

Robots Móviles

Robótica reactiva. Comportamientos

Otto Colomina Pardo

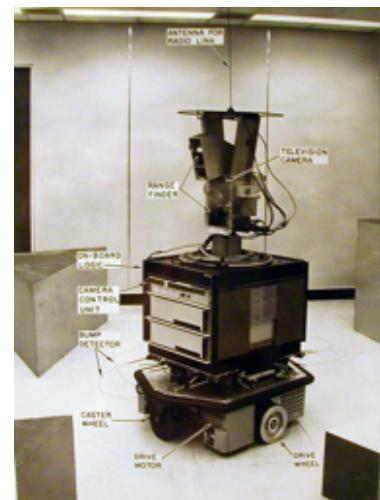
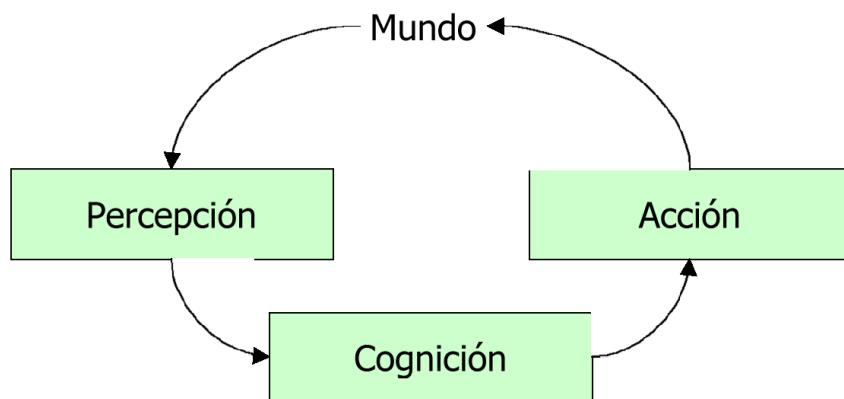
otto@dccia.ua.es

Índice

**Introducción a la Robótica
reactiva
Campos de potencial
Subsumpción**

Robótica “tradicional”

- Problemas:
 - Obliga a mantener un modelo complejo del mundo y de los objetivos del robot
 - Coste temporal de razonamiento/planificación



Robot “shaky” (1966-1972)

Sistemas robóticos reactivos

- Son sistemas que acoplan la percepción a la acción, sin la intervención de representaciones abstractas o memoria histórica



Elephants Don't Play Chess

Rodney A. Brooks

MIT Artificial Intelligence Laboratory, Cambridge, MA 02139, USA

Robotics and Autonomous Systems 6 (1990) 3-15

Keywords: Situated activity; Mobile robots; Planning; Subsumption architecture; Artificial Intelligence.



Rodney A. Brooks was born in Adelaide, Australia. He studied Mathematics at the Flinders University of South Australia and received a Ph.D. from Stanford in Computer Science in 1981. Since then he has held research associate positions at Carnegie Mellon University and the Massachusetts Institute of Technology and faculty positions at Stanford and M.I.T. He is currently an Associate Professor of Electrical Engineering and Computer Science at M.I.T. and a member of the Artificial Intelligence Laboratory where he leads the mobile robot group. He has authored two books, numerous scientific papers, and is the editor of the *International Journal of Computer Vision*.

Elephants don't play chess

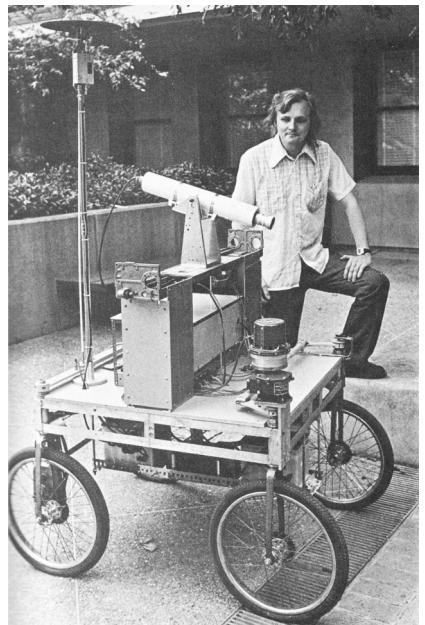
¿Por qué surgió la robótica reactiva?

La historia del “carrito de Stanford”

Stanford Cart - 1966-1979



Hans Moravec 1977



El enfoque “clásico”, aplicado al carrito

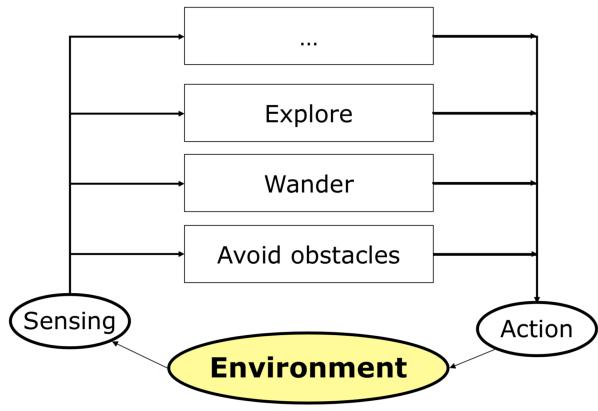
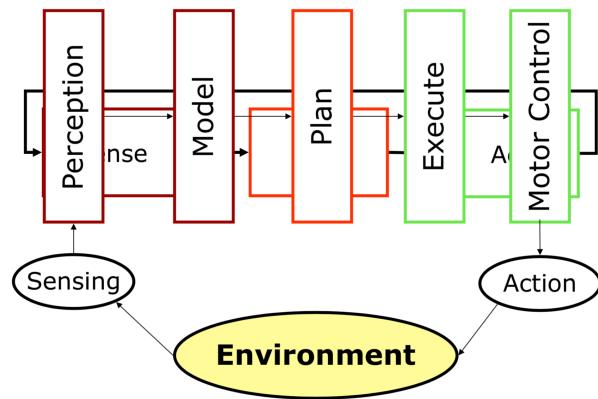
1. Tomar varias imágenes del entorno desde posiciones ligeramente distintas,
2. buscar puntos clave en una de ellas e identificarlos en las otras. Integrar esta información en un modelo 3D global del mundo
3. A partir de estos datos deducir cuánto se ha movido el carro
4. Calcular la dirección del movimiento según posición actual, objetivo y entorno
5. Moverse aproximadamente 1 m en la dirección deseada
6. Volver al paso 1

10-15
minutos

En 1979 el carro cruzó de forma autónoma una habitación llena de obstáculos...
en 5 horas



