

Robótica Cognitiva

Francisco Bellas

Grupo Integrado de Ingeniería
Departamento de Computación

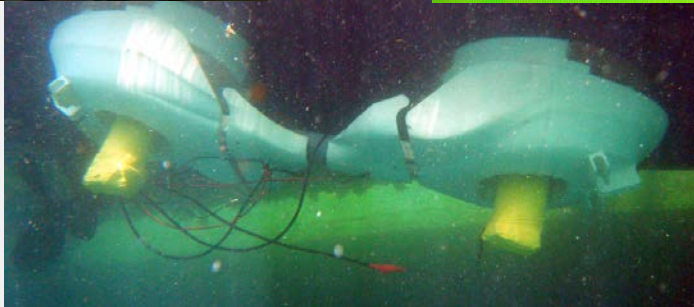
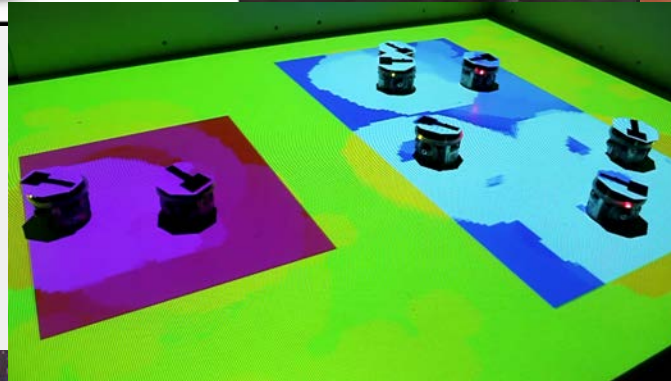
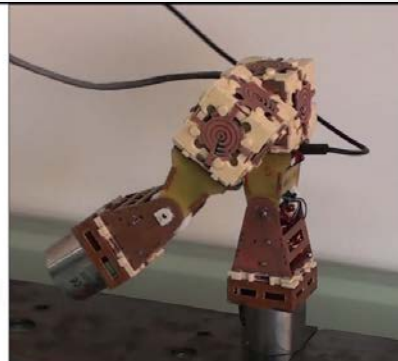
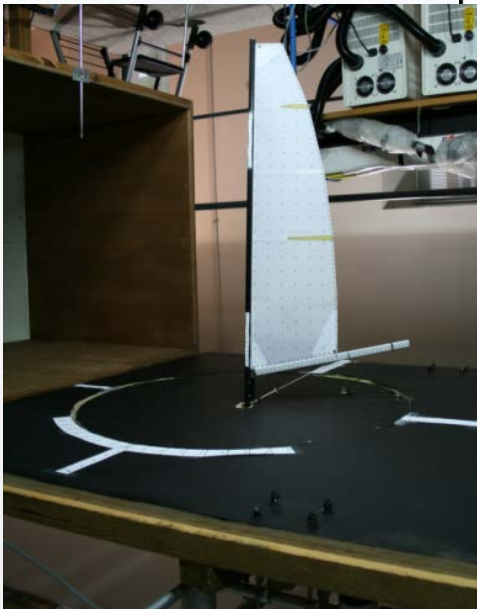


Presentación



- Francisco Bellas
 - Profesor Titular de Universidad
 - Departamento de Computación
 - francisco.bellas@udc.es
 - Extensión: 3886
 - Despacho nº2 Edificio de Talleres Tecnológicos, Campus de Esteiro, Ferrol
- Grupo Integrado de Ingeniería (www.gii.udc.es)
 - Grupo de investigación interdisciplinar
 - Organización Industrial
 - Sistemas Autónomos
 - Ingeniería Naval

Grupo Integrado de Ingeniería





- **Robótica Cognitiva**

- Conceptos básicos en robótica autónoma
- Cognición
- Cognitive Developmental Robotics
- Un ejemplo de arquitectura cognitiva
 - Multilevel Darwinist Brain
- Conclusiones

Conceptos básicos en robótica autónoma



Robot autónomo

- Definición de robot autónomo:

“es una máquina capaz de extraer información de su entorno y utilizar conocimiento sobre su mundo para moverse de forma segura, justificada e intencionada”

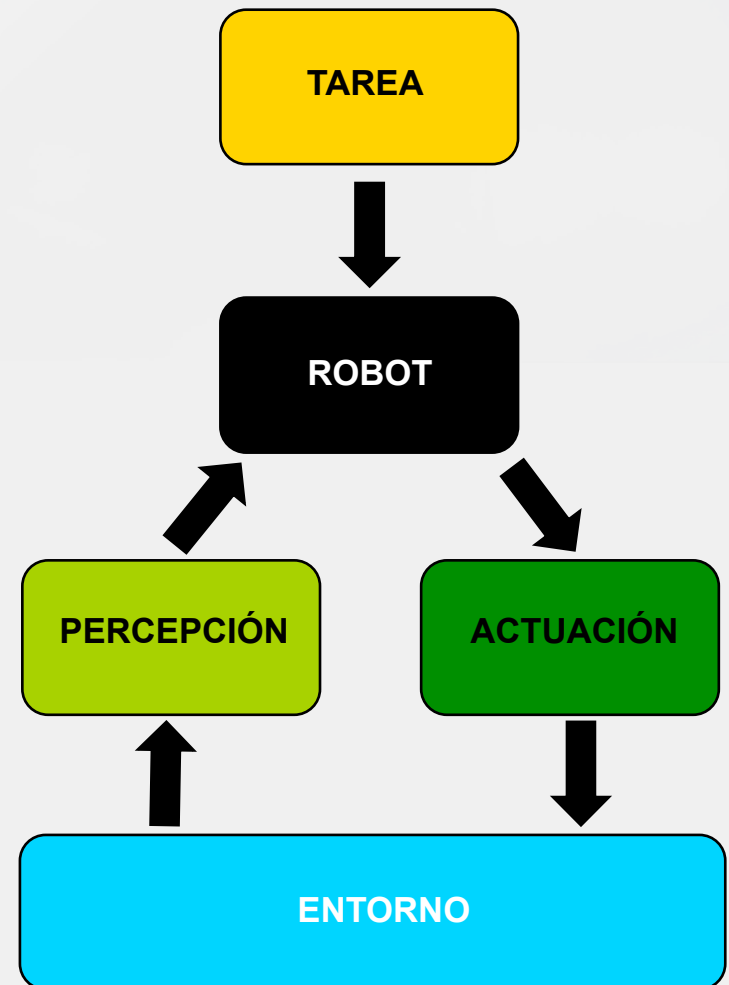
Arkin, Behavior-Based Robotics, 1998



Sistema robótico



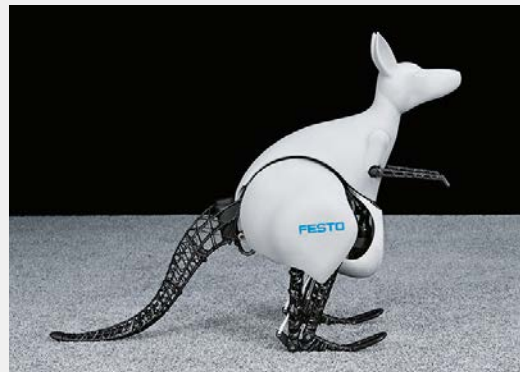
- Tarea:
 - Predefinida por el diseñador
 - Objetivo (motivación)
- Robot:
 - Cuerpo/sensores/actuadores
 - Control
- Percepción:
 - Información sensorial
- Actuación:
 - Directa o indirecta
- Entorno:
 - Mundo real



Control



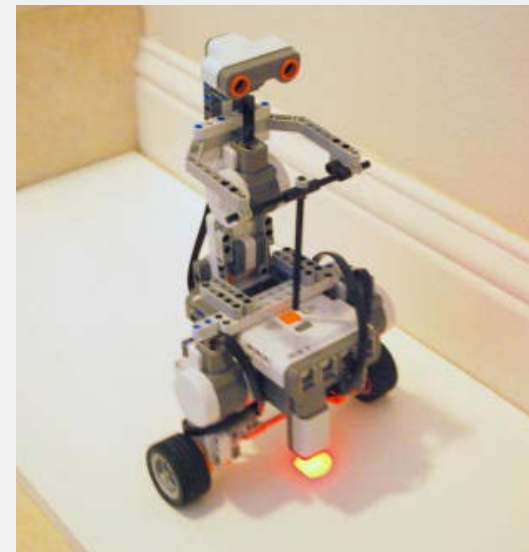
- El controlador de un robot es el sistema encargado de decidir qué acciones tomar en función de los estados externo/interno y del modelo interno (si existe)
 - Toma de decisiones autónoma
- La obtención de controladores ha sido la parte más estudiada en robótica autónoma:
 - Inspiración biológica (insectos, animales, cerebro humano)





Control clásico

- Control proporcional, derivativo, integral (PID)
 - Ampliamente estudiado y utilizado en sistemas de control industrial y en tareas simples en robótica autónoma
- El control clásico no es aplicable en tareas de alto nivel que requieran adaptación a cambios, interacción con humanos u otros robots, etc

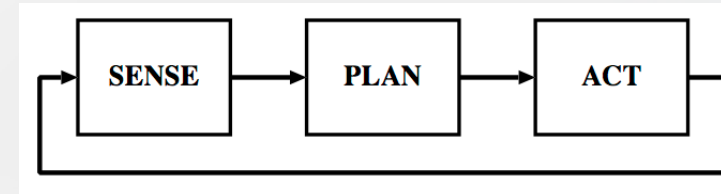




- **Las arquitecturas de control generalizan el concepto de controlador y constituyen una aproximación al “cerebro” del robot:**
 - Selección de acciones
 - Percepción y procesado de la información sensorial
 - Interpretación de la información sensorial para la creación de estados internos, modelos internos y externos
 - Almacenamiento en memoria de la información más relevante

Arquitecturas de control

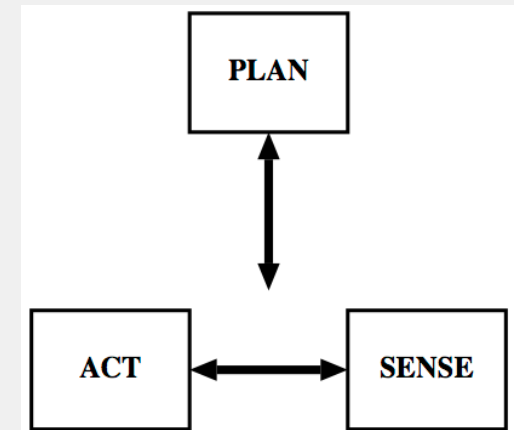
- **Deliberativas**
 - Basadas en el uso de modelos
 - Planificación
 - Representación del conocimiento
- **Reactivas**
 - Controladores reactivos simples
 - Adaptación intrínseca al entorno
 - Robótica basada en comportamientos
 - Limitación en tareas complejas
- **Híbridas**
 - Ventajas e inconvenientes de ambas aproximaciones



Deliberativo



Reactivo



Híbrido

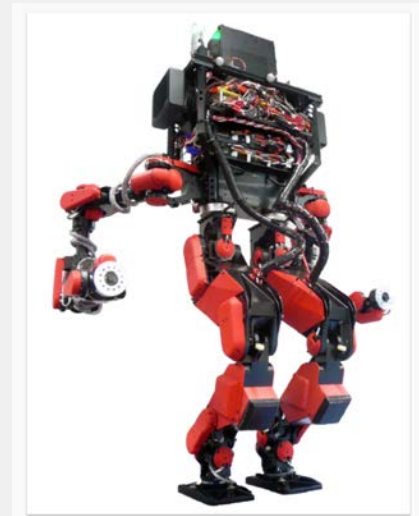
The background is a light blue gradient with several curved, overlapping lines on the left side, creating a sense of depth and movement. A thin white horizontal line runs across the middle of the page, positioned just below the word 'Cognición'.

Cognición

Control vs Cognición



- Los robots futuros serán máquinas muy versátiles
 - Robots de servicio
- Se requiere un **mayor nivel de autonomía**
 - Aprendizaje autónomo de su propia experiencia, de un profesor o de otros robots por imitación
 - Adaptabilidad intrínseca al aprendizaje
- Las arquitecturas de control tradicionales no han mostrado grandes avances a nivel de aprendizaje autónomo en problemas reales
- En la última década se está cambiando el enfoque desde los sistemas de control a los **sistemas cognitivos**



Cognición



DEFINICIÓN (The American Heritage Dictionary of the English Language)

- The mental **process of knowing**, including aspects such as awareness, perception, **reasoning**, and **judgment**

PSICOLOGÍA (procesos cognitivos)

- Procesos mentales implicados en la **adquisición de conocimiento y comprensión**, incluyendo pensar, conocer, recordar, juzgar y resolver problemas

COMPUTACIÓN (D. Vernon, G. Metta, G. Sandini: *A survey of artificial cognitive systems: Implications for the autonomous development of mental capabilities in computational agents*, IEEE Transactions on Evolutionary Computation 11(2), 151–180, 2007)

- Proceso por el cual el sistema **adquiere un comportamiento adaptativo, anticipatorio y autónomo** robusto, ligado a la percepción y acción en un cuerpo físico



- **Un robot cognitivo se caracteriza por su capacidad para adquirir conocimiento de forma autónoma y por su capacidad adaptativa**
- Se utiliza el **modelo cerebral humano** como inspiración:
 - Habilidades neurocognitivas y psicológicas humanas
 - Las tareas cognitivas como percepción, aprendizaje, memoria, emociones, razonamiento, toma de decisiones, comportamientos, lenguaje, consciencia, atención, etc se modelan y se utilizan como fuente de inspiración para los robots autónomos
 - Aproximaciones bio-inspiradas y no bio-inspiradas



Arquitectura cognitiva

- Implementación computacional del modelo cognitivo
- Contienen el sustrato de todas las funcionalidades cognitivas
- Son sistemas muy complejos
 - Ciertas funcionalidades se estudian en profundidad y otras no
- Aproximaciones simbólicas, sub-simbólicas e híbridas
 - Estructuras y dinámicas del cerebro difíciles de replicar para las aproximaciones puramente simbólicas por su plasticidad y dinamismo
 - Procesos de razonamiento de alto nivel son complejos de representar utilizando aproximaciones sub-simbólicas
- Bottom-up y Top-down



Arquitecturas cognitivas

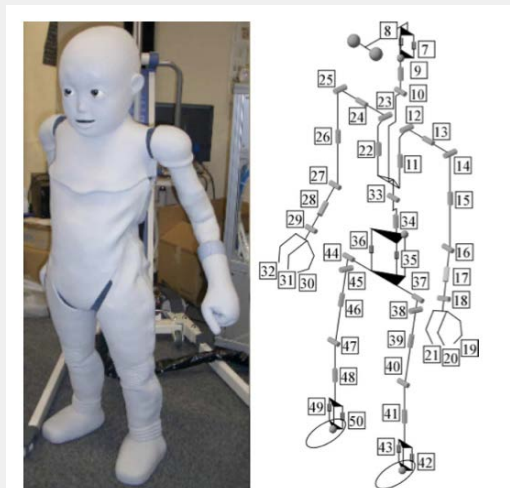
- No nativas para robótica:
 - SOAR, ACT-R, LIDA, MicroPsi, 4D/RCS, OpenCogPrime
- Nativas para robótica:
 - IMA, BBD, Shanahan's global workspace
 - **Cognitive Developmental Robotics**
 - Intelligent Machine Architecture - IMA (Kawamura)
 - Brain-Based Devices - BBD (Krichmar)
 - Self-Affecting Self Aware Cognitive Architecture – SASE (Weng)
 - Multilevel Darwinist Brain – MDB (Bellás)

Cognitive Developmental Robotics



Cognitive Developmental Robotics (CDR)

- Las aproximaciones clásicas en robótica autónoma implementan de forma explícita una estructura de control en el cerebro del robot derivada del entendimiento del diseñador de la física del robot.
- En CDR, la estructura debería reflejar los propios procesos de entendimiento del robot mediante su interacción con el entorno
- **Epigenetic robots:** is a scientific field which aims at studying the developmental mechanisms, architectures and constraints that allow lifelong and open-ended learning of new skills and new knowledge in embodied machines



M. Asada, K. Hosoda, Y. Kuniyoshi, H. Ishiguro, T. Inui, Y. Yoshikawa, M. Ogino, C. Yoshida: *Cognitive Developmental Robotics: A Survey*, IEEE Transactions Autonomous Mental Development 1(1), 12–34 (2009)

Cognitive Developmental Robotics (CDR)



- Objetivo:
 - Diseñar sistemas autónomos abiertos que se adapten a su entorno de forma continua en oposición a construir robots específicos para tareas concretas
- Developmental:
 - Adquisición progresiva de capacidades predictivas anticipatorias a lo largo del tiempo mediante la propia experiencia
- La idea central de CDR es el “**physical embodiment**”
- El proceso de desarrollo se realiza en 2 fases:
 - Desarrollo del individuo en un etapa temprana
 - Desarrollo social mediante interacción con otros individuos



Arquitecturas CDR

1. Deben soportar las dinámicas de las **estructuras neuronales** en las diferentes regiones del cerebro y la **conectividad** entre ellas
2. Deben ser **generadoras de modelos** más que ajustar dichos modelos, organizando las señales sensoriales en categorías sin conocimiento previo
3. El cuerpo del agente especifica las restricciones en la interacción con su entorno que generan y la estructura de interacción con el entorno: **embodiment**
4. Deben tener un conjunto de **comportamientos innatos** o reflejos para poder explorar y sobrevivir en su entorno en las etapas iniciales
5. Deben mostrar **capacidades adaptativas** de cara a mejorar e incrementar el conjunto de comportamientos innatos



Tradicional vs. Developmental

- Tradicional:
 - Comienza con una tarea planteado por el diseñador humano
 - Se diseña una representación específica de la tareas
 - Se programa dicha tarea
 - Se ejecuta el programa en el robot
- Desarrollo autónomo:
 - Se diseña un cuerpo robótica acorde con las condiciones de trabajo
 - Se diseña un programa de desarrollo
 - El robot comienza la ejecución del programa de desarrollo
 - Para que el “cerebro” del robot se desarrolle, el robot interactúa con su entorno, con otros robots y con humanos




Temas actuales en CDR

- Adquisición de representación corporal (desarrollo fetal)
- Movimientos dinámicos voluntarios (gatear, caminar, saltar):
 - Habilidades motoras
 - Desarrollo del sistema músculo/esquelético
- Representación cuerpo/motor y percepción espacial
 - Marco de referencia
- Desarrollo de comportamientos sociales
 - Comunicación temprana
 - Entendimiento de la actuación
 - Imitación
 - Empatía
 - Comunicación verbal

Temas actuales en CDR




 THE UNIVERSITY OF TOKYO

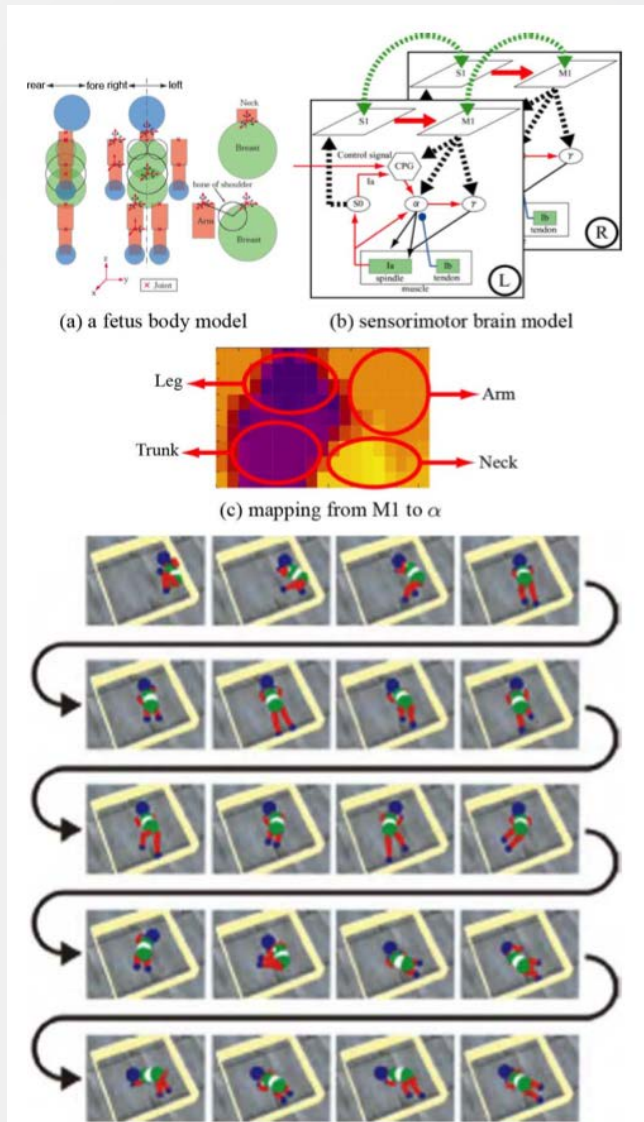
Jumping & Landing Robot "MOWGLI"

with Artificial Musculoskeletal System

Ryuma Niiyama, Yasuo Kuniyoshi



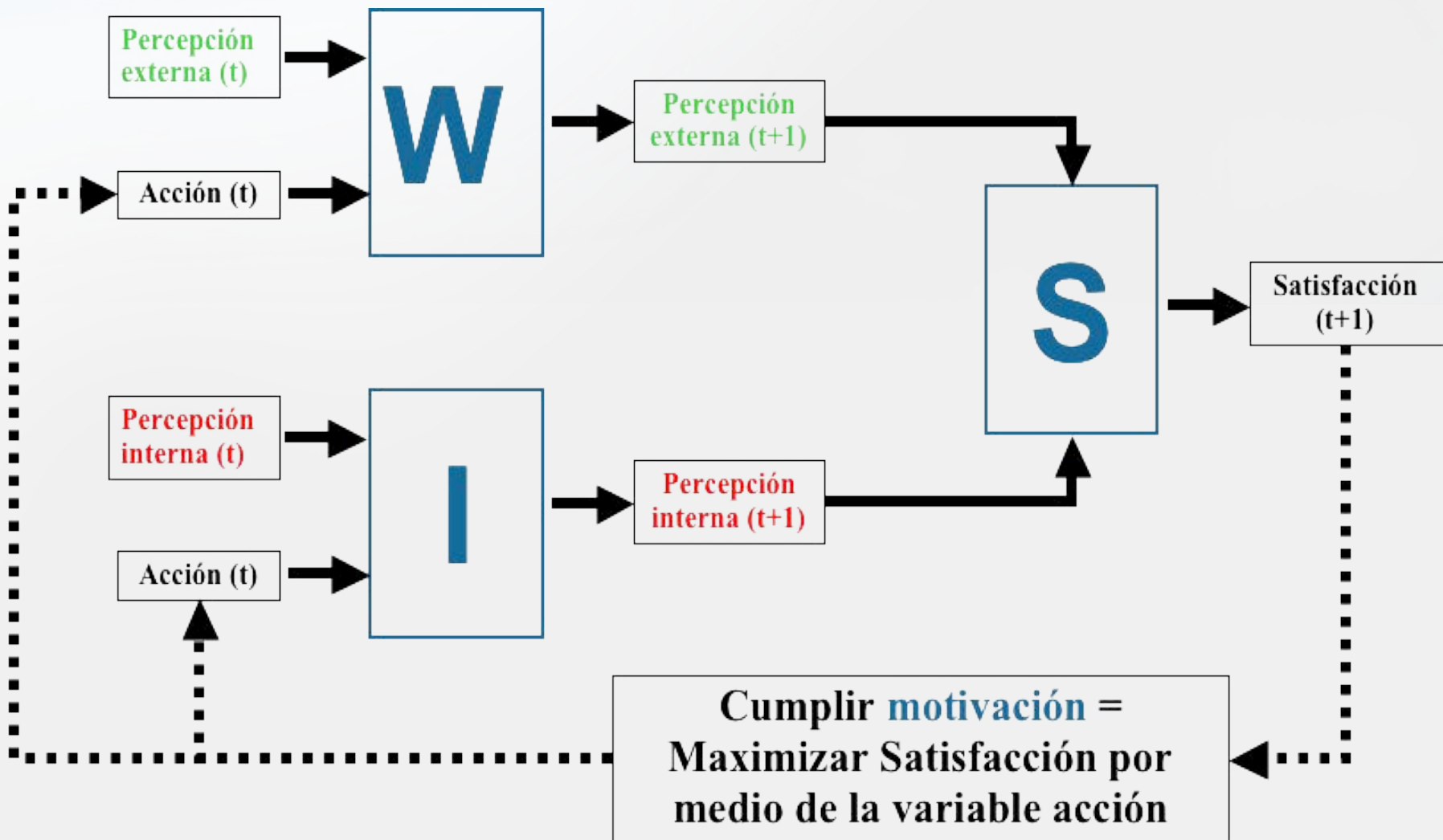
Copyright © 2007 ISI Lab.



Un ejemplo de arquitectura cognitiva

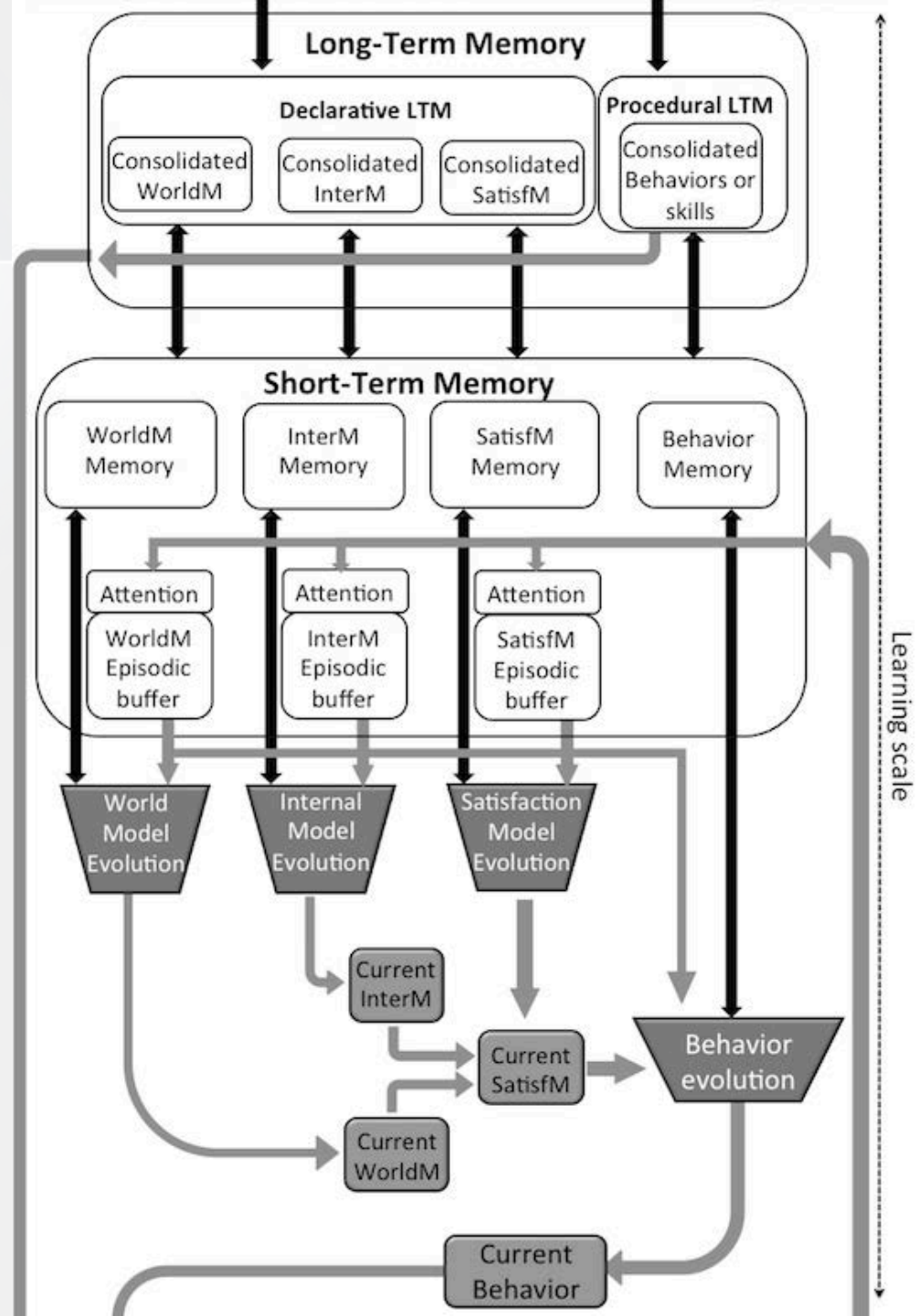
Multilevel Darwinist Brain

Modelo cognitivo básico

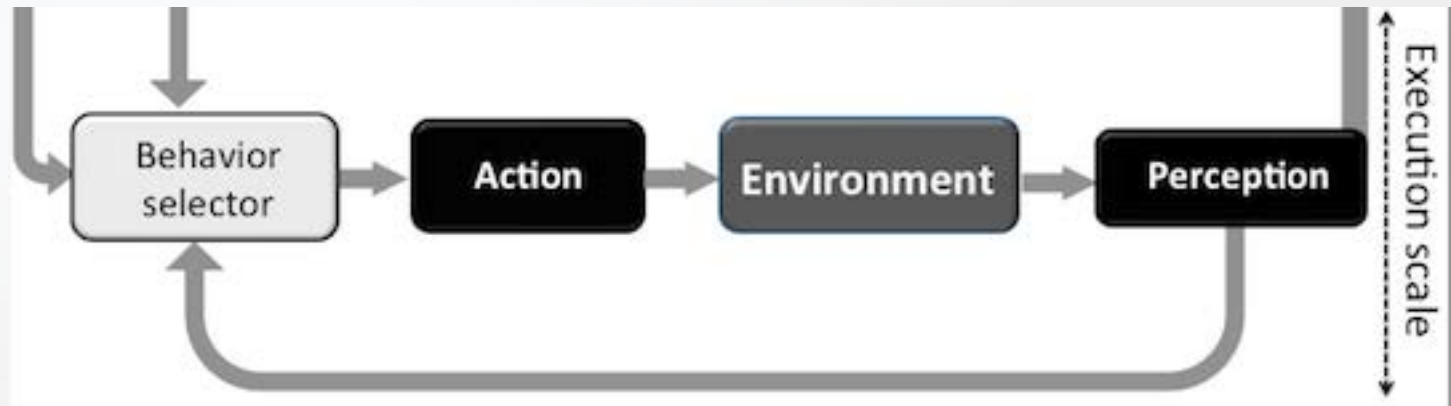


Multilevel Darwinist Brain (MDB)

- **Modelos:** estructuras predictivas (conocimiento **declarativo**)
- **Comportamientos:** estructuras de decisión (conocimiento **procedural**)
- Se obtienen por evolución
- **Episodios:** muestras del mundo real
- **Memorias:** Long-Term (LTM) y Short-Term (STM)

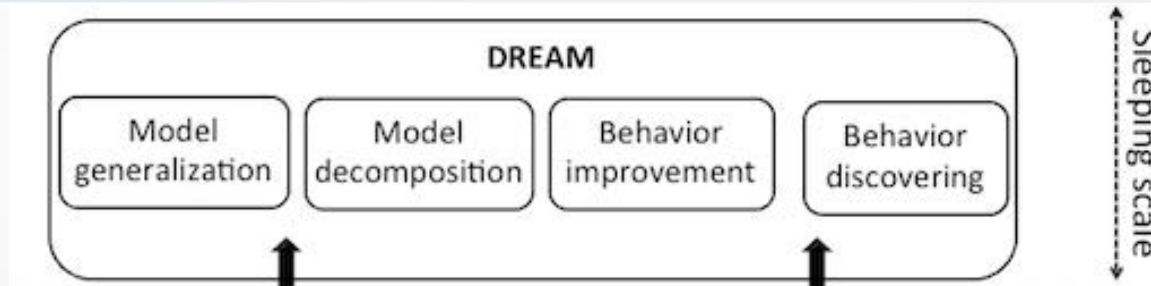


Multilevel Darwinist Brain (MDB)



- Selección de comportamientos
 - El comportamiento actual lo proporciona la escala de aprendizaje (por defecto)
 - Los comportamientos se almacenan en la LTM
- El comportamiento proporciona la acción a los actuadores del robot de acuerdo con las percepciones actuales hasta que se reemplaza por uno diferente

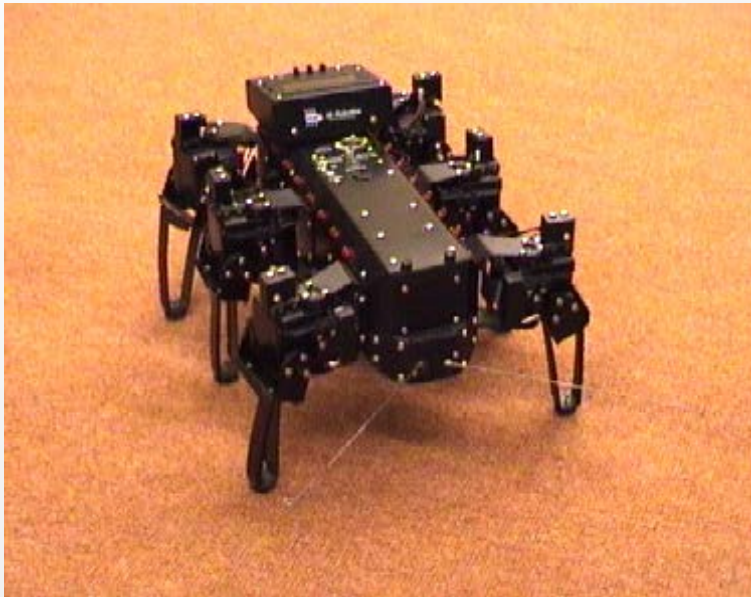
DREAM



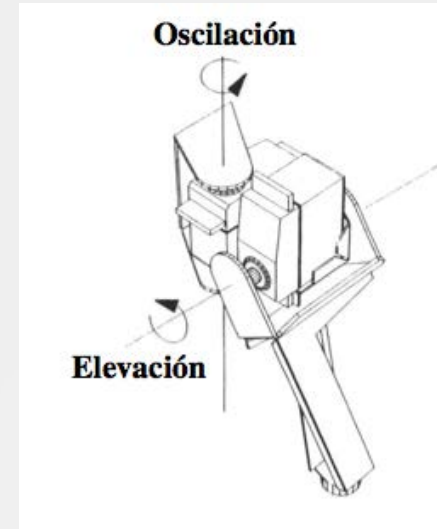
- **Generalización de modelos:** creación de nuevos modelos combinando los existentes en la LTM declarativa
- **Descomposición de modelos:** en otros más simples que capturen las componentes primitivas de la sensorización externa e interna
- **Mejora de comportamientos:** procesos de aprendizaje más profundos en los comportamientos obtenidos en la escala de aprendizaje
- **Descubrimiento de comportamientos:** combinando modelos (de diferentes modalidades sensoriales, por ejemplo) en la LTM procedural para obtener nuevos comportamientos

Ejemplo 1. Aprendizaje de modelos

$$x = A \sin(\omega t + \phi)$$



Robot Hermes II



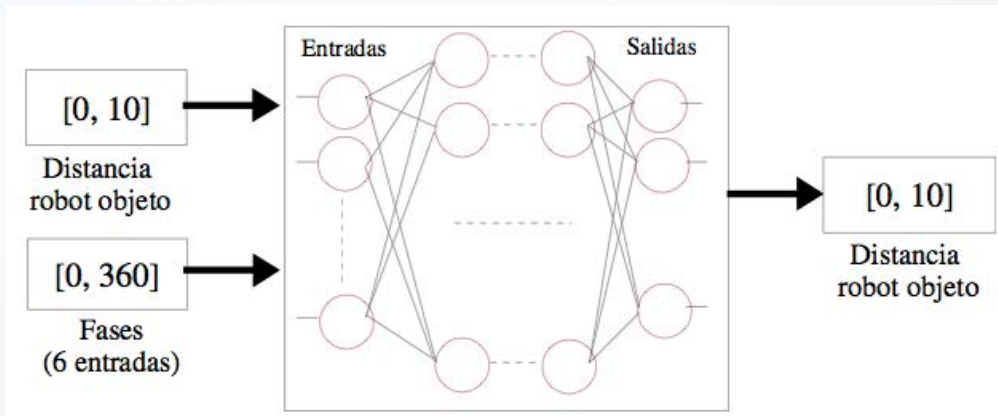
Motor de elevación:

- Fijamos todos los parámetros

Motor de oscilación:

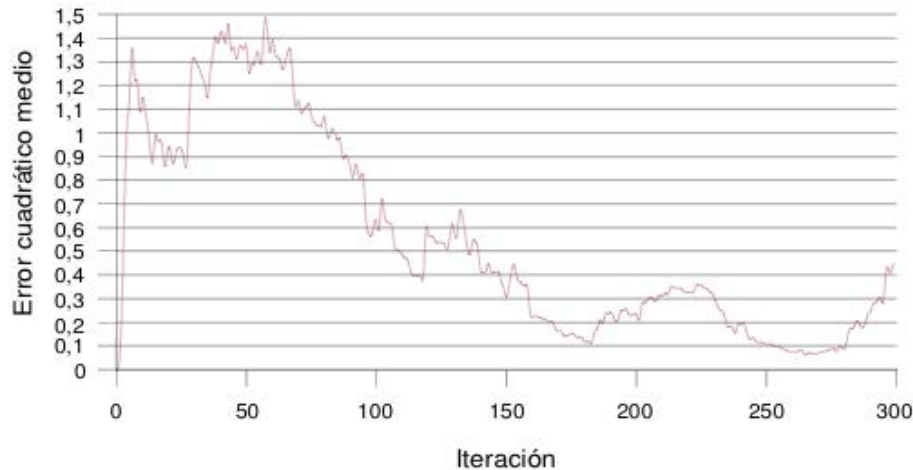
- Fase inicial variable
- Amplitud variable

Modelo de mundo simple



**Robot
Hermes II
aprendiendo
a caminar**

RED 4-4

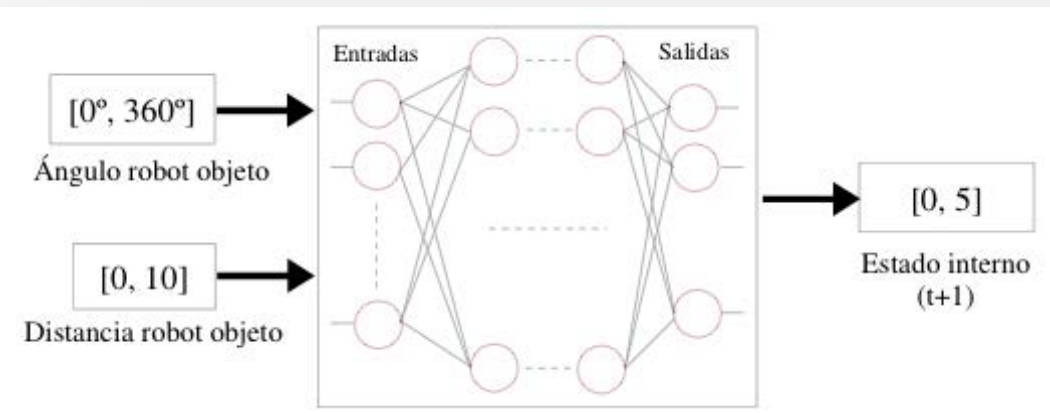
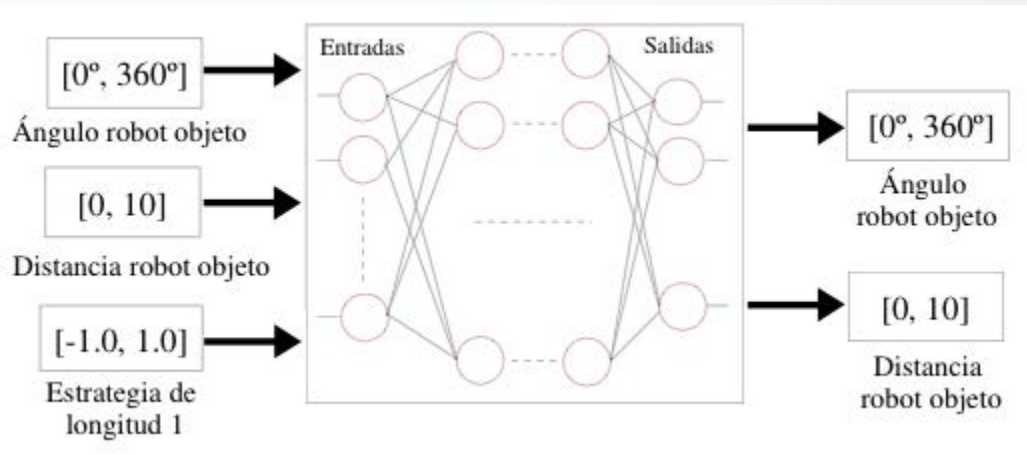


MCP FIFO con 40 episodios

Elefante aprendiendo a caminar



Modelo de mundo y satisfacción



**Robot
Hermes II
aprendiendo
a girar**

MCP FIFO con 40 registros



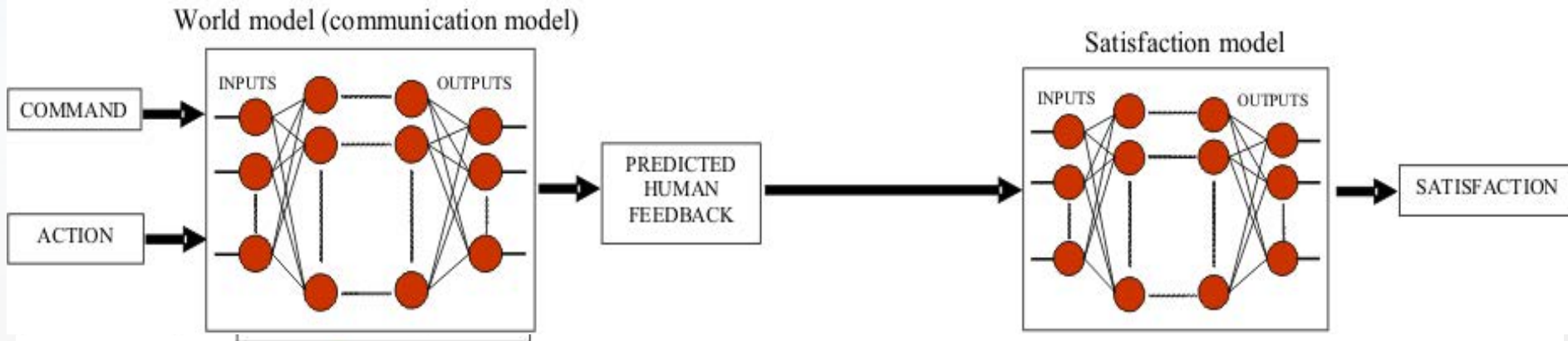
Ejemplo 2. Developmental

- Se utilizan dos modelos de mundo, uno cuando existe profesor y se deben seguir sus órdenes y otro cuando el robot está sólo



F. Bellas, J.A. Becerra, R.J. Duro, *Induced behaviour in a Real Agent using the Multilevel Darwinist Brain*, LNCS 3562, pp 425-436, 2005

Modelo inducido



Operación con profesor:

- El modelo de mundo utiliza un sensor de sonido para los comandos del profesor y el teclado para las recompensas
- Siempre que hay profesor se le debe obedecer
- MCP con estrategia de reemplazo equilibrada y 20 registros

Operación sin profesor:

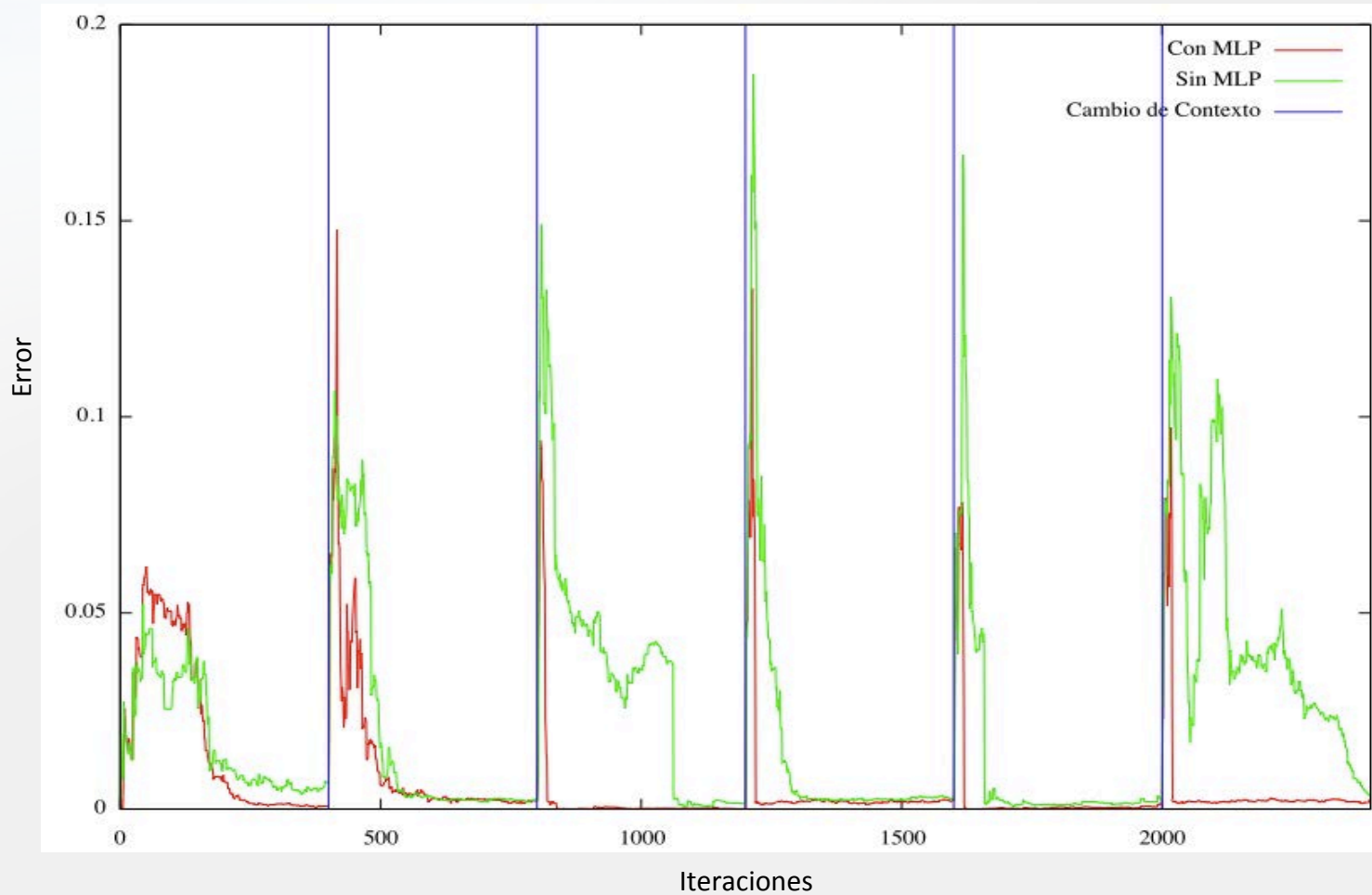
- El modelo de mundo utiliza los sensores de sonar (únicos disponibles sin profesor)
- Al detectar la falta de órdenes se continua con el comportamiento inducido
- MCP con estrategia de reemplazo equilibrada y 20 registros



Operation with teacher

Iterations 1-4

Ejemplo 3. Pruebas MLP

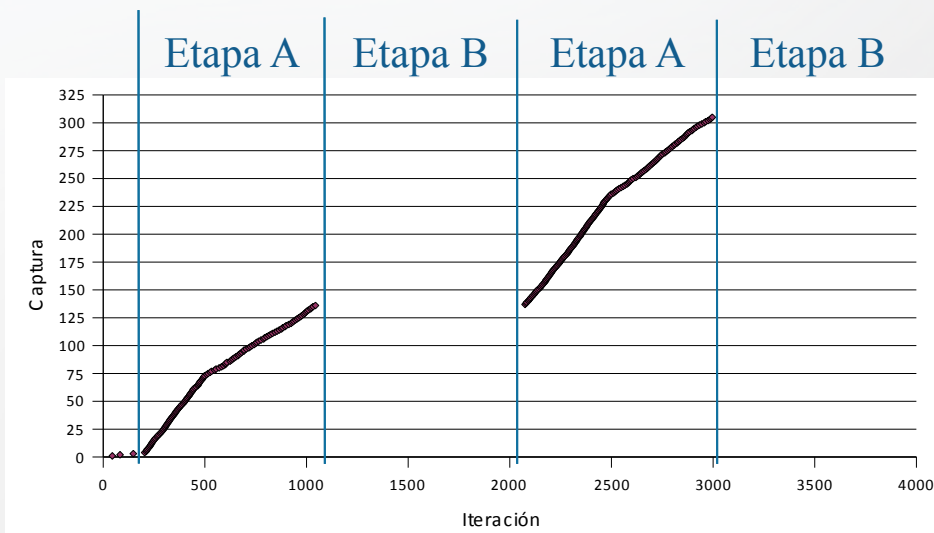


Rodrigo Salgado, Francisco Bellas, Borja Santos-Diez, Pilar Caamaño, Richard Duro, *A Procedural Long Term Memory for Cognitive Robotics. Optimizing Adaptive Learning in Dynamic Environments* (Best paper award), Proceedings of the 2012 IEEE Conference on Evolving and Adaptive Intelligent Systems (EAIS 2012), pp. 1-8, IEEE Press, 2012

Cambio de modelo de satisfacción



Capturas del objeto por parte del robot Pioneer 2



Tras 4000 iteraciones, la MLP almacena 2 modelos, uno para cada profesor

Etapa inicial

**El profesor premia
alcanzar el objeto**



Ejemplo 4. Comportamientos y DREAM

- Operación on-line: Pioneer 2DX simulado con el objetivo de capturar una luz en movimiento mediante dos sensores de luz
 - *Modelo de luz*
 - *Comportamiento de seguir la luz*
 - *Modelo de sonar*

R.J. Duro, F. Bellas, J.A. Becerra, R. Salgado, *A Role for Sleep in Artificial Cognition through Deferred Restructuring of Experience in Autonomous Machines*, SAB 2014, LNAI 8575, pp. 1–10, 2014.





Ejemplo 4. Comportamientos y DREAM

- Operación off-line (DREAM): se evoluciona un nuevo comportamiento in la escala de sueño utilizando el modelo de sonar como simulador
 - *Comportamiento Sonar*



Conclusiones



- El enfoque hacia los sistemas de control avanzados de la robótica tradicional no parece adecuado para dotar a la siguiente generación de robots de la autonomía necesaria
- Los modelos cognitivos inspirados en el cerebro humano proporcionan un nuevo enfoque basado en el desarrollo autónomo progresivo de las capacidades del robot en su entorno y con su propio cuerpo como elementos básicos

Referencias



- IEEE Transactions on Autonomous Mental Development, IEEE Press
- “Neuromorphic and Brain-Based Robots”, Jeffrey L. Krichmar, Hiroaki Wagatsuma, *Cambridge University Press*, 2011
- “Enaction: Toward a New Paradigm for Cognitive Science”, John Stewart, Olivier Gapenne, Ezequiel A. Di Paolo, *A Bradford Book*, 2014
- “How Brains Make Up Their Minds”, Walter J. Freeman, *Columbia University Press*, 2011