



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



# Inteligencia Artificial

## Tema 2: Agentes

**E.T.S. de Ingenierías Informática y de Telecomunicación**  
**Universidad de Granada**

© Antonio González

gonzalez@ugr.es

**Departamento de Ciencias de la  
Computación e Inteligencia Artificial**  
<http://decsai.ugr.es>

*Este documento está protegido por la Ley  
de Propiedad Intelectual ([Real Decreto Ley  
1/1996 de 12 de abril](#)).*

*Queda expresamente prohibido su uso o  
distribución sin autorización del autor.*

# 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. Mc Graw Hill, 2000. pp. 17-32, 63-74, 103-122, 147-162
- Sobre el concepto de agente inteligente consultar la siguiente referencia:
  - 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

# Los humanos resolvemos problemas

---



Vida cotidiana



Vida profesional



Vida ociosa

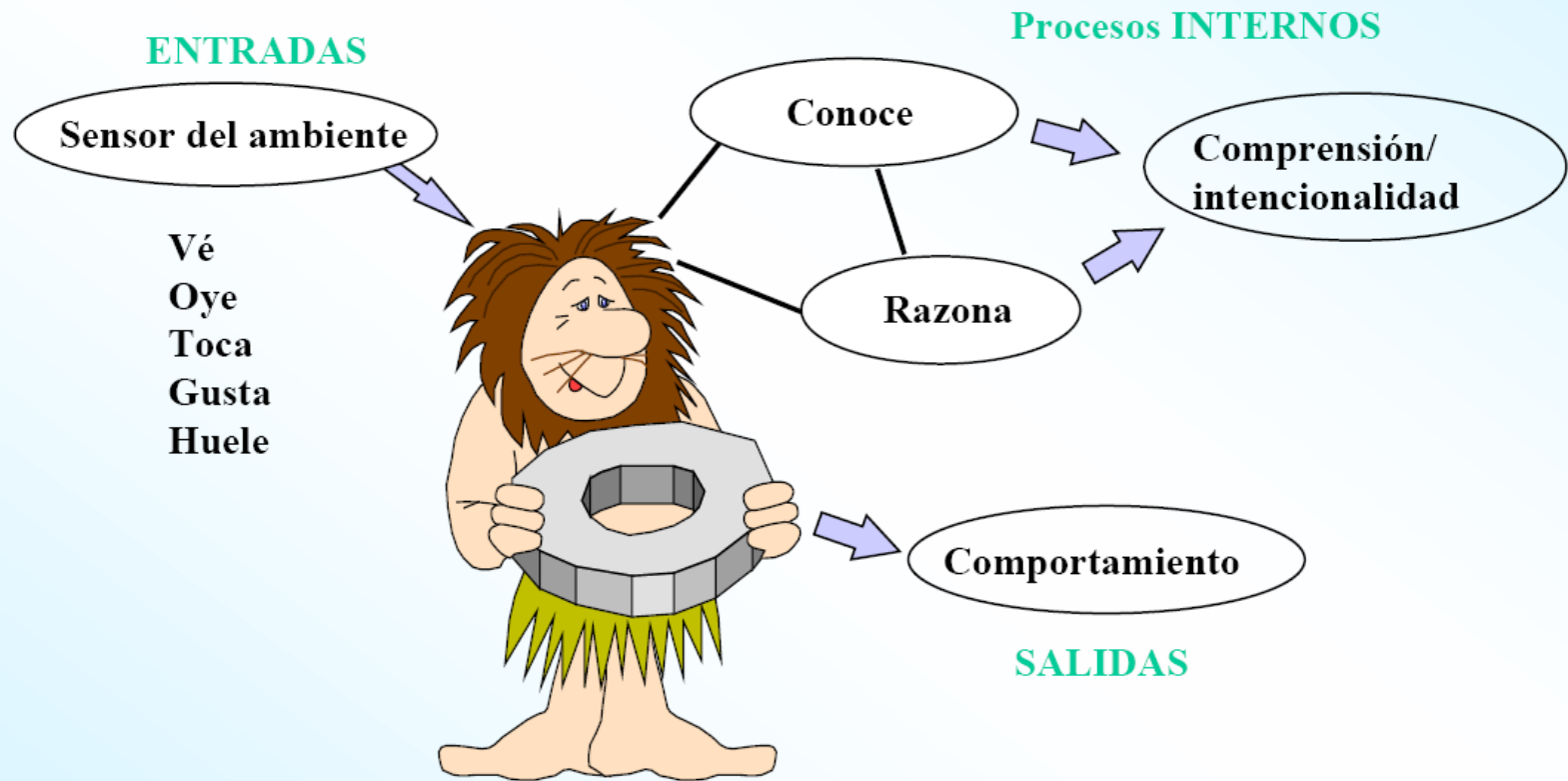
Logística/transporte de niños en vehículos, Planificación de rutas, Transporte de objetos, Planificación de Tareas, Planificación de Tratamientos, Resolver Puzles, Jugar al Ajedrez

# Comportamiento inteligente humano

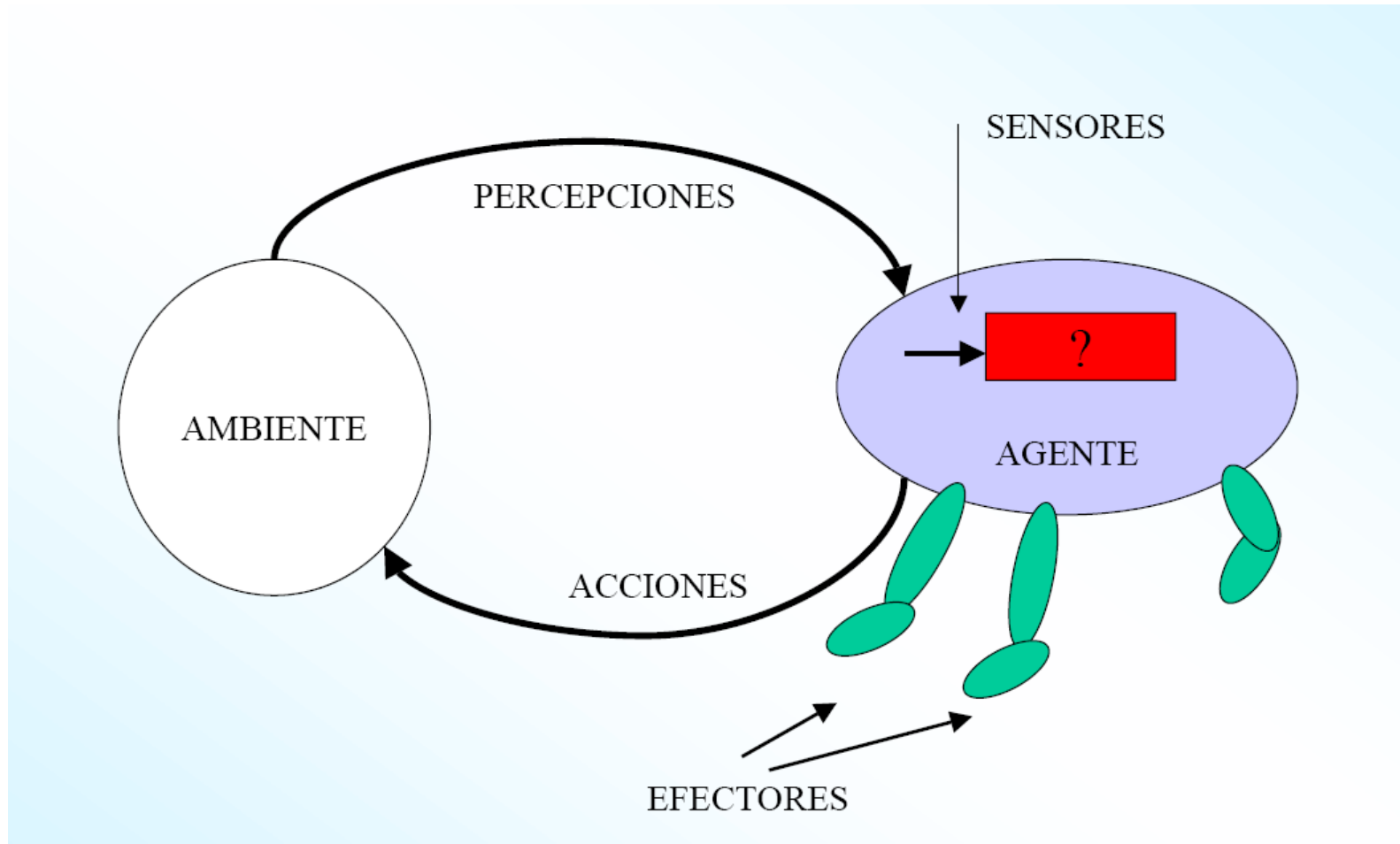
- IA se inspira en la Ciencia cognitiva, la Psicología Cognitiva y la Neurociencia.
- ¿Qué procesos lleva a cabo nuestra mente cuando resolvemos problemas?



