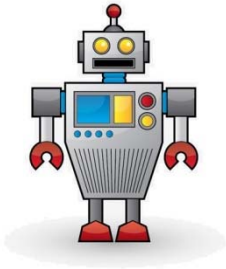
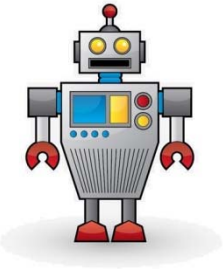


Introducción a Robótica

CI-2657 Robótica

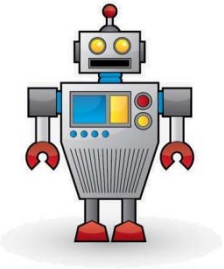
Prof. Kryscia Ramírez Benavides



Introducción a la Inteligencia Artificial (IA)

Capacidades de los Seres Inteligentes

- Pensamiento y resolución de problemas
- Aprendizaje y memoria
- Lenguaje
- Intuición y creatividad
- Conocimiento
- Emociones
- Sobrevivir en un mundo complejo
- Habilidades perceptivas y motoras



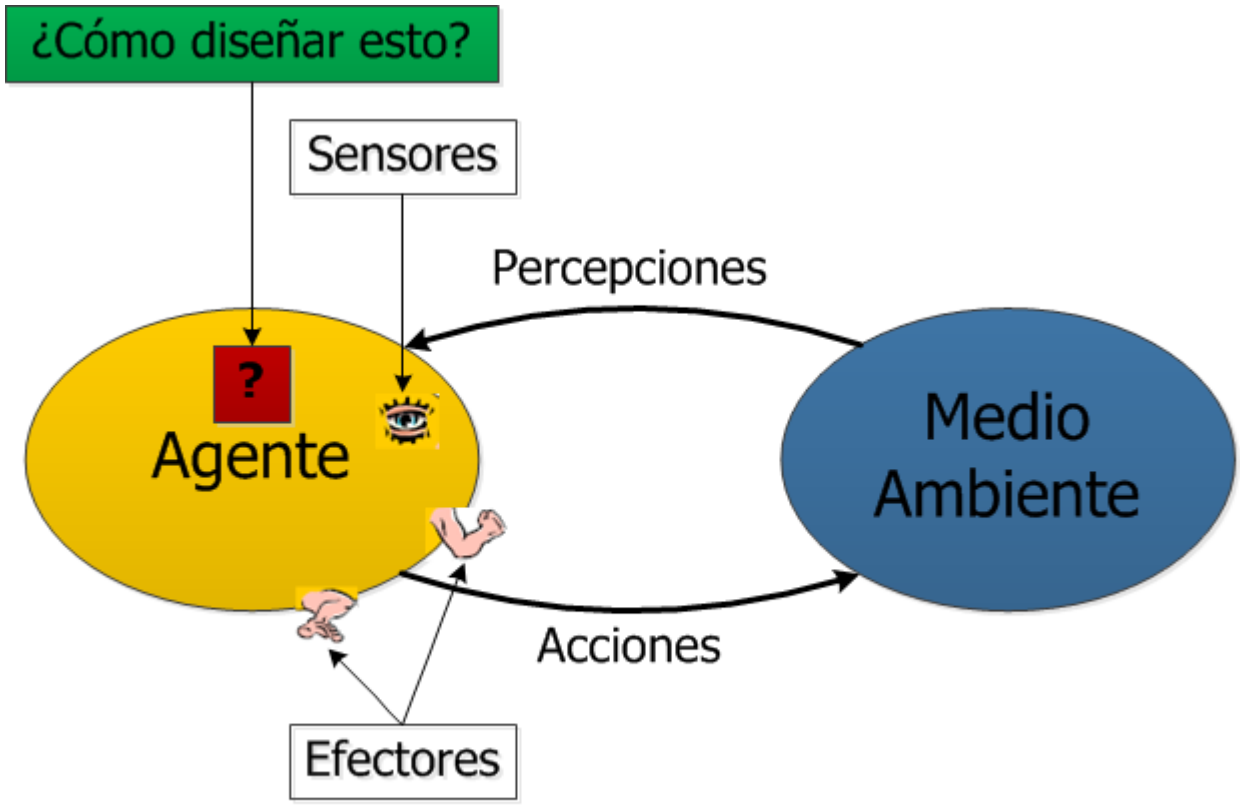
Introducción a la Inteligencia Artificial (IA)

Agentes

¿Qué es un Agente Inteligente?

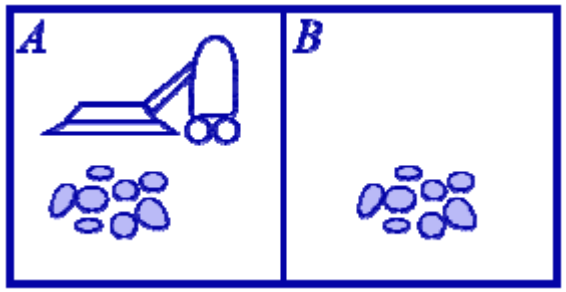
- Un agente (inteligente) percibe el medio ambiente a través de sensores y actúa racionalmente sobre el entorno con sus efectores.
  - Por lo tanto, un agente obtiene percepciones y mapea la secuencia de percepciones a acciones.
- La secuencia de percepciones de un agente es la historia completa de todo lo que el agente haya percibido.
- La elección de una acción de un agente en un momento dado puede depender de toda la secuencia de percepciones observada hasta ese momento, pero no en cualquier cosa que no ha percibido.

Agentes



Los agentes son seres humanos, robots, soft-bots, termostatos, etc.

Ejemplo: *Vacuum-Cleaner World*



Percepciones: localización y contenido, por ejemplo: [*A*; *Dirty*]
Acciones: *Left, Right, Suck, NoOp*

El Agente *Vacuum-Cleaner*

Percept sequence	Action
[A;Clean]	Right
[A;Dirty]	Suck
[B;Clean]	Left
[B;Dirty]	Suck
[A;Clean], [A;Clean]	Right
[A;Clean], [A;Dirty]	Suck

```
function REFLEX-VACUUM-AGENT([location,status]) returns an action
    if status = Dirty then return Suck
    else if location = A then return Right
    else if location = B then return Left
```

¿Qué es la función *right*?
¿Puede ser implementada en un pequeño programa de agente?

Función y Programa de Agente

- **Función de agente.** Una descripción matemática abstracta que asigna alguna secuencia de percepciones dada a una acción.
- **Programa de Agente.** La implementación de la función de agente en un agente artificial.

Racionalidad

- Un agente racional es aquel que hace lo correcto.
- Lo que es racional en un momento dado depende de cuatro cosas:
  - La medida de desempeño que define el criterio de éxito.
  - El conocimiento previo del agente del medio ambiente.
  - Las acciones que el agente puede realizar.
  - La secuencia de percepciones del agente hasta un momento dado.

Agente Racional

- Para cada secuencia de percepciones posible, un agente racional debe elegir una acción que se espera para maximizar su medida de desempeño, teniendo en cuenta las pruebas aportadas por la secuencia de percepciones y todo lo incorporado en el conocimiento que el agente tenga.

Medida de Desempeño

- Una medida de desempeño incorpora el criterio de éxito en el comportamiento de un agente.
- Trabajo en el Medio Ambiente (PEAS):
  - Medida de Desempeño (*Performance Measure*)
  - Medio Ambiente (*Environment*)
  - Actuadores (*Actuators*)
  - Sensores (*Sensors*)

PEAS para un Taxi Automatizado

- ¿Medidas de desempeño? seguridad, destino, beneficios, legalidad, comodidad, …
- ¿Medio Ambiente? calles o carreteras, tráfico, peatones, tiempo, …
- ¿Actuadores? dirección, acelerador, freno, bocina, altavoz / pantalla, …
- ¿Sensores? vídeo, acelerómetros, medidores, sensores de motores, teclado, GPS, …

Tipos de Medio Ambiente

- Totalmente observable vs parcialmente observable.
  - Si los sensores del agente obtienen el estado completo del medio ambiente en cada punto en el tiempo, entonces el ambiente de trabajo es completamente observable, de lo contrario es parcialmente observable.
  - Si el agente no tiene sensores del todo, entonces el medio ambiente es inobservable.
- Determinista vs estocástico.
  - Si el siguiente estado del medio ambiente está totalmente determinado por el estado actual y la acción ejecutada por el agente, entonces el ambiente es determinista, de lo contrario es estocástico.
  - Un entorno no determinista es aquel en el que las acciones se caracterizan por sus posibles resultados (probabilidades).

Tipos de Medio Ambiente (cont.)

- Episódica vs secuencial.
  - En un ambiente episódico, la experiencia del agente se divide en episodios atómicos.
    - Cada episodio consiste en la percepción del agente y la realización de una sola acción.
  - En ambientes secuenciales, la decisión actual puede afectar a todas las decisiones futuras.
- Estático vs dinámico.
  - Si el entorno puede cambiar mientras que un agente está deliberando, entonces el ambiente es dinámico, de lo contrario es estático.
  - Si el propio medio ambiente no cambia con el paso del tiempo, pero sí la calificación del desempeño del agente, entonces el ambiente es semidinámico.

Tipos de Medio Ambiente (cont.)

- Discreto vs continuo.
  - La distinción discreta / continua se puede aplicar al estado del medio ambiente, a la vez que se manipula, a las percepciones y a las acciones del agente.
- Conocido vs Desconocido.
  - Estado del agente o del diseñador del conocimiento sobre las leyes de la física del medio ambiente. En un entorno conocido, los resultados (o las probabilidades de resultados si el ambiente es estocástico) para todas las acciones se dan.
- Agente único vs múltiples agentes.
  - Competitivo.
  - Cooperativo.

