

Robots Móviles

Una Visión General

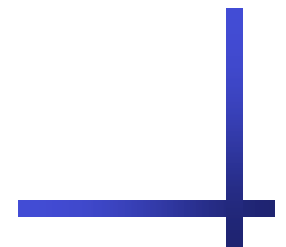
Humberto Martínez Barberá

Dep. Ingeniería de la Información y las Comunicaciones
Universidad de Murcia

<http://ants.inf.um.es/~humberto>



DIIC
Departamento de
Ingeniería de la Información
y las Comunicaciones



Introducción (1)

- Etimología de *robot*
 - Derivado del checo *robota* por Karel Capek en su obra “*Rossum’s Universal Robots*” (1.921)
 - *Robótica* aparece por primera vez en la novela “*Runaround*” de Isaac Asimov (1.942)
 - La robótica se lleva al límite en “*Do Androids Dream of Electric Sheep?*” de P.K. Dick (1.982)

Pasado de ciencia ficción
Futuro de ciencia ficción
...
Presente muy real



Introducción (2)

- Leyes de la Robótica (Asimov 1.942)
 - Ley 1: Un robot no puede dañar a un humano, o por pasividad, permitir que un humano sea dañado.
 - Ley 2: Un robot debe obedecer las órdenes de un humano, siempre y cuando éstas no contravengan la primera ley.
 - Ley 3: Un robot debe de proteger su propia existencia, siempre y cuando esto no contravenga la primera y segunda ley.

- La realidad no es tan “fantasiosa”



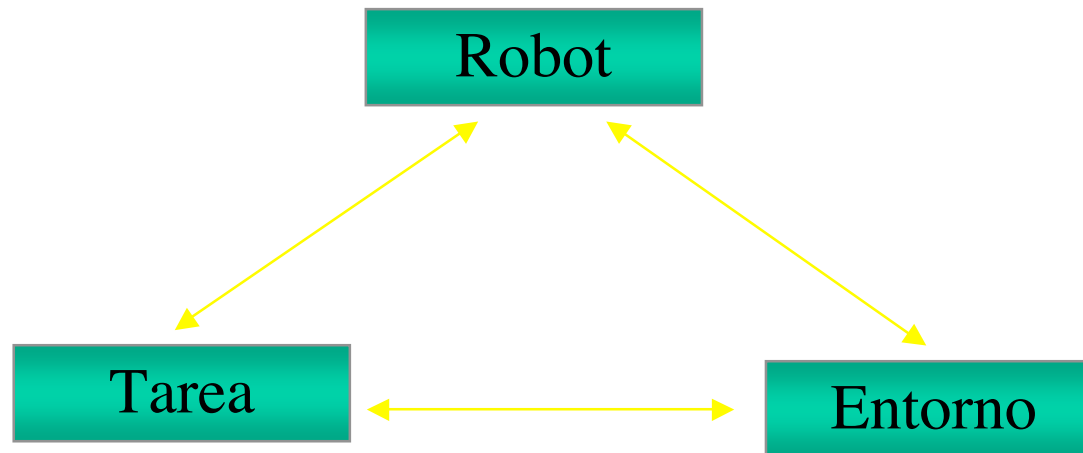
¿ Inteligencia ?

- Alan Turing (1.947)
 - Inteligencia se refiere al comportamiento, y la medida de ella depende de nuestra educación, conocimiento y punto de vista.
 - Introduce el famoso “*Test de Turing*”
- Rodney Brooks (1.982)
 - Inteligencia es lo que los humanos hacen la mayor parte del tiempo.
- Psicología moderna
 - Se consideran distintas “inteligencias”: artística, matemática, coordinación física, etc.



Comportamiento

- Término preferido a inteligencia. Se refiere a cómo hace el robot su tarea
- No se puede evaluar sin tener en cuenta el entorno y la tarea
 - Tim Smither: una araña en el campo y en una bañera



Robots móviles

- La mayor parte de los robots industriales son manipuladores
 - No se pueden mover
 - Operan en un espacio acotado y muy estructurado
 - Tecnología de los años 60 y 70
- Los desarrollos más importantes se producen en robots móviles (principalmente autónomos)
 - Se pueden mover
 - Operan en espacios no acotados o poco acotados, y poco o nada estructurados
 - Tecnología de los años 90



Historia de los robots móviles

- N. Tesla desarrolla los primeros vehículos radio controlados (1.890)
- N. Wiener desarrolla un sistema antiaéreo basado en elementos digitales, y simultáneamente aparecen las bombas V1 y V2 (1.940-1.944)
- N. Nilssen y C. Rosen desarrollan el robot *SHAKY* en el Stanford Research Institute (1.966-1.972)
- H. Moravec desarrolla el *CART* en el Stanford Artificial Intelligence Lab. (1.973-1.979)
- A mediados de los 80 hay un tremendo boom y se producen robots móviles de serie



Clases de robots móviles

- Teleoperados
 - Entornos no estructurados / parcialmente estructurados
 - Control y planificación por operador
- AGV (Automated Guided Vehicle)
 - Entorno estructurado
 - Procesamiento off-line
- AMR (Autonomous Mobile Robot)
 - Entornos no estructurados / parcialmente estructurados
 - Procesamiento on-line
- UAV (Unmanned Autonomous Vehicle)
 - Planificación por operador / control por ordenador
 - Entornos no estructurados

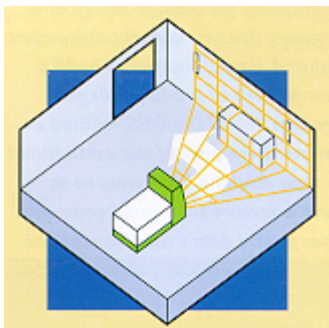


Elementos hardware (1)

- Sensores
 - Adquieren información del entorno
 - Información imprecisa, contradictoria, y/o ambigua
 - Se diseñan para medir una propiedad física que está relacionada con la que queremos medir
 - Tipos
 - Contacto: interruptor, galga extensiométrica
 - Movimiento: acelerómetro, giróscopo, eff. Doppler
 - Distancia: infrarrojos, láser, sonar, radar
 - Posicionamiento: compás, GPS
 - Encoder: absoluto, relativo
 - Visión: cámara CCD



Elementos hardware (2)

