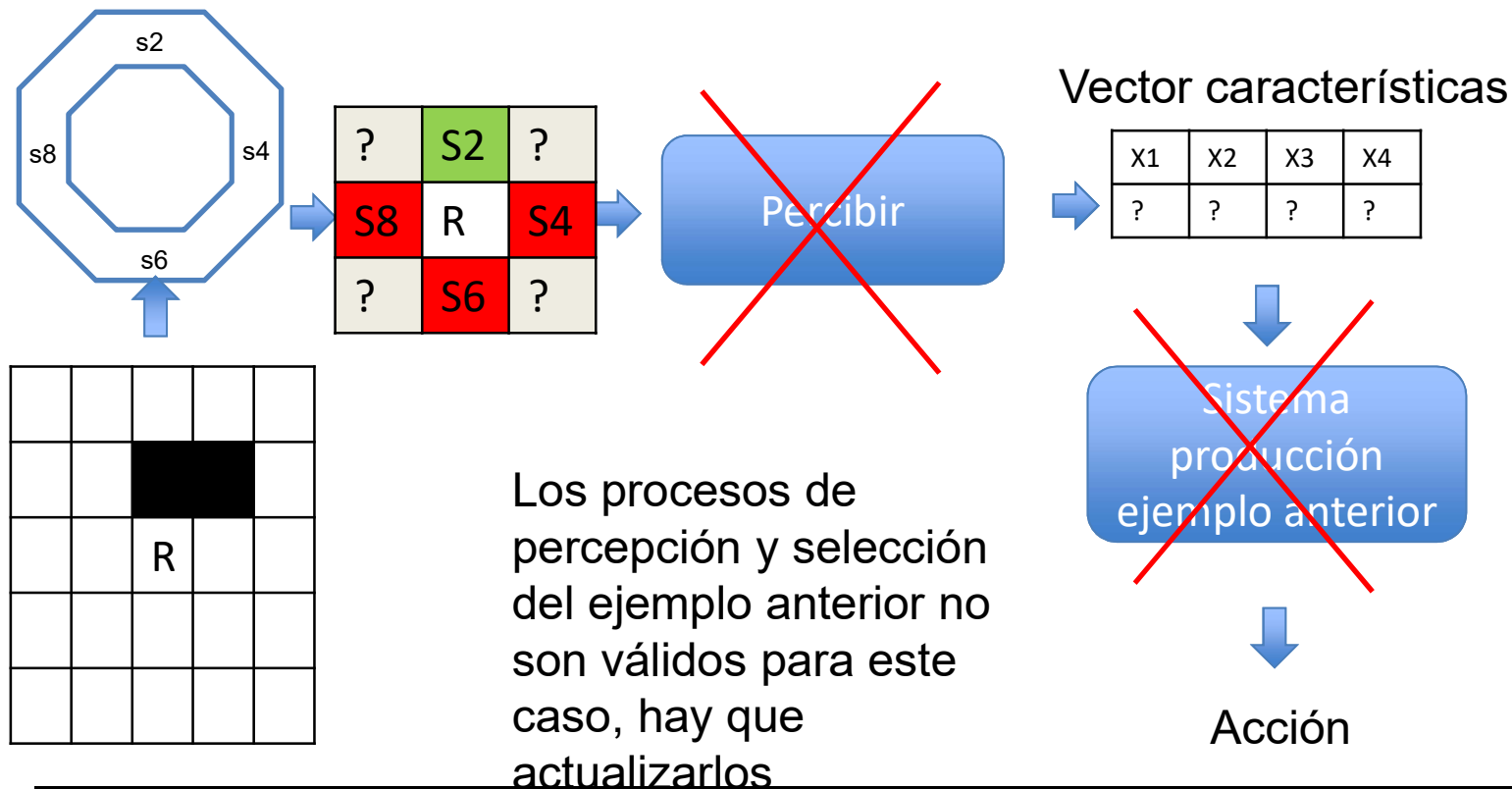
Agentes reactivos con memoria

- Limitaciones del sistema sensorial de un agente.



