

# Introducción a la robótica basada en comportamientos

Departamento de Computación  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad de Buenos Aires

# 1. Introducción

1.1 Definiciones. Robot, robot móvil, robot autónomo.

1.2 Tipos de robot

1.3 Historia y motivaciones desde la inteligencia artificial, desde la cibernética y desde la biología.

1.4 Definición de robótica basada en comportamientos.

## Para ir pensando en una definición ...

Algunas capacidades que estando presentes en máquinas (físicas o no) conducen a pensar que estamos frente a un robot

Pueden realizar tareas repetitivas con rapidez y precisión

**Máquina de coser**

Pueden llevar a cabo tareas en forma preprogramada o teledirigida

**Videocasetera**

Por sus formas o habilidades refieren a características humanas o animales

**Animatrónica**

Pueden sentir su entorno y actuar en consecuencia

**Cámara de fotos**

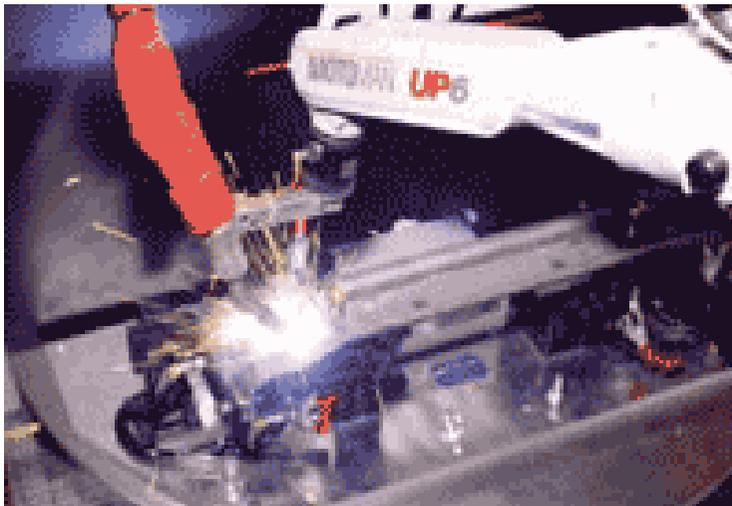
Pueden aprender de la experiencia y así modificar su comportamiento

Pueden auto-duplicarse y re-construirse

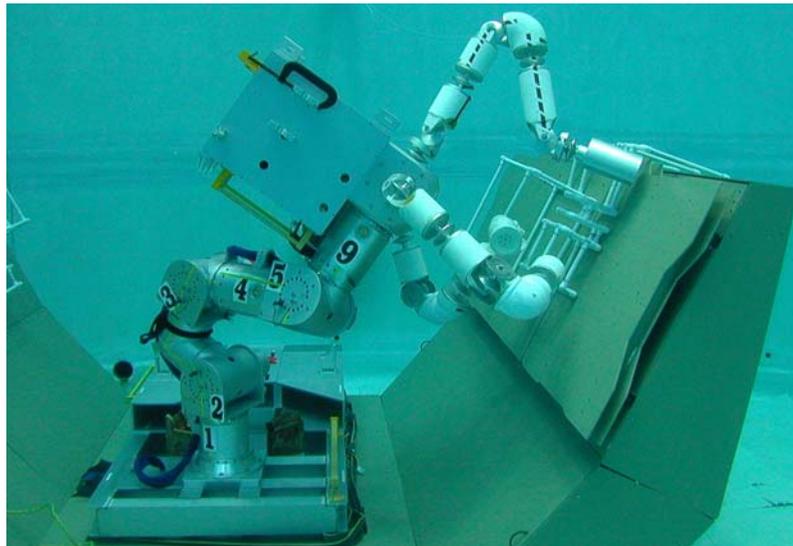
## Algunas definiciones

”Un manipulador reprogramable y multifuncional, diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados por medio de varios movimientos programados para el desempeño de una variedad de tareas”

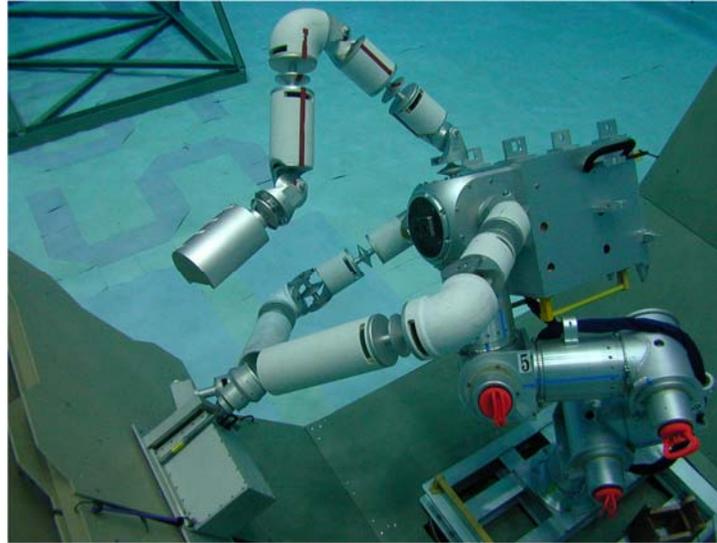
(1979, Robot Institute of America)