Descomposición horizontal vs vertical



Una mirada a la biología

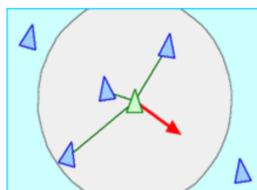
- **Psicología conductista:**
 - La acción viene determinada por los estímulos (perro de Pavlov)
- **Etología:** estudio del comportamiento animal
 - Los animales dan respuestas inteligentes e inmediatas al entorno (hormigas, abejas)
 - Conductas complejas surgen de combinar conductas simples

<https://www.youtube.com/watch?v=Cr4xc79tSYQ>

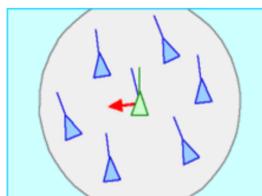
Ejemplo: *boids* (Reynolds, 1986)

- Bandadas: comportamiento complejo que se puede conseguir combinando reglas simples que solo usan información local

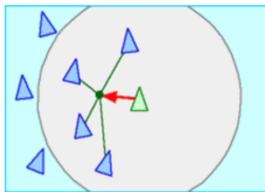
1. Separación: no acercarse demasiado a los vecinos

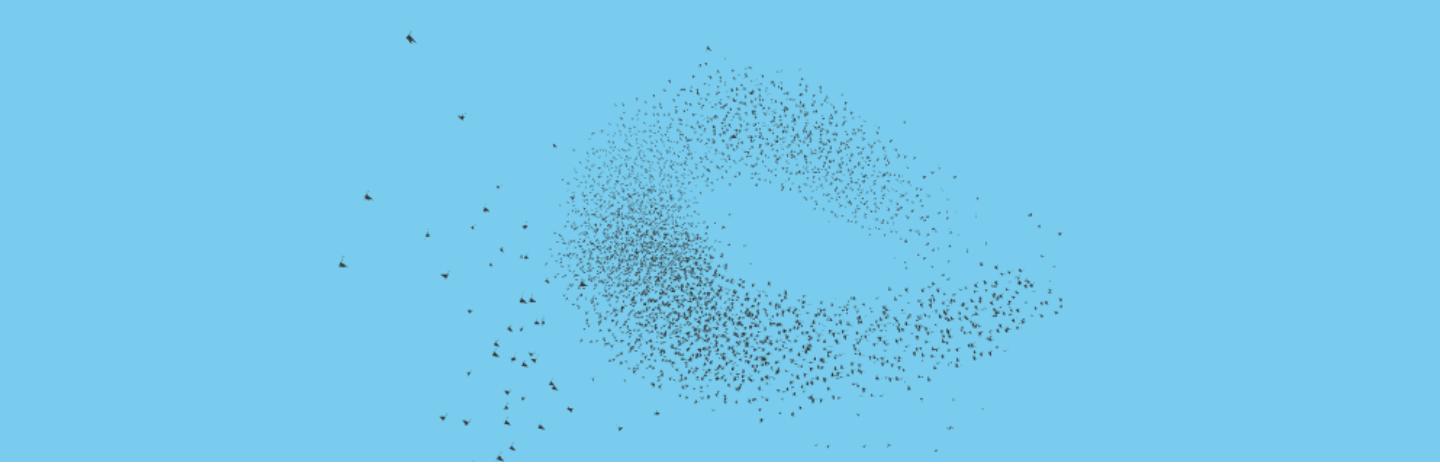


2. Alineación : viajar en la misma dirección que los vecinos



3. Cohesión : ir hacia el centro de los vecinos





<https://github.com/techcentaur/Flocking-Simulation>
(Demo 3D en Javascript con WebGL)

La idea e implementación original es de Craig Reynolds (1986). Mantiene [una página](#) con información sobre el tema, aunque en la web podéis encontrar decenas de implementaciones, como la mostrada aquí



Características de los sistemas reactivos

- Los robots son “agentes situados” que operan en un “nicho ecológico”
- Los comportamientos son los bloques básicos, y el comportamiento global es *emergente*
- Cada comportamiento tiene su propia información sensorial, no hay modelos globales
- Se suele citar el comportamiento animal como base para comportamientos particulares
- Como consecuencia de todo lo anterior, los sistemas son modulares

(Introduction to AI Robotics, R. Murphy, cap.4)

Características de los sistemas reactivos

- Los robots son “agentes situados” que operan en un “nicho ecológico”
- Los comportamientos son los básicos, el comportamiento global es emergente
- Cada comportamiento tiene su propia base sensorial, no hay modelos globales
- Se suele citar el comportamiento reflejo como base para comportamientos más complejos
- Como consecuencia de todo lo anterior, los sistemas son modulares

Los robots no están “fuera del mundo” sino integrados en él y “adaptados” al entorno

(Introduction to AI Robotics, R. Murphy, cap.4)

Características de los sistemas reactivos

- Los robots son “agentes situados” que operan en un “nicho ecológico”
 - Los comportamientos son los bloques básicos, y el comportamiento global es *emergente*
 - Cada comportamiento es una respuesta a la información sensorial,
 - Se suele combinar la información sensorial de base para...
 - Como constructores de comportamientos, los sistemas se...
- El comportamiento global surge de la combinación de todos los comportamientos. Las diferentes arquitecturas reactivas se distinguen en cómo combinar esos comportamientos**

(Introduction to AI Robotics, R. Murphy, cap.4)

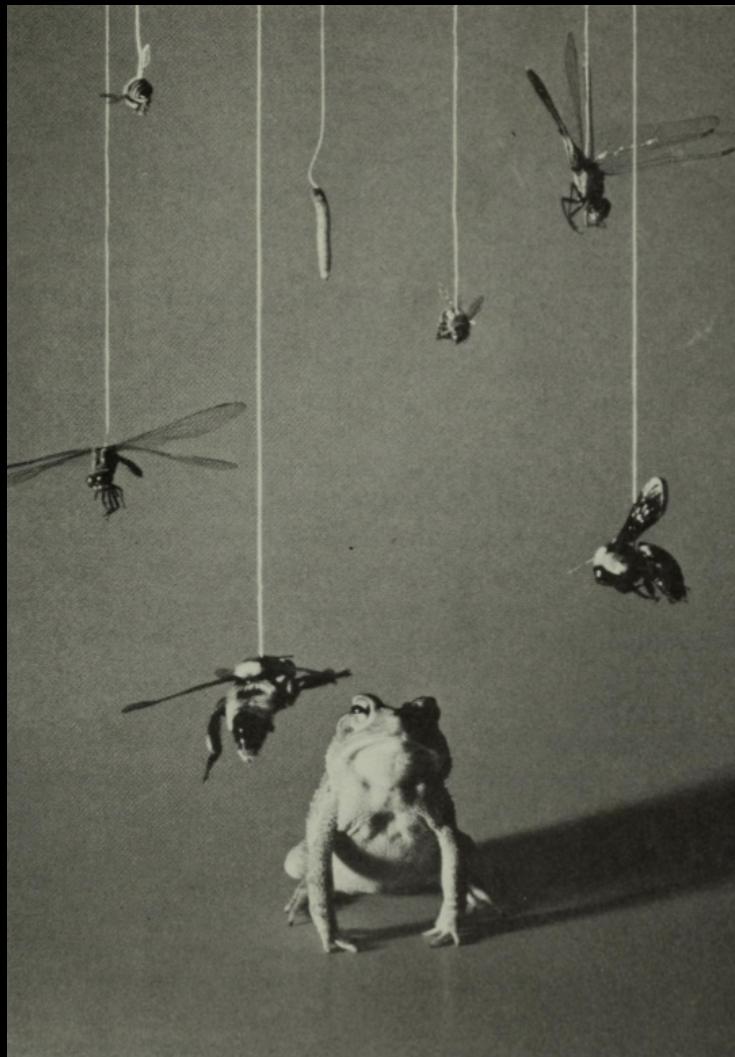
Características de los sistemas reactivos