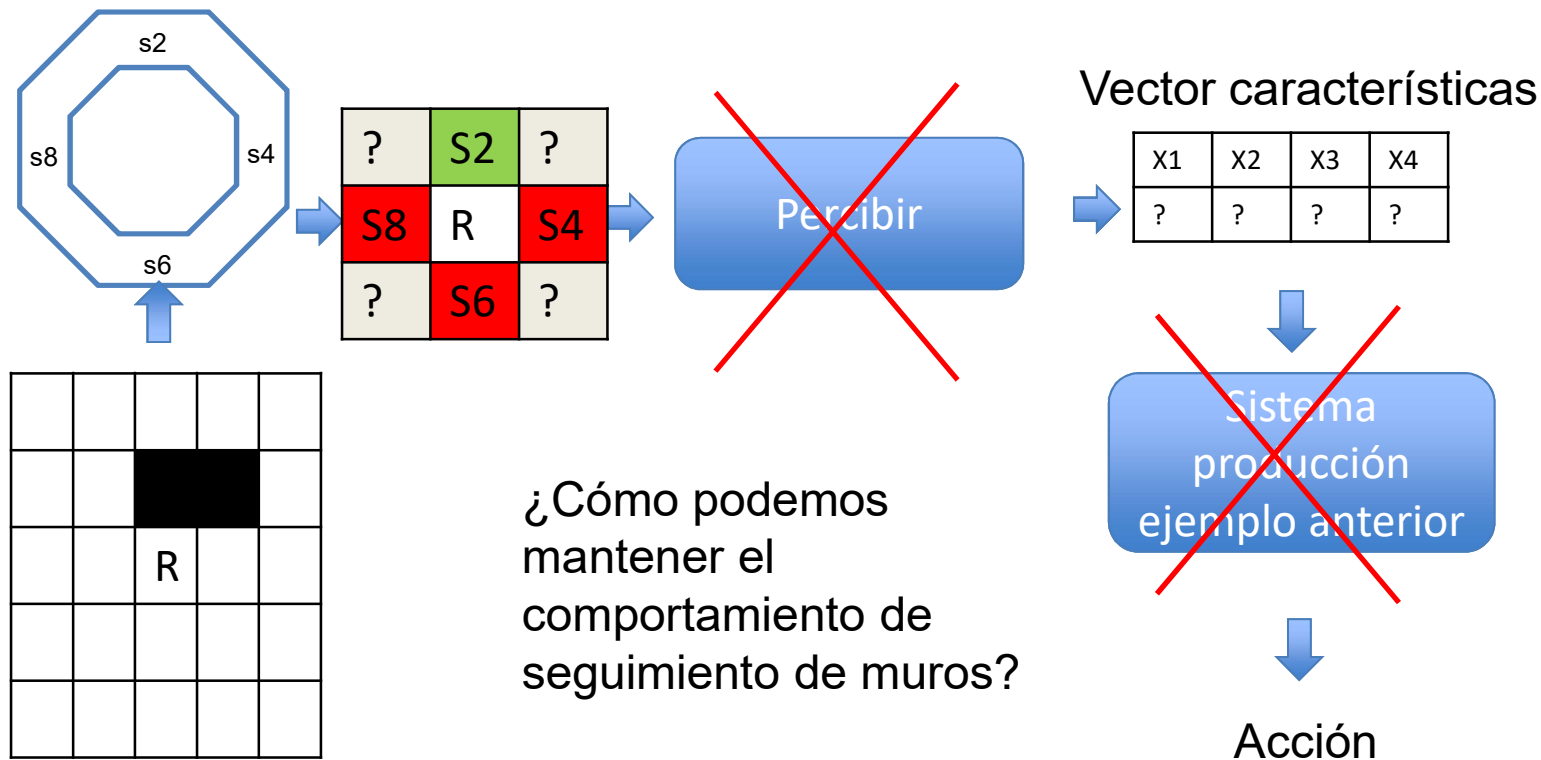
Agentes reactivos con memoria

- Limitaciones del sistema sensorial de un agente.



Agentes reactivos con memoria

- Limitaciones del sistema sensorial de un agente.

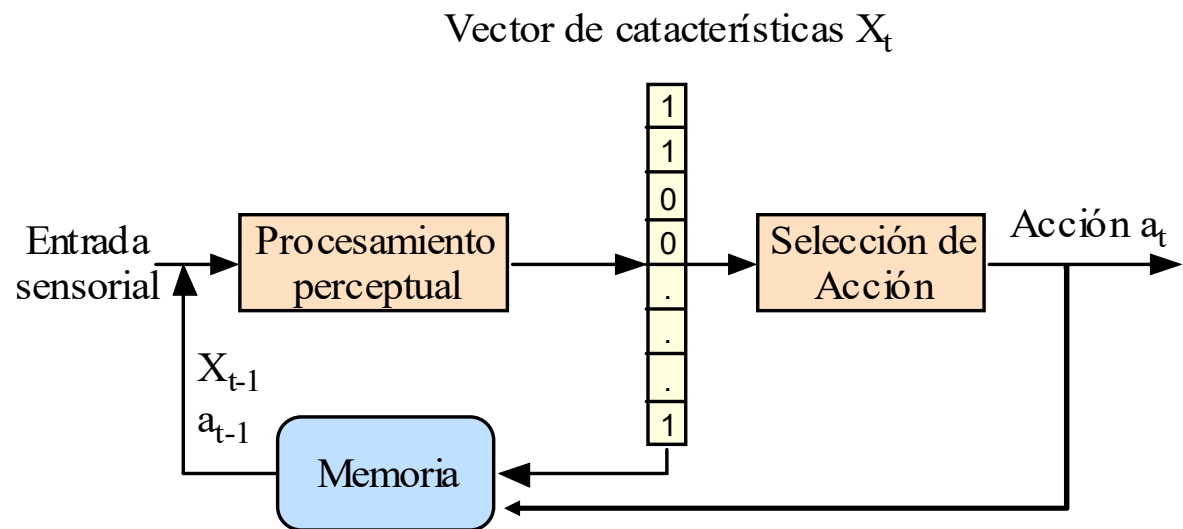


Mejorar la precisión teniendo en cuenta la historia sensorial previa: sistemas con memoria

Agentes reactivos con memoria

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

La decisión de qué acción ejecutar en el instante t depende de esta nueva representación del estado