”Un robot es un dispositivo mecánico controlable por software que usa sensores para guiar uno o mas sensores basado en movimientos programados en un espacio de trabajo con la intención de manipular objetos físicos.  
(Héctor Rotstein. Technion-Israel Institute of Technology)



Space Systems Laboratory, University of Maryland Fotos en el Neutral Buoyancy Research Facility.



(1996,NASA) Reemplazo del robot anterior (Beam Assembly Teleoperator) usado como un asistente EVA (extravehicular activity) para, por ejemplo, la reparación o instalación de dispositivos en el Hubble (Hubble Space Telescope). Cada manipulador tiene 8 grados de libertad. Un brazo de 7 gdl fija el resto de los manipuladores a la nave. Un brazo de 6 gdl sirve para situar un sistema de estereovisión (dos cámaras). Tiene la posibilidad de manejar e intercambiar varias herramientas (end effectors). Teleoperado.

## Teleoperator/Telesence System / Concept Verification Model (TOPS/CVM) SPAWAR Systems Center San Diego



Un exoesqueleto de 9 grados de libertad con sensado de fuerza es utilizado para controlar un brazo con 7 grados de libertad - con sensado de fuerza- sobre un soporte de 3 grados de libertad.

"Agente activo artificial cuyo ambiente es el mundo físico"  
[Russell y Norvig]

**Activo** en el sentido que se mueve.

**Artificial** en el sentido que no es un ser vivo.

**Ambiente físico** en el sentido que no es un agente de software (por ejemplo, sensando las páginas consultadas por un usuario y actuando en la pre-carga de determinados sitios).

Es un agente en el sentido de que puede **percibir y actuar**.

**Actuar** en un sentido que maximiza su **desempeño** en términos subjetivos.

"Conexión **inteligente** de percepción a acción" [Jones y Flynn]



¿Qué es inteligente?

Joseph L. Jones and Anita M. Flynn colaboraron activamente con Rod Brooks en el *Mobile Robotics Group* en el *AI Lab (MIT)* from 1984 to 1992. Ellos escribieron el libro ***Mobile Robots: Inspiration to Implementation.***

"Una máquina programable capaz de percibir y actuar en el mundo con cierta autonomía" [**Sucar**, Department of Computing, Tecnológico de Monterrey, Intelligent Systems Laboratory]



¿Qué es "cierta autonomía"?

Un robot “inteligente” es una máquina capaz de extraer información de su entorno y usar conocimiento acerca de su mundo para moverse ... en una manera que obedezca a sus propósitos.  
[Arkin]

## **Robot autónomo:**

Son robots que pueden realizar tareas sin intervención humana. Deben enfrentarse a entornos cambiantes y no estructurados.

Los robots son autónomos en un cierto grado. Por ejemplo, los manipuladores mecánicos en una línea de montaje de coches pueden tener un nivel nulo de autonomía.

Algunas habilidades que pueden tener los robots autónomos:

- desempeñarse por largos períodos de tiempo sin supervisión humana
- repararse a sí mismos
- adaptar estrategias basado en la información sensada
- navegar entre dos puntos cualquiera y factibles de su entorno
- capaces de aprender
- construir modelos de su entorno

## **Robot móvil**

Aquellos que no están fijos a una base y pueden controlar su desplazamiento en su entorno por propia iniciativa.

# Ambiente

Es aquello con lo que un agente (robot) interactúa.

Un robot tiene una **percepción interna** del ambiente que puede (y lo común es que así sea) diferir de la **percepción** que tiene un **observador** (nosotros) del ambiente.

Un **modelo del mundo** es una representación del ambiente contenido dentro de la inteligencia de un robot. Esta representación puede ser construida on-line por el robot usando algún método para interpretar su percepción, o esta puede venir dada como un conocimiento a priori. En ambos casos hay ventajas y desventajas. Una posibilidad es el conocimiento a priori (si está disponible) con una construcción en el momento de un modelo del entorno próximo.

