

Arquitectura Subsunción

Arquitecturas Robóticas Inteligentes

25 Febrero 2014

- 1 Introducción
- 2 Arquitectura Subsunción
- 3 Ejemplos
- 4 Conclusiones

1 Introducción

2 Arquitectura Subsunción

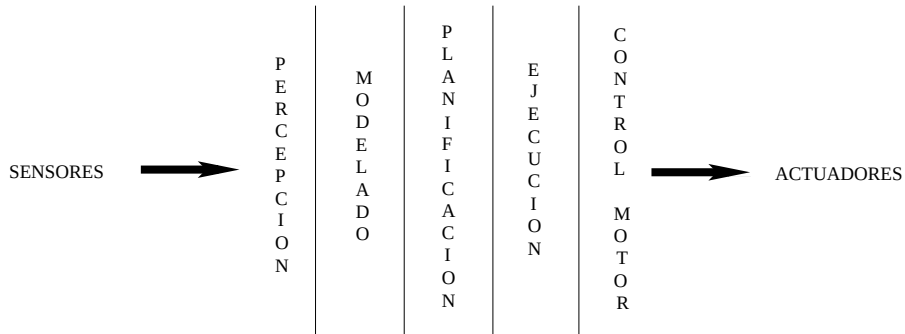
3 Ejemplos

4 Conclusiones

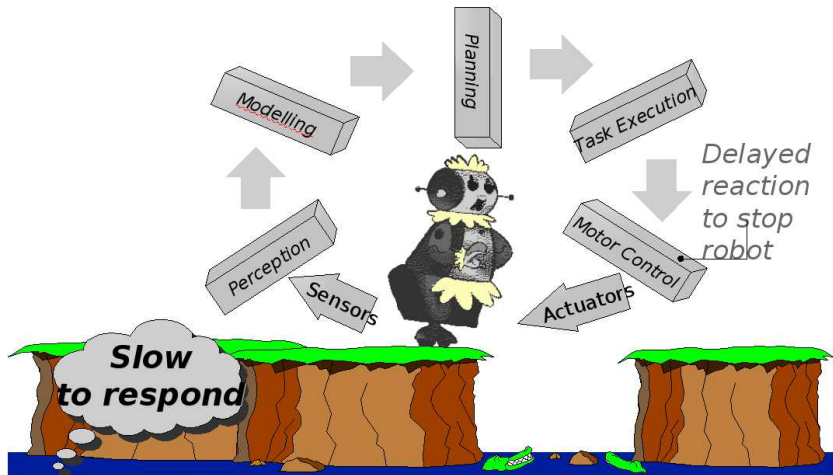
Un poco de historia

- 40's: Turing y von Newman
- 50's: Walter y Minsky
 - Walter -> Tortugas, Reactivos
 - Minsky -> Cognitivista, los programas
- 60's: Problemas del Cognitivismo
 - Anclaje del símbolo
- 70's: Conexionistas
- 80's: Basados en el comportamiento
 - Brooks

IA Clásica: Arquitectura



IA Clásica: Arquitectura



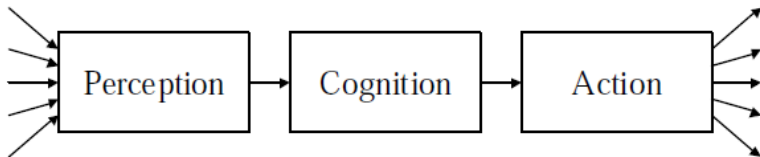
Dibujo de Fitz Patrick (1996)

- Modelos $\neq$ mundo real
- El **modelo** debe existir/ocurrir **antes** de que el robot **reaccione** a cambios en el entorno
- Existe un **mundo completo dentro** del robot
 - Es como descargarse internet !!!
- **Lento**
- Resuelve tareas complejas alejándose de la percepción
- Hace que tareas simples sean complicadas de resolver

- El problema de la **percepción no** está **resuelto**, y probablemente **no** lo esté en un **futuro próximo**
- El modelado asume que existen **modelos completos y perfectos** del mundo
- El sistema **no** puede responder en **tiempo real**
- La **mayoría** de estos robots han **fracasado**

Más problemas

- No se centra en aspectos importantes de la inteligencia
- Dependiente de la representación
- Dificultad en mapear valores de sensores en cantidades físicas
- No son robustos
- Respuestas lentas
- No son modulares
- Son difíciles de testear

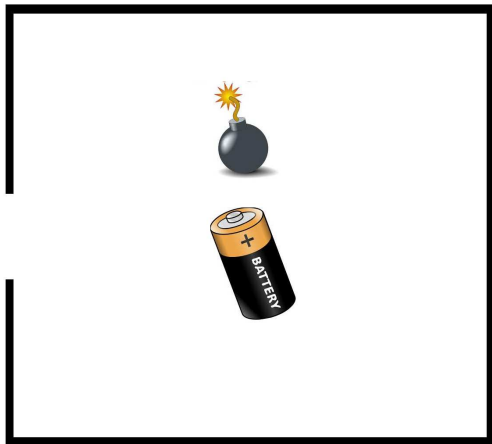
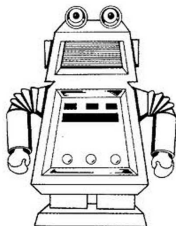


- Percepción y acción mediadas por el conocimiento explícito (símbolos) → **Cognitivismo**
 - Problema del Marco
 - Problema del Anclaje del Símbolo
 - Problema del Homúnculo

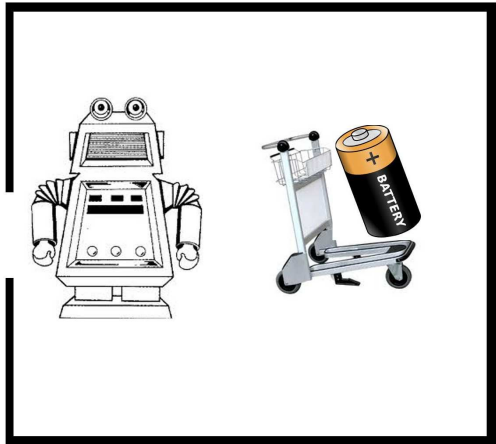
- Problema de parada
- ¿Cuales son las implicaciones relevantes de mis acciones?
- ¿Cuando debo dejar de predecir las implicaciones de mis actos?
- ¿Cuando debo actuar?