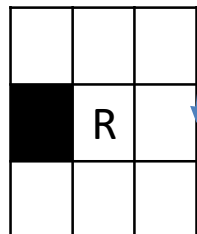
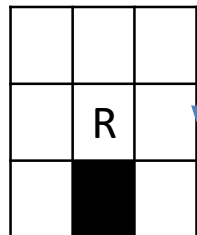
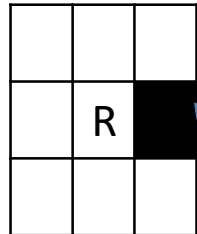
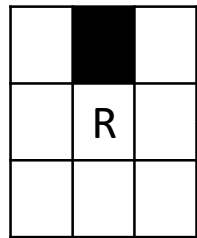
Agente reactivo sin memoria

$$a_t = f(X_t)$$

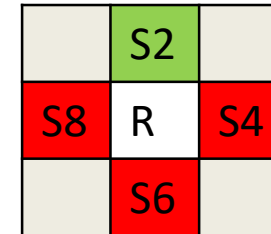
Agente reactivo con memoria

$$a_t = f(X_t, X_{t-1}, a_{t-1})$$

Ejemplo: definición del vector de características



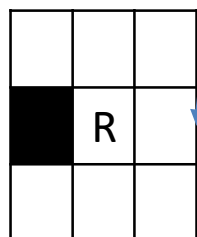
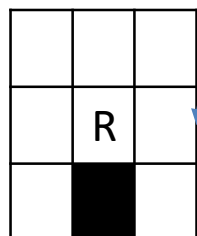
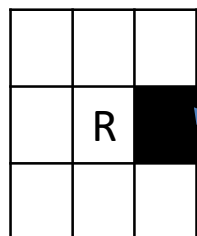
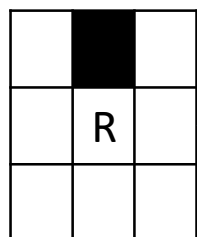
En cualquiera de estas situaciones se puede actuar en función de los valores de los sensores



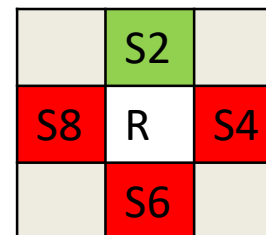
Usaremos las características $w_i = s_i$ $i=2,4,6,8$

W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
	S2		S4		S6		S8

Ejemplo: definición del vector de características



En cualquiera de estas situaciones se puede actuar en función de los valores de los sensores



Usaremos las características $w_i = s_i$ $i=2,4,6,8$

W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
	S2		S4		S6		S8

Este sistema de producción devuelve una acción ante cualquiera de estas situaciones

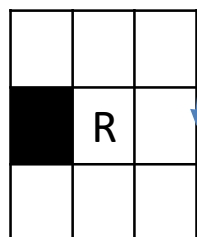
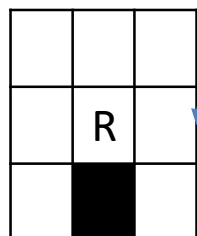
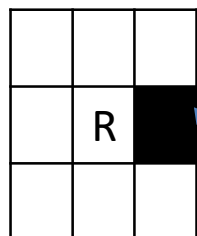
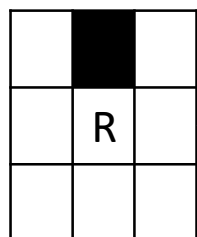
$w_2 \overline{w_4} \rightarrow \text{este}$

$w_4 \overline{w_6} \rightarrow \text{sur}$

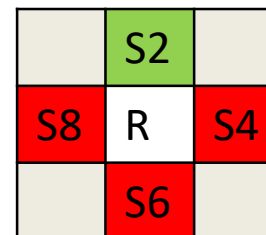
$w_6 \overline{w_8} \rightarrow \text{oeste}$

$w_8 \overline{w_2} \rightarrow \text{norte}$

Ejemplo: definición del vector de características



En cualquiera de estas situaciones se puede actuar en función de los valores de los sensores



Usaremos las características $w_i = s_i$ $i=2,4,6,8$

W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
	S2		S4		S6		S8

Este sistema de producción devuelve una acción ante cualquiera de estas situaciones

$w_2 \overline{w_4} \rightarrow$ este

$w_4 \overline{w_6} \rightarrow$ sur

$w_6 \overline{w_8} \rightarrow$ oeste

$w_8 \overline{w_2} \rightarrow$ norte

Pero es incompleto ...

Ejemplo

	R	

	S2	
S8	R	S4
	S6	

$\text{¿ } a_t \text{ ?}$

Ejemplo

t - 1

	R	

t

	R	

	S2	
S8	R	S4
	S6	

Para tomar una decision
necesitamos considerar la
situación en el instante
anterior

\dot{a}_t ?