- Los robots son “agentes situados” que operan en un “nicho ecológico”
- Los comportamientos son los bloques básicos, y el comportamiento global es *emergente*
- Cada comportamiento tiene su propia información sensorial, no hay modelos globales
- Se suele citar el comportamiento animal como base para comportamientos particulares
- Como consecuencia de todo lo anterior, los sistemas son modulares

(Introduction to AI Robotics, R. Murphy, cap.4)

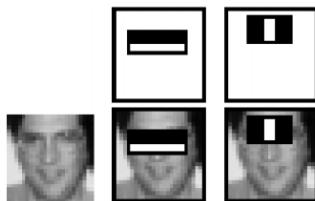
Percepción en un *behavior*

- El sistema de coordenadas es *local*, relativo al robot, no hay un mapa global
- Cada comportamiento obtiene **solamente la información que necesita**, no hay un análisis global del entorno
 - Detectar un color, una forma
 - Detectar el obstáculo más cercano
 - Detectar una pared

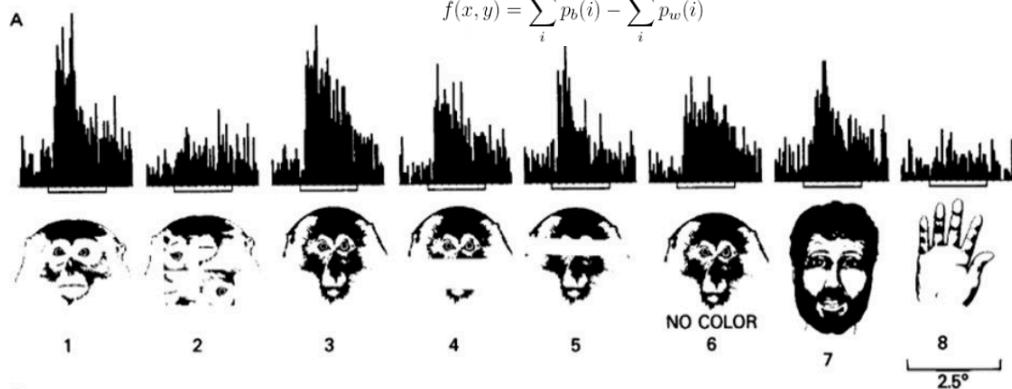


Percepción en un *behavior*

- Que no haya un modelo global no quiere decir que procesar la información sensorial sea trivial, por ejemplo: detectar una cara



Detección de caras con el método clásico de Viola y Jones (Haar Features + AdaBoost)



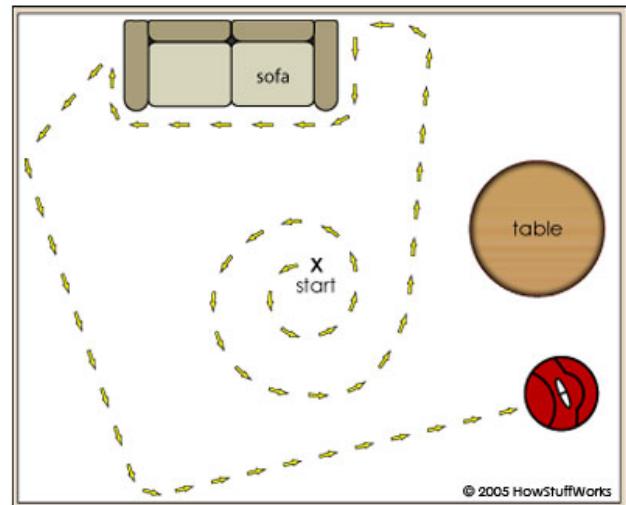
Neuronas detectoras de caras y manos en la corteza cerebral de los monos

Características de los sistemas reactivos

- Los robots son “agentes situados” que operan en un “nicho ecológico”
- Los comportamientos son los bloques básicos, y el comportamiento global es *emergente*
- Cada comportamiento tiene su propia información sensorial, no hay modelos globales
- **Se suele citar el comportamiento animal como base para el diseño de comportamientos**
- Como consecuencia de todo lo anterior, los sistemas son modulares

(Introduction to AI Robotics, R. Murphy, cap.4)

Inspiración biológica: iRobot Roomba



“

When it starts you'll notice a spiral pattern, it'll spiral out over a larger and larger area until it hits an object. When it finds an object, it will follow along the edge of that object for a period of time, and then it will start criss-crossing, trying to figure out the largest distance it can go without hitting another object, and that's helping it figure out how large the space is, but if it goes for too long a period of time without hitting a wall, it's going to start spiraling again, because it figures it's in a wide open space, and it's constantly calculating and figuring that out.

The patterns that we chose and how the algorithm was originally developed was based off of behavior-based algorithms born out of MIT studying animals and how they go about searching areas for food. When you look at how ants and bees go out and they search areas, these kinds of coverage and figuring all of that out comes from that research. It's not exact, obviously, I'm not saying we're honeybees, but it's that understanding of how to search out an area in nature that is the basis behind how our adaptive technology is developed.