# Aplicaciones de los robots con algún grado de autonomía que no representan un desplazamiento de puestos de trabajo humanos

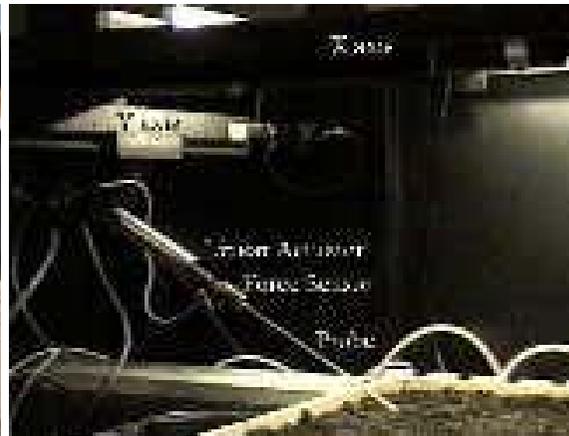
- Remoción y exploración en **zonas contaminadas** (agentes químicos, biológicos o radioactivos)
- Accionar en, o explorar zonas donde **no es posible acceder a un ser humano** (grandes profundidades acuáticas, el espacio exterior, incendios, espacios muy reducidos)
- Accionar en, o explorar zonas donde hay un **alto riesgo de la vida humana** (desactivar bombas, detectar y/o desactivar minas terrestres)

## Otras aplicaciones

- Agricultura
- Limpieza y remoción de residuos
- Inspección y seguridad
- Asistente de locomoción para personas con dificultades de traslado
- Traslado, ubicación y almacenamiento de mercaderías
- Relevamiento topológico de terreno
- Etc.

El amplio rango de aplicaciones, incluso sin considerar las que significarían un desplazamiento en los puestos de trabajo, implican cada vez más, la necesidad de investigar para:

- generar conocimiento y
- desarrollar para producir tecnología



“Un desafío clave es **diseñar algoritmos** que permitan a los robots **móviles** funcionar **autónomamente** en ambientes **dinámicos, no estructurados, parcialmente observables** e, incluso, cuya **percepción** puede ser **incierta**”  
[Sukhatme and Maja J.Mataric, 2002

## Tipos de robot

Humanoides

Bípedos

Cuadrúpedos

Hexápodos

Octopedos

Voladores

Subacuáticos

Vehículos

UAV (unmanned aerial vehicle)

UGV (unmanned ground vehicle)

UUV (unmanned undersea vehicle)

Ninguna de las otras formas

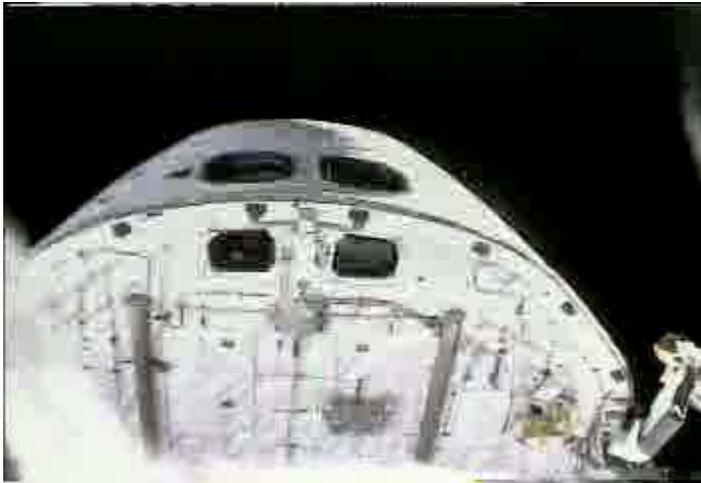




Waseda University. Institute of humanoid robots.  
Japón.

Spring Turkey fue el primer robot con patas que caminaba del MIT Leg Laboratory. Construído por Peter Dilworth y Jerry Pratt. Tenía 4 grados de libertad (dos en cada pata, 1 en la cadera y otro en la rodilla). El pie era sólo un punto de apoyo.





De aproximadamente 35 cm de diámetro y 17 kgs de peso. Tiene 2 cámaras de visión y un sistema de navegación. Como actuadores tiene 12 pequeños empujadores a gas.

The Autonomous Extravehicular Activity Robotic Camera Sprint (AERCam Sprint) NASA

# ¿Qué vamos a estudiar nosotros?

1. Conceptos básicos, introducción e historia.
2. Sensores y actuadores. Ambiente.
3. Comportamientos
4. Arquitecturas de comportamientos
5. Aprendizaje
6. Robótica colectiva

## ¿Qué no vamos a estudiar nosotros?

- Cinemática y dinámicas de robots como ejes temáticos
- Sistemas tele-operados
- Teoría de control clásica
- Inteligencia Artificial en un sentido clásico

# Historia y confluencia de Cibernética, Inteligencia Artificial y Biología

\*\* Historia desde la cibernética

## Definiciones de cibernética

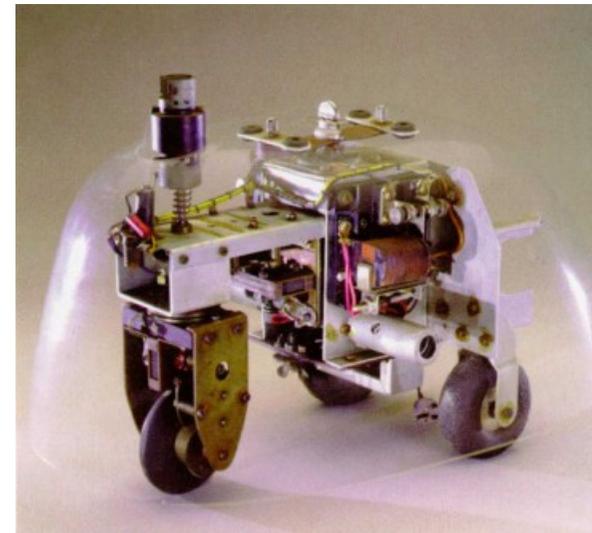
Cibernética es la disciplina de la ciencia que estudia los principios abstractos de la organización en los sistemas complejos. No se interesa tanto en qué constituye a los sistemas, sino en cómo funcionan. La Cibernética se enfoca en cómo los sistemas usan la información, los modelos y el control de las acciones para conducirse hacia sus metas, y mantenerlas, mientras actúan en contra de diversas perturbaciones.

Usualmente esta se basó en modelos matemáticos instanciados en máquinas analógicas.

## ¿Cómo fueron trasladados algunos conceptos de la cibernética a la robótica?

1953 W. Grey Walter (1910-1977) creó el robot Machina Speculatrix instanciada en la tortuga de Walter.

Era un dispositivo analógico con **dos sensores** (fotocélula y detector de choque), **dos actuadores** (un motor daba la dirección y tracción) y dos "**células nerviosas**" (válvulas electrónicas).



## Criterios de diseño:

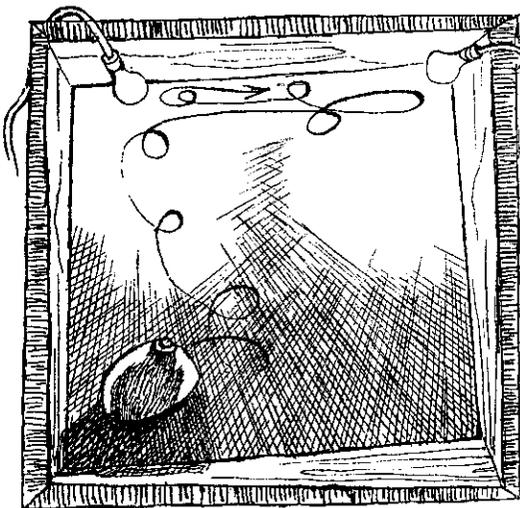
Reflejos simples, combinados, pueden dar comportamientos complejos e impredecibles.

**Aversión:** tropismo en contra de focos adversos (estímulos valorados como negativos).

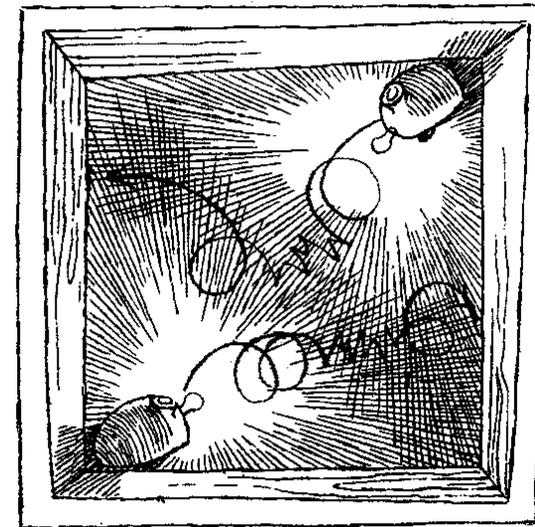
**Dicernimiento:** habilidad de distinguir entre comportamientos productivos de inproductivos.

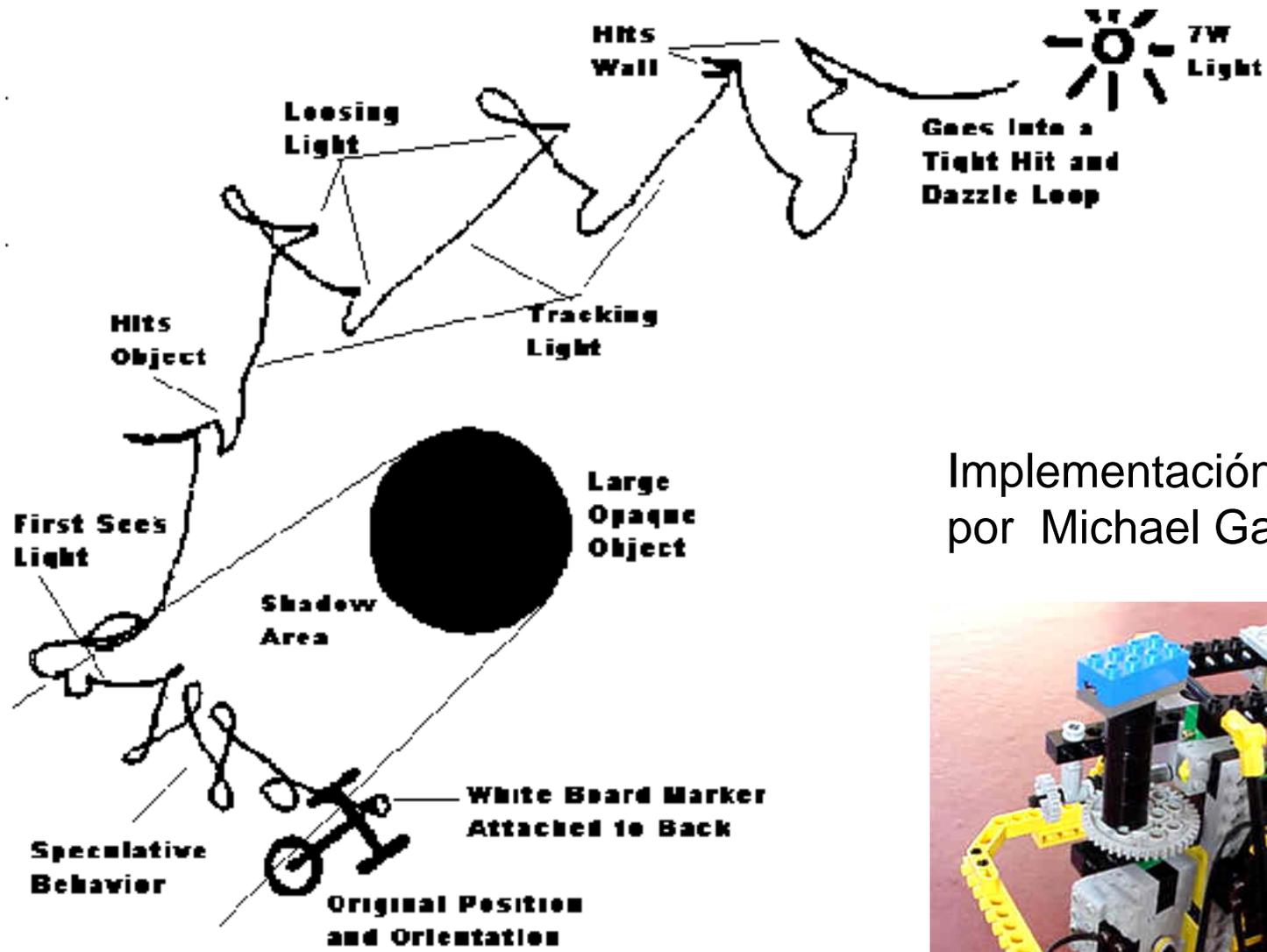
**Atracción:** tropismo hacia focos de atención. En la tortuga era la luz.