Ejemplo

$t - 1$

	R	

t

	R	

	S2	
S8	R	S4
	S6	

$$W_{t-1} =$$

W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
	1		0		0		0

$a_{t-1} = oeste$

$\dot{a}_t?$

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

$w_2 \overline{w_4} \rightarrow \text{este}$

$w_4 \overline{w_6} \rightarrow \text{sur}$

$w_6 \overline{w_8} \rightarrow \text{oeste}$

$w_8 \overline{w_2} \rightarrow \text{norte}$

$w_1 \rightarrow \text{norte}$

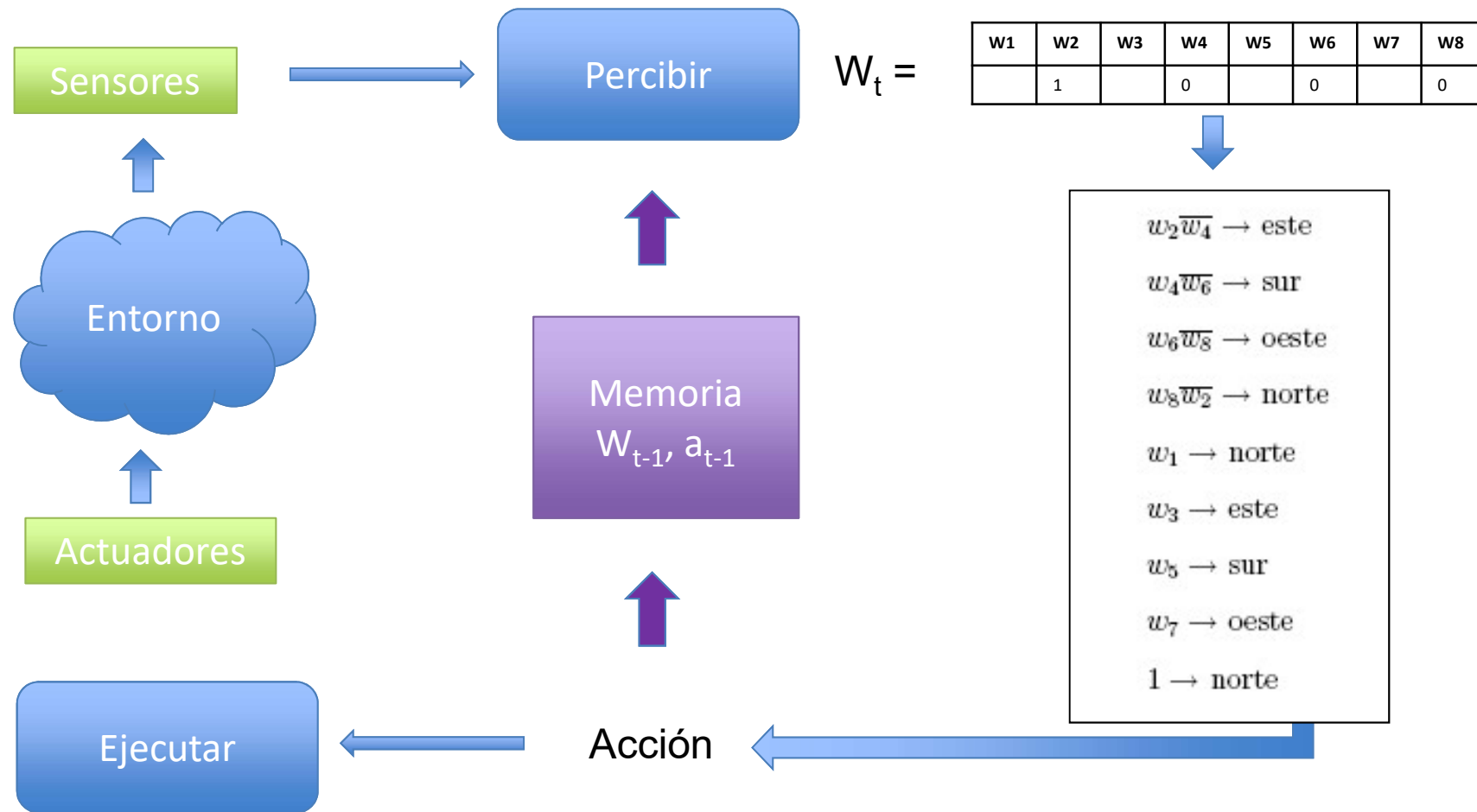
$w_3 \rightarrow \text{este}$

$w_5 \rightarrow \text{sur}$

$w_7 \rightarrow \text{oeste}$

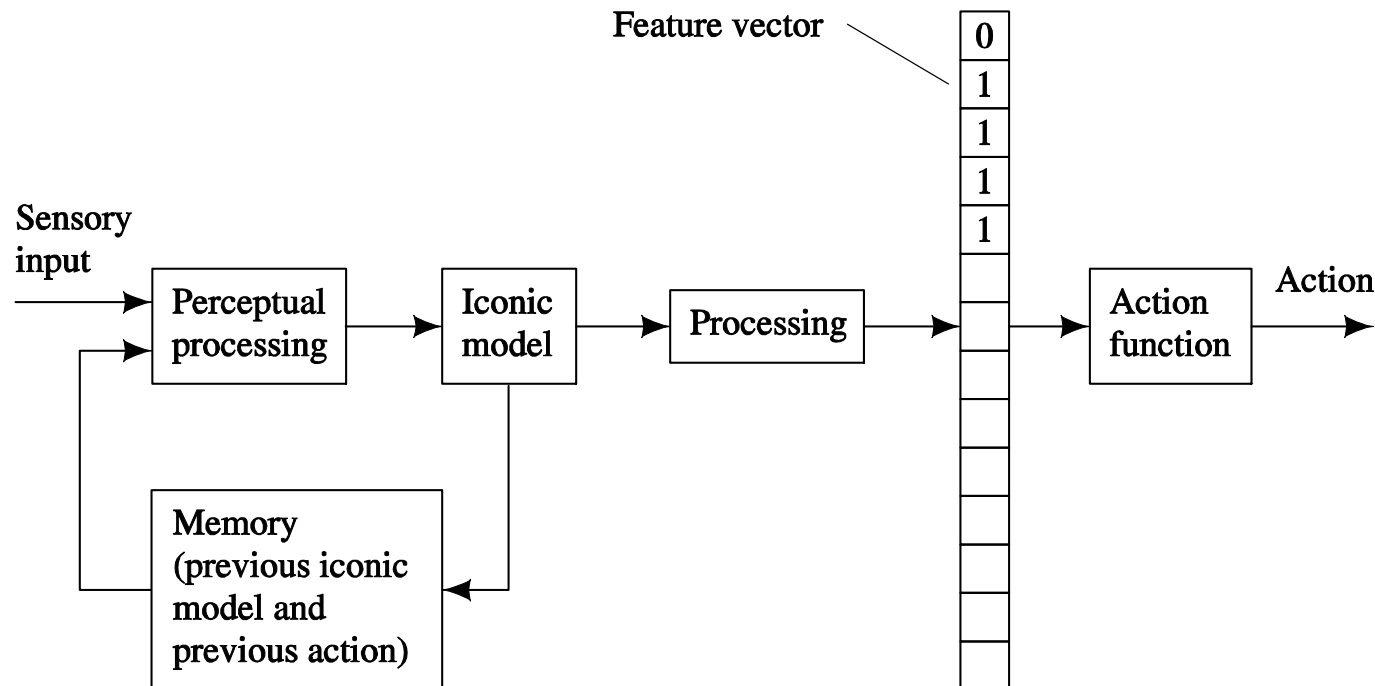
$1 \rightarrow \text{norte}$

Tarea seguimiento bordes con memoria



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.