Ejemplos: Tipos de Medio Ambiente

	Solitario	Backgammon	Compras por Internet	Taxi
¿Observable?	Sí	Sí	No	No
¿Determinista?	Sí	No	En parte	No
¿Episódico?	No	No	No	No
¿Estático?	Sí	Semi	Semi	No
¿Discreto?	Sí	Sí	Sí	No
¿Agente único?	Sí	No	Sí (excepto subastas)	No

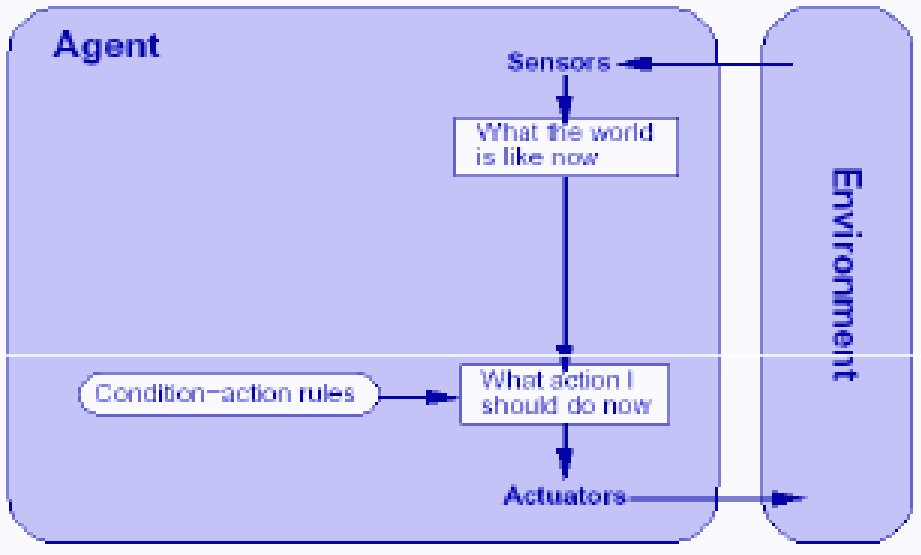
Tipos de Agentes

- Estructura de un agente:
  - **Agente =arquitectura + programa**
- Cuatro tipos básicos en orden creciente de generalidad:
  - Agentes de reflejos simples
  - Agentes de reflejos con estado
  - Agentes basados en metas (objetivos)
  - Agentes basados en utilidades
- Todos se pueden convertir en agentes de aprendizaje.

Función y Programa de Agente

```
function TABLE-DRIVEN-AGENT( percept) returns an
   action
static:
   percepts, a sequence, initially empty
   table, a table of actions, indexed by percept
   sequences, initially fully specified
append percept to the end of percepts
action ←LOOKUP( percepts, table)
return action
```

Agentes de Reflejos Simples



function SIMPLE-REFLEX-AGENT(*percept*) **returns** an action

static: *rules*, a set of condition-action rules

state ← INTERPRET-INPUT(*percept*)

rule ← RULE-MATCH(*state*, *rules*)

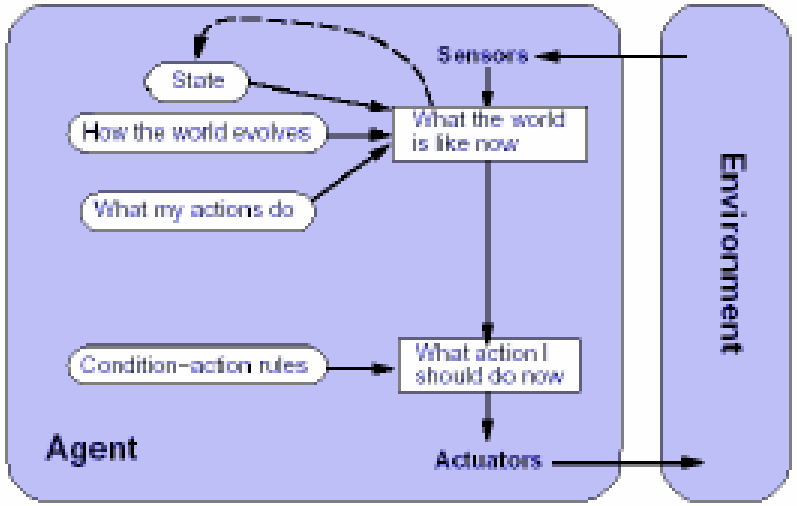
action ← RULE-ACTION[*rule*]

return *action*

Agentes de Reflejos Simples (cont.)

- El tipo más simple de agente.
- Selecciona las acciones basadas sólo en la percepción actual, ignorando el resto de historia de las percepciones.
- Tabla de búsqueda de parejas acción-percepción que definen todas las posibles normas de condición-acción necesarias para interactuar en un ambiente.
- Problemas:
  - Demasiado grande para generar y almacenar (por ejemplo: ajedrez, tiene cerca de 10120 de los estados).
  - No hay conocimiento de las partes de no percepción del estado actual.
  - No es adaptable a los cambios en el medio ambiente, requiere de toda la tabla que se actualizará si se producen cambios.
  - Lazo: No se puede hacer acciones condicional.

Agentes de Reflejos con Estado



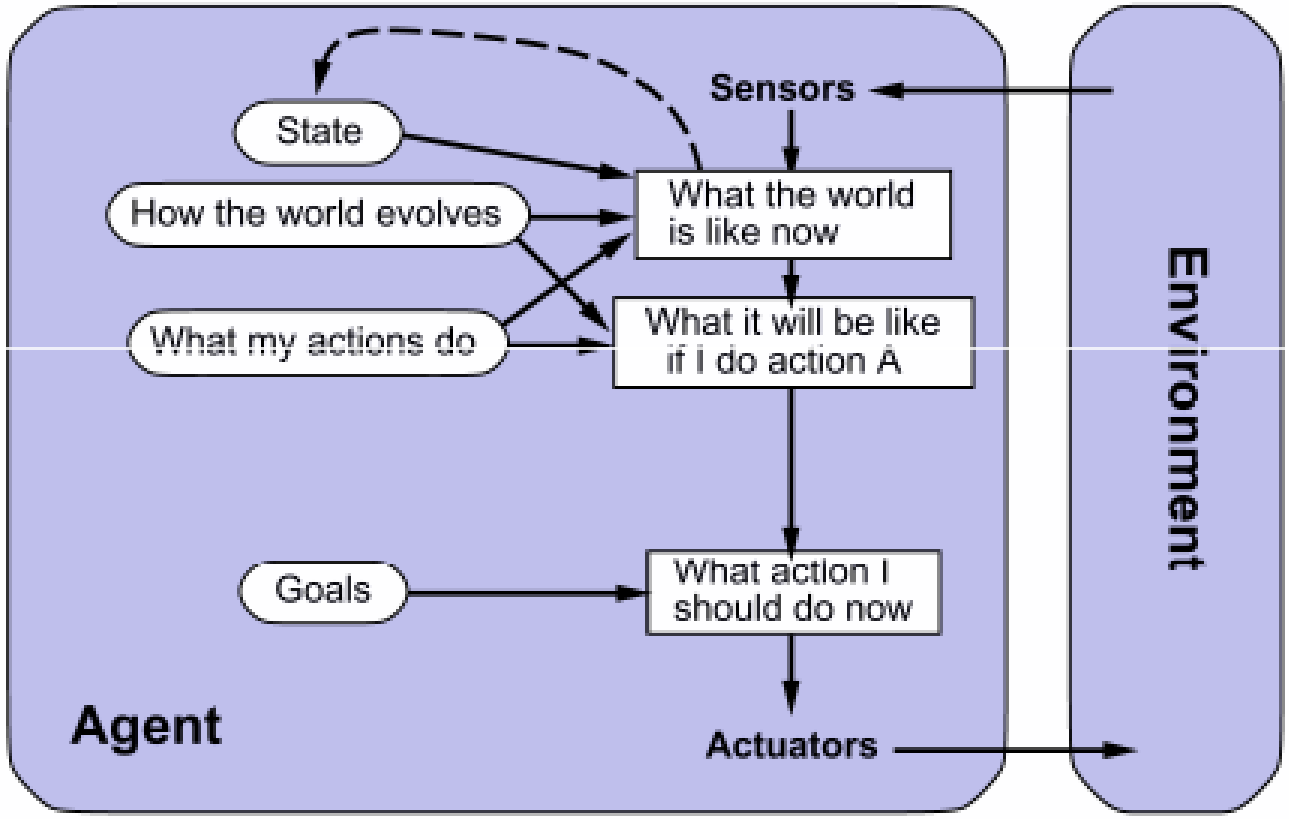
function REFLEX-AGENT-WITH-STATE(*percept*) **returns** an action
  static: *state*, a description of the current world state
    rules, a set of condition-action rules
    action, the most recent action, initially none

  state ← UPDATE-STATE(*state*, *action*, *percept*)
  rule ← RULE-MATCH(*state*, *rules*)
  action ← RULE-ACTION[*rule*]
  return *action*

Agentes de Reflejos con Estado (cont.)

- El conocimiento sobre "¿cómo funciona el mundo?" se llama un modelo del mundo.
  - Un agente de este tipo se le llama un agente basado en modelado.
- Codificar el "estado interno" del mundo para recordar el pasado, figura en las primeras percepciones.
  - Los sensores no suelen dar todo el estado del ambiente en cada entrada, por lo que la percepción del medio ambiente se refleja en el tiempo. "Estado" se utiliza para codificar los diferentes "estados del mundo" que genera la percepción inmediata.
  - Se requiere habilidad para representar el cambio en el mundo, representar sólo el último estado, pero no se puede razonar acerca de los cursos hipotéticos de la acción.