**Exploración:** moverse es bueno para evitar ser atrapado pero esto lo hace enfrentarse a situaciones impredecibles.

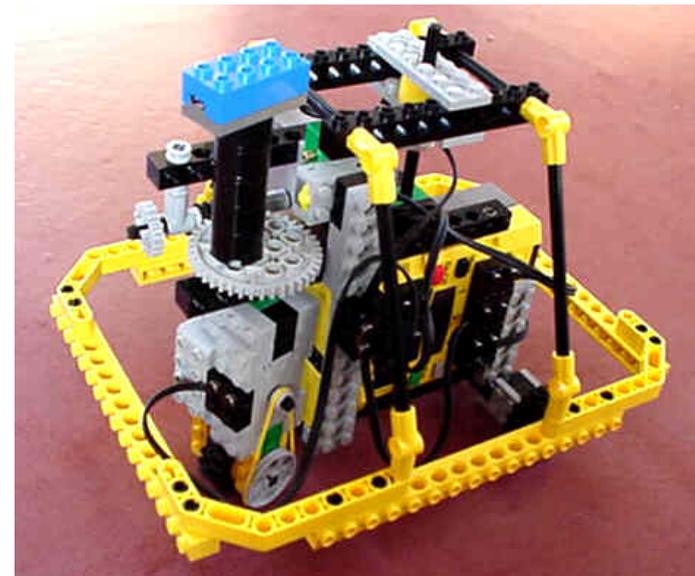


Dibujos de Bernarda Bryson (1950)





Implementación en Lego por Michael Gasperi



Poseía los siguientes comportamientos:

- Buscar fuente de luz tenue
- Ir hacia la fuente de luz tenue
- Ir en contra de una fuente de luz brillante
- Doblar y empujar. (este comportamiento no hacia caso del comportamientos influidos por la luz)
- Recargar

**Vehículos.**

(Braitenberg, Valentino)

## \*\*Historia desde la Inteligencia Artificial

### Definiciones de Inteligencia Artificial

(1) Hacer que las computadoras hagan cosas que, cuando nosotros vemos que las hace la gente, son descritas como indicando inteligencia.

(2) Winston, 1984: describe IA como la disciplina que construye sistemas inteligentes útiles y que trata de comprender la inteligencia humana.

(3) Brooks, 1991: IA es un conjunto de cosas que los humanos hacen la mayoría del tiempo.

Capacidades o habilidades: conductas que pueden ser verificadas.

Un individuo, agente o robot puede poseer un conjunto de capacidades.

Según el contexto, un grupo puede decir que un individuo es inteligente de acuerdo a las capacidades que manifiesta.

La ambigüedad en torno al término inteligencia no sólo se debe a la falta de un consenso sino que también obedece a intereses de un grupo.

## ¿Cómo fueron trasladados algunos conceptos de la IA a la robótica?

Hilare (LAAS)  
Shakey (SRI)  
CART (Stanford)

### **Shakey** ('70) (SRI)

- una cámara,
- un estimador de posición por triangulación,
- sensores de choque,
- conectado a una PDP-10 y a una PDP-15
- comunicación de radio y video.



## **HILARE (1977)**

LAAS en Toulouse, Francia - -

- Video
- Ultrasonido
- Medición de distancia por ranger laser
- Una versión modificada es aún usada
- Construía planes



## **Stanford Cart (1977)**

(Hans Moravec)

- Sonar
- Visión
- Construía planes



Shakey era un robot móvil que habitaba un conjunto de cuartos especialmente preparados.

Las paredes estaban pintadas de un color particular y uniforme.

El piso era de color oscuro quedando definido claramente el límite con la pared.

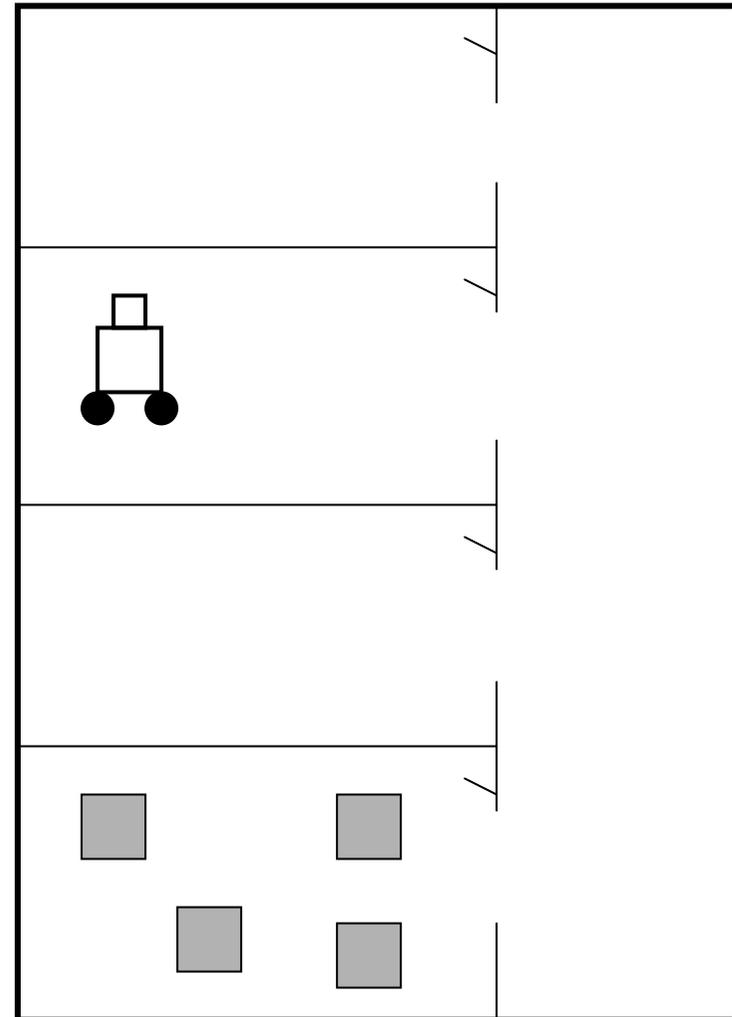
La luz era cuidadosamente controlada.

Shakey trataba de satisfacer un objetivo que le era mandado por un teletipo (STRIPS).

Este navegaba entre medio de obstáculos (grandes bloques poliédricos con sus caras pintadas de diferentes colores para definir claramente sus bordes) los cuales debía evitar o empujar hasta un lugar dado.

Tenía una cámara B&N cuya señal era procesada por una computadora externa y en base a lo que veía operaba con su modelo del mundo.

STRIPS operaba con las descripciones simbólicas y generaba una secuencia de acciones para Shakey que a su vez eran codificadas en una serie de acciones primitivas que se ejecutaban a lazo cerrado teniendo en cuenta otros sensores como uno "de choque" u odometría.



## Acciones

*Ir(y)*

*Empujar(b,x,y)*

*Subir(b)*

*Bajar(b)*

*Encender(i)*

*Apagar(i)*

Un **plan** es una secuencia de acciones que satisfacen una condición (similar a una solución en un resolvidor de problemas).

Cada **acción** tiene **condiciones previas** y **efectos** (que hacen verdadera una condición).

El plan parte de una condición inicial o estado inicial del sistema.

## Condiciones previas

*En(x,r)*

*Empujable(b)*

*Sobre(x,p)*

*Hay que incluir el mapa completo en el momento inicial y el estado de los interruptores.*

*Hay que definir que las puertas están  $En(puerta,r1)$  y  $En(puerta,r2)$  si  $r1$  y  $r2$  son contiguos.*

# Historia desde la biología

## Definición de Etología

Es el estudio del comportamiento de los animales en su estado natural para permitir inferir sus procesos subyacentes.

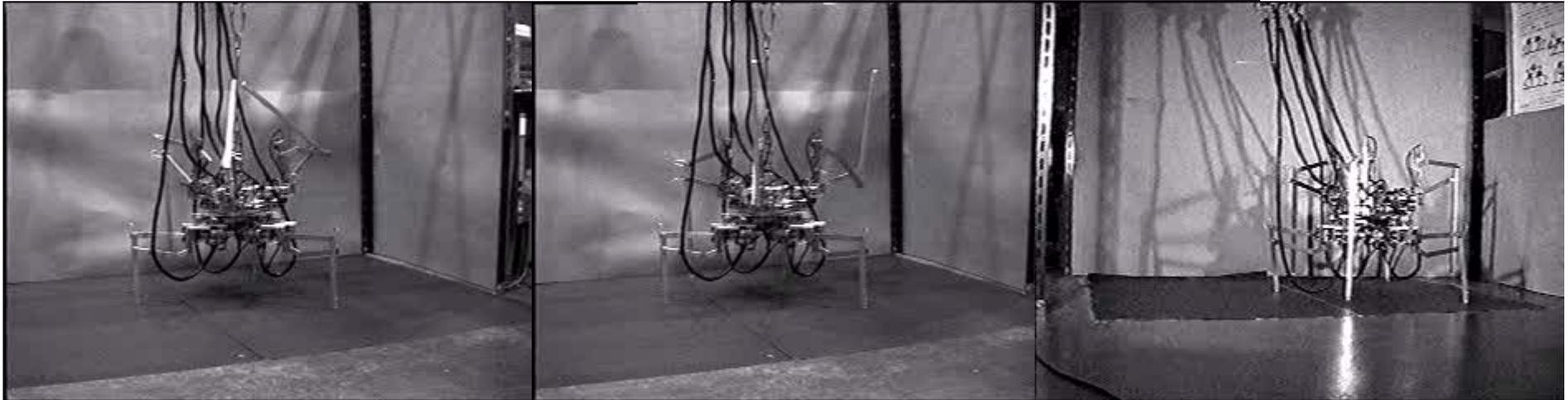
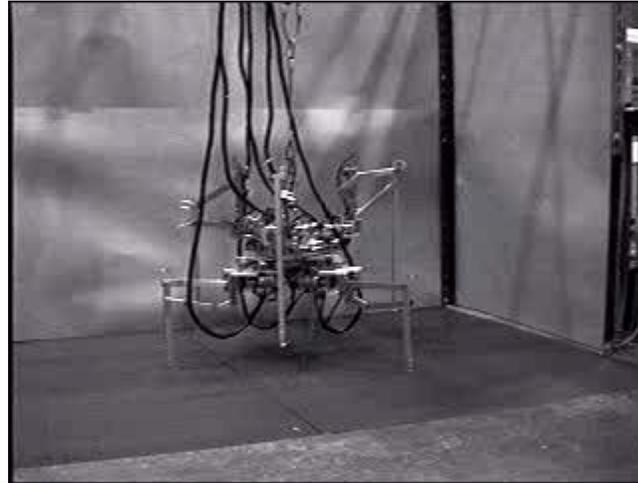
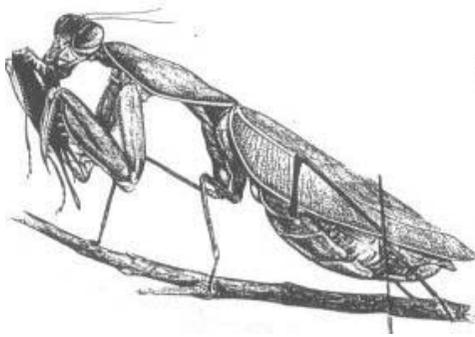
La etología estudia el comportamiento de los animales a la luz de lo que se sabe de su anatomía y fisiología.

Una diferencia con la cibernética es que la etología realmente está interesada en como un animal lleva adelante un comportamiento.

Sin embargo, las inferencias acerca de los mecanismos que explican los comportamientos en los animales puede ser revisadas con el tiempo.

Por ejemplo, la IA se apoyo en conclusiones acerca de la inteligencia animal que avalaban su enfoque. (Mecanismo de Tinbergen 1950, 1951, donde una red jerárquica organizada en nodos permitían realizar una completa selección de acciones [Carlos Gershenson]).

Estas conclusiones luego fueron cambiando y actualmente las explicaciones comparten puntos en comun con el enfoque basado en comportamientos.



## **Modelo animal que integra patas y brazos**

(Noriho Koyachi, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST)

Actuación: patas como brazos y brazos como patas basados en modelo de insectos.

## Transporte cooperativo

(Kabu y Ronabeau, Edmon Research Center, Alberta, Canadá y The Santa Fe Institute, Santa Fe, EEUU)

### Coordinación en forma descentralizada.

Cuando una hormiga encuentra alguna presa para el hormiguero, intenta moverla y si falla, entonces recluta a más hormigas del hormiguero mediante contacto directo o mediante agentes químicos. Cuando empiezan a empujarlo, tanto la posición como dirección puede parecer un poco caótica.



## Neurociencias

Otro enfoque que ha ganado un espacio muy importante es el modelado de sistemas nerviosos o la construcción de formalismos cuyas propiedades tienen puntos en común con algunas propiedades de los sistemas nerviosos en seres vivos.

Sin embargo, el estudio detallado del sistema nervioso en organismos simples no necesariamente conduce a entender el comportamiento de los mismos.

Muchos de los formalismos en el área de la redes neuronales artificiales están basados en la conjetura de Hebb (1949) sobre cómo se producen cambios en la eficacias sinápticas entre neuronas.

Estos formalismos presentan varias capacidades como memoria, clasificación y mapeo entre entradas y salidas.

Estas características pueden ser útiles al momento de sintetizar (dar lugar a ) comportamientos pero no necesariamente explican el mecanismo subyacente en organismos vivos.

## **Definición de robótica basada en comportamientos.**

Situado en un mundo, con cuerpo, la inteligencia surge como un emergente de comportamientos (reactivos) simples actuados en un medio físico.

**Situado en un mundo:** el robot no actúa a partir de un modelo del mundo sino a través de lo que él directamente percibe. El mejor modelo del mundo es la propia percepción del mismo.

**Con cuerpo:** el robot realmente interactúa con su entorno, mueve sus sensores y su dinámica está condicionadas por la naturaleza del entorno.

La **inteligencia** surge de la interacción con el mundo. La complejidad de un comportamiento puede ser vista como la reactividad a un entorno complejo.

La actividad que **emerge** de la concurrencia de un conjunto de comportamientos puede ser difícil de explicitar, a priori, y depende del observador.