© 1998 Morgan Kaufman Publishers

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:

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

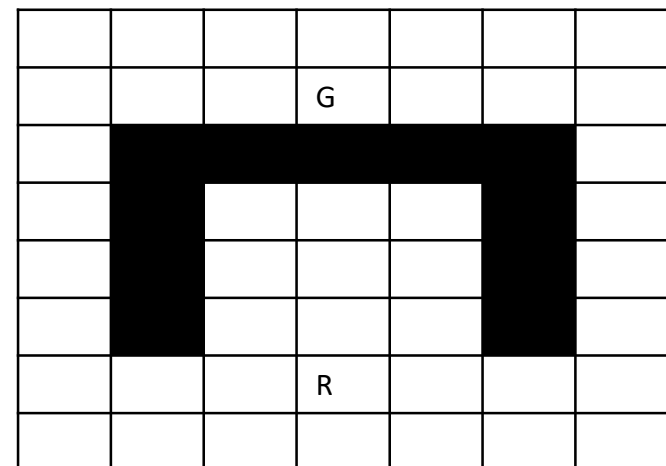
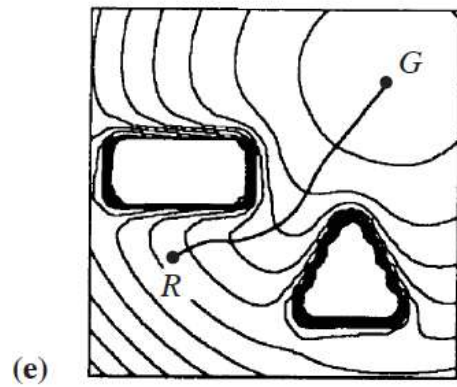
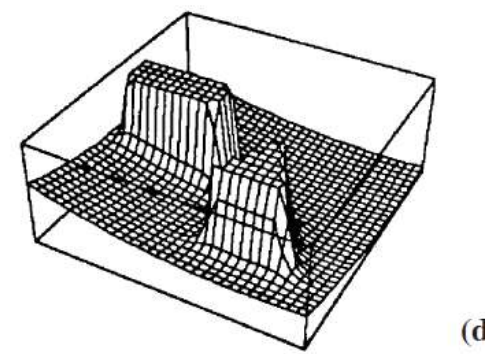
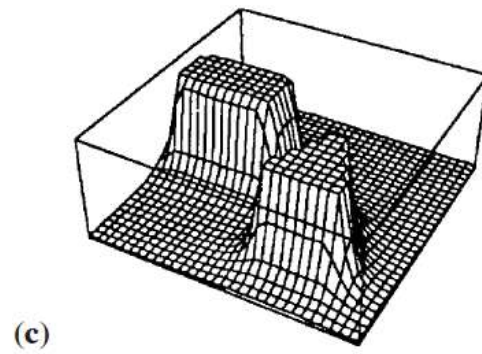
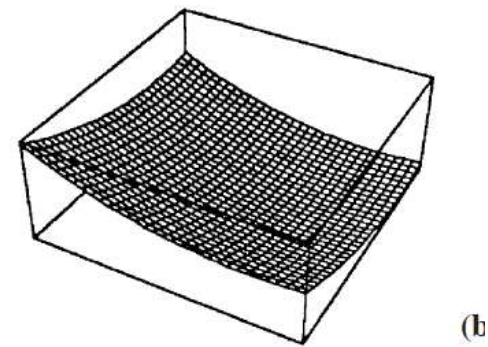
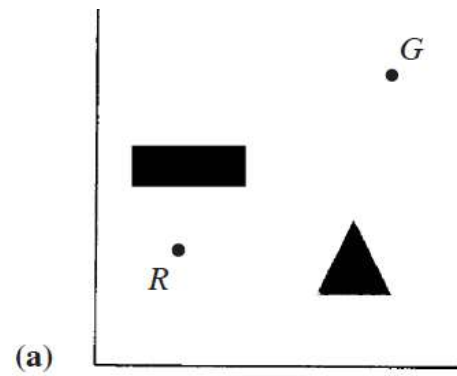
Componente repulsiva:

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

Potencial:

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

© 1998 Morgan Kaufman Publishers

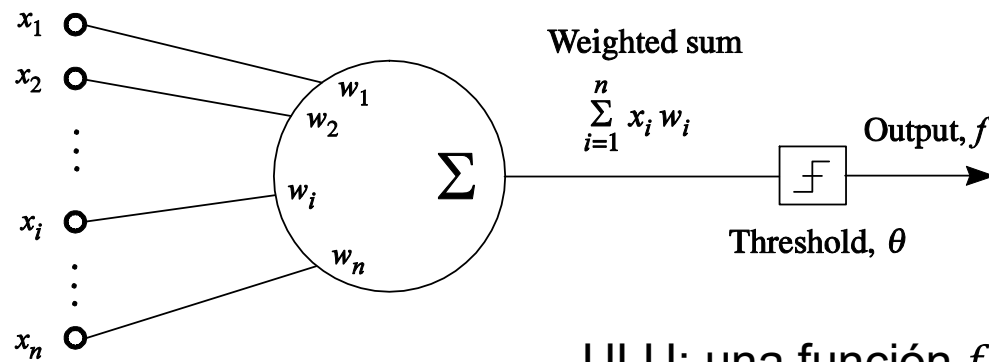


Arquitecturas alternativas de agentes reactivos

- Arquitecturas basadas en Redes de unidades lógicas con umbral (Red Neuronal)
- Arquitecturas de subsunción

Redes

Unidad Lógica con Umbral (ULU)



$$f = 1 \text{ if } \sum_{i=1}^n x_i w_i \geq \theta$$
$$= 0 \text{ otherwise}$$

© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

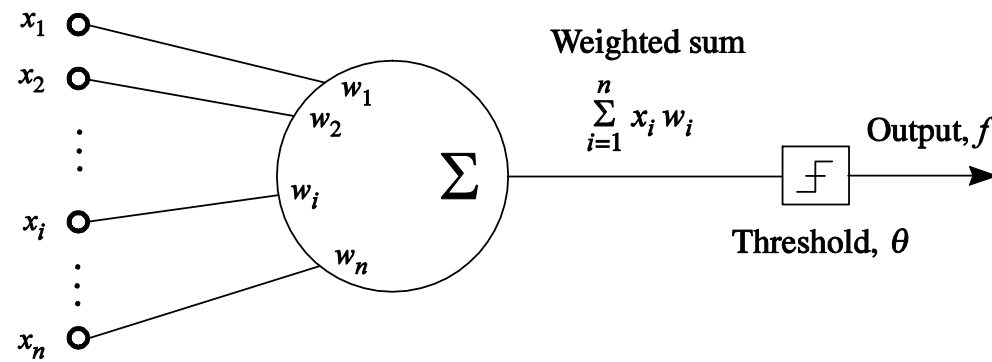
ULU: una función $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \{0,1\}$ con n entradas y la salida en $\{0,1\}$

Cálculo:

- Combinación lineal de las entradas con unos pesos previamente definidos
- La salida de la ULU es 1 o 0, dependiendo de si la combinación lineal supera o no el umbral previamente definido.

Red neuronal: red de unidades lógicas con umbral

Redes

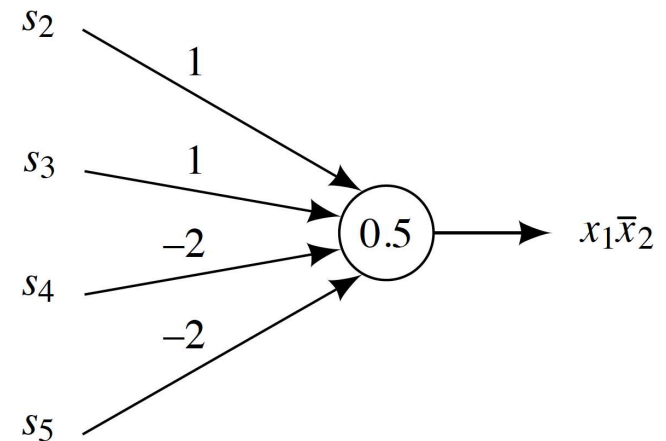


$$f = 1 \text{ if } \sum_{i=1}^n x_i w_i \geq \theta$$

$$= 0 \text{ otherwise}$$

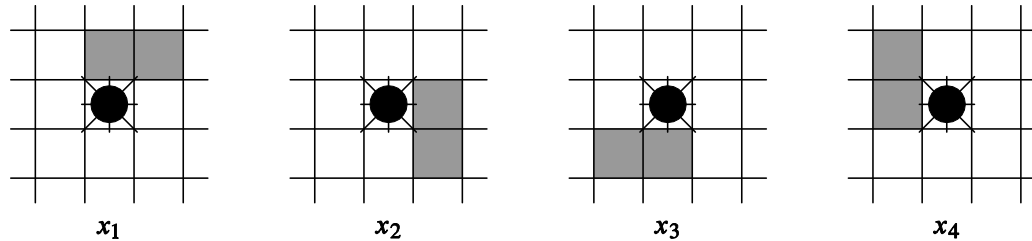
© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

Unidad Lógica con Umbral



Red neuronal: red de unidades lógicas con umbral

Redes



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

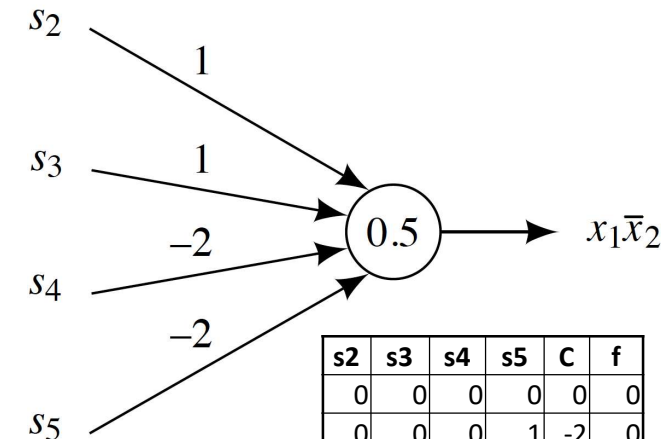
© 1998 Morgan Kaufman Publishers

$x_1 \bar{x}_2 \rightarrow \text{este}$

Podemos usar una ULU para representar esta regla del Sistema de producción.