# Agentes inteligentes



# Agentes





# Ejemplos de agentes

- Agentes software
  - Demonio de correo electrónico
  - Buscador de información
  - Agente conversacional
  - Buscador de rutas
- Agentes hardware
  - Aspiradora inteligente
  - Robot repartidor en un restaurante

# 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.
  - **Flexible**: reactivo, proactivo y/o social

# Flexibilidad

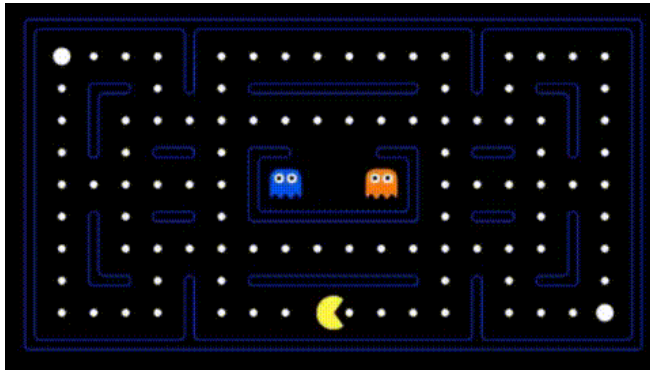
- **Reactivo:** el agente debe percibir el entorno y responder de una forma temporal a los cambios que ocurren en dicho entorno
- **Pro-activo:** los agentes no deben simplemente actuar en respuesta a su entorno, deben de ser capaces de exhibir comportamientos dirigidos a lograr objetivos que sean oportunos, 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

# Tipos de entornos

- Es conveniente identificar algunas características de los entornos que determinan el agente apropiado a utilizar, entre ellas tenemos:
  - Completamente/parcialmente observable
  - Determinístico/No determinístico
  - Estático/Dinámico
  - Discreto/Continuo
  - Conocido/Desconocido

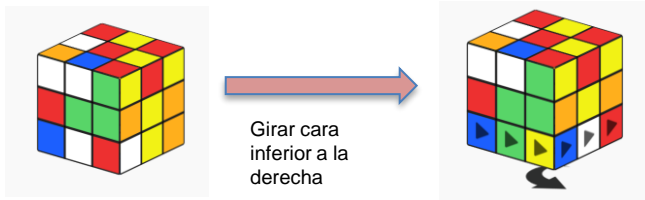
# Tipos de entornos

- **Completamente observable**
  - disponemos de sensores que detectan toda la información relevante en un estado para tomar una decisión
  - Puzles, Juegos.
  - **Parcialmente observable**
  - Disponemos de información parcial.
  - Un planificador de rutas sin información de carreteras cortadas.



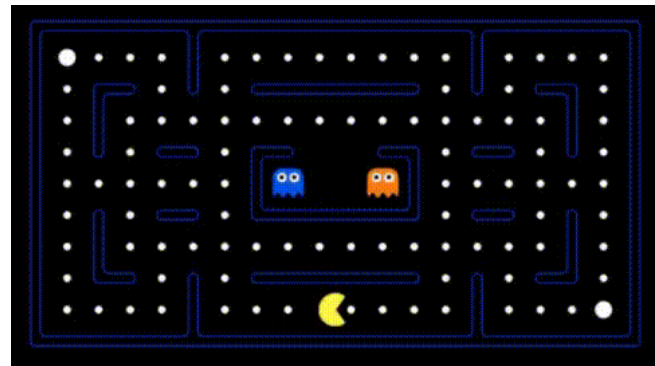
# Tipos de entornos

- **Determinista**
- el estado siguiente a la ejecución de una acción podemos determinarlo siempre.
- **No determinista**
- no podemos predecir con total certeza lo que puede ocurrir después de ejecutar una acción.



# Tipos de entornos

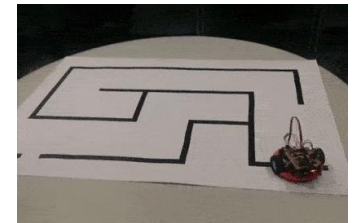
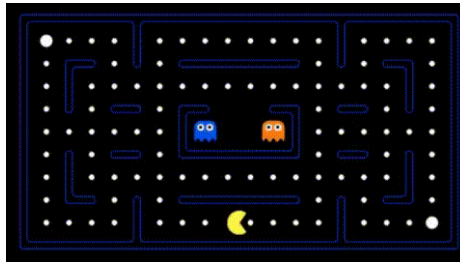
- **Estático**
- podemos tener todo el tiempo que queramos para encontrar solución.
- **Dinámico**
- tenemos que tomar una decisión de actuación rápido.





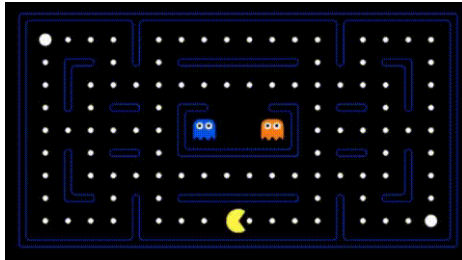
# Tipos de entornos

- **Discreto**
  - Conjunto finito de estados.
  - Acciones en intervalos discretos de tiempo
- **Continuo**
  - Estados continuos (velocidad, posición).
  - Acciones continuas (ángulo de giro, velocidad de giro).

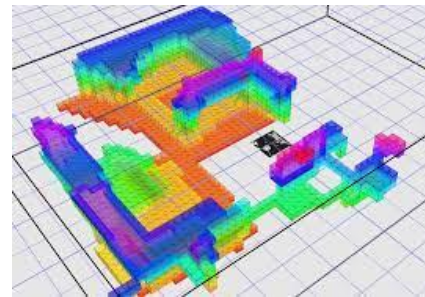


# Tipos de entornos

- **Conocido**
- Conocemos todos los aspectos del mundo y su dinámica.