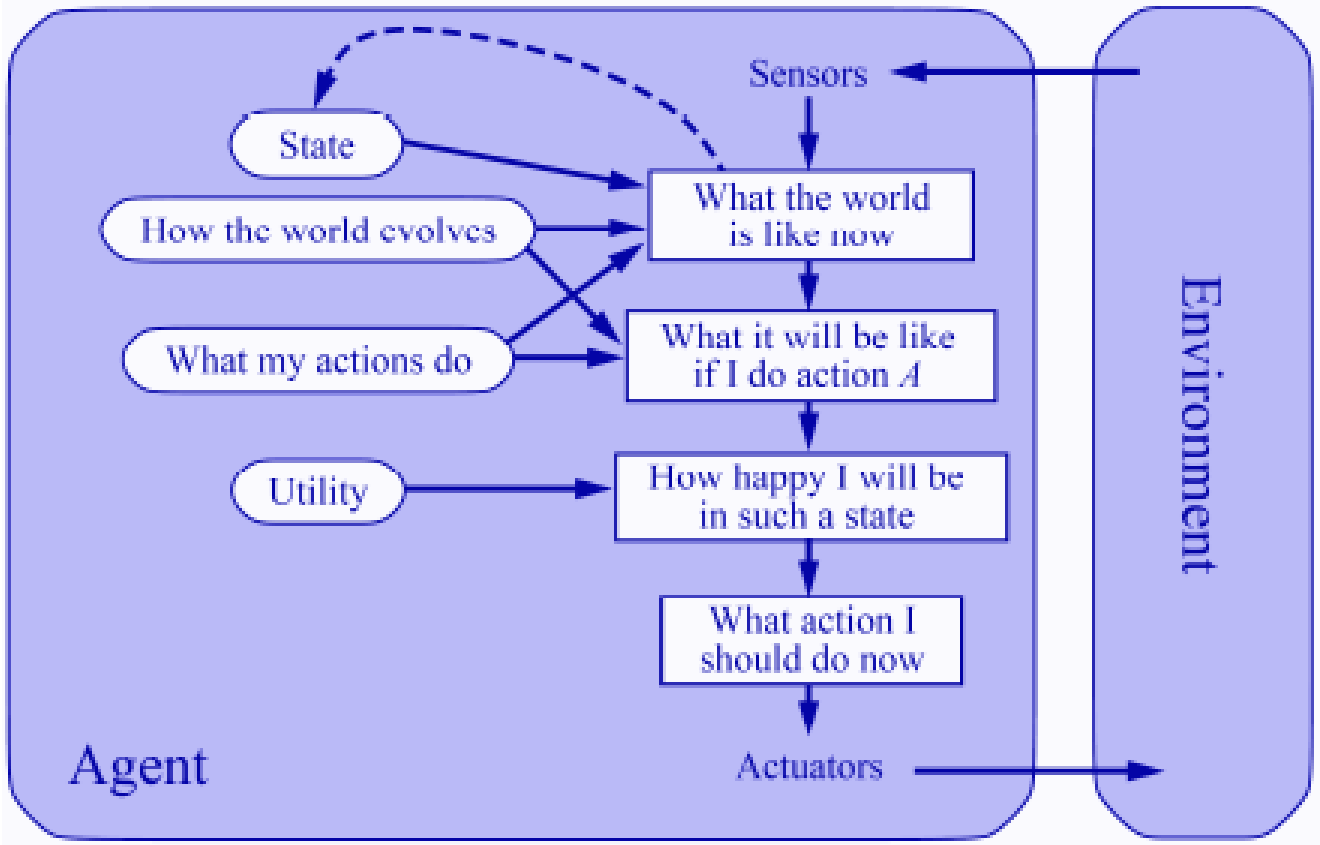
Agentes Basados en Metas



Agentes Basados en Metas (cont.)

- Elegir las acciones con el fin de alcanzar (dada o calculada) un meta u objetivo = una descripción de una situación deseable.
- Hacer un seguimiento del estado actual constante no es suficiente, se necesita añadir objetivos para decidir qué situaciones son buenas.
- Deliberante en lugar de reactiva.
- Puede tener que considerar largas secuencias de acciones posibles antes de decidir si el objetivo se logra, implica la consideración del futuro "¿qué ocurrirá si lo hago ...?".

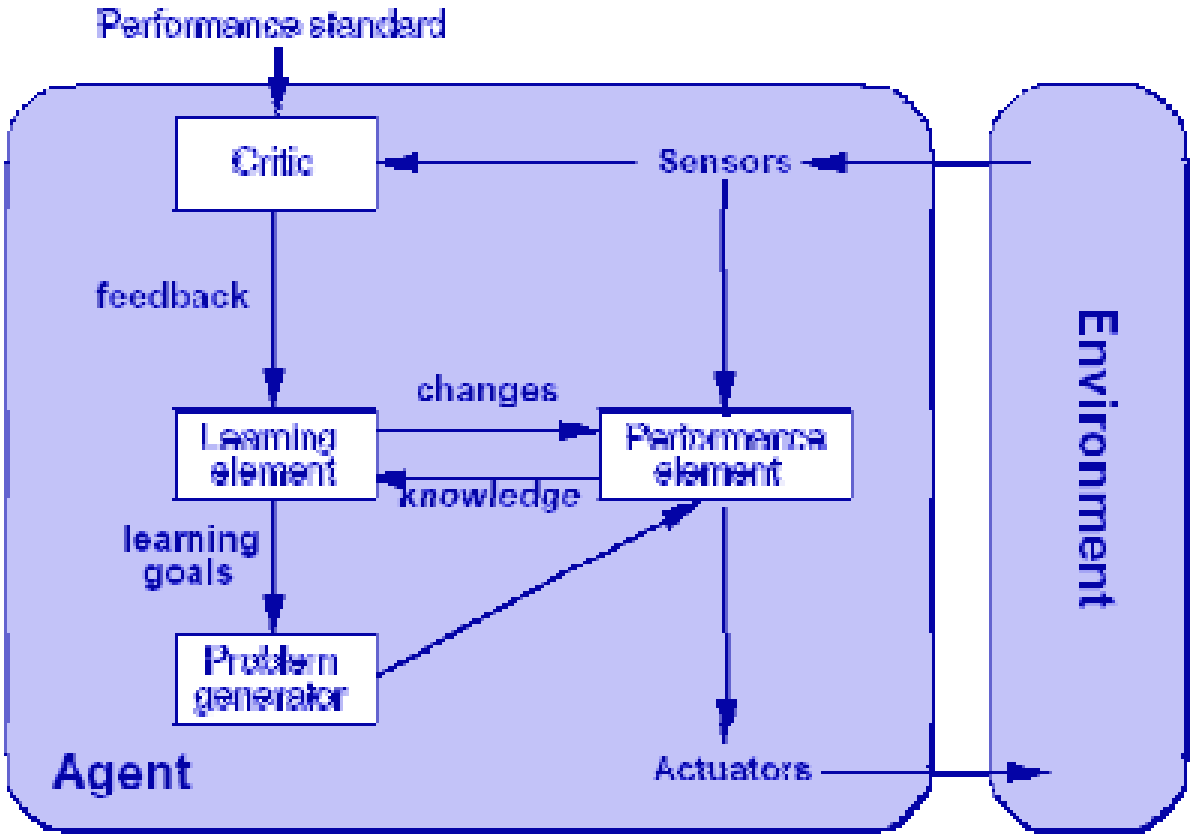
Agentes Basados en Utilidades



Agentes Basados en Utilidades (cont.)

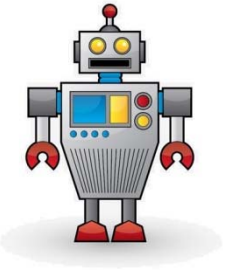
- Cuando hay varias alternativas posibles, ¿cómo decidir cuál es la mejor?
- Una meta especifica una cruda distinción entre un estado feliz e infeliz, pero a menudo necesitan una medida de desempeño más general que describa "grado de felicidad".
- Función de utilidad *U*: Estado → Realidad
  - Indica una medida de éxito o felicidad, en un estado dado.
  - Permite comparar las decisiones de elección entre objetivos en conflicto, y la elección entre la probabilidad de éxito y la importancia de la meta (si la realización es incierta).

Agentes de Aprendizaje



Componentes de un Agente de Aprendizaje

- **Elemento de aprendizaje.** Es responsable de hacer las mejoras.
- **Elemento de desempeño.** Es responsable de seleccionar las acciones externas. Este elemento es el agente entero: toma las percepciones y decide en acciones.
- **Crítica.** Ofrece información sobre la forma en que el agente lo está haciendo.
- **Generador de Problemas.** Es responsable de lo que sugiere las acciones que conduzcan a nuevas experiencias e información.



Introducción a Robótica

Definición Clásica de Robot

- "Un robot es un agente re-programable, multifuncional, un manipulador diseñado para mover materiales, piezas o dispositivos especializados, con una variable de movimientos programados para la realización de una tarea"

  - *Robotics Industry Association* -

¿Qué es un Robot?

- "Es un dispositivo reprogramable y multifuncional diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos programados"

  - *Robot Institute of America, 1979* -

¿Qué es un Robot? (cont.)

- "Un dispositivo automático que realiza funciones que normalmente se considera son o debieran ser realizadas por humanos"

  - *Webster* -

¿Qué es un Robot? (cont.)

- "Un sistema que existe en el mundo físico y que autónomamente sensa su medio ambiente y actúa sobre él"

  - *Maja Mataric/USC* -

¿Qué es un Robot? (cont.)

- "Un mecanismo reprogramable con un mínimo de cuatro grados de libertad diseñado para manipular y transportar partes, herramientas o implementar manufactura especializada a través de movimientos programados para la ejecución de la una tarea especifica de manufactura"

  - *Asociación Británica de Robótica (BRA)* -

¿Qué es un Robot? (cont.)