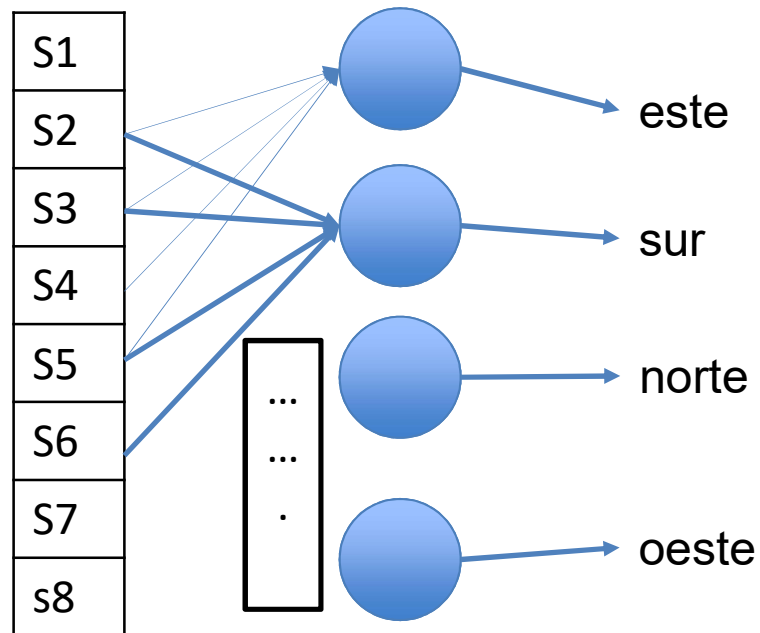
Diferentes ULUs se pueden combinar para obtener las mismas salidas que con en el Sistema de producción completo

Red neuronal: red de unidades lógicas con umbral



s2	s3	s4	s5	C	f
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	-2	0
0	0	1	0	-2	0
0	0	1	1	-4	0
0	1	0	0	1	1
0	1	0	1	-1	0
0	1	1	0	-1	0
0	1	1	1	-3	0
1	0	0	0	1	1
1	0	0	1	-1	0
1	0	1	0	-1	0
1	0	1	1	-3	0
1	1	0	0	2	1
1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	-2	0

Redes



Las Redes neuronales son útiles cuando el comportamiento requerido es difícil de describir manualmente.

En estos casos se recurre al aprendizaje.

Ejemplos de entrenamiento								
s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	Salida Deseada
0	0	0	0	0	0	0	0	norte
1	0	1	0	0	1	1	1	sur
0	1	0	1	1	1	0	0	este



Aprendizaje

Actualización de pesos
(backpropagation)