- **(parcialmente) Desconocido**
- Desconocemos(todos) los resultados de las acciones.
- Explorar y aprender.



# Tipos de entornos

- ¿Dónde ha tenido la IA la consideración de capacidades de nivel humano?
  - Completamente observables, Deterministas, Estáticos, Discretos, Conocidos.
- ¿Los peores entornos?
  - Parcialmente observable, No determinista, Dinámico, Continuo y Desconocido
- El mundo real es así.

# 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

# 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.

# 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

# Cooperación y Negociación

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



- Negociación: coordinación y resolución de conflictos



# 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

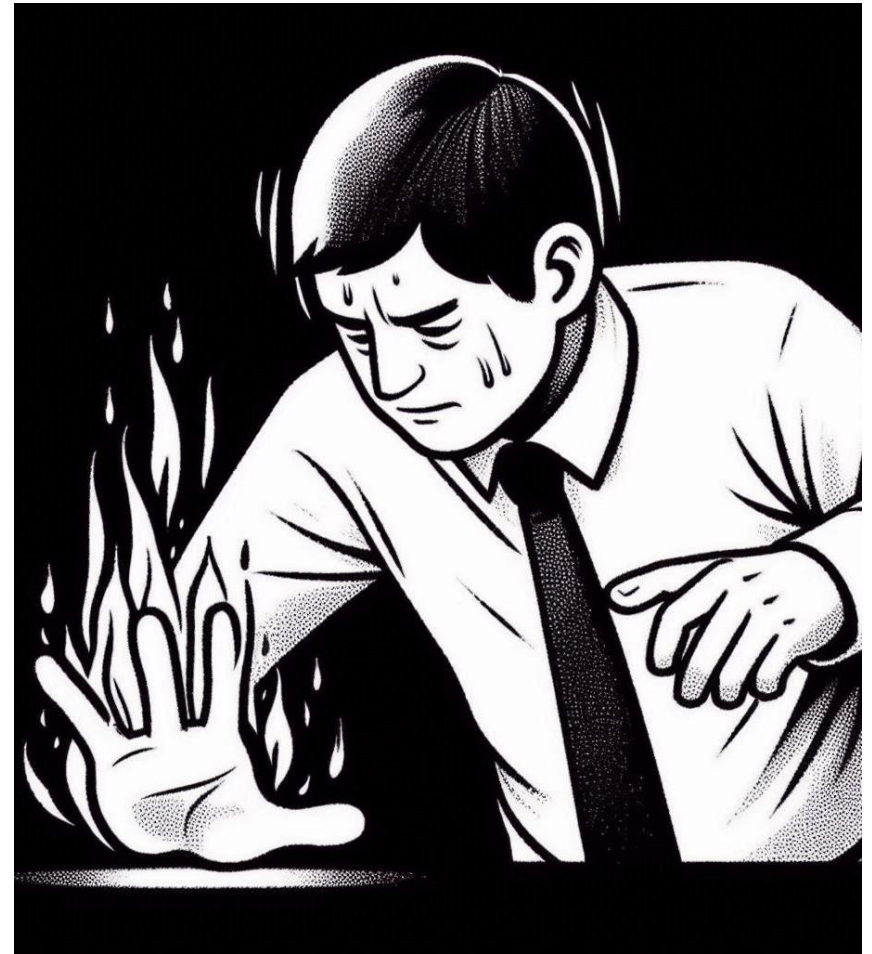


# Arquitecturas deliberativas

- **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.
  - 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

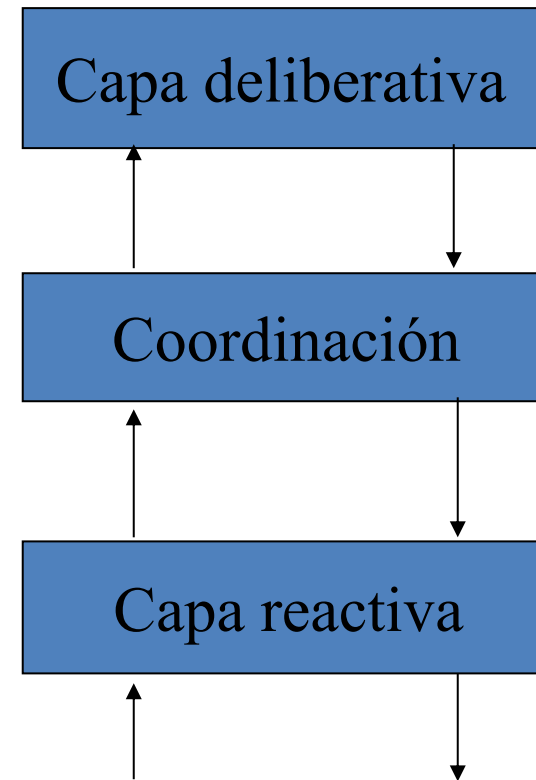
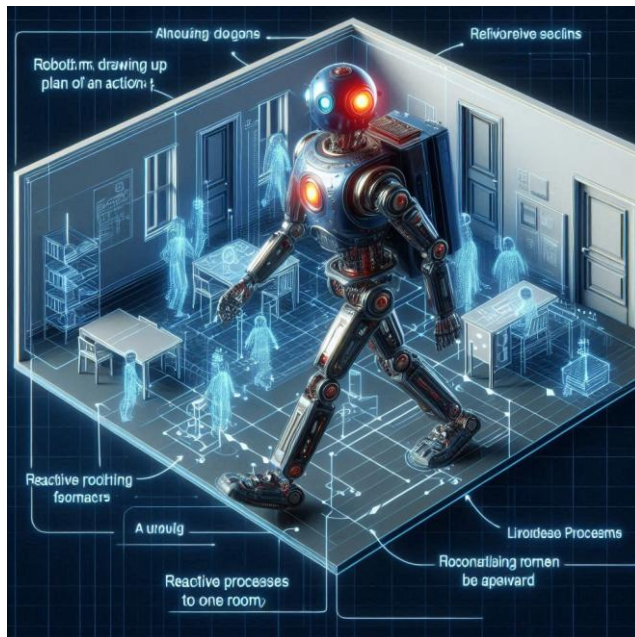
- Una arquitectura reactiva es aquella que no incluye ninguna clase de modelo centralizado de representación simbólica del mundo, y no hace uso de razonamiento complejo



# Arquitecturas Reactivas

- El comportamiento inteligente puede ser generado sin una representación explícita ni un razonamiento abstracto explícito de la clase que la IA simbólica propone.
- La inteligencia es una propiedad emergente de ciertos sistemas complejos.
- El comportamiento “inteligente” surge como el resultado de la interacción del agente con su entorno.

# Arquitecturas Híbridas



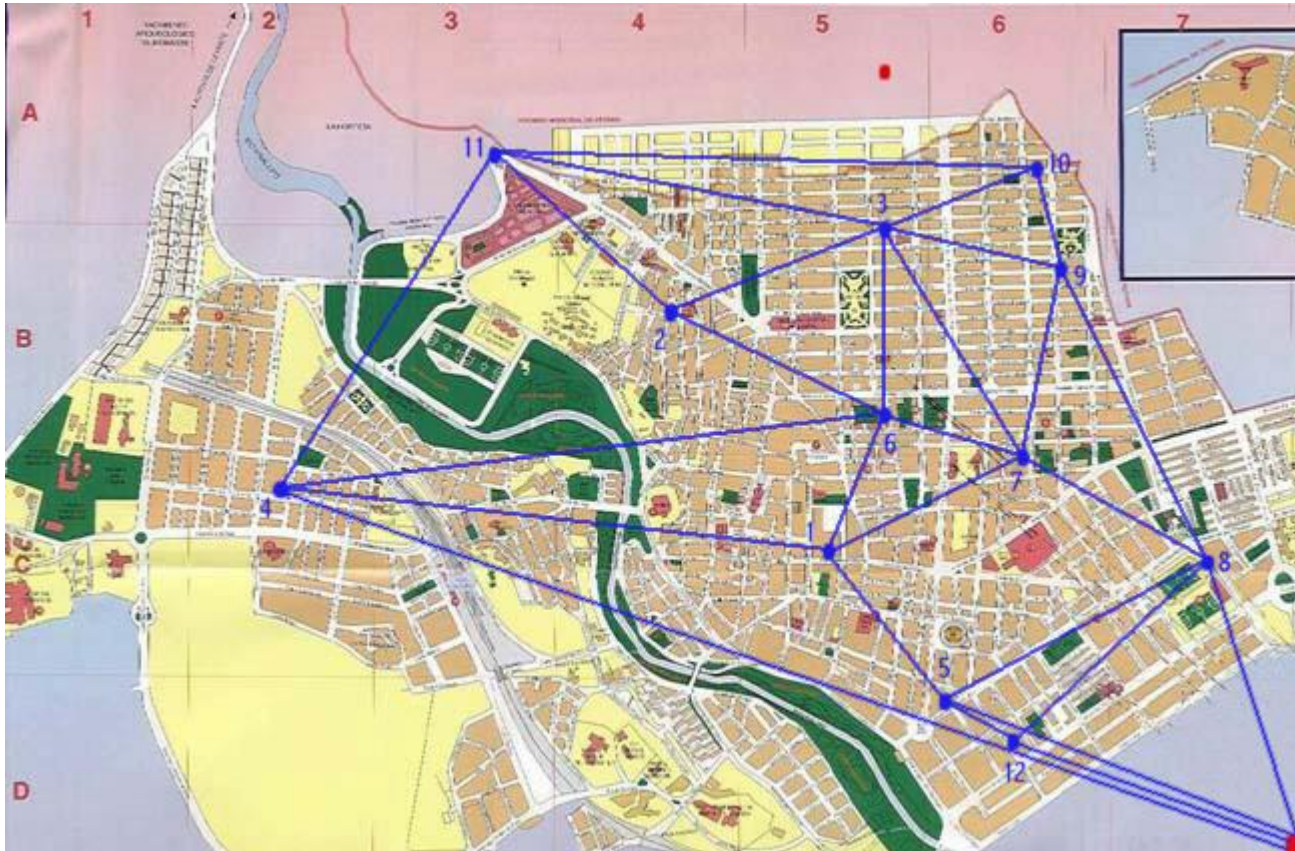
Entrada sensorial    Acción a tomar



# Ejemplo de agentes reactivo: un robot que recorre un pasillo



# Ejemplo de agente deliberativo: Problema del viajante de comercio





# Volvemos a los ejemplos de agentes

- Agentes software
  - Demonio de correo electrónico
  - Buscador de información
  - Agente conversacional
  - Buscador de rutas
- Agentes hardware
  - Aspiradora inteligente
  - Robot repartidor en un restaurante

# Volvemos a los ejemplos de agentes

- Agentes software
  - Demonio de correo electrónico
  - Buscador de información
  - Agente conversacional
  - Buscador de rutas
- Agentes hardware
  - Aspiradora inteligente
  - Robot repartidor en un restaurante

Inteligente/No inteligente  
Reactivo/Deliberativo

# Volvemos a los ejemplos de agentes

- Agentes software
  - Demonio de correo electrónico
  - Buscador de información
  - Agente conversacional
  - Buscador de rutas
- Agentes hardware
  - Aspiradora inteligente
  - Robot repartidor en un restaurante

Inteligente/No inteligente  
Reactivo/Deliberativo

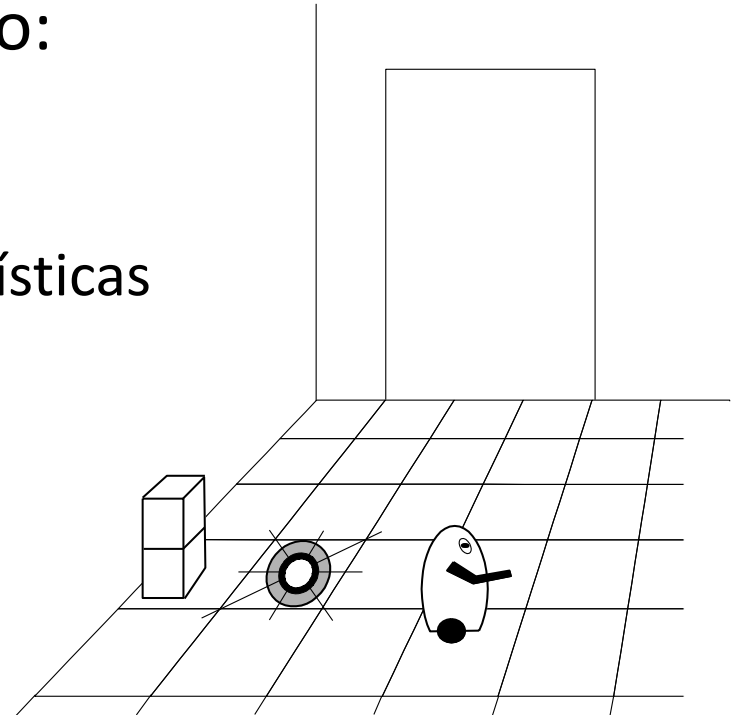
¿Qué tipo de agente es  
ChatGPT?

# Agentes reactivos

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

# Representaciones del mundo

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



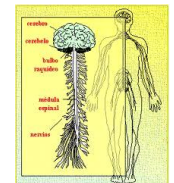
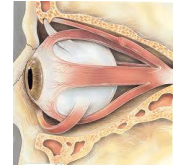
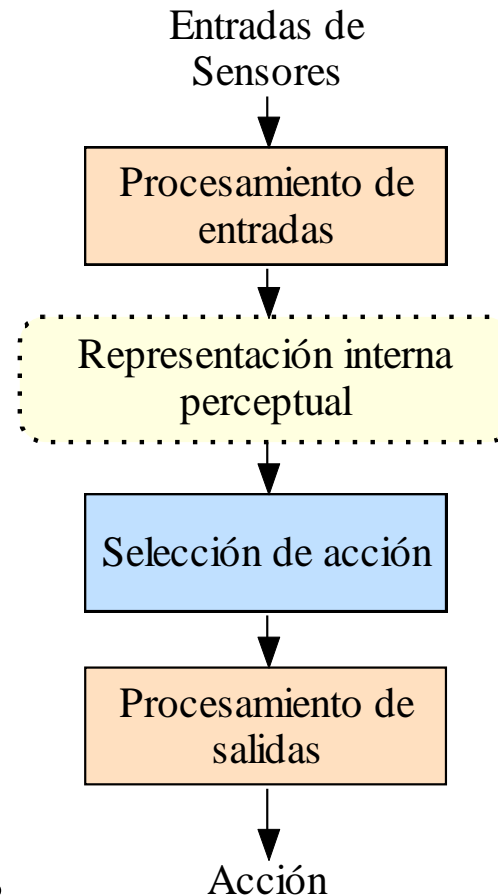
© 1998 Morgan Kaufmann Publishers

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.

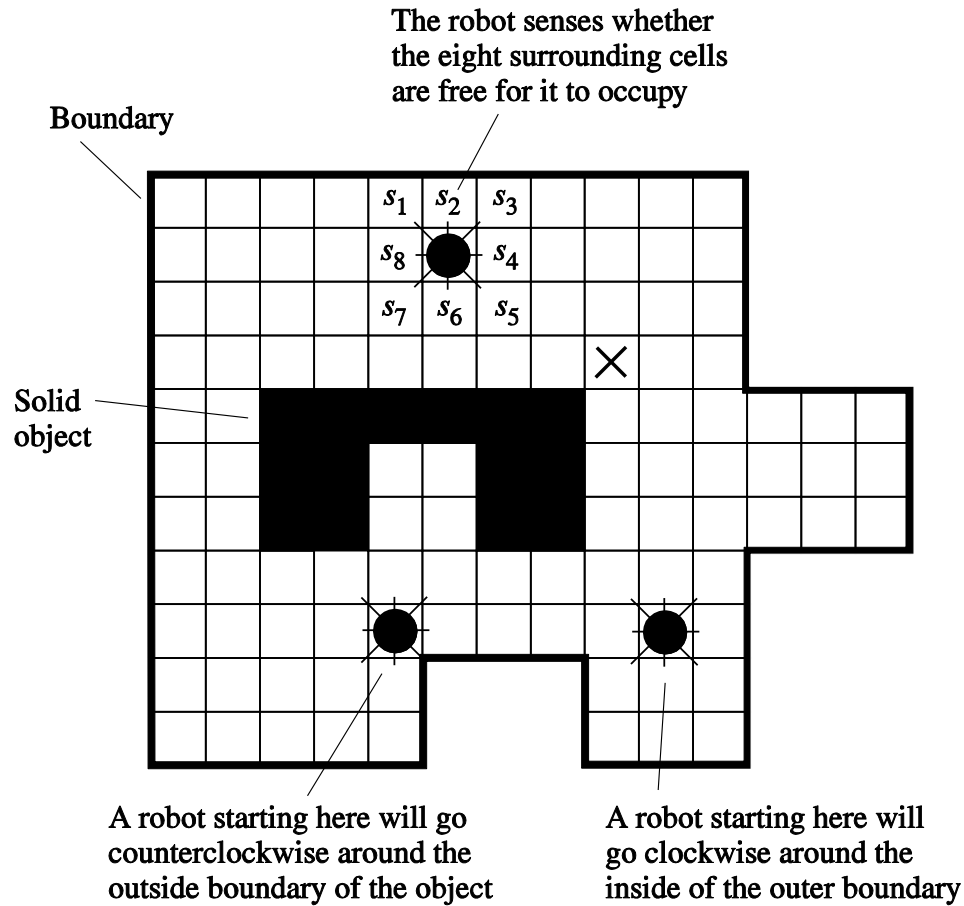


# Diseño de un agente reactivo

## • 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).

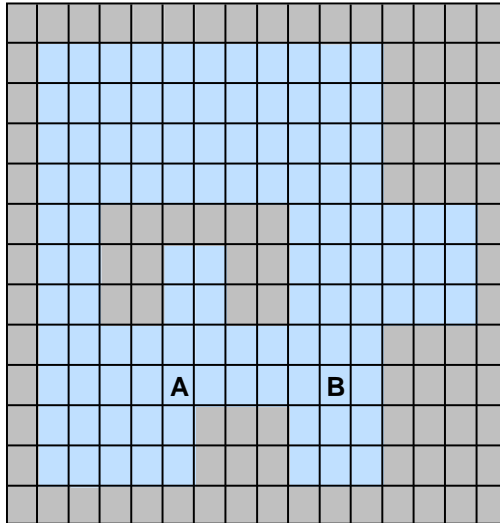
# Diseño de un agente reactivo




© 1998 Morgan Kaufmann Publishers



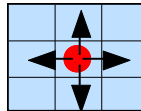
# Representación



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

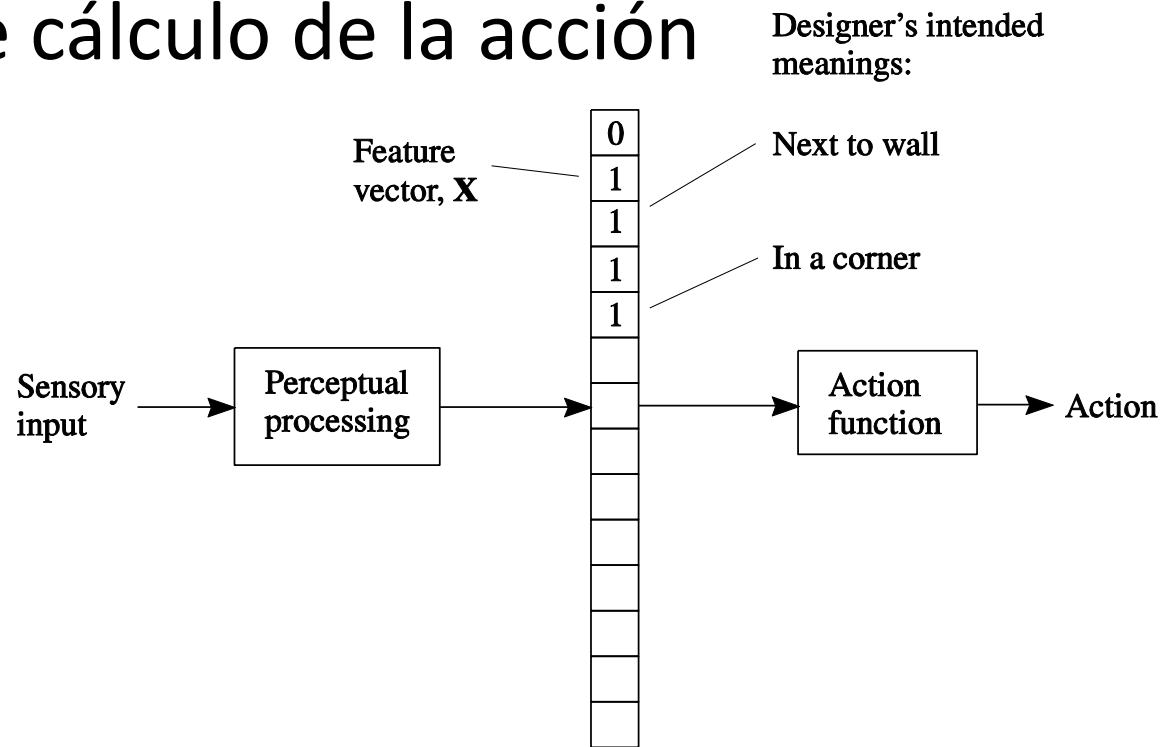
- NORTE: mueve el robot una celda hacia arriba
- ESTE: mueve el robot una celda a la derecha
- SUR: mueve el robot una celda hacia abajo
- OESTE: mueve el robot una celda a la izquierda

## 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

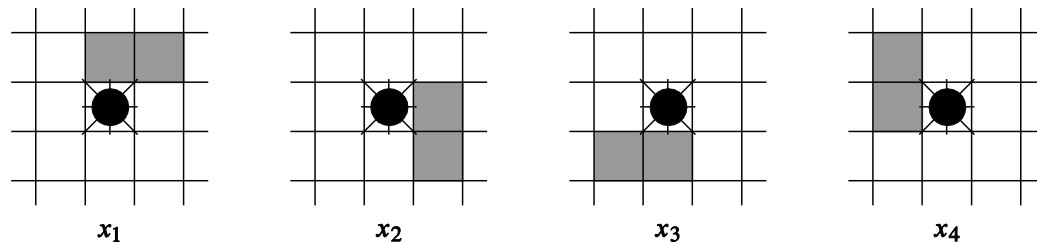
- Procesamiento perceptual
- Fase de cálculo de la acción



© 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.

# 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

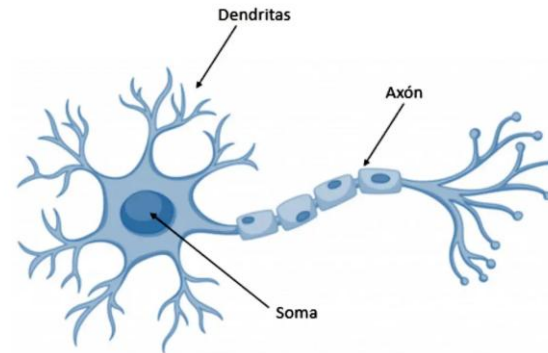
$c \rightarrow \text{nil}$

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

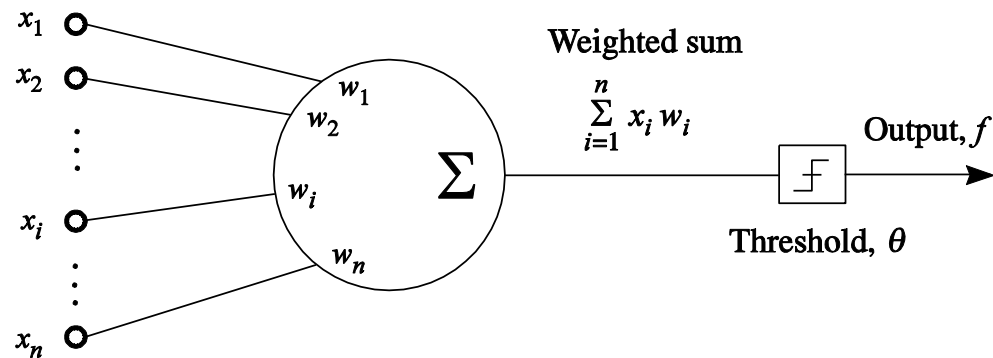
Ejemplo de proceso con objetivo



# Redes Neuronales



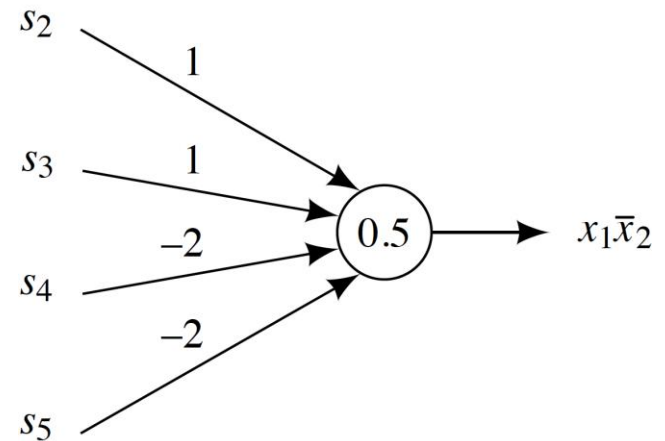
# Redes



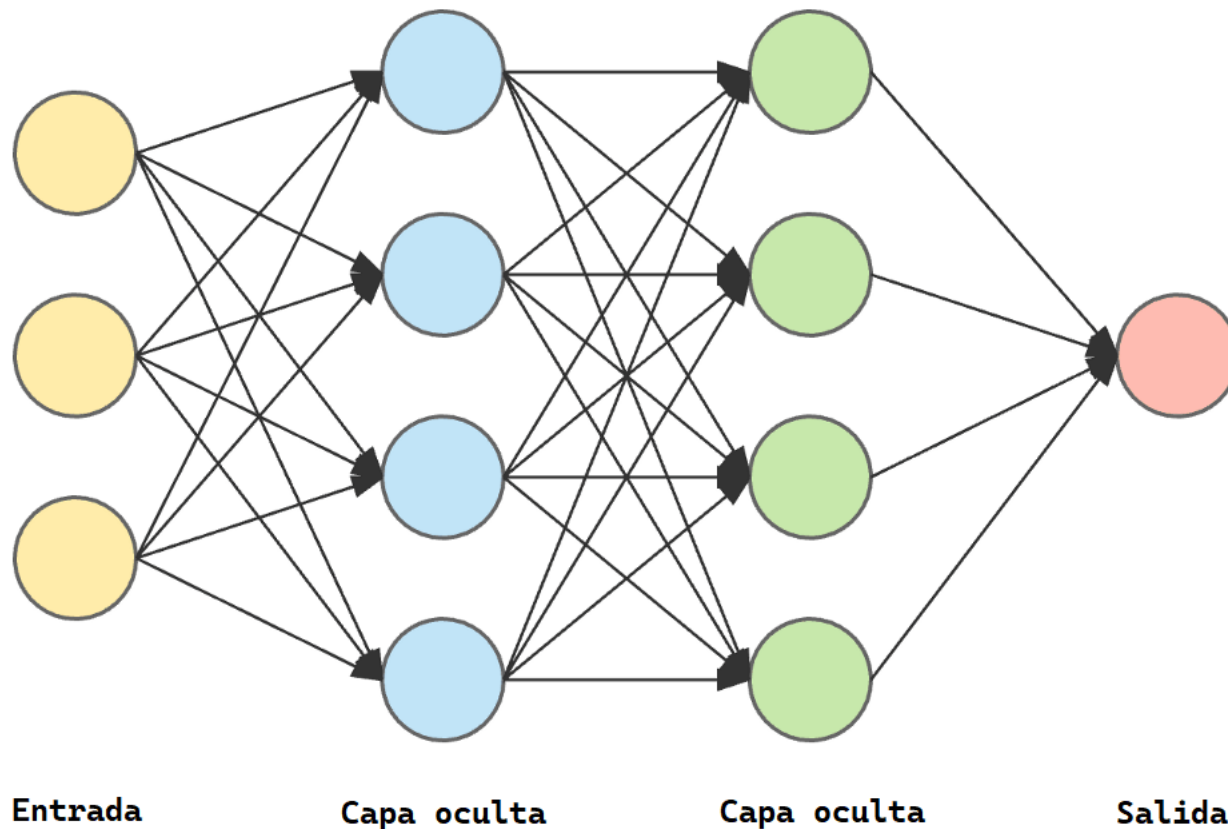
$$f = 1 \text{ if } \sum_{i=1}^n x_i w_i \geq \theta$$

$$= 0 \text{ otherwise}$$

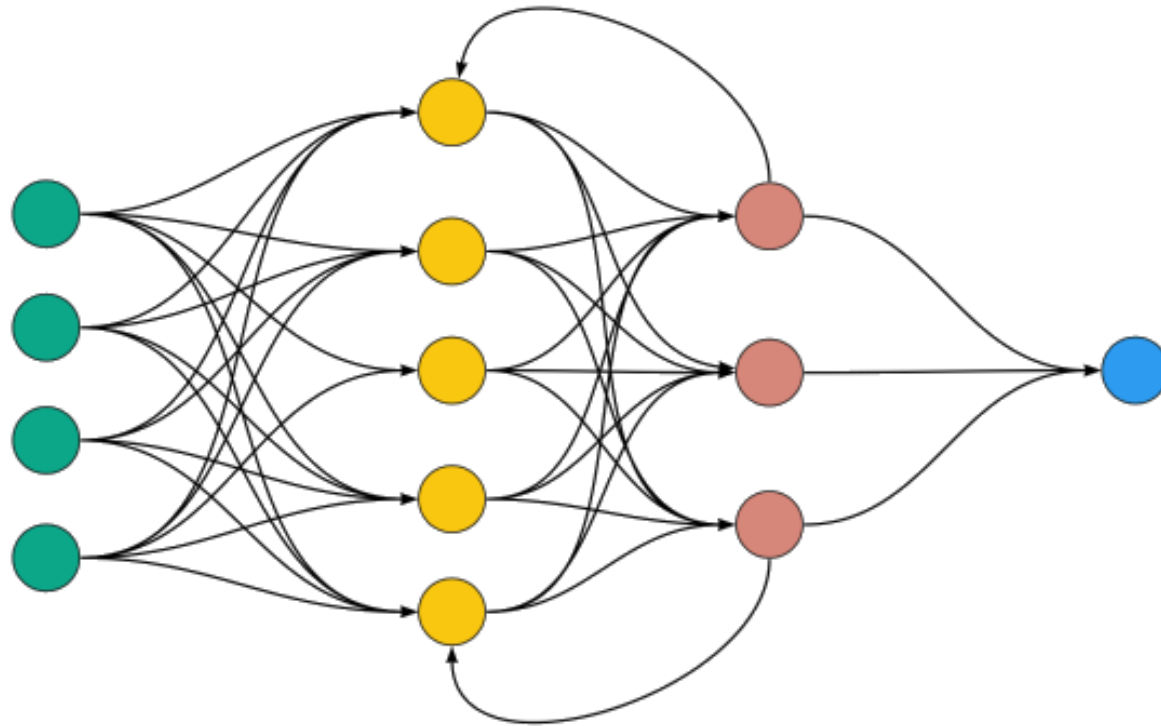
© 1998 Morgan Kaufmann Publishers



# Redes Neuronales



# Redes Neuronales

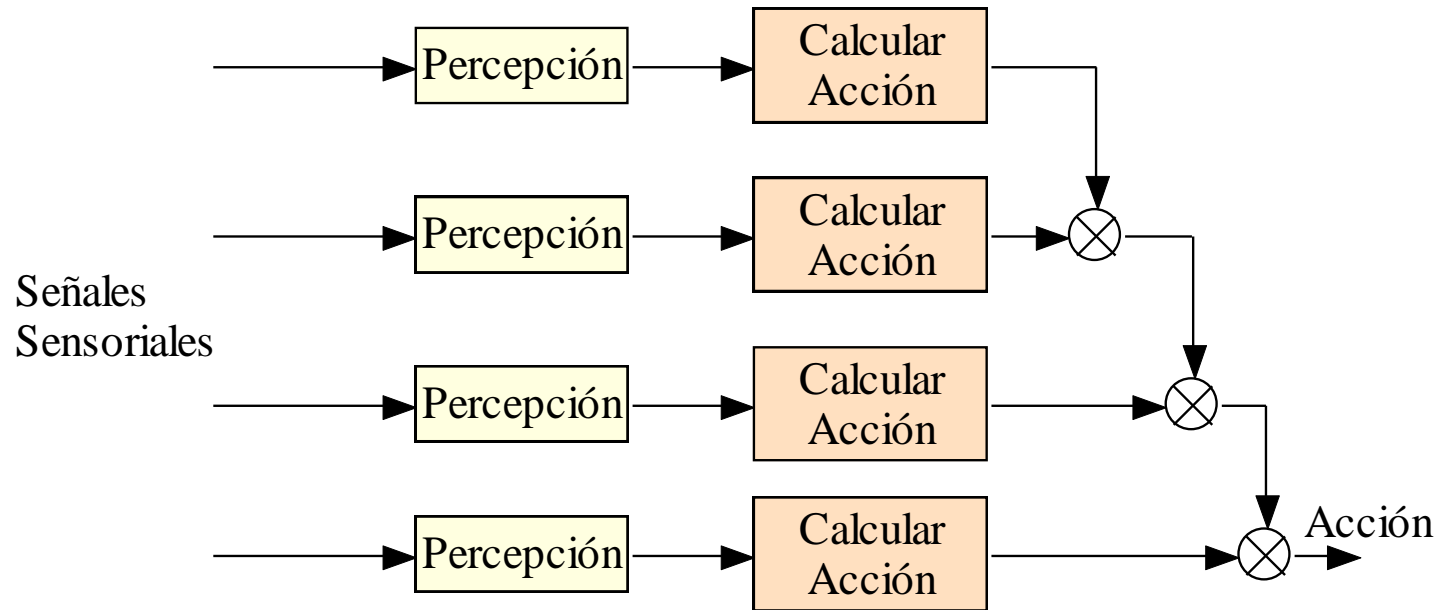


Para más información consultar el siguiente [enlace](#)

# 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

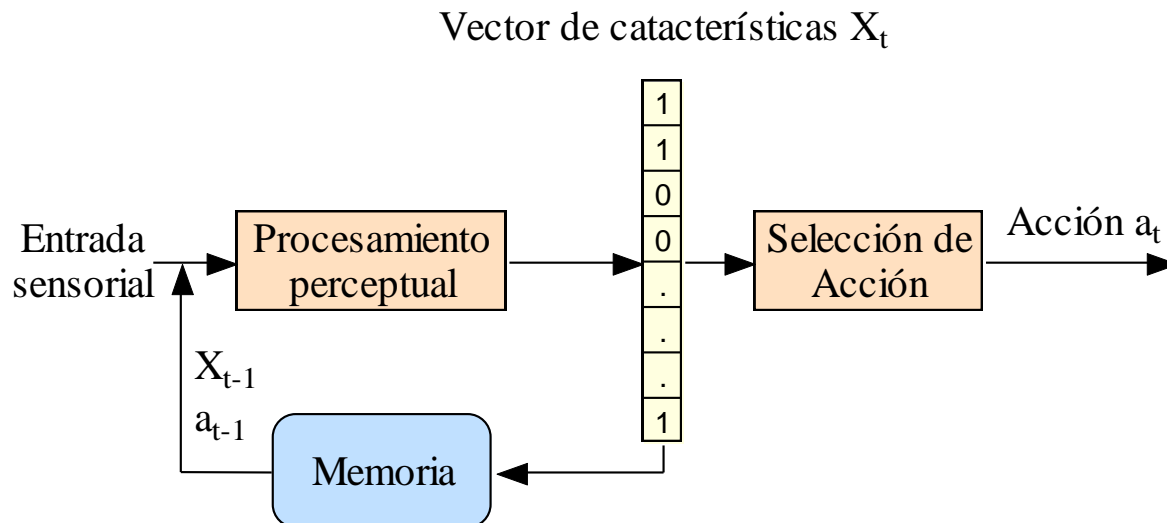


# Agentes reactivos con memoria

- 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

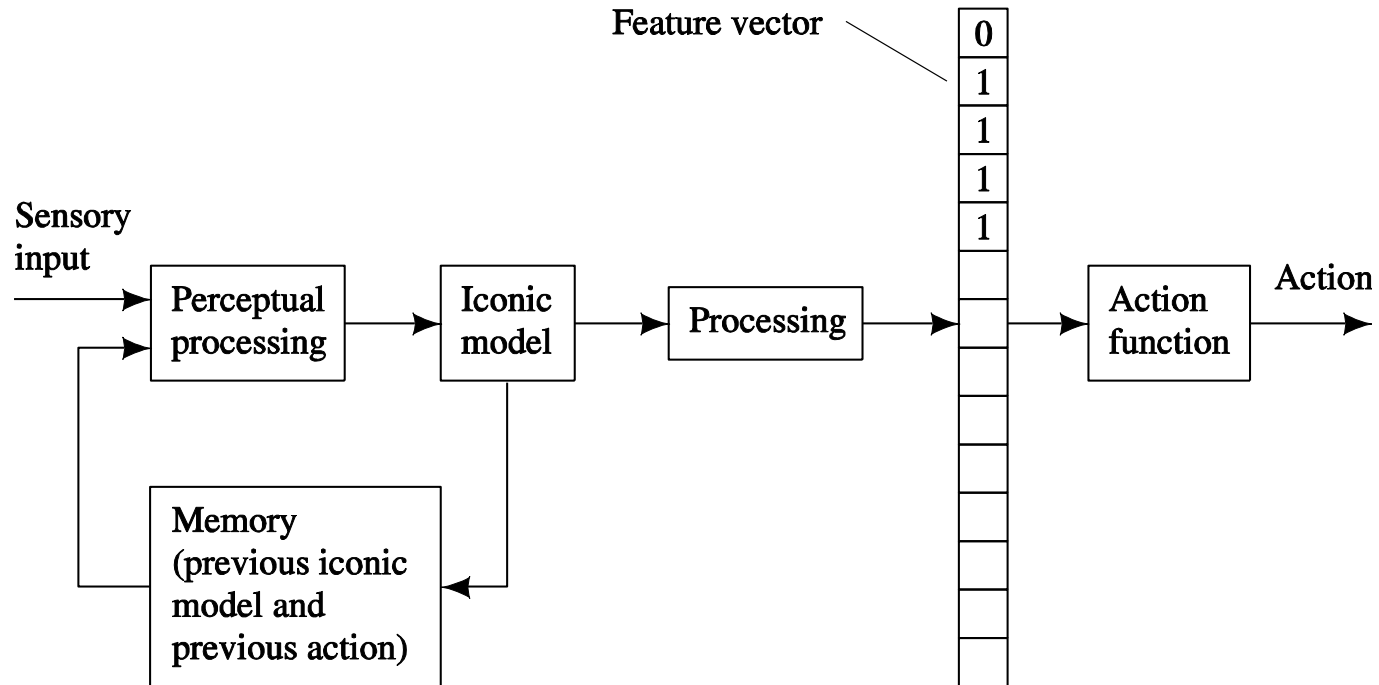
$w_5 \rightarrow$  sur

$w_7 \rightarrow$  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.



© 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:

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

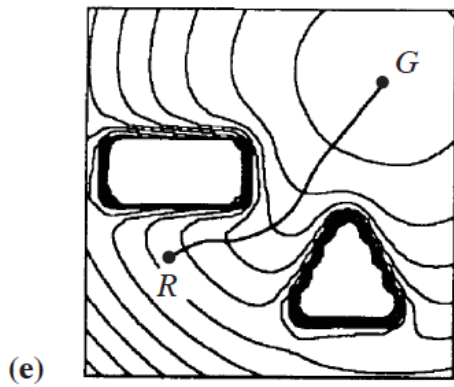
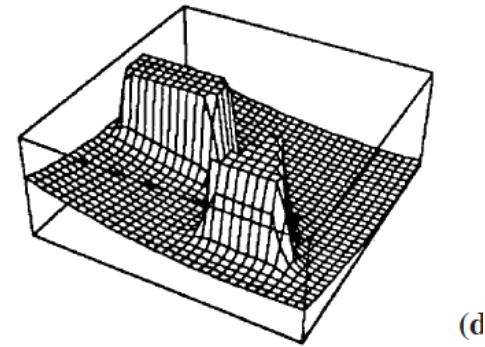
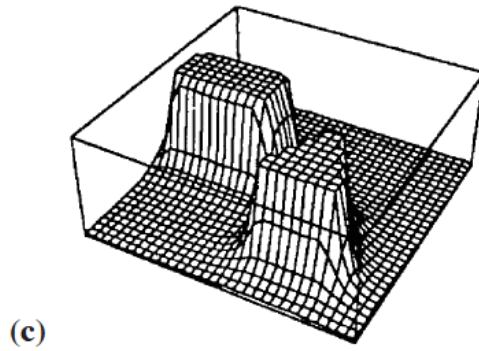
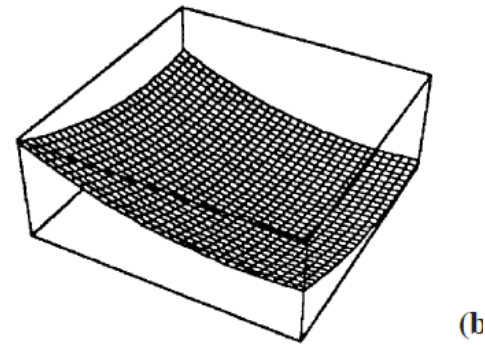
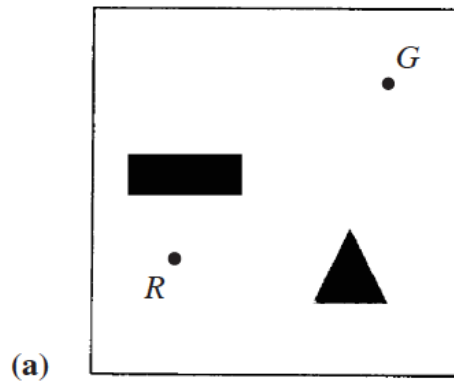
Componente repulsiva:

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

Potencial:

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

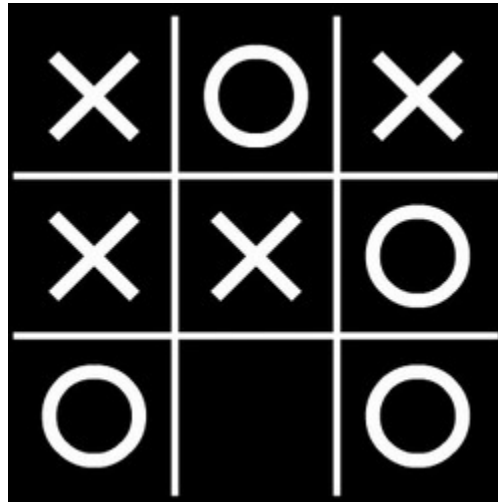
© 1998 Morgan Kaufman Publishers



# 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