Problema del Marco -R1

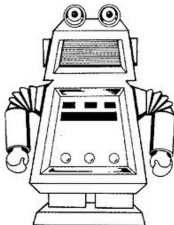
- R1
 - Buscar batería
 - Recoger batería



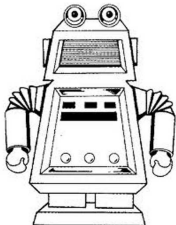
Problema del Marco - R1



Problema del Marco - R1



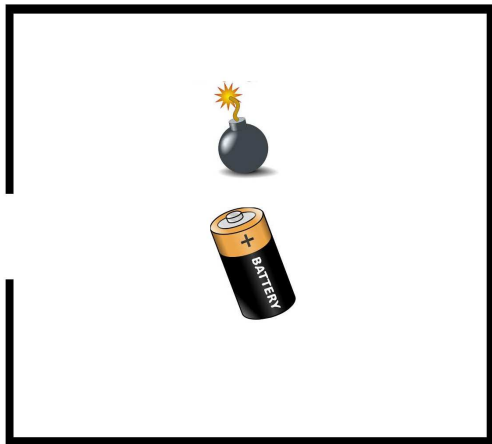
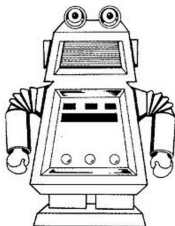
Problema del Marco - R1



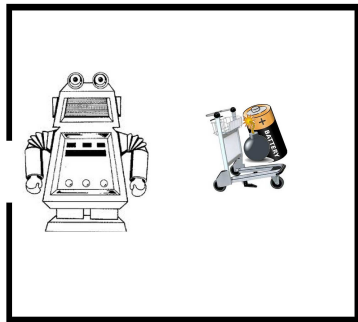
Problema del Marco - R1D1

- R1D1

- Buscar batería
- Recoger batería
- Implicaciones de las acciones

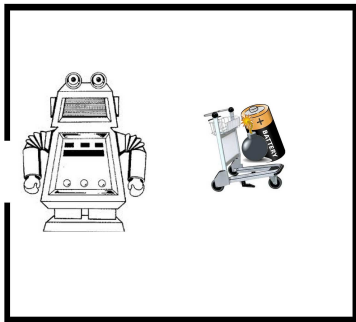


- Empujo carro → batería se mueve

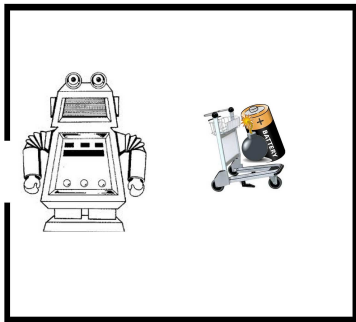


Problema del Marco - R1D1

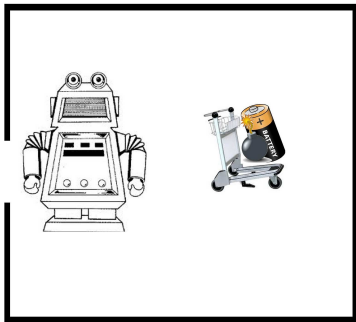
- Empujo carro → batería se mueve
- Empujo carro → bomba se mueve



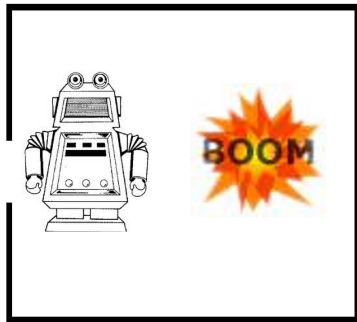
- Empujo carro → batería se mueve
- Empujo carro → bomba se mueve
- Empujo carro → la puerta no cambia de sitio



- Empujo carro → batería se mueve
- Empujo carro → bomba se mueve
- Empujo carro → la puerta no cambia de sitio
- Empujo carro → el color de la habitación no cambia



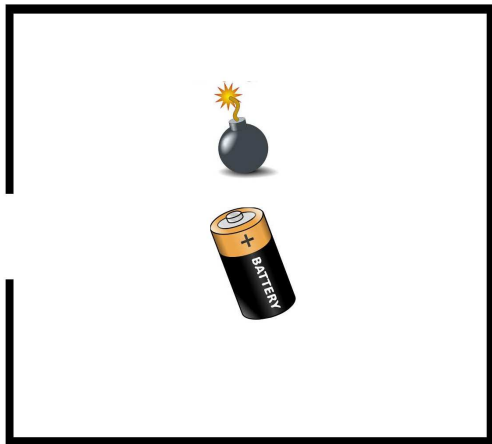
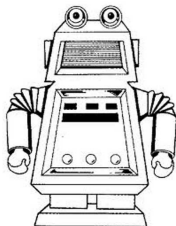
- Empujo carro → batería se mueve
- Empujo carro → bomba se mueve
- Empujo carro → la puerta no cambia de sitio
- Empujo carro → el color de la habitación no cambia



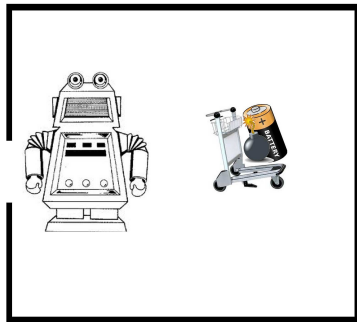
Problema del Marco - R2D1

- R2D1

- Buscar batería
- Recoger batería
- Implicaciones **Relevantes** vs **No Relevantes**