- "Manipulador: una máquina la cual tiene similares funciones a aquellas de los miembros superiores de los humanos, y mueve objetos espacialmente, desde una localización a otra."
- "Robot de grabación (Playback Robot): una manipulador el cual puede ejecutar una operación por lectura de información memorizada de una secuencia de operación, incluyendo posiciones y probable el cual aprendió siendo tomador manualmente a través de rutinas de antemano."
- "Robot inteligente: un robot el cual puede determinar su propio comportamiento/conducta a través de sus funciones de senseo y reconocimiento."

-Asociación Japonesa de Robot Industriales (JIRA)-

¿Qué es un Robot? (cont.)

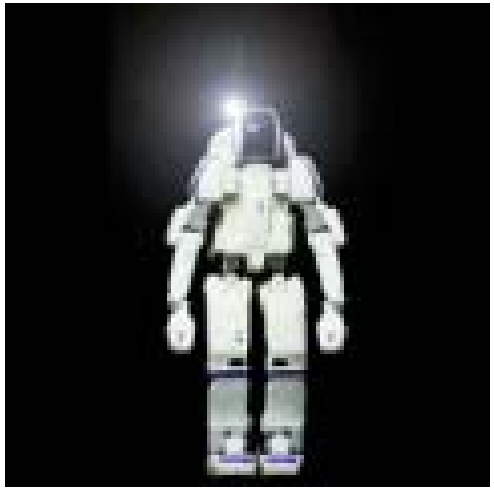
- Un robot inteligente es una máquina capaz de extraer información de su medio ambiente y utilizar el conocimiento acerca de su mundo para moverse con seguridad en una manera significativa y decidida.
- Un robot es un sistema que existe en el mundo físico y siente su entorno de forma autónoma y actúa en ella.

Origen de la Palabra "Robot"

- El término **robot** fue introducido por el dramaturgo checo *Karel Capek* en 1921, y viene de la combinación de las palabras checas "robota" que significa "trabajo obligatorio" y "robotnik" que significa siervo.
  - Robot = trabajo forzado o servidumbre.
  - El uso de la palabra robot se introdujo en su obra RUR (*Rossum's Universal Robots*) que se inauguró en Praga en enero de 1921.

Tipos de Robots

- Existen múltiples tipos de robots, cuya complejidad va desde aquellos que se utilizan en tareas industriales de ensamblado hasta llegar a los de aspecto humano ("humanoides").



Robótica

- Es una disciplina que combina todas aquellas actividades relacionados con el estudio, diseño, construcción, operación y mantención de robots.
- Es un campo de trabajo que combina diferentes disciplinas como Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecánica, Ciencias de la Computación, Matemáticas, Física, Biología, Neurociencias, etc.

Robótica (cont.)

- Es la ciencia de los robots.
  - Disciplina científica encargada de construir y programar robots.
- La ciencia que estudia los robots como sistemas que operan en algún entorno real, estableciendo algún tipo de conexión inteligente entre percepción y acción.
  - No se refiere a inteligencia general, en el sentido humano del término, sino sólo a la capacidad de realizar bien la tarea encomendada, aun ante cualquier cambio razonable en el entorno.

Robótica como una Ciencia Interdisciplinaria

- Artes
- Política
- Económica
- Matemática
- Física
- Teoría de Control
- Cibernética
- Ciencia de la Computación
- Inteligencia Artificial
- Mecatrónica
- Biología
- Psicología
- Sociología
- Psicología social
- Filosofía
- Vida artificial
- Deportes

Robótica como una Ciencia Interdisciplinaria (cont.)

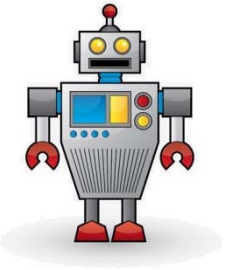
- Disciplinas Relacionadas:
  - Visión Computacional
  - Inteligencia Artificial/Computacional
  - Cibernética (Control + Ciencias de la Información + Biología)
  - Mecatrónica (Mecánica + Electrónica + Computación)

Origen de la palabra "Robótica"

- La palabra **robótica** fue utilizada por primera vez por el científico y escritor de ciencia ficción *Isaac Asimov* en 1942.
- El propuso las llamadas leyes de la robótica:
  - *Ley 0*: Un robot no puede realizar ninguna acción, ni por inacción permitir que nadie la realice, que resulte perjudicial para la humanidad, aun cuando ello entre en conflicto con las otras leyes.
  - *Ley 1*: Un robot no puede dañar a un ser humano ni, por inacción, permitir que éste sea dañado.
  - *Ley 2*: Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos excepto cuando estas órdenes entren en conflicto con las leyes anteriores.
  - *Ley 3*: Un robot debe proteger su propia existencia hasta donde esta protección no entre en conflicto con las leyes anteriores.

¿Por qué son los Robots Móviles Interesantes?

- Los robots móviles son una motivación y un ambiente de prueba duro para una amplia gama de métodos.
- El éxito de cada método puede ser evaluado de acuerdo con los criterios siguientes:
  - Habilidades del mundo real, es decir, la capacidad del manejo de datos del mundo real, de interactuar con el medio ambiente, y de manejar escenas dinámicas.
  - Adaptabilidad o capacidad de aprendizaje de un robot móvil, incluyendo subcriterios como el aprendizaje espontáneo, el aprendizaje estable, etc.
  - Complejidad cognitiva o competencia, expresada por la capacidad de razonamiento simbólico o cualitativa.



Introducción a Robótica

Breve Historia de la Robótica

Tabla Resumen Histórico

FECHA	DESARROLLOS
mid-1700s	J. de Vaucason construyó varias muñecas mecánicas de tamaño humano que tocaban música.
1801	J. Jacquard invento el telar Jacquard, una maquina programable para tejer e hilar o estampar en ropa.
1805	H. Maillardet construyó una muñeca mecánica capaz de dibujar cuadros.
1946	Inventor americano G.C. Devol desarrolló un controlador que puede grabar magnéticamente señales eléctricas y tocarlas de nuevo para operar una maquina mecánica, patentado en U.S. en 1952.
1951	Desarrollo en teleoperaciones (manipuladores por control remoto) para manejar materiales radioactivos. Patentes U.S. publico a Goertz (1954) y a Bergsland (1958).
1952	Prototipo de máquina de control numérico demostrada en el MIT después de algunos años de desarrollo. Parte del lenguaje de programación llamado APT (Automatically Programmed Tooling). Posteriormente desarrollada y lanzada en 1961.
1954	Inventor Britanico C.W. Kenward aplico por patentar el diseño del robot. Patente Británica publicada en 1957.
1954	G.C. Devol desarrollo diseño para “transferir artículos programados”. Patente U.S. publicada 1961.
1959	Primer robot comercial introducido por Planet Corporation. Fue controlado por schitches en límites.

Tabla Resumen Histórico (cont.)

FECHA	DESARROLLOS
1960	Primer “Unimate” robot introducido, basado en “transferir artículos programados” de Devol. Utilizó principios de control numérico para el control del manipulador y fue un robot manejado hidráulicamente.
1961	Robot Unimate fue instalado en la compañía de motores Ford para servir en una maquina de fundición.
1966	Trallfa, una empresa Noruega, construyo e instalo un robot que pinta.
1968	Un robot móvil llamado “Shakey” desarrollado en SRI (Stanford Research Institute). Fue equipado con una variedad de sensores, incluyendo una cámara y sensores de tacto, y se puede mover sobre el piso.
1971	El “Stanford Arm”, un pequeño brazo robótico alimentado eléctricamente, desarrollado en la universidad de Stanford.
1973	El primer robot tipo computadora con lenguaje de programación, desarrollada en SRI para investigación llamada WAVE. Siguió para el lenguaje AL en 1974. Los dos lenguajes fueron posteriormente desarrollados en un lenguaje comercial VAL para Unimation por Victor Scheinman y Bruce Sinamo.
1974	ASEA introdujo todo el control eléctrico del robot IRb6
1974	Kawasaki, bajo la licencia de Unimation instaló un soldador al arco para las ventanas de motocicletas.
1974	Cincinnati Milacron introdujo el robot T 3 con control computacional.

Tabla Resumen Histórico (cont.)

FECHA	DESARROLLOS
1975	El Robot Olivetti “Sigma” se usó en operaciones de ensamblaje – una de las primeras operaciones de ensamblaje de los robot.
1976	Remote Center Compílanse (RCC) dispositivos para partes de inserción en ensamblaje desarrollado en el Laboratorio de Charles Stara Draper en U.S.
1978	PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly) robot introducido por Unimation, basado en diseños desde un estudio de la General Motors.
1978	Cincinnati Milacron adapto el robot T 3 y lo programo para realizar perforaciones y operaciones de rutina en componentes de aviones, bajo el patrocino de Air Force ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing).
1979	Desarrollo del robot prototipo SCARA (Selective Compílanse Arm Robotic Assembly) en la Universidad de Yamanashi (en Japón) para tareas de ensamblaje. Algunos robot SCARA fueron introducidos en 1981.

Tabla Resumen Histórico (cont.)

FECHA	DESARROLLOS
1980	Sistema robótico Bin-picking mostrado en la Universidad de Rhode Island. Utilizando machine vision, el sistema era capaz de escoger partes en orientaciones aleatorias y colocarlas fuera de la caja.
1981	Un “Direct-drive-robot” desarrollado en la Universidad Carnegie-Mellon. Utilizaba motores eléctricos localizados en las articulaciones sin el usual mecanismo de trasmisión por encadenamiento utilizado en la mayoría de los robots.
1982	IBM introduce el robot RS-1 para ensamblaje, basado en varios de los desarrollos internos. Es un robot en marco de caja, que utiliza brazo que consiste en tres lados ortogonales. El lenguaje del robot es AML, desarrollado por IBM, también introducido para programar el RS-1.
1983	Se pública informe de investigación en Westinghouse Corp. Bajo el patrocinio de a Fundación de Ciencia Nacional en “sistemas de ensamblaje programable y adaptable” (APAS), un proyecto piloto para utilizar robots de líneas de ensamblaje automatizado y flexible.
1984	Varios sistemas de off-line mostrado en Robot 8. Las operaciones típicas de estos sistemas permitían programas del robot para ser desarrollados utilizando gráficos interactivos en un computador personal y luego eran descargados en el robot.