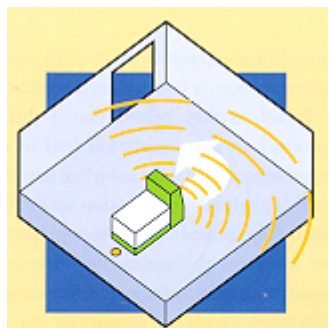


Láser

Precisión: 1 mm

Rango: 0 - 30 m

Inconvenientes: objetos transparentes, reflexiones



Sonar

Precisión: 10 mm

Rango: 0.13 - 10 m

Inconvenientes: reflexiones, apertura haz, dobles rebotes

Infrarrojos

Precisión: 3.5 mm

Rango: 0.1 - 0.45 m

Inconvenientes: color objetos, iluminación



Elementos hardware (3)

- Actuadores
 - Modifican el entorno o la posición del robot
 - Movimiento impreciso y respuesta no lineal
 - Se diseñan para modificar una propiedad física que está relacionada con la que queremos conseguir
 - Tipos
 - Rotación: motor DC, motor paso a paso, servomotor
 - Lineal: hidráulico, neumático
 - Músculo: aleación con memoria (SMA)



Paradigmas de control

- Marco formal en el que se desarrollan las técnicas para que el robot realice su tarea
- Evolución
 - Cibernética
 - Aproximación deliberativa
 - Aproximación reactiva
- Actualidad
 - Arquitecturas de control híbridas



Cibernética

- Predecesor de la Inteligencia Artificial
- Aplicación de la Teoría de Control a los sistemas complejos
 - Un monitor compara el estado del sistema (x_t) con el estado deseado (τ_t)
 - Una ley de control intenta minimizar el error (ε_t) del estado actual
 - El sistema responde de forma adecuada a los estímulos sensoriales
- El sistema se reduce a funciones matemáticas de elevada complejidad
- Dificultad en la implementación del monitor



Paradigma deliberativo (1)

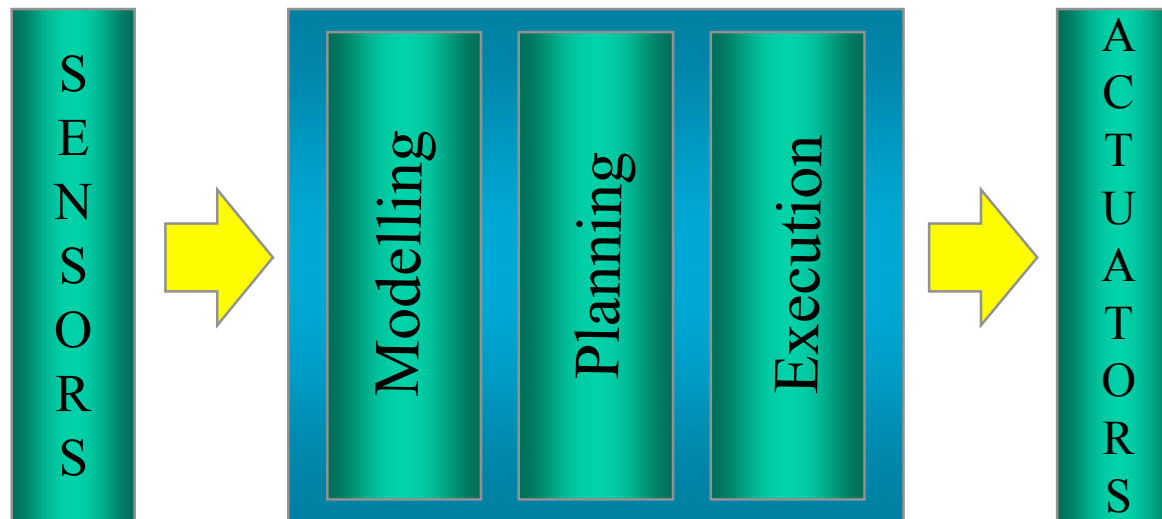
- Primera aplicación de la Inteligencia Artificial
- Extensión/generalización de la aproximación cibernética
- Se basa en el ciclo *sense-plan-act* (Nilsson 1.980)
 - De los sensores se obtienen datos y se procesan
 - Los datos procesados modelan el mundo
 - Se utiliza el mundo para generar una acción
- Emerge un comportamiento inteligente del proceso



Paradigma deliberativo (2)

- Ejemplo

- Recorrer la planta de un edificio, cuyos planos se tienen de antemano



- Poco robusto a fallos en algún nivel (cambios)
- Ciclo de control muy lento y poco eficiente



Paradigma reactivo (1)

- Moderna aplicación de la Inteligencia Artificial
- Se basa en la arquitectura de *subsumisión* (Brooks 1.986), siguiendo el modelo biológico de los insectos
 - Utiliza el mundo como modelo de sí mismo
 - Se obtienen datos de los sensores
 - Estos se pasan a los módulos de comportamientos básicos
 - Algunos comportamientos pueden inhibir a otros
- Emerge un comportamiento resultante



Paradigma reactivo (2)

- Ejemplo

- Recorrer la planta de un edificio, cuyos planos son desconocidos

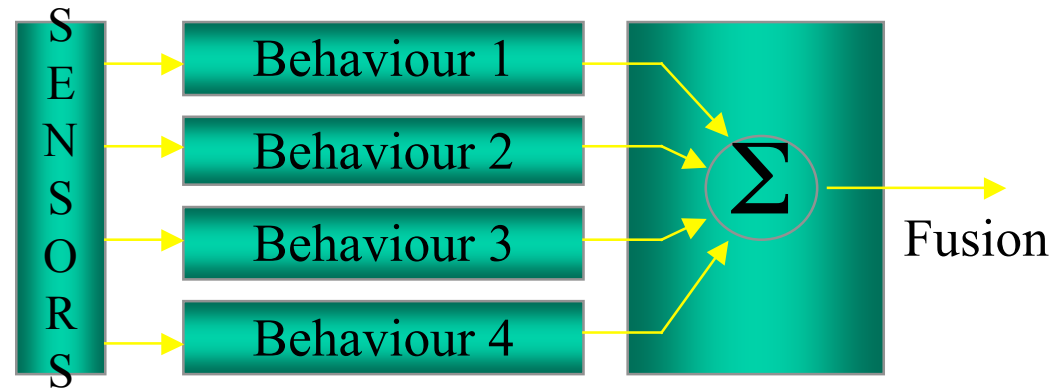


- Dificultad en la especificación de tareas complejas
- Complejidad en la coordinación