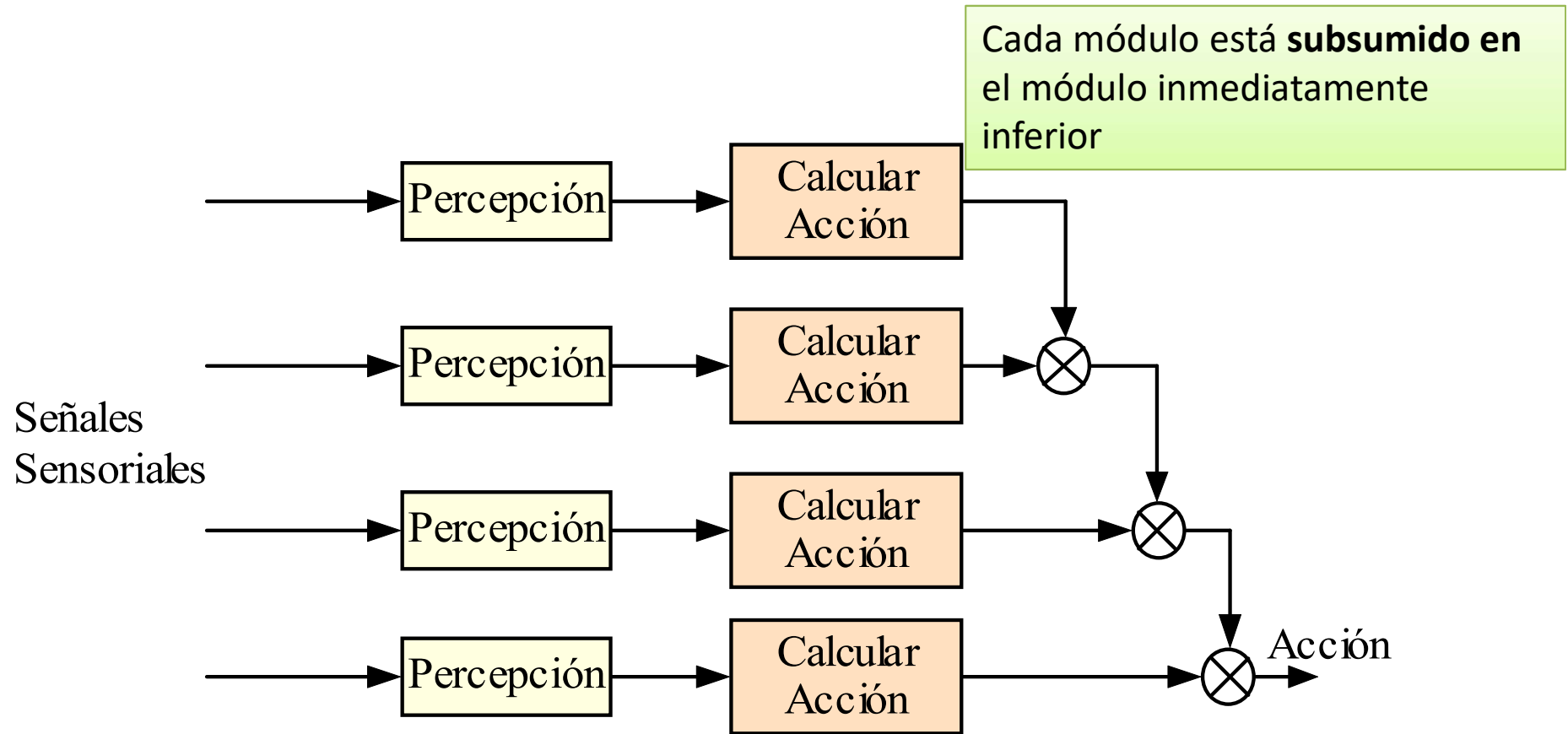


Red neuronal
resultante

Arquitectura de subsunción

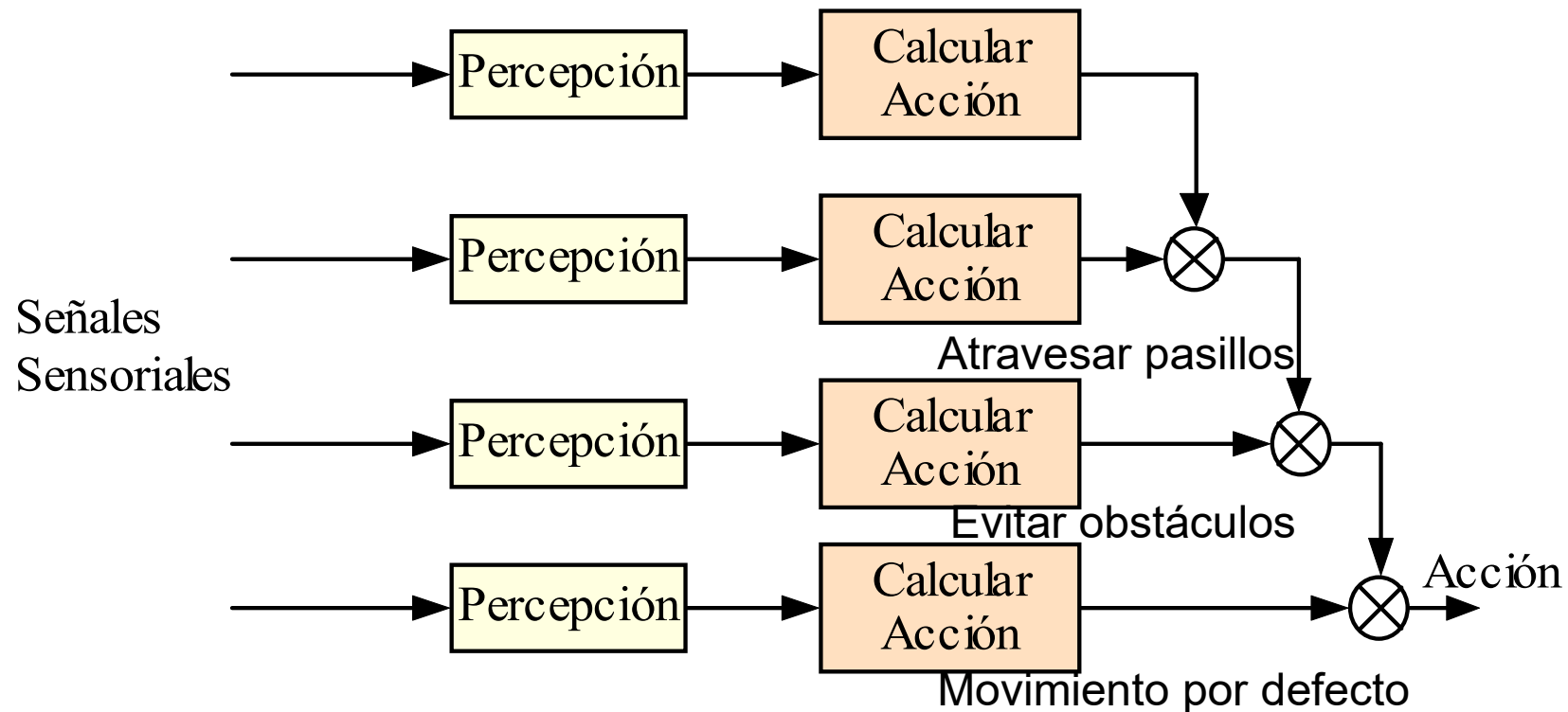
- **La arquitectura de subsunción** consiste en agrupar **módulos de comportamiento**.
- Cada módulo de comportamiento tiene una acción asociada, recibe la percepción directamente y comprueba una condición. Si esta se cumple, el módulo devuelve la acción a realizar.

Arquitectura de subsunción



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

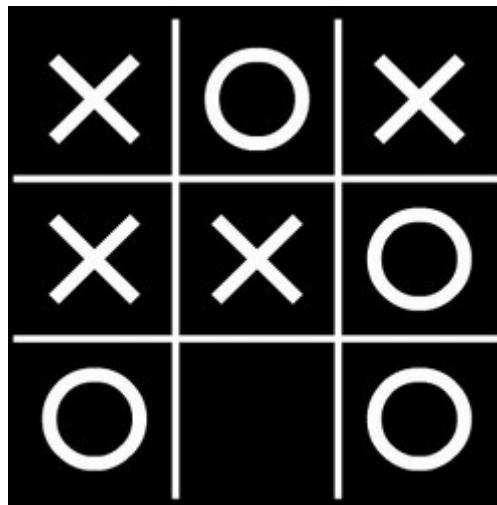


En caso de conflicto entre dos módulos, porque las condiciones de ambos se han activado, tiene prioridad el módulo inferior

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