Autómata

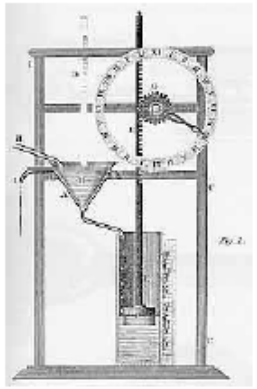
- Las primeras máquinas complejas producidas por el hombre eran autómatas, por medio de las cuales se trató de simular la naturaleza y domesticar las fuerzas naturales.
- El primer paso en la realización del sueño de volar por el aire como un pájaro, nadar en el mar como un pez, y convertirse en el gobernante de toda la naturaleza.

Egipto

- En el apogeo de la civilización egipcia, hace 3000 años, las estatuas articuladas podría ser controladas por los operadores ocultos.
  - Se trata de una cabeza pintada del Dios de los Muertos Chacal, y el otro un gran busto de piedra caliza blanca del Dios Ra-Harmakhis.
- Cada uno tenía un tubo hueco desde la boca para que un sacerdote oculto pudiera hacer hablar a la estatua.

Ctesibius y Marcus Vitruvius Pollio

- Alrededor de 270 aC, Ctesibius produjo el primer órgano y la clepsidra (reloj de agua), con figuras en movimiento.



- La tradición griega fue revivida por Vitruvius, que en (c. 90-20 aC) *De Architectura* describió varios autómatas y desarrolló el canon de las proporciones, que es la base de la estética clásica anatómicas.

Herón de Alexandria

- Herón de Alejandría (alrededor de 62 dC) detalla varios autómatas que fueron utilizados en el teatro y para fines religiosos.
- Escribió extensamente de aguas accionadas por dispositivos automáticos neumáticos.
- Incluye figuras de pájaros cantores, copas y vasos de magia, apertura y cierre de puertas de forma automática, iluminación automática, extinción automática de incendios y muchos otros artículos interesantes.

Al-Jazari

- Autor del Islam que diseñó complejos arreglos mecánicos.
- Al-Jazari, por ejemplo, ilustra varios diseños que anticipan el principio del inodoro moderno.

El Robot de Leonardo Da Vinci

- Diseñó el equivalente mecánico de un ser humano, alrededor de 1475, un robot humanoide, el diseño no se ha construido.
  - Está equipado con un visor que se eleva automáticamente, dejando al descubierto la articulación de la mandíbula.
  - Puede alternativamente, abrir y cerrar los brazos; mueve las muñecas y los pulgares
- Un controlador analógico mecánico programable, en el interior del pecho, proporciona potencia y control para los brazos, a través de ranuras que desencadena altos engranajes helicoidales de torsión unidos a una polea central.

Androides

- El primer androide real en forma humana que se ha registrado fue construido por Hans Bullmann de Nuremberg, alrededor de 1525.
- Él es conocido por haber hecho figuras en movimiento de hombres y mujeres, algunas de las cuales tocaban instrumentos musicales.

Gianello Torriano

- Una de las figuras de Gianello Torriano de Cremona (de 1515 a 1585), la de una mujer intérprete de laúd, sobrevivió y ahora está en el Museo Kunsthistorisches de Viena.
- La muñeca mecánica toca el laúd, mueve la cabeza, da pequeños pasos utilizando ruedas.

Jacques de Vaucanson

- Jacques de Vaucanson (1709-1782) construyó tres humanoides de relojería.
  - Uno de ellos tocaba la mandolina.
  - Otro era un pianista.
  - Un tercero era un flautista.
- Todos eran muy realistas, ninguno podía percibir el ambiente, todos eran simples mecanismos de reproducción.

Familia Jacquet-Droz

- En el siglo 18 Pierre Jacquet-Droz, un relojero suizo, y su hijo Henri-Louis construyeron una serie de humanoides, incluyendo una mujer que tocaba el órgano, simulaba la respiración y la dirección de la mirada; miraba a la audiencia, sus manos, y la música.

Henri Maillardet

- Fabricante de relojes suizos, construyó un niño robot, en 1815, que podría escribir un script en francés y en inglés, y dibujar una variedad de paisajes.
- La escritura y el dibujado son una mecánica de "lectura de memoria", en forma de una matriz de levas de disco que giran sobre un eje común para conducir la mano derecha de la figura.
- La información contenida en las ondulaciones del conjunto seleccionado de levas es recogido por tres seguidores vinculados a la mano de la muñeca para producir izquierda y derecha, arriba y abajo, y los movimientos verticales.
  - Hay siete diseños programados para elegir.

Control por Retroalimentación (*Feedback*)

- ***Feedback*.** Monitoreo continuo de los sensores y reaccionar a los cambios.
- El **control por realimentación** = **autorregulación**.
- Hay dos tipos de retroalimentación:
  - Positiva
  - Negativa
- Es la base de la teoría de control.

Control por Retroalimentación (*Feedback*) (cont.)

- La **retroalimentación negativa** actúa para regular el estado / salida del sistema, por ejemplo, si es demasiado alto, baje, si es demasiado bajo, suba.
  - Termostatos, servicios, organismos, robots...
- La **retroalimentación positiva** actúa para amplificar el estado / salida del sistema, por ejemplo, cuanto más haya, más se agrega.
  - Mercado de valores, caminos de hormigas...

Usos de la Retroalimentación (*Feedback*)

- Invención de la retroalimentación a los primeros robots sencillos.
- El primer ejemplo fue de los antiguos griegos, los sistemas de agua (inodoros).
- Olvidado y se reinventa en el Renacimiento para los hornos.
- Introducido en el motor de vapor de Watt.

Cibernética

- Iniciado por Norbert Wiener (1940).
- Matrimonio de la teoría de control (control por realimentación), ciencias de la información y la biología.
- Busca los principios comunes de los animales y las máquinas, especialmente para el control y la comunicación.
- Acoplamiento de un organismo y su medio ambiente (situacionalidad).

Tortuga de Grey Walter

- *Machina Speculatrix*.
- Entre Pascua y Navidad, 1948 de 1949, Grey Walter construyó las primeras tortugas, Elmer y Elsie.
- Tenían circuitos y electrónica similares, pero sus conchas y motores eran muy diferentes.
- En 1951, su técnico, el Sr. WJ Warren, diseñó y construyó seis nuevas tortugas de Grey Walter, eran de un alto nivel profesional.

Propiedades y Comportamientos de la Tortuga

- Propiedades:
  - 1 fotocélula
  - 1 sensor de golpes
  - 1 motor
- Comportamientos:
  - Buscar la luz
  - Dirigirse a la luz débil
  - Dar vuelta con la luz brillante
  - Girar y presionar
  - Recargar batería
  - Control reactivo

Principios de la Tortuga

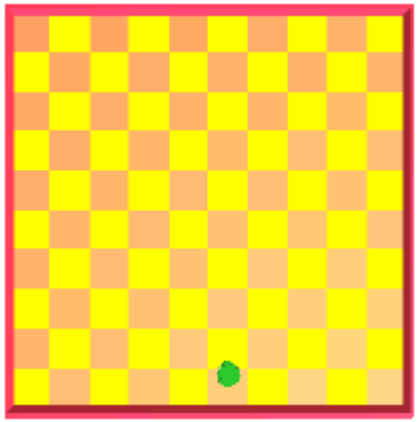
- **Parsimonia.** Lo simple es mejor (por ejemplo, la estrategia, recarga inteligente).
- **Exploración / especulación.** Se mantiene en movimiento (excepto durante la carga).
- **Atracción (tropismo positivo).** La motivación para acercarse a la luz.
- **Aversión (tropismo negativo).** La motivación para evitar los obstáculos, pendientes, etc.
- **Discernimiento.** Capacidad de distinguir y tomar decisiones, es decir, para adaptarse.

Vehículos de Braitenberg

- Valentino Braitenberg (1984).
- Modelo extendido de Walter en una serie de experimentos mentales.
- Basado en circuitos analógicos.
- Conexiones directas entre los sensores de luz y motores.
- Comportamientos complejos a partir de mecanismos muy sencillos.
- Control reactivo.
- Más tarde, implementado en robots reales.

Comportamientos Braitenberg

- Mediante la variación de las conexiones y sus puntos fuertes, dan como resultado numerosas conductas, por ejemplo:
  - "miedo/cobardía" – huir de la luz.
  - "agresión" - cargas de luz.
  - "amor" - siguiendo/abrazando.
  - Muchos otros, hasta la memoria y el aprendizaje.



Vehículo 1: Vivo

- **Componentes:** El sensor y el motor.
- **Principio:** A mayor es la cualidad (por ejemplo, calor) a la que el sensor está detectando, más rápido va el motor.
- **Descripción:** vivo, inquieto, no "gusta" del calor.

Vehículo 2a: Cobarde

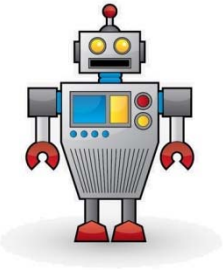
- **Componentes:** 2 sensores y 2 motores, cada sensor se conecta al motor en el mismo lado ("sin cruzar").
- **Principio:** A mayor es la cualidad (por ejemplo, calor) que los sensores están detectando, más rápido van los motores ("excitador").
- **Descripción:** a disgusto con la fuente que los sensores están detectando, "huye".