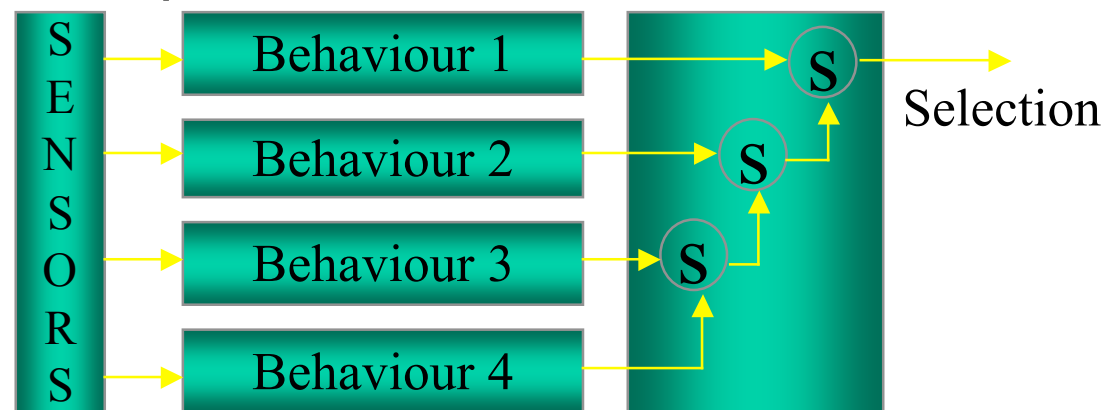


Paradigma reactivo (3)

- Coordinación cooperativa



- Coordinación competitiva



Arquitecturas híbridas

- Modelos híbrido que integra los diferentes paradigmas de control de forma modular
 - Combinan lo mejor de cada una
 - Especifican cómo se realiza la comunicación entre los distintos módulos o niveles
- Características
 - Ciclo de control rápido
 - Tareas complejas
 - Manejar incertidumbre e imprecisión



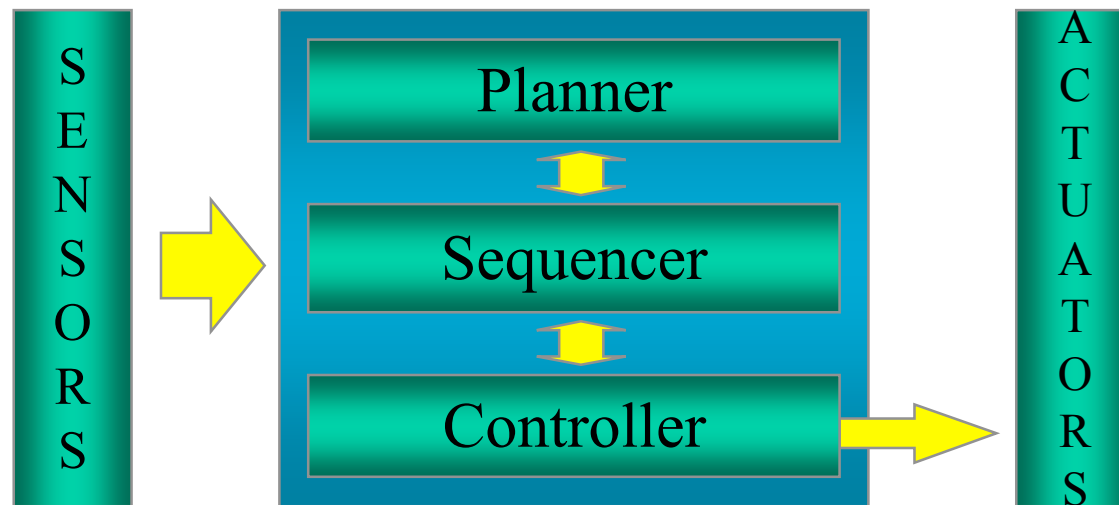
Arquitectura 3T (1)

- Arquitectura multinivel (Gatt 1.998)
 - Nivel Planificador
 - Toma de decisiones a largo plazo
 - Paradigma deliberativo
 - Nivel Secuenciador
 - Toma de decisiones a corto plazo
 - Selección de controladores activos
 - Paradigma deliberativo o reactivo
 - Nivel Controlador
 - Control final de los elementos actuadores
 - Paradigma reactivo



Arquitectura 3T (2)

- Características
 - Los sensores se procesan a distintos niveles
 - La ejecución de los distintos niveles es asíncrona
 - La duración del ciclo de control la determina el nivel controlador



Aprendizaje (1)

- Para implementar modelos que no son completamente conocidos o complejos
 - Supervisado: se utilizan ejemplos externos
 - Auto-supervisado: se utilizan ejemplos internos
 - No supervisado: el sistema obtiene los ejemplos
- Técnicas
 - Aprendizaje por refuerzo
 - Razonamiento probabilístico
 - Redes neuronales y sistemas difusos
 - Algoritmos evolutivos



Aprendizaje (2)

- Se puede utilizar en distintos niveles de la arquitectura de control
- Normalmente se combinan distintas técnicas en un mismo sistema
 - Comportamientos básicos
 - Fusión de comportamientos
 - Fusión sensorial
 - Obtención de características
 - Reconocimiento de formas