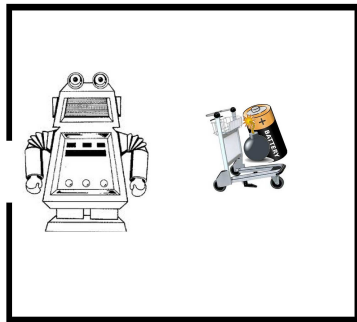


- Empujo carro - relevante



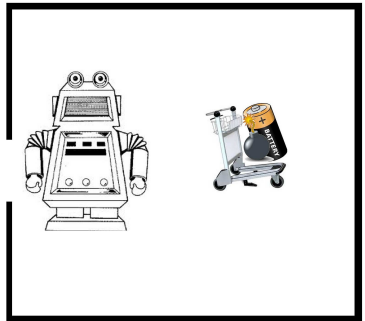
Problema del Marco - R2D1

- Empujo carro - **relevante**
- Color de la pared - **no relevante**



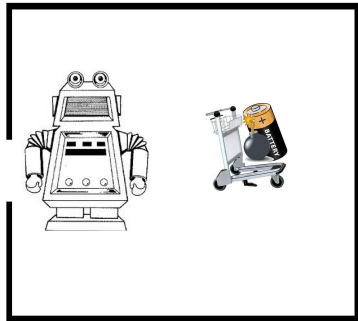
Problema del Marco - R2D1

- Empujo carro - **relevante**
- Color de la pared - **no relevante**
- Posición del sol - **no relevante**



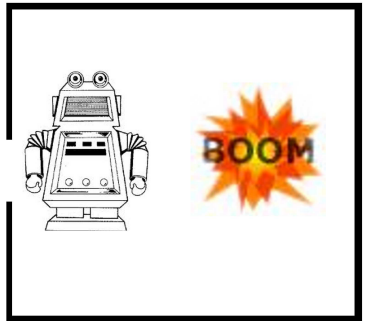
Problema del Marco - R2D1

- Empujo carro - **relevante**
- Color de la pared - **no relevante**
- Posicion del sol - **no relevante**
- Temperatura - **no relevante**



Problema del Marco - R2D1

- Empujo carro - **relevante**
- Color de la pared - **no relevante**
- Posicion del sol - **no relevante**
- Temperatura - **no relevante**



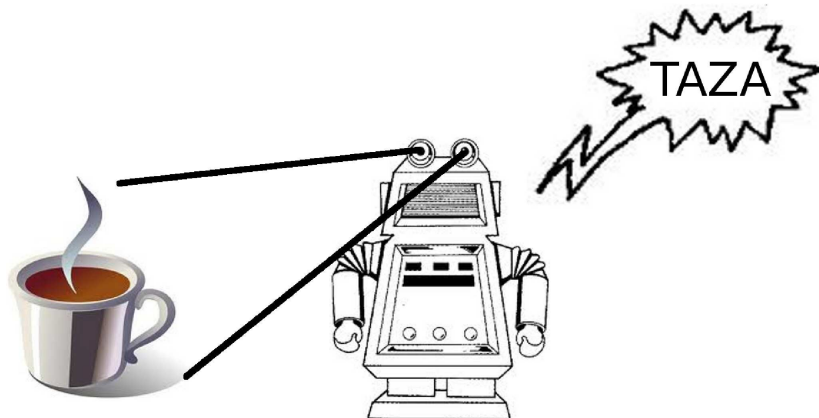
Problema del Marco

- **No es posible inferir todas las condiciones** necesarias para una acción
- **No es posible calcular todas las posibles consecuencias** de una acción
- Interacción individuo y entorno
- ¿Qué ocurre con los modelos?
- ¿Es posible reducir el razonamiento?
- Cualquier modelo en un entorno dinámico presenta este problema
- Cuanto **más completo** es el **modelo**, **más complejo** es el problema
- Si **minimizamos** (o eliminamos) los **modelos** del mundo impuestos al robot, entonces **minimizamos** (o eliminamos) las implicaciones del **problema del marco**

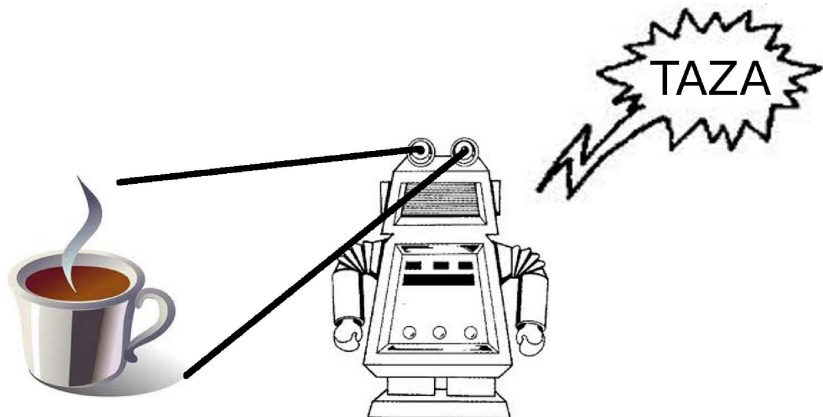
- ¿Cómo están los símbolos de un sistema simbólico relacionados con el mundo?
- Sistema operado por un humano
 - El operador establece las relaciones entre los símbolos y el mundo
 - Los **símbolos** están **anclados** al **operador**

- ¿Cómo están los símbolos de un sistema simbólico relacionados con el mundo?
- Sistema operado por un humano
 - El operador establece las relaciones entre los símbolos y el mundo
 - Los **símbolos** están **anclados** al **operador**
- Sistema autónomo
 - ¿Cómo relaciona su percepción con los símbolos que tiene en la cabeza?

Anclaje del Símbolo

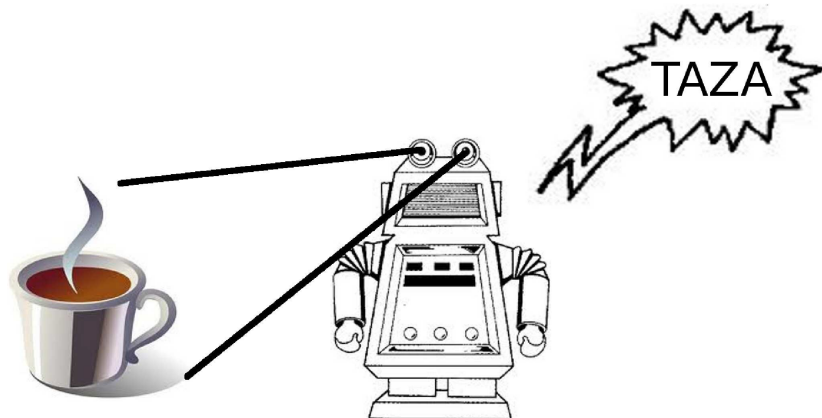


Anclaje del Símbolo



- ¿Qué es una taza?
- ¿Qué sabe de la taza?

Anclaje del Símbolo



- ¿Qué es una taza?
- ¿Qué sabe de la taza?
- ¿Taza $\neq$ vaso $\neq$ jarra $\neq$ cuenco ?

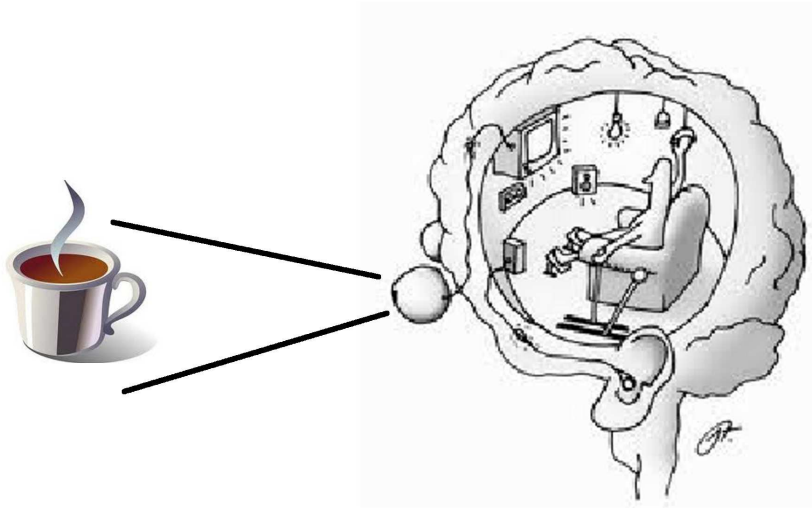
- Los **símbolos** sólo tienen **sentido** para el **intérprete**
- Los símbolos **no tienen sentido en si mismos**
- ¡El conocimiento **no** puede ser una simple **manipulación de símbolos**!
- ¿Cómo es posible que un símbolo esté anclado (relacionado) con algo que no sea otro símbolo?
- ¿Cómo puede “emparejar” el robot el símbolo con la taza?
- ¿Y con símbolos más complejos o abstractos?

Anclaje del Símbolo

- Es un artificio de los sistemas simbólicos
- Desaparece (no se presenta) en enfoques donde la corporeización o situacionalidad están presentes



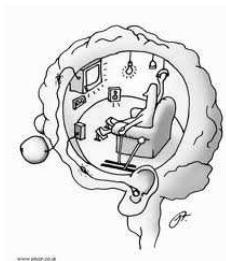
Problema del Homúnculo



Susan Blackmore - Skeptics 2005

Problema del Homúnculo

- ¿Tiene el homúnculo un homúnculo en la cabeza?
- ¿Como interpreta el homúnculo?
- El problema surge cuando queremos dotar de significado a los símbolos en nuestra cabeza
- El problema del homúnculo y el anclaje del símbolo están íntimamente relacionados
 - Si existe un símbolo, hay que anclarlo al mundo → necesitamos un homúnculo



Problema del Homúnculo



Susan Blackmore - Skeptics 2005

Cambio en los 70's y 80's

- Sistemas de conexiones simples
- No cambian con el tiempo
- Procesos débilmente acoplados
- Ej: Braitenberg
 - Tipo 1: Sensor -> Motor
 - Tipo 2: 2 Sensores -> 2 Motores
 - Miedo o agresión
 - Tipo 3: Muchos sensores -> 2 motores
 - Deseos
 - Tipo 4: No lineal
 - Modulación de estados

- Redes de conexión de unidades simples
- Redes neuronales
 - Reactivas
 - Cambiantes en el tiempo
 - Eq. Diferenciales
- Pretenden simular procesos mentales

- Descomposición modular en **comportamientos**
- **Inspiración** de animales e insectos
- Sistemas **distribuidos** de módulos **autónomos o semi-autónomos**
- Tradicionalmente asociado a **sistemas reactivos** (Subsunción)
- Actualmente se diseñan sistemas no puramente reactivos

1 Introducción

2 **Arquitectura Subsunción**

3 Ejemplos

4 Conclusiones

- Profesor e investigador en Stanford y en el MIT
- Director del laboratorio de IA del MIT
- En los 80's Brooks se hizo preguntas con respecto a la IA clásica y la inteligencia en general.
 - Como tantos otros ingenieros y filósofos anteriormente.
- Su paternidad: **Arquitectura Subsunción**
- Su meta: Desarrollar criaturas artificiales capaces de habitar en el **mundo real** y no en un mundo simplificado/simulado
- Actualmente es empresario (iRobot) y actor (Fast, Cheap and Out of Control)

- ¿Qué es la inteligencia?

Algunas Preguntas

- ¿Qué es la inteligencia?
- ¿Es una mosca inteligente?

- ¿Qué es la inteligencia?
- ¿Es una mosca inteligente?
- ¿Es esta mosca más inteligente que algunas de nuestras máquinas inteligentes?

- ¿Qué es la inteligencia?
- ¿Es una mosca inteligente?
- ¿Es esta mosca más inteligente que algunas de nuestras máquinas inteligentes?
- Por ejemplo ...

- **No** es muy **probable** que esta mosca:
 - Cree **descripciones** 3D de los objetos que sobrevuela
 - **Razone** con respecto a los humanos que la rodean intentando matarla. Sobre todo sobre sus deseos, objetivos,...
 - Realice un **estudio** sobre cual es el mejor sitio para depositar los huevos
 - Construya una **teoría física** sobre **como aterrizar** en una mesa

- Es **más probable** que esta mosca:
 - Tenga **conexiones directas** entre sensores y actuadores
 - Tenga **comportamientos** pre-establecidos/ aprendidos
 - Tenga herramientas **simples de navegación**
 - Funcione prácticamente como una **máquina determinista**
- Aún así, esta mosca es **más eficiente en su movimiento en el mundo real** que cualquiera de los intentos en Inteligencia Artificial

Visión de Brooks sobre la Inteligencia

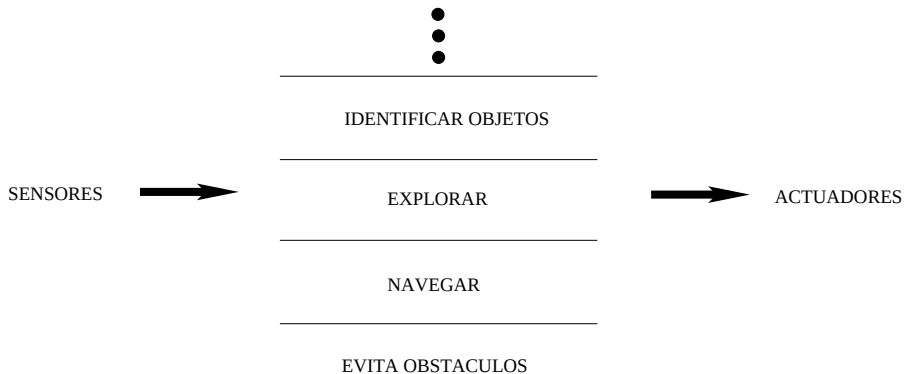
- La **Inteligencia Humana** es muy **difícil** de implementar actualmente
- No es el único tipo de inteligencia
- El “**divide y conquistarás**” ha hecho que la IA se dedique a **problemas irrelevantes**
- Hay que seguir el camino lógico, de la “**evolución**”
 - **Empezar** con “inteligencias”(comportamientos) más **sencillas**
 - Después de un éxito, **ir hacia** “inteligencias”(comportamientos) más **complejas**

Requisitos para un robot autónomo e inteligente

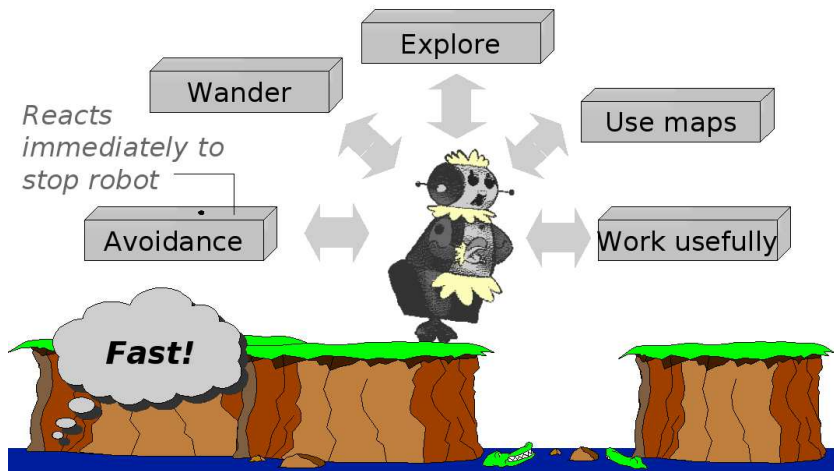
- Varios objetivos:
 - Normalmente compitiendo entre ellos.
 - Ej. Evitar obstáculos vs. ir hacia la luz
- Varios sensores:
 - Solapados
 - Ruidosos
- Robustez:
 - Si algún sensor falla, el robot debe seguir realizando su tarea
 - Si el mundo cambia, el robot debe seguir realizando su tarea
- Escalabilidad:
 - Cuanto más sensores y capacidades, más capacidad de cómputo

- Comportamientos complejos $\neq$ controladores complejos
- Simplicidad
- Robots baratos
- Sistemas de coordenadas relativos
- No existen entornos reales hechos de poliedros
- Diferentes sensores
- Robustez
- Auto-suficiencia

Arquitectura Basada en Comportamientos

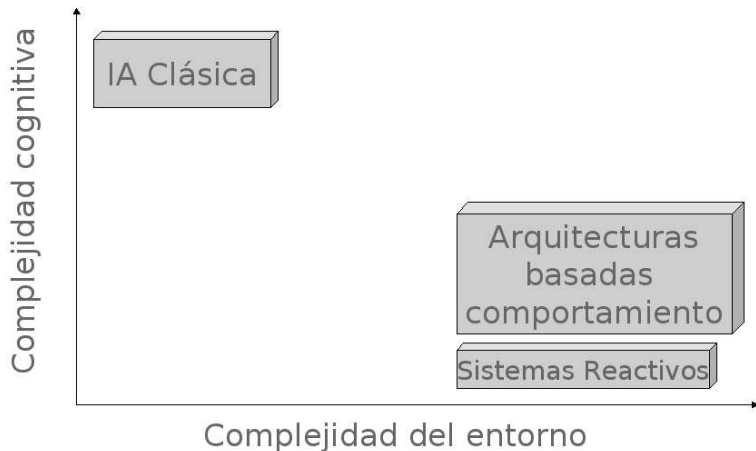


Arquitectura Basada en Comportamientos

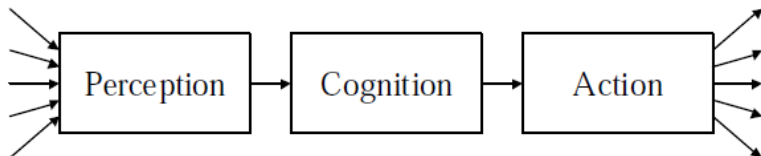


Dibujo de Fitz Patrick (1996)

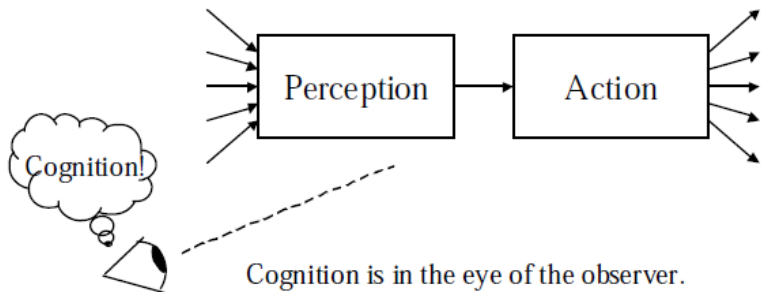
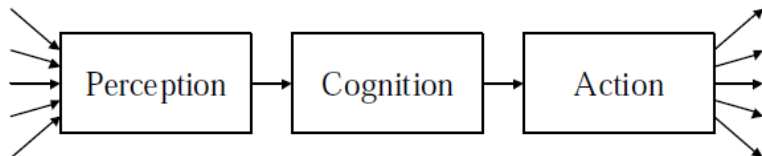
IA Clásica vs Arq. Basadas en Comportamientos



IA Clásica vs Arq. Basadas en Comportamientos



IA Clásica vs Arq. Basadas en Comportamientos



Cognition is in the eye of the observer.

- Situacionalidad
- Corporeización
- Emergencia

- Un robot es una máquina cuyas **entradas** son **sensores conectados al entorno** y cuyas **salidas** son **actuadores conectados al entorno**
- El mundo es el mejor modelo
- No se puede trabajar con dominios simbólicos abstractos
- No es posible que haya “resolvedores de problemas” no participando en el mundo como agentes
- No es posible que no haya una relación con el mundo exterior (real)

- Conexión del robot con el **medio físico**
- Atendiendo a Brooks:
 - Sólo un robot corporeizado es válido para trabajar en el mundo
 - Sólo a través de un conexión con el mundo una representación simbólica puede tener sentido

- “Es la aparición de nuevas propiedades en sistemas completos” (Moravec 1988)
- “Funciones globales emergen de la interacción paralela de comportamientos locales” (Steels 1990)
- “La inteligencia emerge de iteraciones de componentes simples del sistema con el mundo real” (Brooks 1991)
- “Funciones emergentes aparecen gracias a la interacción entre componentes no diseñados para una particular función”

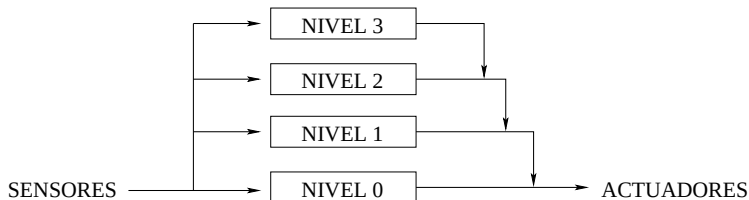
Otros Aspectos importantes

- **No** existe un **modelo** del mundo
- **No** hay un lugar **centralizado** de control
- **No** hay **separación** entre los sistemas de percepción, central y de actuación
- Los comportamientos se mejoran añadiendo nuevos niveles de competencia
- **No** hay un desarrollo **jerárquico**
- Los comportamientos se ejecutan en **paralelo**

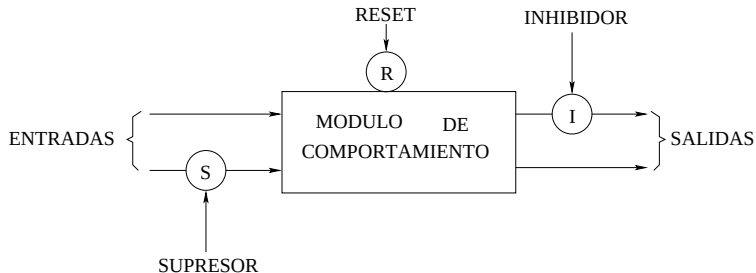
- Descomposición de controladores en **niveles de competencia**
- Añade comportamientos incrementalmente
- Las capas de alto nivel se sustentan en las de bajo nivel
- Las capas de alto nivel pueden **subsumir** las de bajo nivel
- Las capas se activan en **paralelo**
- Cada capa trabaja **independientemente**
- **No** existe un control **jerárquico**
- Acoplamientos directos entre los sensores y actuadores con un pequeño procesamiento interno

● Niveles de competencia:

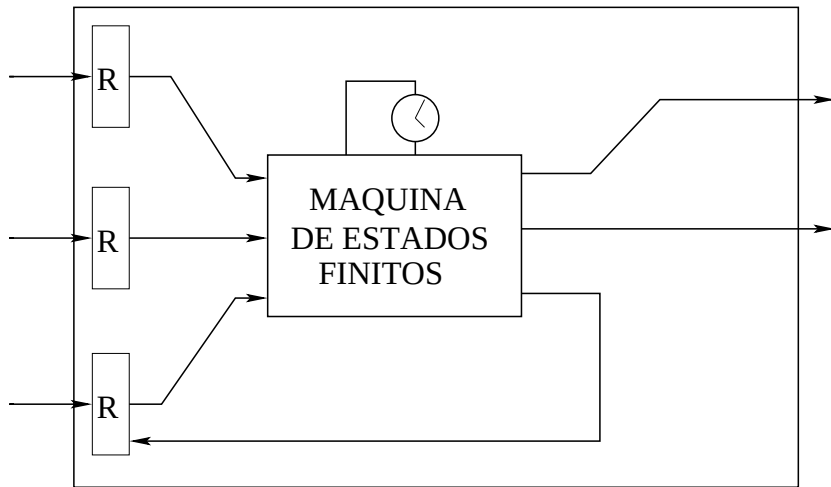
- Define los comportamientos deseados: Evitar Obstáculos, Explorar, traer comida,...
- Cada nivel se puede implementar independientemente
- Permite una gran escalabilidad
- Compuestos de varios módulos



- **Módulos:** Son Máquinas de Estados Finitos Aumentadas

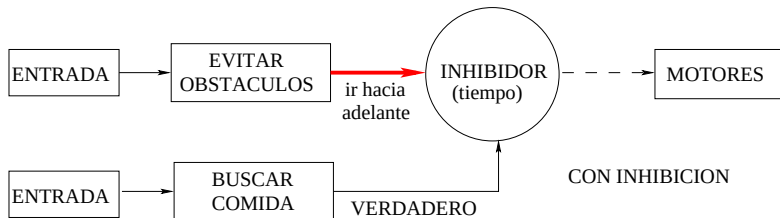
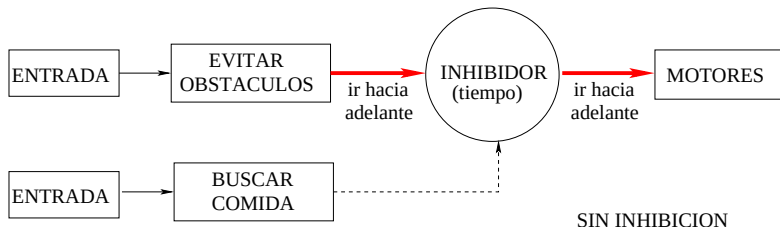


MODULO – MEF AUMENTADA

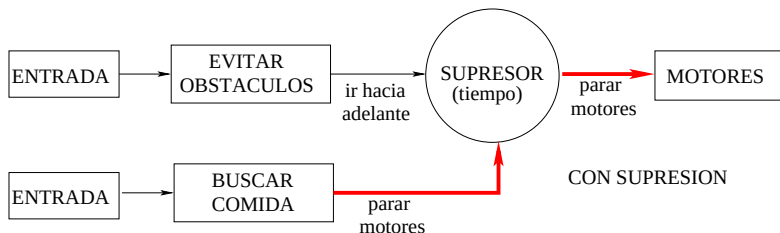
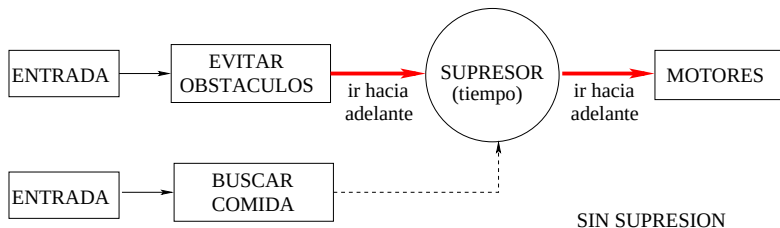


- Los aspectos más importantes son:
 - Las **salidas** son **funciones** sencillas de las **entradas** y variables locales
 - Las entradas/salidas se pueden inhibir/suprimir
 - Los módulos de los niveles de competencia superiores pueden inhibir a los inferiores
 - Los niveles de competencia inferiores siguen funcionando como si no existieran los niveles superiores

Arquitectura Subsunción - Inhibición

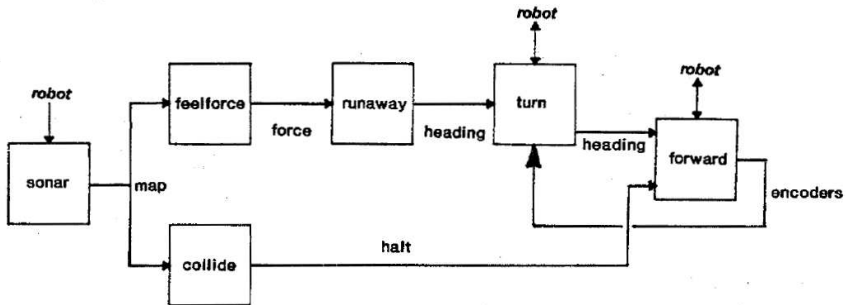


Arquitectura Subsunción - Supresión

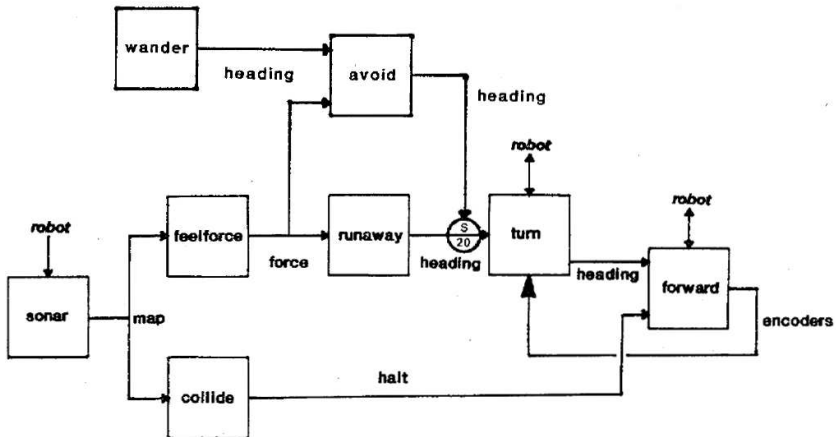


- 1 Introducción
- 2 Arquitectura Subsunción
- 3 Ejemplos**
- 4 Conclusiones

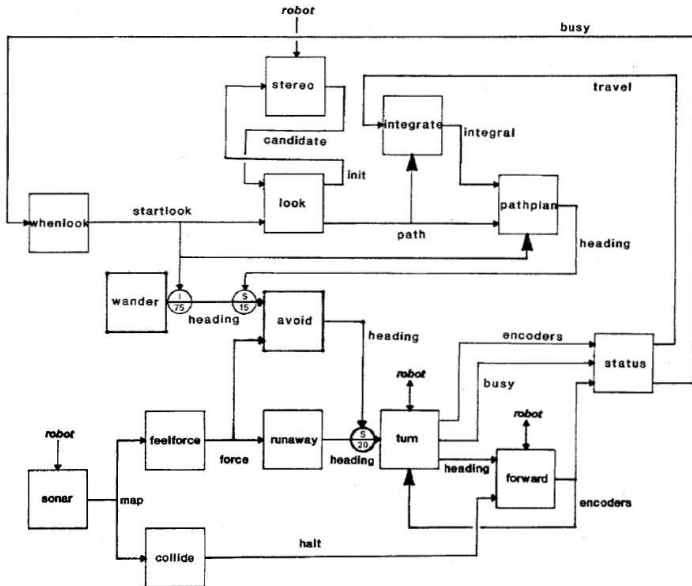
Ejemplo 1 - Nivel 0



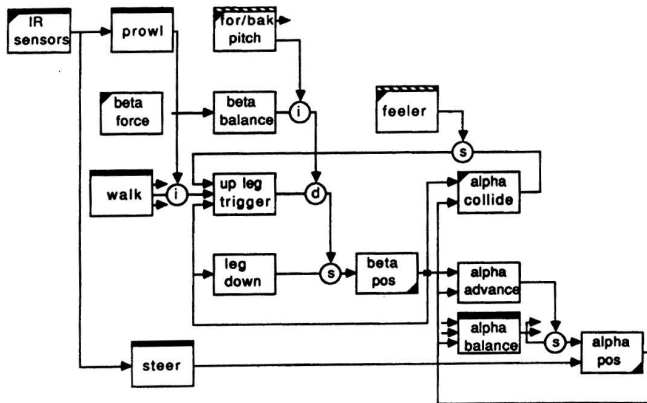
Ejemplo 1 - Nivel 0 y 1



Ejemplo 1 - Nivel 0, 1 y 2



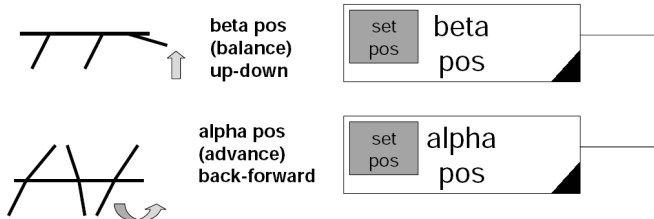
Ejemplo 2 - Genghis



- Robot de 6 patas
- Caminar
- 57 AFSMs

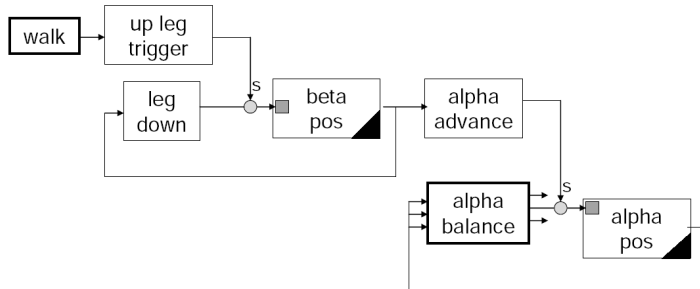
Ejemplo 2 - Genghis

- Mantenerse de pie



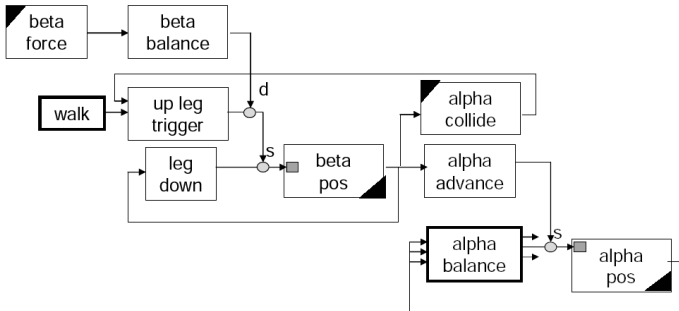
Ejemplo 2 - Genghis

- Caminar en terreno plano



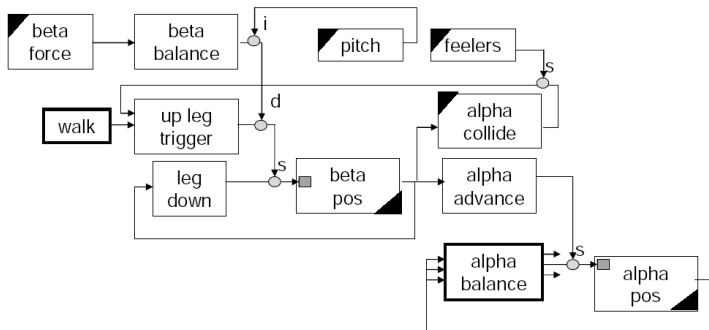
Ejemplo 2 - Genghis

- Caminar en terreno accidentado (Detección de choque)



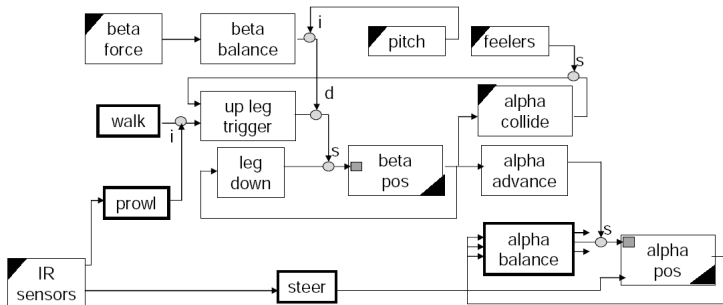
Ejemplo 2 - Genghis

- Caminar en terreno accidentado (Detección de obstáculos)



Ejemplo 2 - Genghis

- Búsqueda de objetivos



- 1 Introducción
- 2 Arquitectura Subsunción
- 3 Ejemplos
- 4 Conclusiones**

- **Técnicas** de diseño **ingenieriles** sobre principios cognitivos
- **División** en niveles de competencias
- Cada nivel recibe **información sensorial** del mundo y actúa sobre el mismo
- Cada capa es completamente **autónoma**
- Criticada por su poca relación con el diseño de sistemas inteligentes
- Sin embargo:
 - Realiza una **descomposición funcional**: No pregunta como procesar información sensorial sino como acoplarla a los actuadores
 - Está ligada al concepto de **corporeizado**
 - Es **distribuida**
 - Combina el diseño de robots con principios evolutivos

- Las **prioridades** deben ser evaluadas en el **momento de diseño**
- Necesita que los **comportamientos** estén **bien definidos**
- Los **comportamientos no** se pueden **combinar**, sólo inhibir/suprimir
- Se maximiza el número de niveles de competencia
- **Rígida** en tiempo de ejecución

- ¿Es posible implementar **comportamientos complejos**?
- ¿Es una **evolución**?
- ¿Capacidad de **aprendizaje**?
- ¿Serán necesarias **representaciones**?

- R. Pfeifer and C. Scheier. **Understanding Intelligence**. The MIT Press, Cambridge, MA. (2001)
- R. A. Brooks. **A Robust Layer Control System For A Mobile Robot**. IEEE Journal of Robotics and Automation, RA-2(1), pp. 14-13. (1986)
- R. A. Brooks. **A Robot that Walks; Emergent Behaviors from a Carefully Evolved Network**. Neural Computation, 1(2), pp. 253-262, (1989)
- R. C. Arkin. **Behavior-Based Robotics**. The MIT Press, Cambridge, MA (1998)

GRACIAS!!

GRACIAS!!