Vehículo 2b: Agresivo

- **Componentes:** 2 sensores y 2 motores, cada sensor se conecta al motor en el lado opuesto ("cruzado").
- **Principio:** A mayor es la cualidad (por ejemplo, calor) que los sensores están detectando, más rápido van los motores ("excitador").
- **Descripción:** a disgusto con la fuente que los sensores están detectando, "ataca".

Vehículo 3a: Amar / Adorar en Silencio

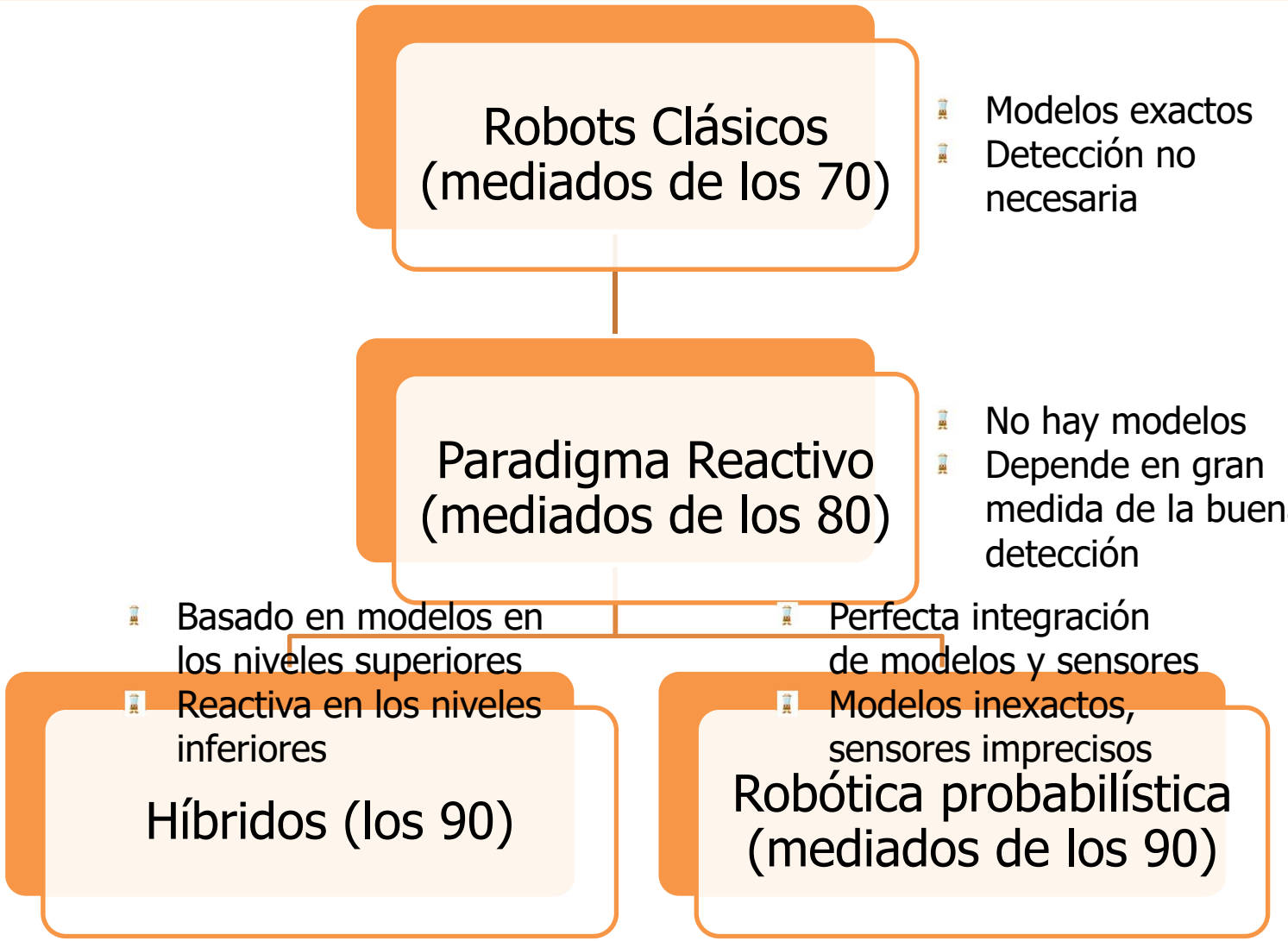
- **Componentes:** 2 sensores y 2 motores, cada sensor se conecta al motor en el mismo lado ("sin cruzar").
- **Principio:** A mayor es la cualidad (por ejemplo, calor) que los sensores están detectando, más lento van los motores ("inhibitorio").
- **Descripción:** ama a la fuente, quiere estar cerca de ella, se detiene frente a ella.



Introducción a Robótica

Tipos de Robots

Tendencias en Robótica



Inicios de la Inteligencia Artificial

- "Nace" en 1956 en Dartmouth.
- "Máquina inteligente" podría utilizar modelos internos para buscar soluciones y luego probarlos (modelo deliberativo).
- De planificación se convirtió en la tradición.
- Explícitas representaciones simbólicas.
- Organización basada en el sistema jerárquico.
- Ejecución secuencial.

Inteligencia Artificial (IA)

- A principios la IA tuvo un fuerte impacto en la temprana robótica.
- Centrado en el conocimiento, los modelos internos, y el razonamiento / planificación.
- Eventualmente, la robótica desarrolló enfoques más apropiados de control → basada en el comportamiento e híbridos.
- IA en sí ha evolucionado ...
- Pero antes de esto, los robots antiguos usaban el control deliberativo.

Tipos de Robots

- Existen multitud de robots, algunos de ellos muy específicos, por lo que es difícil establecer una única clasificación válida.
- No obstante, hay dos criterios que ayudan:
  - Clasificación por la geometría (llamada también por las coordenadas).
  - Clasificación por el método de control.
  - Clasificación por la función.

Tipos de Robots
Clasificación por la Geometría

- **Cilíndricos.** Cada eje es de revolución total (o casi) y está encajado en el anterior.
- **Esféricos.** Hay ejes de rotación que hacen pivotar una pieza sobre otra.
- **De paralelogramo.** La articulación tiene una doble barra de sujeción.
- **Mixtos.** Poseen varios tipos de articulación, como los SCARA.
- **Cartesianos.** Las articulaciones hacen desplazar linealmente una pieza sobre otra. Pueden ser de tipo cantilever, o pórtico.

Ver Figura 1.1 del libro Apuntes de Robótica (página 15).

Tipos de Robots
Clasificación por el Método de Control

- **No servo-controlados.** En los que cada articulación tiene un número fijo de posiciones con topes y sólo se desplazan para fijarse en ellas. Suelen ser neumáticos, bastante rápidos y precisos.
- **Servo-controlados.** En los que cada articulación lleva un sensor de posición (lineal o angular) que es leído, y enviado al sistema de control que genera la potencia para el motor. Se pueden así parar en cualquier punto deseado.
- **Servo-controlados punto a punto.** Para controlarlos sólo se les indican los puntos iniciales y finales de la trayectoria; el ordenador calcula el resto siguiendo ciertos algoritmos. Normalmente pueden memorizar posiciones.

Tipos de Robots
Clasificación por la Función

- **Producción.** Usados para la manufactura de bienes, pueden a su vez ser de manipulación, de fabricación, de ensamblado y de test.
- **Exploración.** Usados para obtener datos acerca de terreno desconocido, pueden ser de exploración terrestre, minera, oceánica, espacial, etc.
- **Rehabilitación.** Usados para ayudar a discapacitados, pueden ser una prolongación de la anatomía, o sustituir completamente la función del órgano perdido.

Tipos de Robots
Otras Clasificaciones

- Por su arquitectura:
  - **Androides.** Robots con forma humana. Imitan el comportamiento de las personas, su utilidad en la actualidad es de solo experimentación. La principal limitante de este modelo es la implementación del equilibrio a la hora del desplazamiento, pues es bípedo.
  - **Móviles.** Robots que se desplazan mediante una plataforma rodante (ruedas); estos aseguran el transporte de piezas de un punto a otro.
  - **Zoomórficos.** Robots con un sistema de locomoción imitando a los animales. La aplicación de estos robots, sobre todo, es para el estudio de volcanes y exploración espacial.
  - **Poliarticulados.** Robots que mueven sus extremidades con pocos grados de libertad. Su utilidad es principalmente industrial, para desplazar elementos que requieren cuidados.

Tipos de Robots
Otras Clasificaciones (cont.)

- Por la potencia del software que los controla:
  - **Robots Play-back.** Robots que regeneran una secuencia de instrucciones grabadas, como un robot utilizado en recubrimiento por *spray* o soldadura por arco. Estos robots comúnmente tienen un control de lazo abierto.
  - **Robots controlados por sensores.** Robots que tienen un control en lazo cerrado de movimientos manipulados, y hacen decisiones basados en datos obtenidos por sensores.
  - **Robots controlados por visión.** Robots que pueden manipular un objeto al utilizar información desde un sistema de visión.
  - **Robots controlados adaptablemente.** Robots que pueden automáticamente reprogramar sus acciones sobre la base de los datos obtenidos por los sensores.
  - **Robots con inteligencia artificial.** Robots que utilizan las técnicas de inteligencia artificial para hacer sus propias decisiones y resolver problemas. Se trabaja en ello en la actualidad.

Tipos de Robots
Otras Clasificaciones (cont.)

- Por su nivel de inteligencia (JIRA):
  - **Dispositivos de manejo manual.** Controlados por una persona.
  - **Robots de secuencia arreglada.**
  - **Robots de secuencia variable.** Donde un operador puede modificar la secuencia fácilmente.
  - **Robots regeneradores.** Donde el operador humano conduce el robot a través de la tarea.
  - **Robots de control numérico.** Donde el operador alimenta la programación del movimiento, hasta que se enseñe manualmente la tarea.
  - **Robots inteligentes.** Los cuales pueden entender e interactuar con cambios en el medio ambiente.