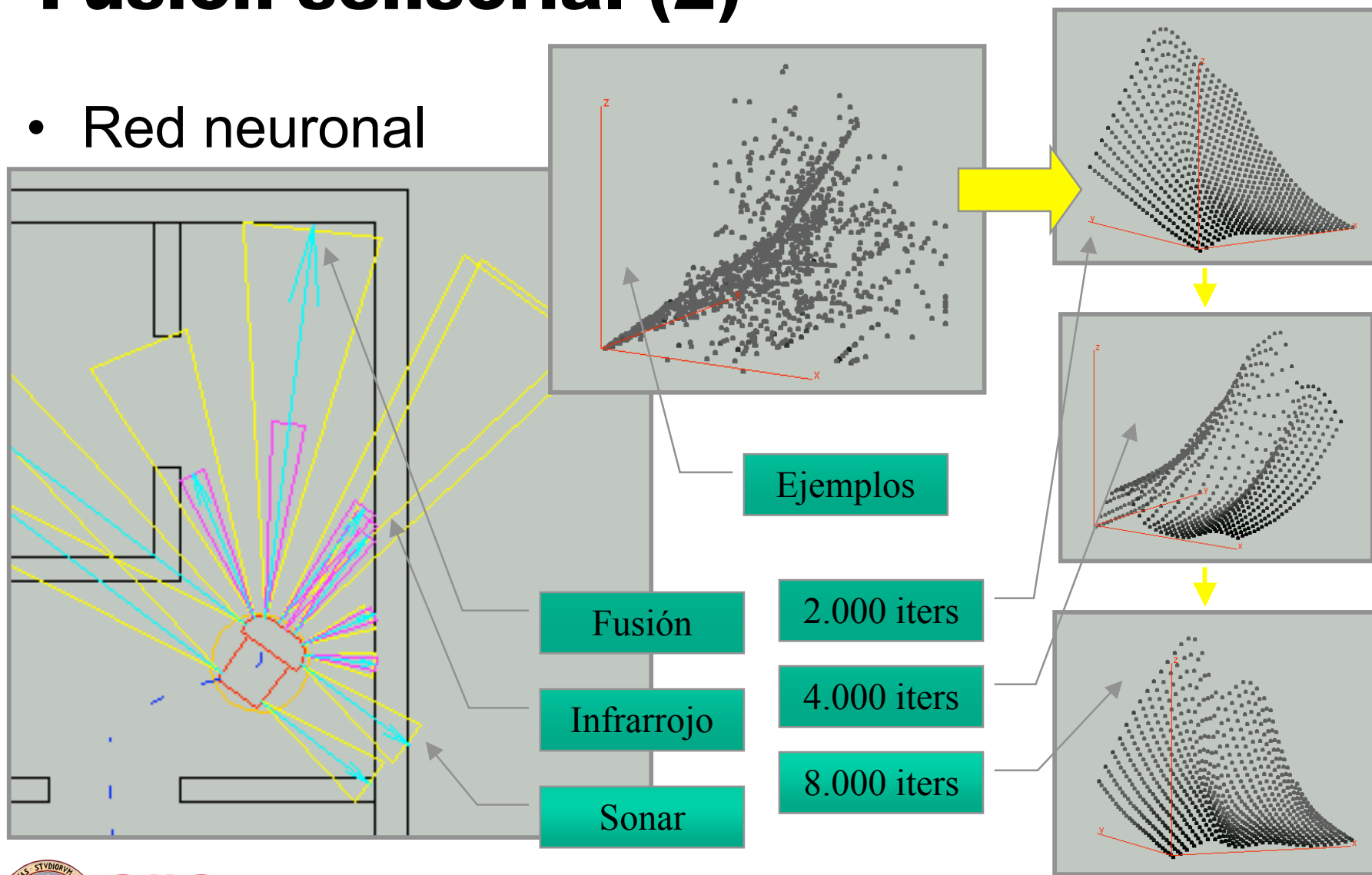
Fusión sensorial (1)

- Se pueden utilizar distintos sensores para derivar una medida u obtener una información
 - Los sensores tienen distintas características
 - No hay sensores ideales (tienen poca robustez)
- Tarea compleja y muy importante
 - Los sensores condicionan a todo el sistema
- Técnicas
 - Filtros de Kalman
 - Redes neuronales y controladores difusos
 - Sistemas basados en reglas



Fusión sensorial (2)

- Red neuronal



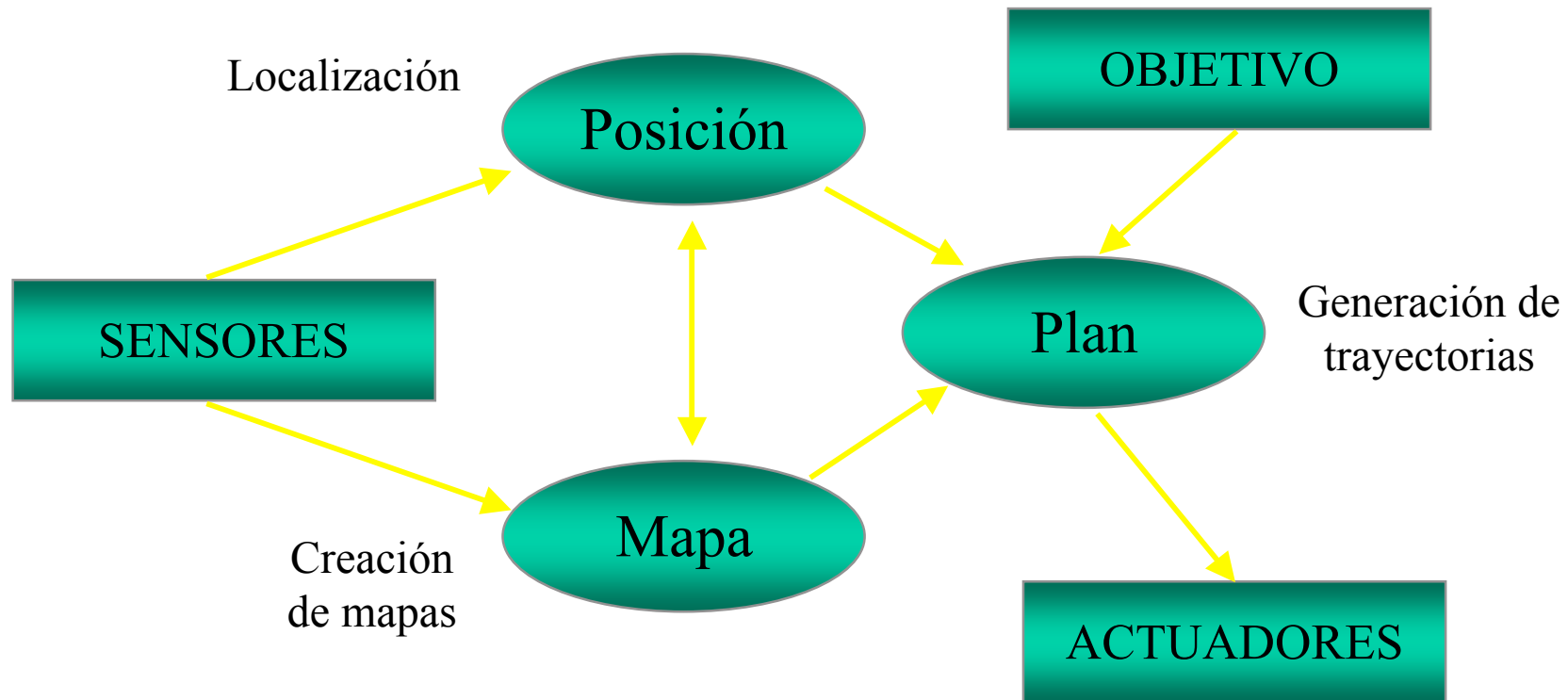
Navegación (1)

- Un robot móvil se desplaza de un lugar a otro, generalmente para realizar una tarea
- Se integra en los distintos niveles de la arquitectura de control utilizada
- Se compone de 3 actividades importantes
 - Localización
 - Planificación de trayectorias
 - Creación e interpretación de mapas



Navegación (2)

- La falta o fallo de algún módulo puede limitar o condicionar la tarea del robot

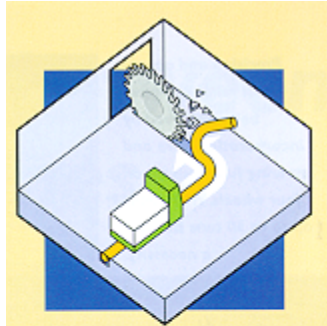


Localización (1)

- Estimar la posición a partir de los sensores
- Tipos
 - Fuerte: se estima la posición exacta
 - Débil: se reconoce el lugar
- Técnicas
 - Odometría (dead-reckoning)
 - Detección y medida de balizas
 - Filtros de Kalman
 - Características sensoriales

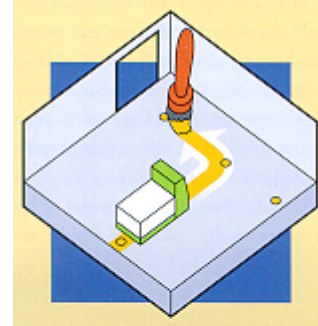


Localización (2)



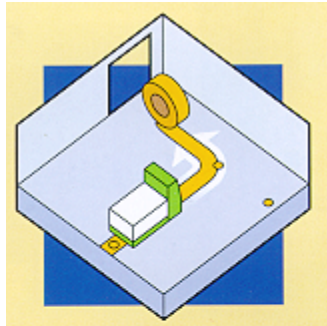
Filoguiado

AGVs
Muy poca flexibilidad



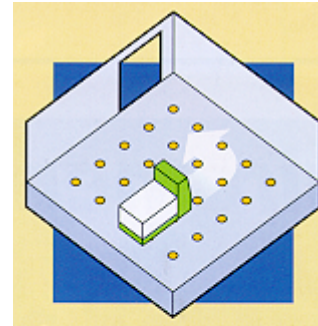
Líneas pintadas

AGVs
Poca flexibilidad



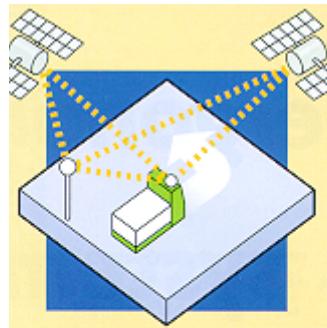
Líneas metálicas

AGVs
Poca flexibilidad



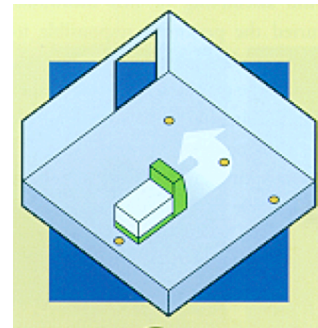
Enrejado magnético

AGVs
Moderada flexibilidad



GPS

AMRs y UAVs
Mucha flexibilidad



Balizas magnéticas

AGVs
Moderada flexibilidad



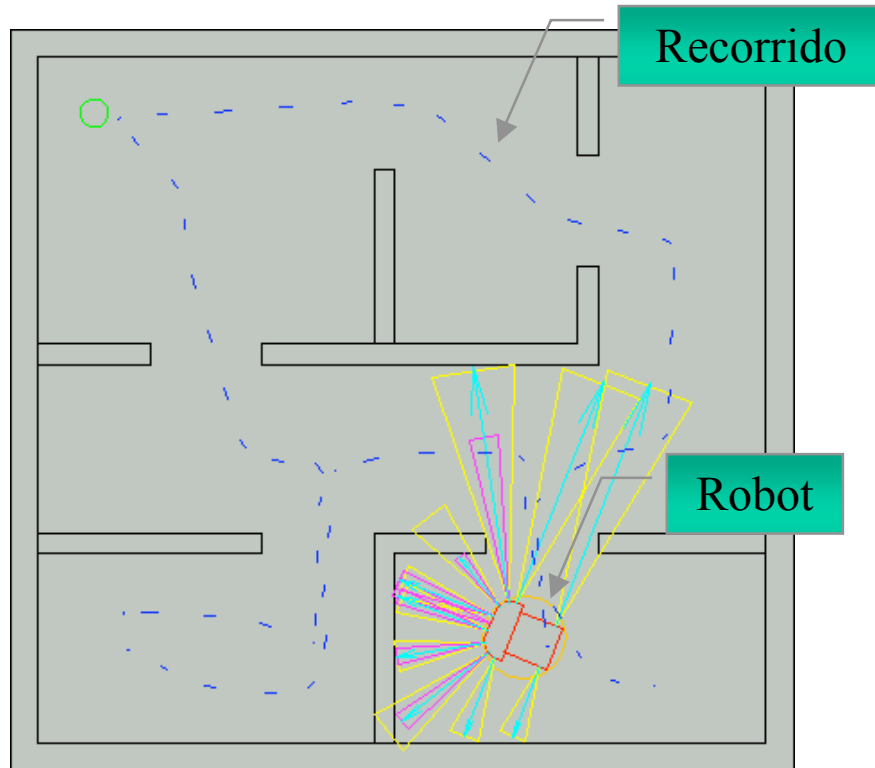
Construcción de mapas (1)

- Convertir los datos de los sensores en un mapa
- Tipos
 - Métricos: se realizan con referencias exactas
 - Topológicos: se realizan con características
- Técnicas
 - Mapas sensoriales (topológico)
 - Mapas de ocupación espacial (métrico)
 - Mapas geométricos (métrico/topológico)
 - Mapas con grafos (topológico)