”

[Entrevista con Nancy Dussault, iRobot](#)

Características de los sistemas reactivos

- Los robots son “agentes situados” que operan en un “nicho ecológico”
- Los comportamientos determinan las acciones
- Cada comportamiento es sensorial, no hay base para el diseño de comportamientos
- Se suele citar el **“rule-based”** como base para el diseño de comportamientos
- **Como consecuencia de todo lo anterior, los sistemas son modulares**

Los comportamientos son como módulos del sistema, cohesionados pero relativamente independientes entre sí, se deberían poder desarrollar y probar por separado

(Introduction to AI Robotics, R. Murphy, cap.4)

Conductas elementales

- Una conducta viene definida por un **mapeado** entre los **sensores** (ej: sonar) y los **actuadores** (ej: motor)
- Ejemplo: **Seguir-pared:**
 - Sensores: distancia a los distintos sonares
 - Actuadores: modificación de la velocidad lineal y angular

Implementación de conductas

conducta ejemplo()

repetir {

p := percibir_sensores ();

Lecturas sonares
Ajustar recta a las
lecturas. Calcular
distancia a la recta, *dist*

s := procesar_sensores (p);

r := calcular_conducta (s);

Dirección: paralela a a la
pared si *dist*>umbral,
perpendicular en caso
contrario
velocidad: proporcional a
dist

Accionar_actuadores (r);

} hasta fin_conducta();

Coordinación de conductas

- Podemos tener varias conductas activas a la vez en el sistema
 - Evitar obstáculo
 - Ir a objetivo
- Debemos coordinar la respuesta de las distintas conductas:
 - Métodos competitivos
 - Métodos cooperativos

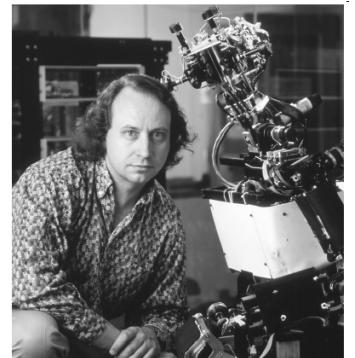
Dos “Estilos” de robótica reactiva

- **Campos de potencial:** cada conducta es como un “campo de fuerzas”. Se combinan todas



Ronald Arkin

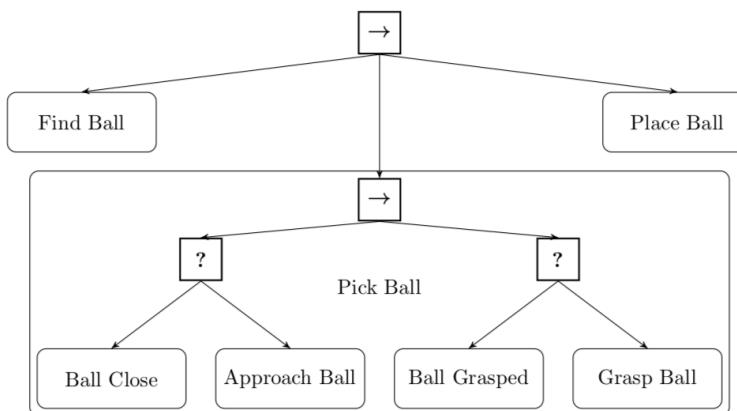
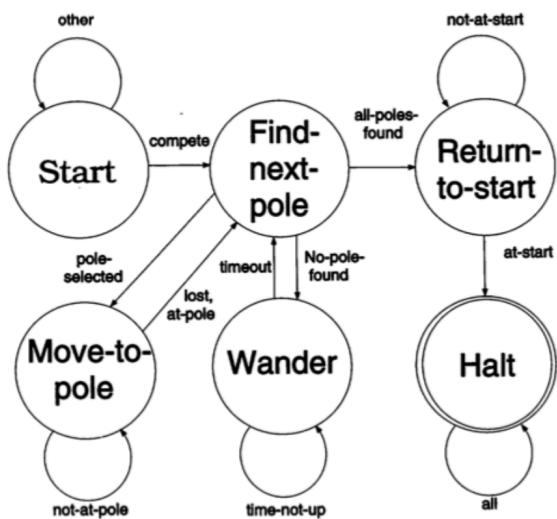
- **Subsumpción:** cada conducta reside en una capa del sistema, que influye sobre las capas inferiores (modificando, inhibiendo,...)



Ronald Arkin

Otras formas de combinar behaviors

- Nos permiten secuenciarlos en un orden, alternarlos, etc.
 - Máquinas de estados finitos
 - Behavior trees

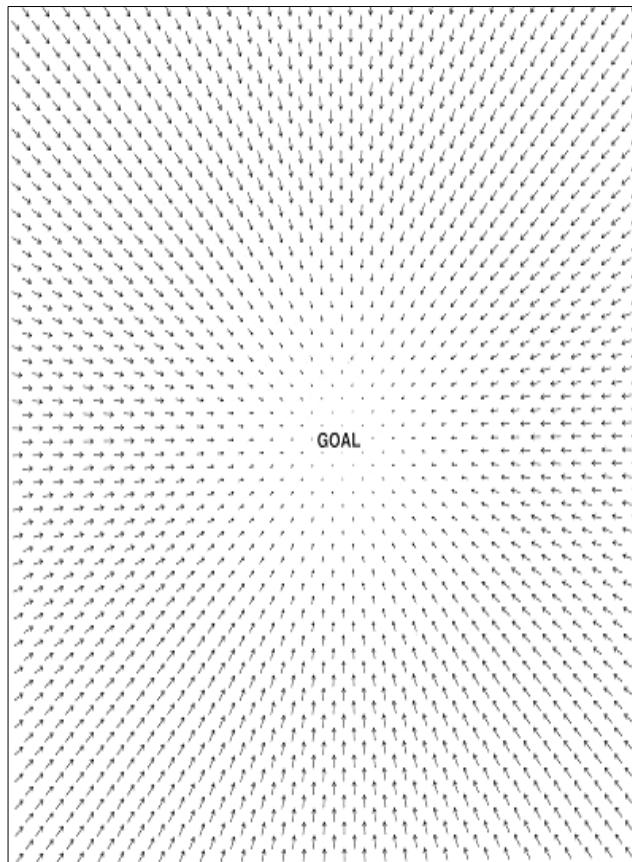


Índice

Introducción a la Robótica reactiva
Campos de potencial
Subsumpción

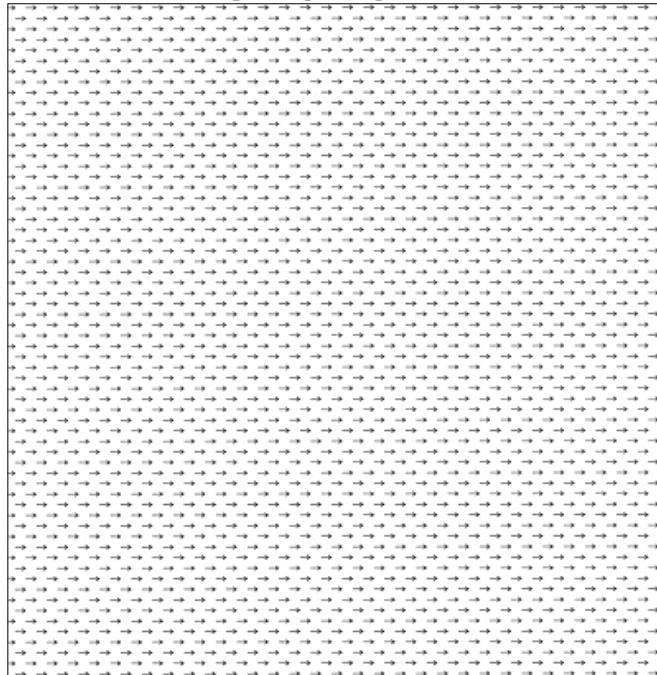
Campos de potencial

- Las conductas se modelan como **campos de potencial** (“campos vectoriales” o “campos de fuerzas”), típicamente 2D
- **El campo no se calcula entero**, solo en el punto en que está el robot (**¡MUCHO más eficiente!**), aunque aquí mostraremos el campo entero para visualizarlo mejor

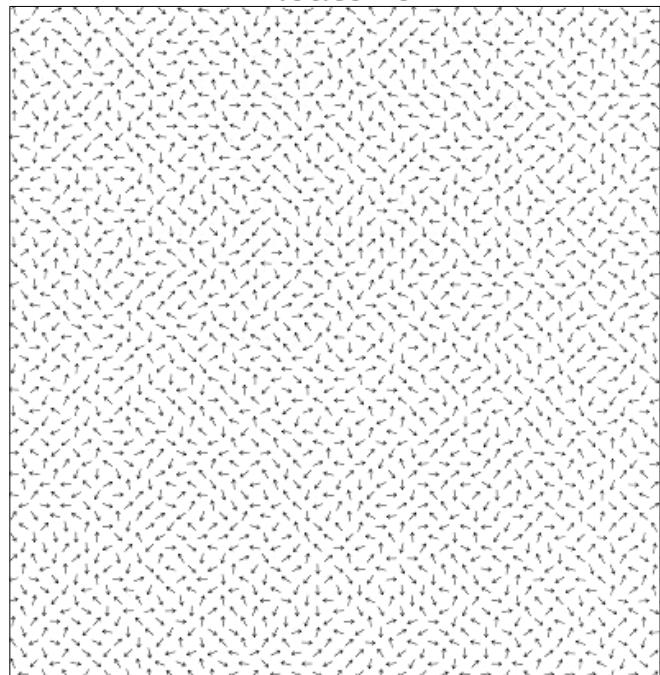


Campos de potencial básicos (II)

Uniforme



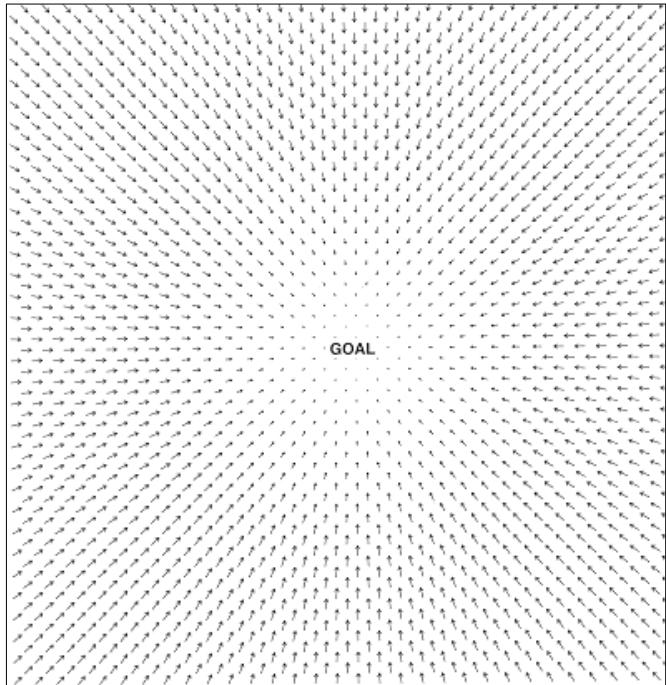
Aleatorio



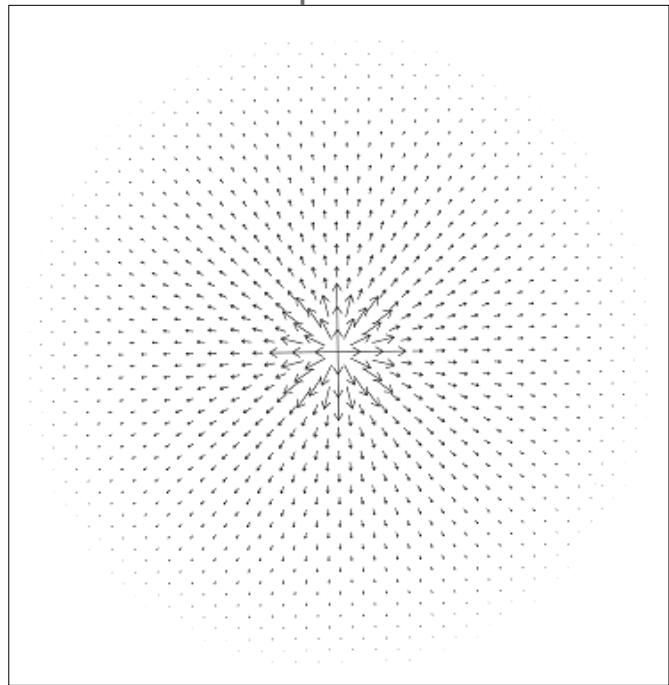
Según la fuente donde lo consultéis encontraréis unos u otros.
Combinándolos obtendremos comportamientos complejos.

Campos de potencial básicos (II)

Atractivo



Repulsivo

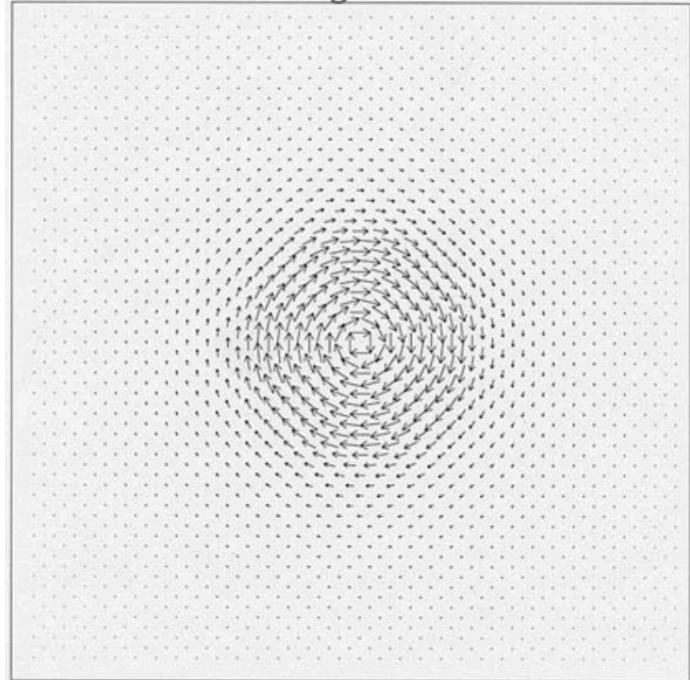


Campos de potencial básicos (III)

Seguir camino

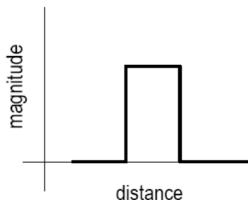


Tangencial

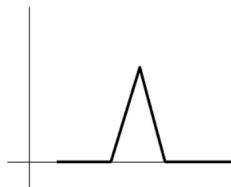


Campos no uniformes

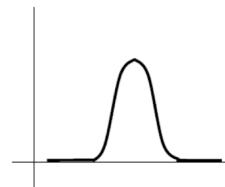
- Observar que en general los campos no son uniformes: por ejemplo:
 - En el campo repulsivo la magnitud es mayor cuanto más cerca del obstáculo
 - En el campo atractivo la magnitud es menor cuanto más cerca del objetivo
- Los campos uniformes llevarían a un comportamiento “brusco” justo en el borde del campo



Constant



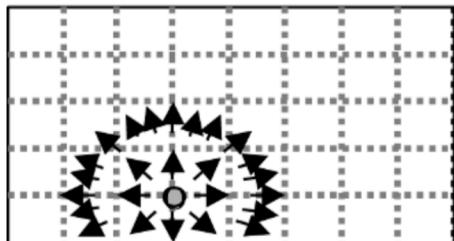
Linear Dropoff



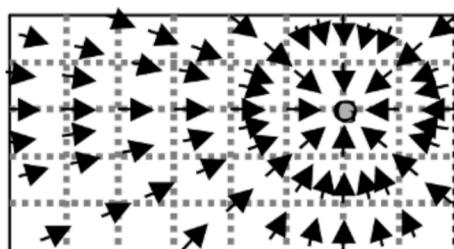
Exponential
Dropoff

Combinar conductas en campos de potencial

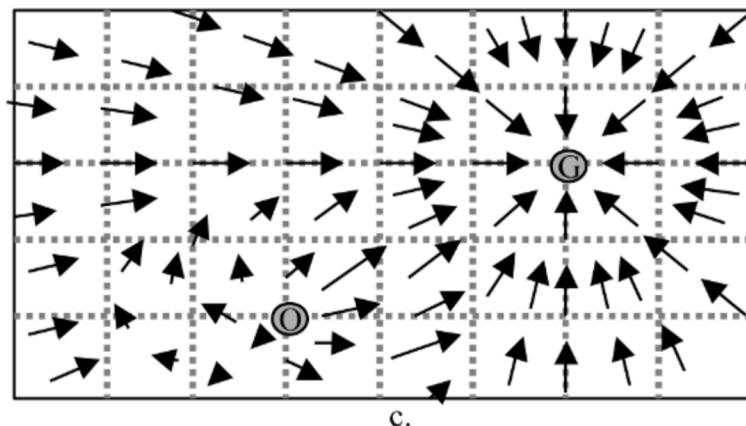
- Sumar los vectores de cada campo



a.



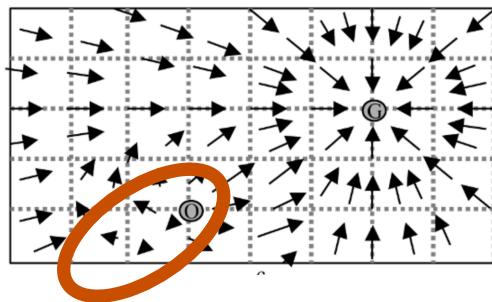
b.



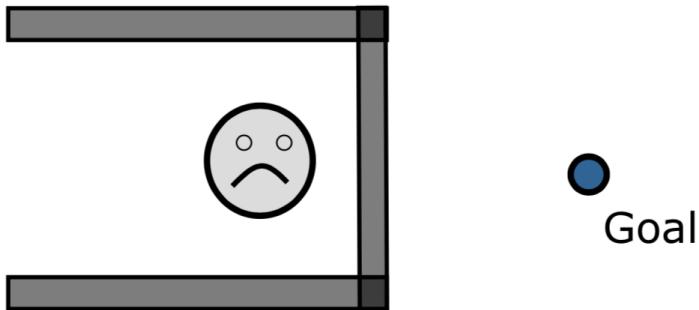
c.

Problemas de los campos de potencial

- **Intervalo de actualización:** cuanto mayor es la frecuencia de actualización más “suave” es la trayectoria del robot
- **Robots no holonómicos:** la trayectoria generada por el campo supone que el robot puede seguir cualquier dirección de movimiento en un instante dado, lo que no es cierto
- **Mínimos locales:** situaciones en las que la suma de los campos es 0



Cómo resolver los mínimos locales



- Campo ruido/aleatorio para intentar “empujar” al robot fuera del mínimo local
- Backtracking
- Planificación para “seguir el muro”
- Campo repulsivo para las áreas ya visitadas, mayor cuanto más tiempo haya estado el robot

Índice

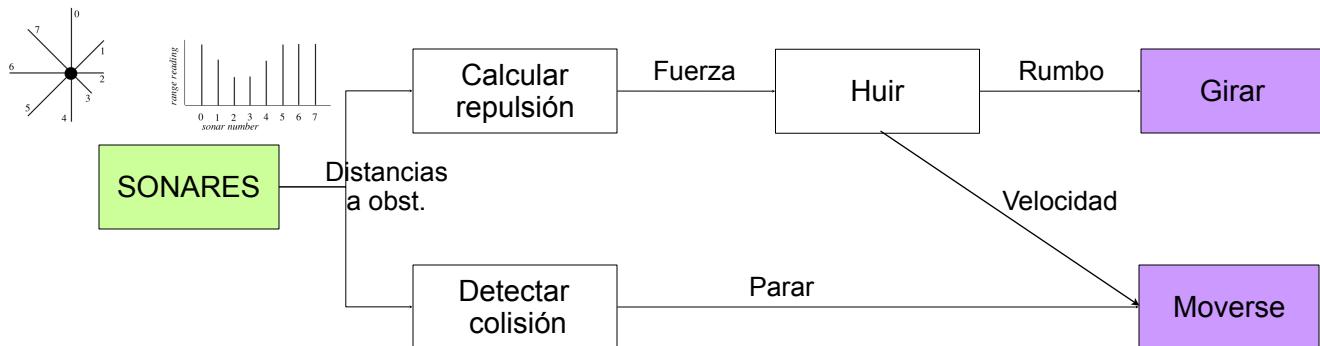
Introducción a la Robótica reactiva
Campos de potencial
Subsumpción

Arquitectura *subsumption*

- Control por niveles
- Cada nivel utiliza elementos del nivel inferior
- Un nivel de competencia superior subsume algunas competencias del nivel inferior
- La adaptación de un sistema a otro supone una adaptación del sistema completo

Ejemplo *subsumption*

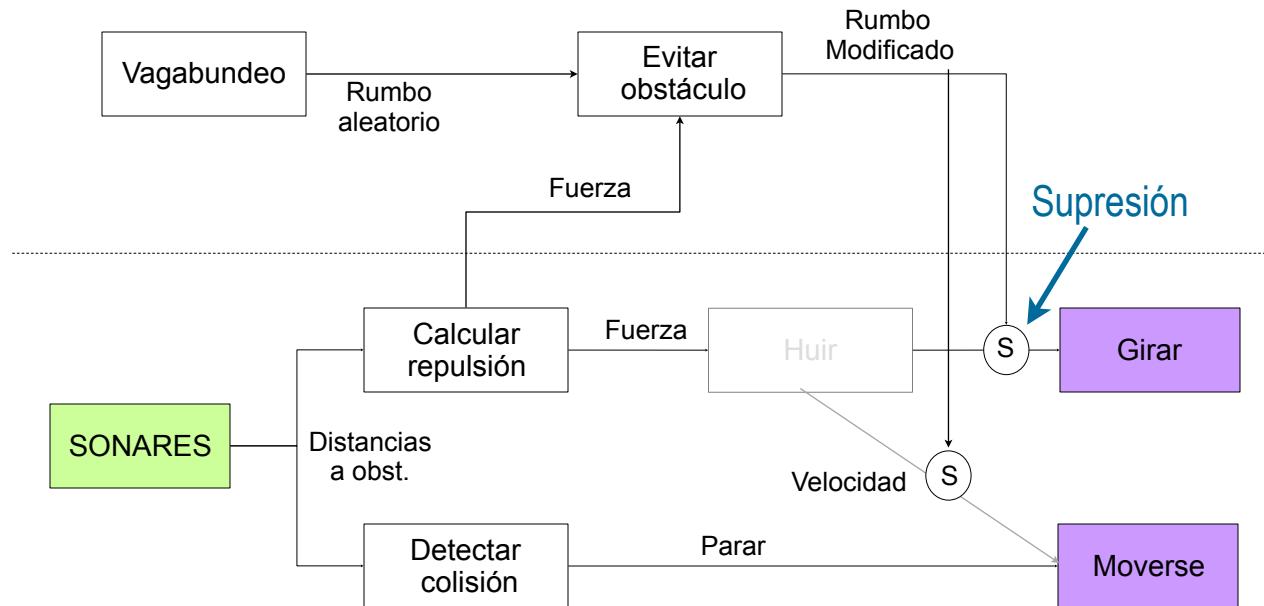
- Nivel 0: evitar obstáculos



El robot en principio no se mueve pero si se le acerca un obstáculo (p.ej. una persona) “huirá” de él

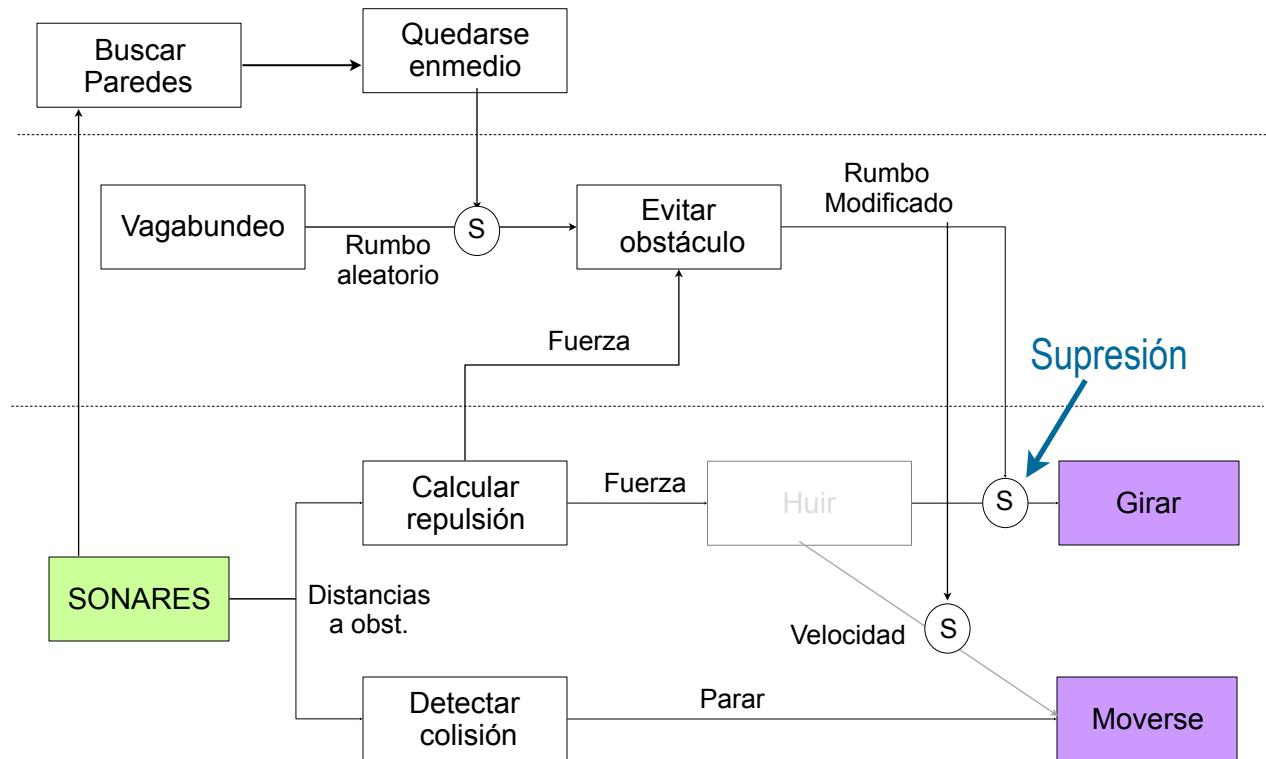
Ejemplo *subsumption*

- Nivel 1: vagabundear



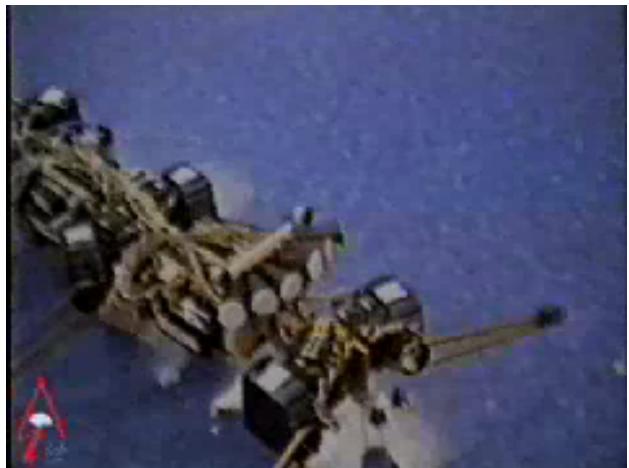
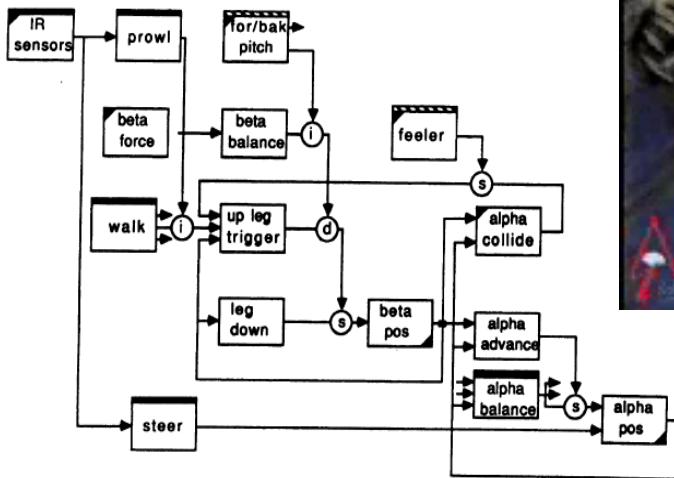
Ejemplo *subsumption*

Nivel 2: seguir pasillo



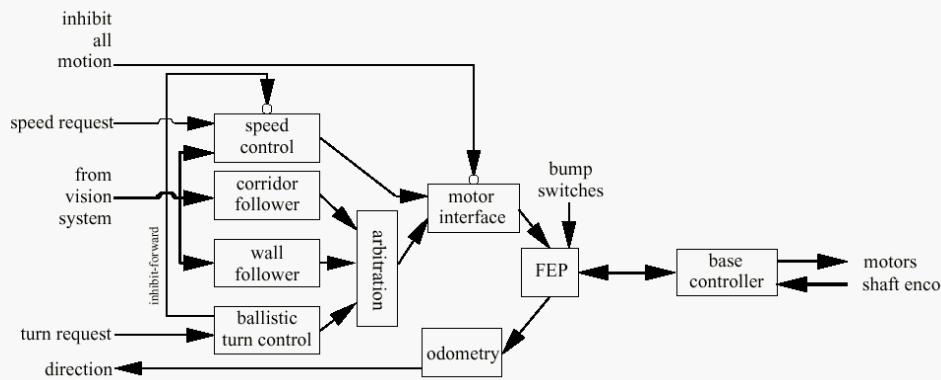
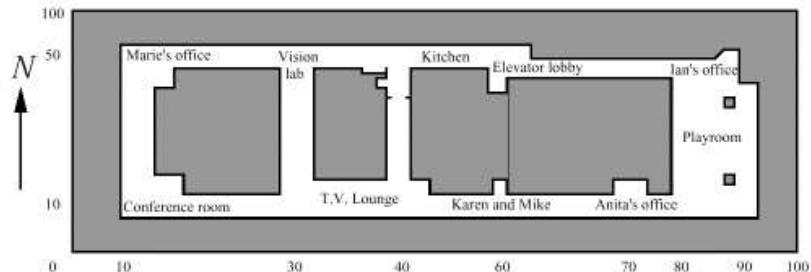
Genghis

- Controlado mediante subsumpción por una red de 57 máquinas de estados finitos



Polly (1992-94) ¿Llevando la subsumpción a los límites?

Guía robótico del MIT



de <http://www.cs.hmc.edu/courses/2008/spring/cs154/lectures/index.html> (Zachary Dodd)

Sistema de visión de Polly



- El suelo es lo que está inmediatamente delante
- Los obstáculos lo de color distinto al suelo
- Los pasillos tienen líneas que convergen
- ...

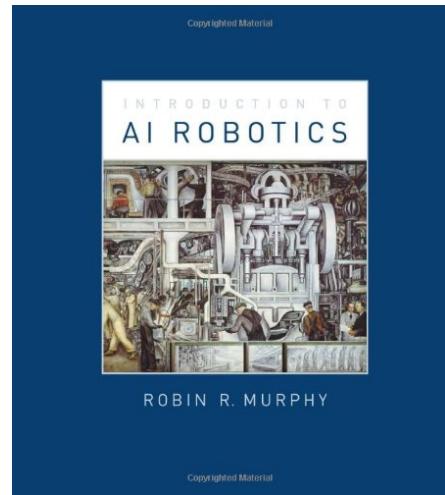
de <http://www.cs.hmc.edu/courses/2008/spring/cs154/lectures/index.html> (Zachary Dodd)

Conclusiones

- La robótica reactiva y basada en comportamientos ha tenido bastante **éxito en dominios limitados**
- Constituye la **base de las arquitecturas híbridas deliberativas/reactivas**

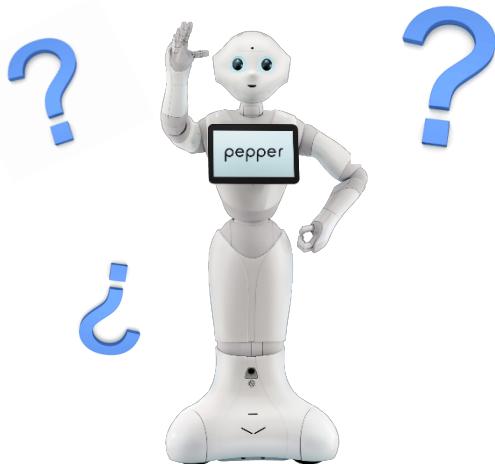
Referencias

- **Introduction to AI Robotics,**
Robin R. Murphy, MIT Press,
2000



Robots Móviles

Grado en Ingeniería Robótica



otto @ dccia.ua.es