Tipos de Robots
Otras Clasificaciones (cont.)

- Por el nivel de control:
  - **Nivel de inteligencia artificial.** Donde el programa aceptará un comando como "levantar el producto" y descomponerlo dentro de una secuencia de comandos de bajo nivel basados en un modelo estratégico de las tareas.
  - **Nivel de modo de control.** Donde los movimientos del sistema son modelados, para lo que se incluye la interacción dinámica entre los diferentes mecanismos, trayectorias planeadas, y los puntos de asignación seleccionados.
  - **Niveles de servosistemas.** Donde los actuadores controlan los parámetros de los mecanismos con el uso de una retroalimentación interna de los datos obtenidos por los sensores, y la ruta es modificada sobre la base de los datos que se obtienen de sensores externos. Todas las detecciones de fallas y mecanismos de corrección son implementadas en este nivel.

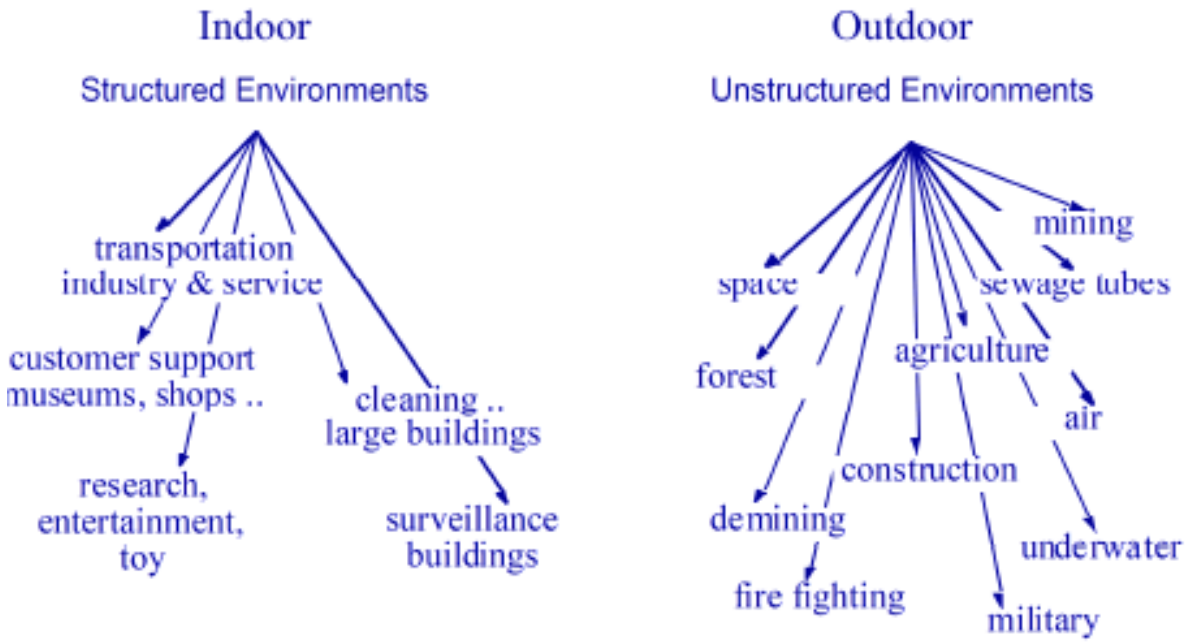
Tipos de Robots
Otras Clasificaciones (cont.)

- Por el nivel del lenguaje de programación:
  - **Sistemas guiados.** En el cual el usuario conduce el robot a través de los movimientos a ser realizados.
  - **Sistemas de programación de nivel-robot.** En los cuales el usuario escribe un programa de computadora al especificar el movimiento y el sensado.
  - **Sistemas de programación de nivel-tarea.** En el cual el usuario especifica la operación por sus acciones sobre los objetos que el robot manipula.

Uso Industrial

- Robots manipuladores:
  - Brazos robóticos se introdujeron en las industrias en 1956 por Unimation.
  - Configuración del robot especificada por el número de grados de libertad (DOF).
  - 6 es el número mínimo requerido para posicionar el efector arbitrariamente.
  - Para los sistemas dinámicos, añadir velocidad para cada DOF.
- Vehículos guiados automáticamente (AGV - *Automated Guided Vehicles*).

Aplicaciones de los Robots Móviles



Componentes Mecánicos de un Robot

- Un **manipulador robótico** consiste en una secuencia de cuerpos rígidos, llamados enlaces (*links*) que se conectan unos a otros mediante articulaciones (*joints*).
- Todos juntos forman una **cadena cinemática**.
  - Una cadena cinemática es abierta si, numerando secuencialmente los enlaces desde el primero, cada enlace está conectado mediante articulaciones exclusivamente al enlace anterior, y al siguiente, excepto el primero, que se suele fijar al suelo, y el último, uno de cuyos extremos queda libre.

Componentes Mecánicos de un Robot (cont.)

- Cada articulación puede ser **rotacional** o **traslacional**, según el enlace dado gire alrededor de un eje fijo al enlace anterior, o se deslice sobre él en línea recta.
- Se define **grado de libertad** como cada una de las coordenadas independientes necesarias para describir el estado de un sistema mecánico.

Componentes Mecánicos de un Robot (cont.)

- Normalmente, en cadenas cinemáticas abiertas, cada par enlace-articulación tiene un sólo grado de libertad, bien rotacional o traslacional, pero no necesariamente.
- Puede haber enlaces de longitud 0 (inexistentes), por ejemplo, cuando una articulación tiene dos o más grados de libertad que operan sobre ejes que se cortan.

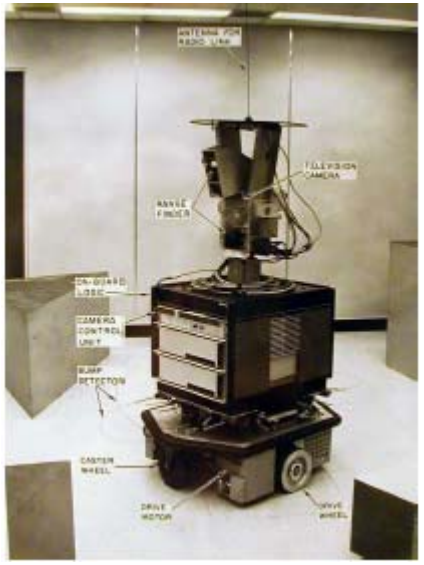
Ver Figura 1.2 del libro Apuntes de Robótica (página 17).

Robots Iniciales: Bestias Hopkins

- Estas máquinas vagaban por pasillos guiadas por sonar.
- En un trabajo posterior, a la unidad más grande se le dio otra capa que contiene un circuito de fotocélula que le permitió encontrar en contraste enchufes de pared ópticamente desde la distancia.

Robots Iniciales: SHAKEY

- Shakey (1966-1972): tenía una cámara de televisión, un buscador con amplia triangulación, sensores de tacto, se conectó a las computadoras DEC PDP-10 y PDP-15 a través de enlaces de radio y video.

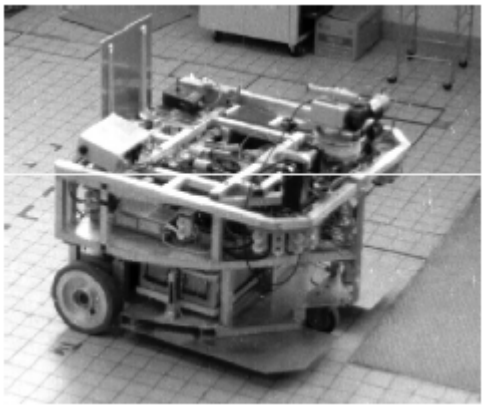


Robots Iniciales: SHAKEY (cont.)

- Se utilizaba:
  - Programas para la percepción, el mundo de modelado, y actuación.
  - Acciones de nivel bajo: movilidad simple, inflexión y planificación de rutas.
  - Acciones de nivel intermedio: las acciones de bajo nivel en conjunto, con firmeza realizaba las tareas más complejas.
  - Acciones de nivel alto: hacer y ejecutar planes para alcanzar los objetivos dados por un usuario.
  - El sistema también se ha generalizado y se guardan estos planes para un posible uso futuro.

Robots Iniciales: HILARE

- LAAS de Toulouse, Francia (1977).
- Vídeo, ultrasonido, telémetro láser.
- Todavía en uso (como soporte de mesa).
- Multi-nivel de representaciones espaciales.
- Control deliberativo → control híbrido.



Robots Iniciales: CART/Rover

- Hans Moravec.
- Vehículo de Stanford (1977) seguido por CMU móvil (1983).
- Sonar y visión.
- Control deliberativo.

Apoyo / Guías

- Los robots móviles se utilizan con éxito como guías de museos o guías de personas.

Logística / Transporte (AGV)

- Guiador automático de vehículos (AGV) de VOLVO, se utiliza para el transporte de bloques de motor de una estación de montaje a otra. Se guía por un cable eléctrico instalado en el suelo, es capaz de dejar el alambre para evitar obstáculos.
- Hay más de 4000 AGV sólo en las plantas de Volvo.

Logística / Transporte (cont.)

- Entrega de materiales en los hospitales: enfermeras pasan > 10% de su tiempo transportando medicinas, alimentación, suministros, etc.
- Un servicio de taxi para la entrega de bienes.