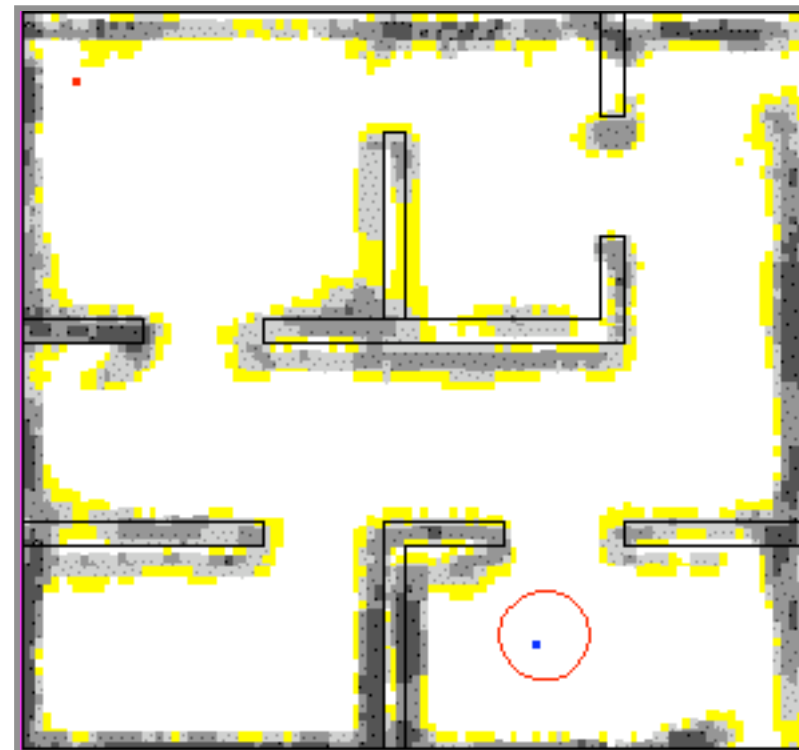


Construcción de mapas (2)

- Mapa de celdas (en entorno simulado)



Entorno simulado
y trayectoria del robot

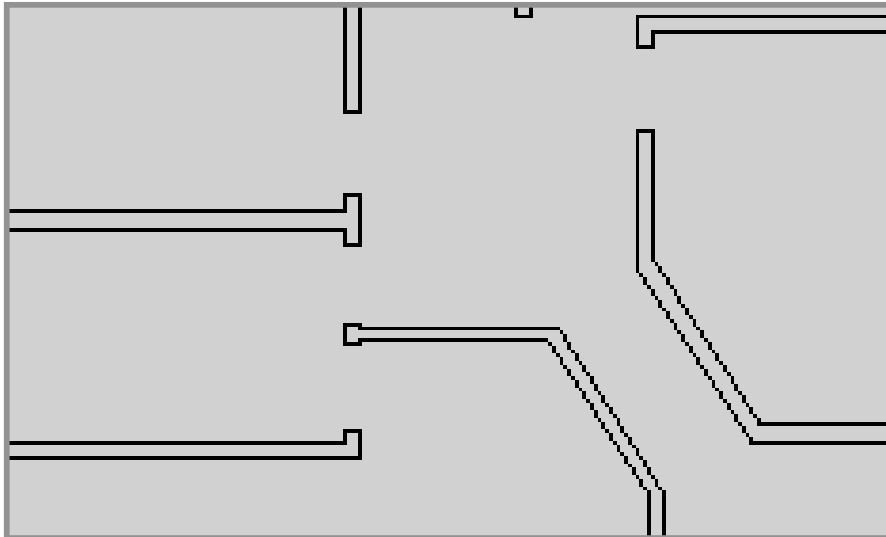


Mapa de celdas
construido por el robot

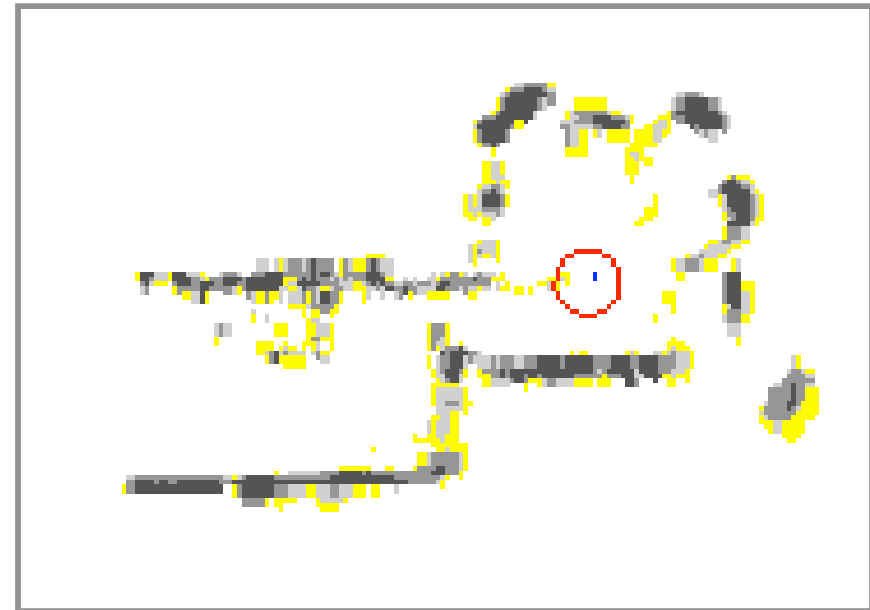


Construcción de mapas (3)

- Mapa de celdas (en entorno real)



Entorno real
y trayectoria del robot

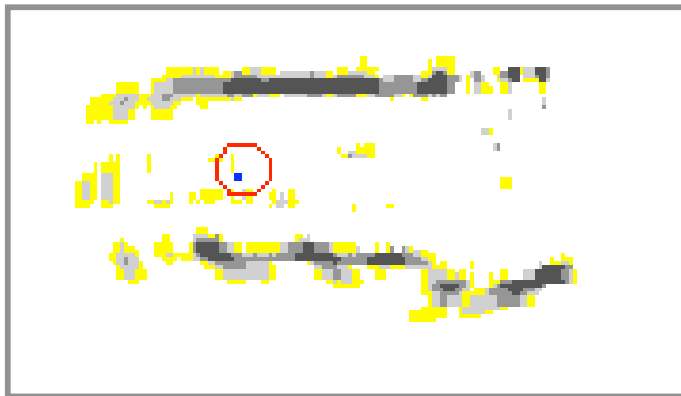


Mapa de celdas
construido por el robot

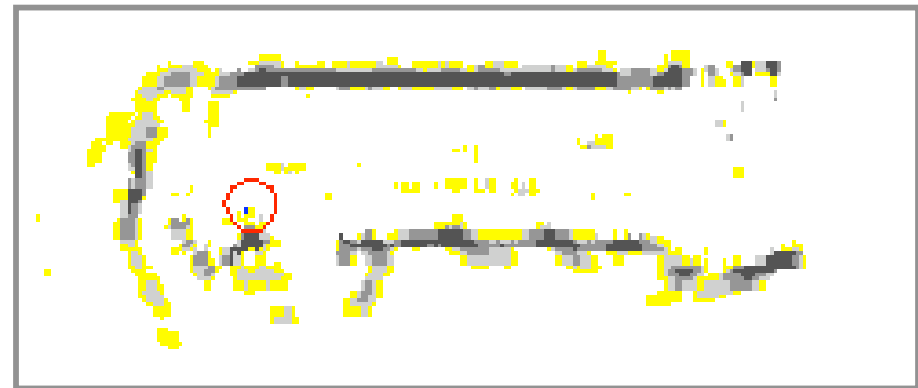


Construcción de mapas (4)

- El proceso de construcción de mapas es lento
 - Se han de explorar todas las zonas (incertidumbre)
 - Debe haber un buen mecanismo de localización
 - Cuanto más simple es el mapa, más complejo es luego el proceso de generación de trayectorias



a) el robot real sólo ha detectado un pasillo



b) el robot real ya ha detectado dos pasillos (esquina)



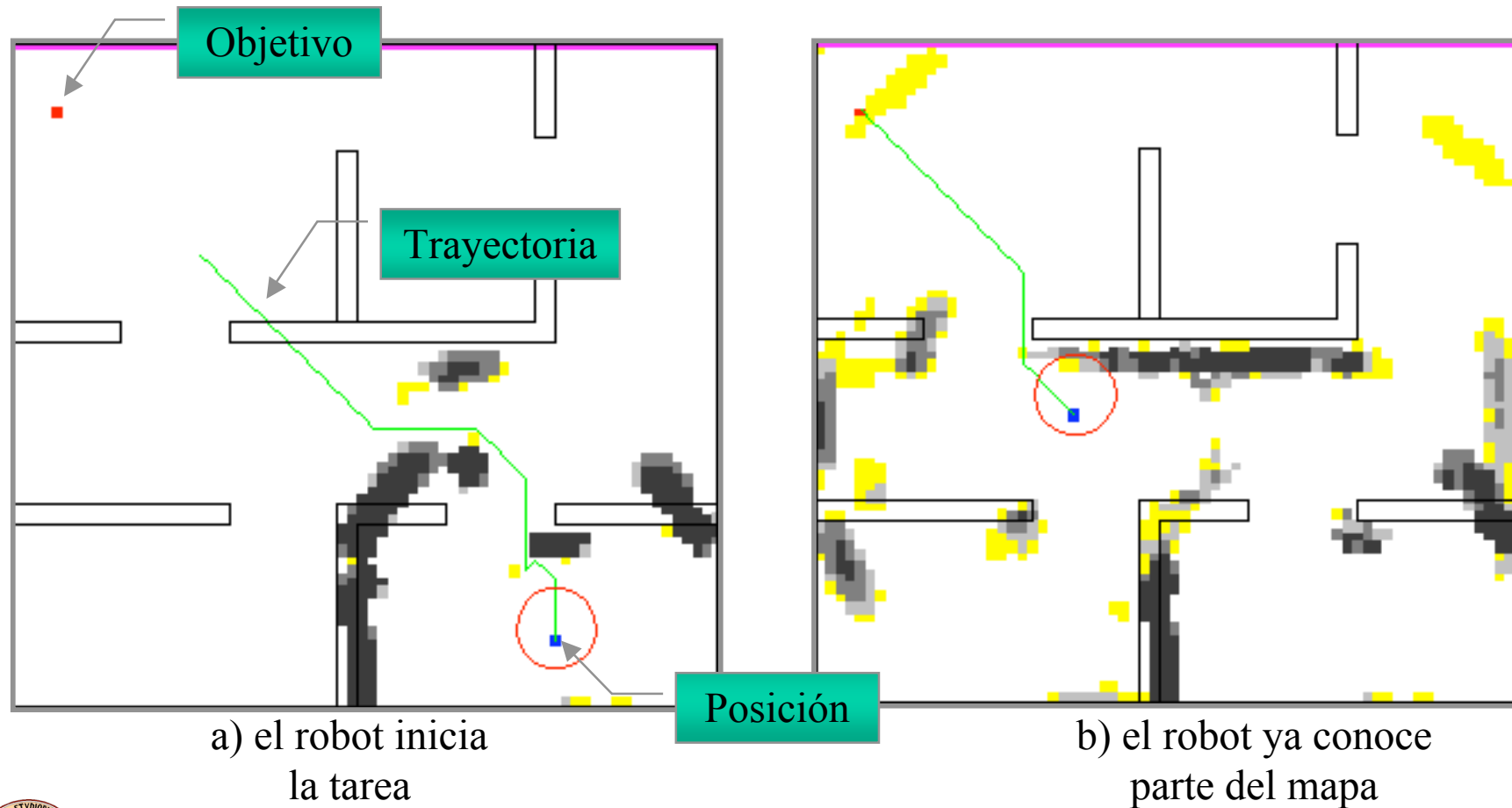
Generación de trayectorias (1)

- Decidir cómo debe llegar el robot al objetivo
- Tipos
 - Discretos: el espacio de búsqueda es discreto
 - Contínuos: el espacio de búsqueda es contínuo
- Técnicas
 - Búsqueda en grafos (discreto)
 - Programación dinámica (discreto)
 - Campos de potencial (contínuo)
 - Histograma de campos vectoriales (contínuo)



Generación de trayectorias (2)

- Trayectoria con A* (en entorno simulado)



Futuro de los robots móviles (1)

- Locomoción

- Suelo

- Desarrollo de vehículos holonómicos (multi-ruedas)
 - Mejora de las propiedades cinemáticas y dinámicas
 - Sistemas con patas robustos en diferentes terrenos
 - Mejor sensorización en robots con patas

- Aire y agua

- Mejora en el peso de las baterías
 - Sistemas de control en tiempo-real más eficientes
 - Sistemas menos dependientes del operador



Futuro de los robots móviles (2)

- Sensorización

- No visual

- Mejora en el modelado de los sensores
 - Desarrollo de mejores técnicas de fusión
 - Aumento en la resolución y frecuencia de adquisición

- Visual

- Desarrollo de hardware especializado para tiempo-real
 - Desarrollo de algoritmos eficientes en 2D y 3D
 - Mejoras en el reconocimiento de objetos
 - Integración en sistemas que midan profundidades



Futuro de los robots móviles (3)

- Control
 - Software
 - Investigación en sistemas de razonamiento generales
 - Especificación de tareas en lenguajes declarativos
 - Mejoras en el interface con el usuario
 - Integración de control manual y autónomo
 - Manejo de la complejidad creciente



Futuro de los robots móviles (4)

- Aplicaciones (1)
 - Sistemas de transporte inteligente (ITS)
 - Asistentes de conducción
 - Sistemas de convoys
 - Sistemas de conducción autónoma
 - Sistemas de autopistas automatizadas
 - Sistemas autónomos urbanos
 - Industriales
 - Sistemas de fabricación flexible (inteligente)
 - Vehículos para aplicaciones en la agricultura
 - Sistemas autónomos para minería



Futuro de los robots móviles (5)

- Aplicaciones (2)
 - Personales
 - Sistemas de ayuda al discapacitado
 - Robots inteligentes para entretenimiento
 - Robots de limpieza
 - Otros
 - Exploración y trabajos espaciales
 - Reconocimiento aéreo (civil y militar)
 - Inspección y trabajos submarinos
 - Desactivación de explosivos y minas



... ¿Y los antropomorfos ?

- Actualidad

- Desarrollo de técnicas cibernéticas (Honda P3)
 - Distintos tipos de paso de paseo
 - Sube y baja escaleras
 - No hace nada de forma autónoma
- Mejora en la expresividad de la cara (MIT COG)

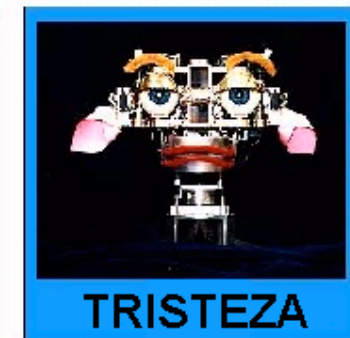
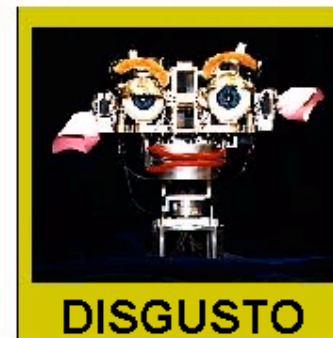
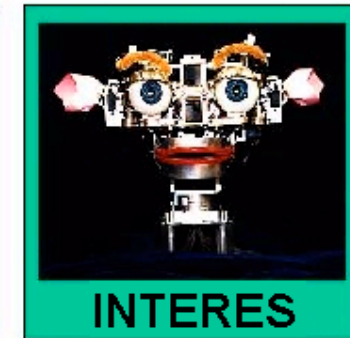
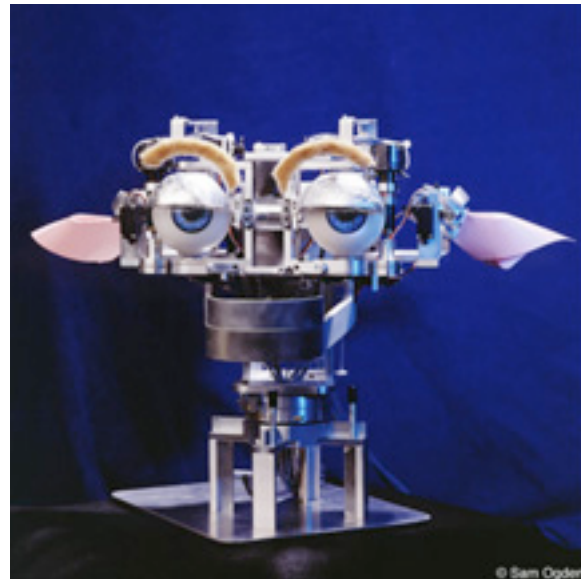
- Futuro

- Paralelo al desarrollo de técnicas inteligentes
- Mejoras en los subsistemas sensoriales
- Integración de reconocimiento de habla



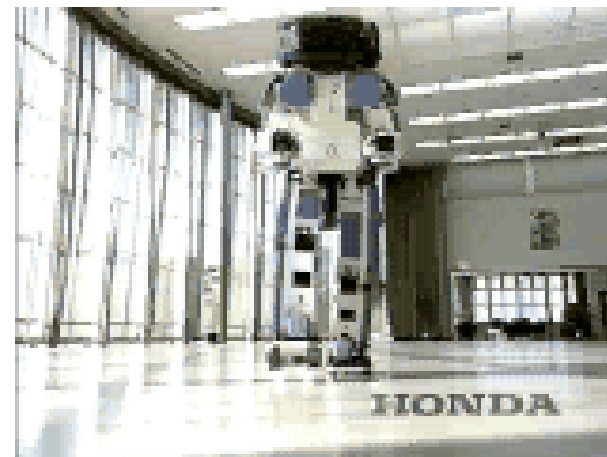
Humanoides (1)

- COG (MIT)



Humanoides (2)

- P3 (Honda)



Bibliografía

- U. Nehmzow, “*Mobile Robotics: a Practical Approach*”, Springer-Verlag, 2.000
- G. Dudek; M. Jenkin, “*Computational Principles of Mobile Robotics*”, Cambridge Univ. Press, 2.000
- D. Baum, “*Definitive Guide to LEGO Mindstorms*”, A Press, 2.000
- J.L. Jones; A.M. Flynn, “*Mobile Robots: Inspiration to Implementation*”, AK Peters, 1.993
- J.M. Angulo; et alt., “*Microbótica*”, Paraninfo, 2.000
- M.K. Miller; et alt., “*The Personal Robot Navigator*”, Robot Press, 1.998