Servicios de Limpieza

- La limpieza era uno de los primeros mercados para los robots de interiores.
  - Limpieza profesional y limpieza doméstica.
- Vendido más de 2 millones de unidades en el servicio doméstico.
  - En supermercados, aeropuertos, etc.
- BR 700, el robot de limpieza desarrollado y vendido por Kärcher Inc., Alemania.
  - Su sistema de navegación se basa en un sistema sonar muy sofisticado y un giroscopio. URL: http://www.kaercher.de

Limpieza Doméstica

- Trilobite de Electrolux:
  - Navegación.
  - Detención avanzada.
- IRobot Roomba:
  - Más de 2 millones de unidades vendidas.

Robots que Mejoran la Calidad de Vida

Tennisball-collector (D)

Auto Mower, Husqvarna (S)

Trilobite® 2.0, Electrolux (S)

Fujitsu Frontech Ltd.
www.labs.fujitsu.com/en/ (J)

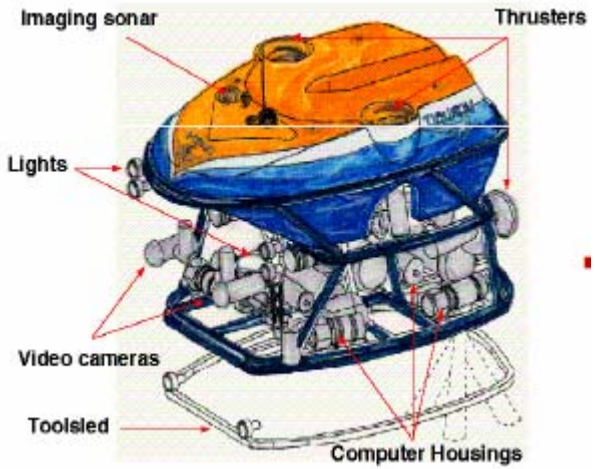
Assistenz Roboter Manipulator "ARM",
Exact Dynamics, www.exactdynamics.nl (NL)

Pool Cleaner, Weda (S)

Window cleaners Quirl, IPA (D)

Robot Subacuático ROV Tiburon

- Imagen del robot ROV Tiburon de arqueología subacuática (teleoperado) - utilizado por MBARI para la investigación del mar profundo, proporciona la capacidad autónoma del operador humano.

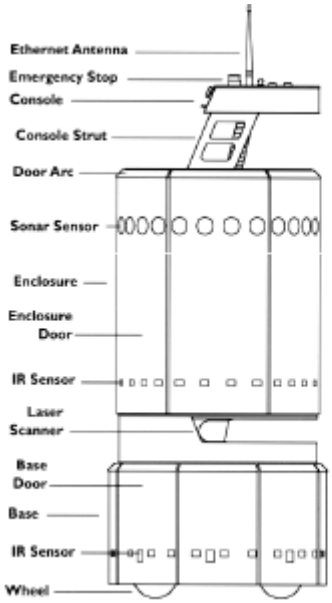


El Pioneer

- Imagen de Pioneer, el robot teleoperado que se supone explorará el Sarcophagus en Chernobyl.
- PIONEER 1 es un robot modular móvil que ofrece varias opciones como una pinza y una cámara a bordo. Está equipado con una biblioteca de navegación sofisticada, desarrollado en Stanford Research Institute (SRI). URL: http://www.activmedia.com/robots

Robot B21

- B21 es un sofisticado robot móvil que tiene una interfaz del mundo real, con un máximo de tres procesadores Intel Pentium a bordo.
- Cuenta con todos los diferentes tipos de sensores para tareas de alto rendimiento de navegación. URL: http://www.rwii.com



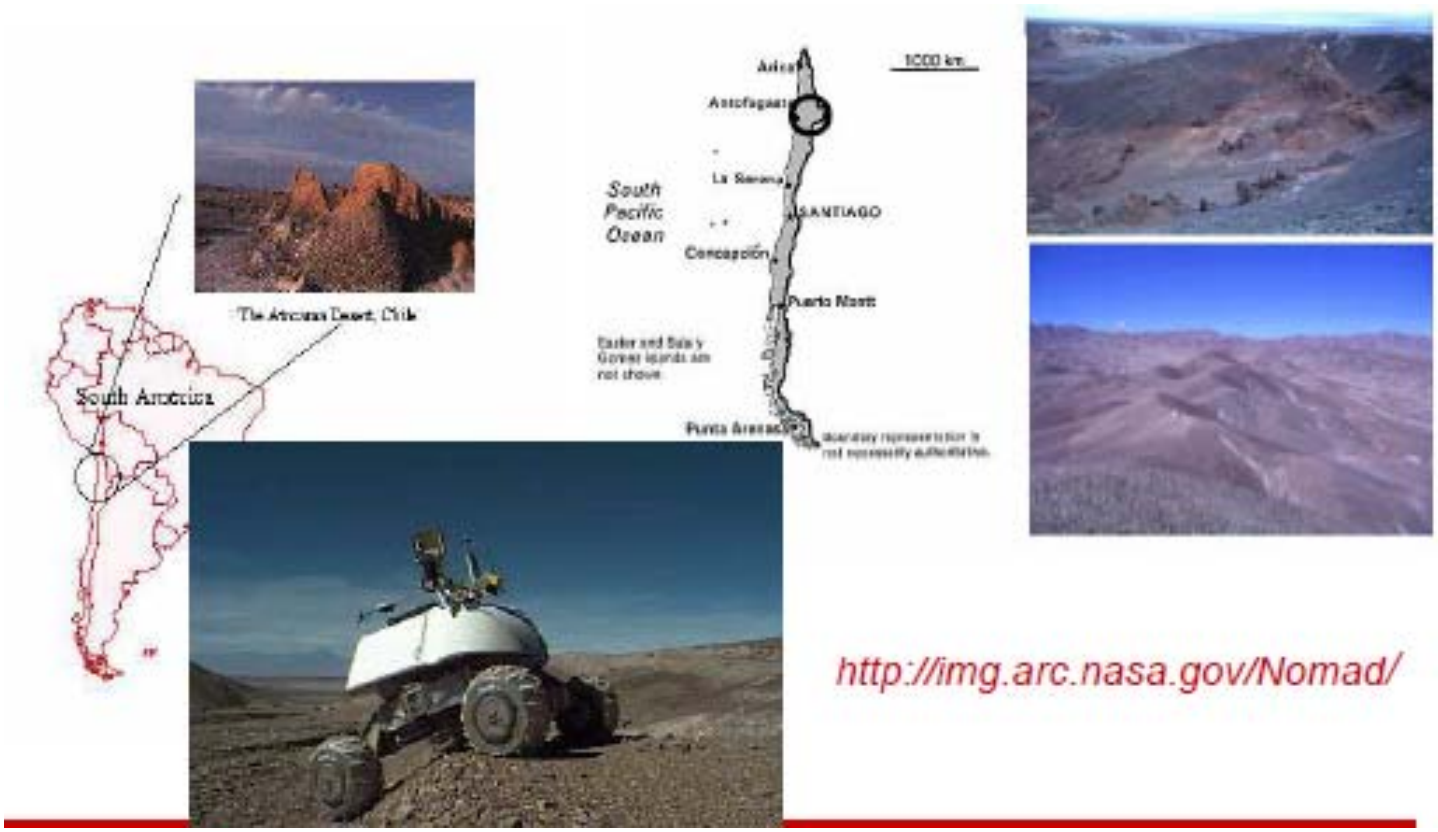
Robot Forestal

- Pulstech desarrolló el primer robot industrial que camina.
- La coordinación de las piernas es automática, pero la navegación es realizada por un operador humano en el robot.
- URL: http://www.plustech.fi/

Sojourner, Primer Robot en Marte

- El robot móvil Sojourner fue utilizado durante la misión Pathfinder para explorar Marte en el verano de 1997.
  - Fue casi totalmente teledirigido desde la tierra.
  - Sin embargo, algunos sensores permitían la detección de obstáculos.
  - URL: http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics_page/telerobotics.shtm

NOMAD, Carnegie Mellon / NASA



ASIMO

http://asimo.honda.com/

Robots de Entretenimiento

Robot de Entretenimiento Aibo de Sony

- Tamaño: longitud de unos 25cm.
- Sensores: cámara de color y entrada de micrófono estéreo.
- Suspendido en marzo del 2006.

Nao

- Altura: 58cm
- Peso: 4,3kg
- Tipo de cuerpo: técnico de plástico
- Cargador de energía: AC 90-230 voltios / DC 24 voltios
- Capacidad de la batería: 90 minutos
- Grados de libertad:
  - Cabeza 2 DOF
  - Brazo 5 DOF, en cada uno
  - Pelvis 1 DOF
  - Pierna 5 DOF, en cada una
  - Mano 1 DOF, en cada una
- Multimedia:
  - 2 altavoces
  - 4 micrófonos
  - 2 cámaras digitales CMOS
- Wi-Fi (IEEE 802.11g)
- Conexión Ethernet

Referencias Bibliográficas

- Esteve, Juan Domingo. "Apuntes de Robótica". Universidad de Valencia. España.
- Fu, K.S.; González, R.C. y Lee, C.S.G. "Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence". McGraw-Hill. 1987.
- Mataric, Maja. "The Robotics Primer". MIT Press. 2007.
- Murphy, R. "An Introduction to AI Robotics". MIT Press. 2000.
- Ruíz del Solar, J. y Salazar, R. "Introducción a la Robótica". Universidad de Chile.
- Russell, Stuart; & Norvig, Peter. "Artificial Intelligence: A Modern Approach". Prentice Hall, 3 edición. Diciembre, 2009. URL: http://aima.cs.berkeley.edu/.

¿Preguntas?

¡Gracias!

Dra. Kryscia Daviana Ramírez Benavides
Profesora e Investigadora
Universidad de Costa Rica
Escuela de Ciencias de la Computación e Informática

Sitio Web: http://www.kramirez.net/
E-Mail: kryscia.ramirez@ucr.ac.cr
kryscia.ramirez@ecci.ucr.ac.cr

Redes Sociales: