

# Sistemas cognitivos: el siguiente paso en la evolución de la robótica

## Esteban Arias-Méndez

Escuela de Ingeniería en Computación  
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica  
✉ esteban.arias@tec.ac.cr

---

## Juan Luis Crespo-Mariño

Área Académica de Ingeniería Mecatrónica  
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica  
✉ jcrespo@tec.ac.cr

---

## José Antonio Becerra-Permuy

Grupo Integrado de Ingeniería. Centro de Investigación CITIC.  
Universidad de Coruña, España  
✉ jose.antonio.becerra.permuy@udc.es

---

## Resumen

El aprendizaje permanente en robótica generalmente alude al hecho de que un robot pudiera abordar los procesos de aprendizaje que involucran las tareas que encuentra durante su vida de manera eficiente. Sin embargo, actualmente existen algunos vacíos en estos enfoques, especialmente en el diseño de una estrategia simple para la regulación autónoma de múltiples unidades para optimizar la operación a largo plazo. Se abordará un progreso real en la robótica cuando algunos de estos problemas abiertos obtengan soluciones realistas y de bajo costo.

Las arquitecturas cognitivas robóticas son mecanismos que pueden conducir a un sistema de aprendizaje de por vida que funcione para hacer frente al aprendizaje abierto. Se brinda acá una revisión muy general de los conceptos básicos de referencia sobre arquitecturas cognitivas. Se resaltan los primeros pasos en esta dirección que se han dado desde el laboratorio LIANA del TEC y la cooperación internacional más relevante en este proceso.

## Palabras claves:

Robótica, robótica cognitiva, arquitectura cognitiva, robots autónomos

## Introducción

Los robots autónomos son la próxima gran tecnología tras la evolución de los enfoques digitales más recientes relacionados con la Inteligencia Artificial (IA). Traer a la "vida" agentes que interactúen de forma natural con los humanos es uno de los principales objetivos de la robótica cognitiva en la actualidad. La teleasistencia a personas mayores, robots en situaciones de desastre, la cooperación humano-robot en la fabricación o el mantenimiento, y muchas otras posibilidades, estarán más cerca de convertirse en realidad cuanto antes desarrollemos la capacidad de crear verdaderos robots autónomos. La IA aún requiere el desarrollo de robots interactivos con capacidades cada vez más cercanas a la de los seres humanos, dotados de capacidades cognitivas a través del avance en los algoritmos que permiten sintetizar el razonamiento, y en conjunto con las nuevas tecnologías de los circuitos integrados, que cada vez son más eficientes y sofisticados, específicos para el desarrollo de la IA.

La palabra robot aparece por primera vez en la obra de teatro R.U.R. (Rossum's Universal Robots, en español Los robots universales de Rossum) escrita por Karel Capek y publicada en 1920. La palabra robot viene del vocablo checo "robota" que significa trabajo, en el sentido de la obligatoriedad, como servidumbre. Desde la antigüedad, diversas culturas han buscado construir máquinas que funcionen de forma automática. Los griegos tenían una palabra específica para denominar a las máquinas de apariencia humana (*Automatos*). Hoy en día las denominamos de forma general como autómatas. Actualmente nos referimos a un robot como una máquina que es capaz de moverse e interactuar en un entorno (usualmente llamado mundo) y realizar tareas de forma precisa y flexible, admitiendo cambios o reprogramaciones de la misma.

Su apariencia es muy variable, desde aquellos con características o apariencia humanoide, algunos aéreos como ciertos drones, los que cuentan con características especializadas y precisas como los brazos robóticos, algunos populares hoy en día como las aspiradoras automáticas y otros que asemejan animales en 4 patas. Sin embargo, todas estas máquinas no son totalmente autónomas. Realizan tareas preprogramadas, preestablecidas con criterios delimitados para su entorno o mundo específico.

La robótica cognitiva es una disciplina que busca dotar a los robots de autonomía, de capacidades cognitivas y de inteligencia cada vez mayores. Para esto, los mecanismos o arquitecturas cognitivas son herramientas esenciales en este campo de investigación. Dotar a un robot de comportamientos complejos obtenidos de forma automática e incremental no ha sido un método factible ni eficiente hasta hoy en día para los ordenadores, ya que es difícil la reutilización de funciones de programación informática, el intercambio de información de cualquier tipo y la forma en que la información se almacena para su posterior uso. Es necesario definir estructuras de datos informáticas adecuadas que representen elementos de conocimiento (llamados *nuggets* de conocimiento o KN, por sus siglas en inglés de knowledge-nuggets) y algoritmos para construir capacidades de autoaprendizaje, o aprendizaje abierto, que conduzcan a la cognición en un robot, y con esto su autonomía.

Las técnicas más recientes para abordar este tema generalizan la idea de una arquitectura de software (la estructura y la relación entre las diferentes partes de un software y sus propiedades) como estructura central para la organización de elementos clave en los procesos cognitivos: percepción, motivación, memoria, aprendizaje y acciones. Esta arquitectura hace posible partir de políticas y modelos primitivos que operan en espacios de estado/acción grandes y continuos (generales) y así avanzar progresivamente hacia estructuras de mayor nivel definidas en espacios de estado/acción más pequeños y discretos (más específicos) en términos de su contexto (llamados mundos o dominios), para las tareas (metas u objetivos) requeridas por los robots.

Trabajos recientes han proporcionado contribuciones a algunas de las partes principales de estas arquitecturas, principalmente en las áreas de percepción y motivación. La percepción permite captar información del entorno del robot como visión artificial y otros sensores, la motivación actúa como motor en la búsqueda y consecución de objetivos. Sin embargo, el área de la memoria no se ha desarrollado completamente. La memoria actualmente proporciona almacenamiento temporal para algunas de las acciones y decisiones del robot. Aprender tal como lo conocemos requiere que

recordemos eventos anteriores y apliquemos lo que hemos aprendido en la toma de decisiones en nuevos escenarios para nuevas acciones. Esta capacidad de recordar cosas aprendidas se conoce formalmente como memoria a largo plazo (o Long-Term Memory, LTM).

## Avances recientes en la investigación

Las arquitecturas cognitivas robóticas recientes giran en torno a una memoria a largo plazo basada en red que puede conducir a un sistema de aprendizaje de por vida que funcione para lidiar con el aprendizaje abierto. La interacción mutua entre un motor motivacional y la memoria a largo plazo que produzca de forma autónoma representaciones de utilidad de alto nivel. El aprendizaje abierto es un tipo de aprendizaje mediado por las intenciones y propósitos únicos del individuo [1]. En otras palabras, el individuo es quien define qué, cuándo y cómo se producirá el aprendizaje en función de sus objetivos y de las necesidades que surgen de su interacción con el medio [2]. Desde un punto de vista computacional, también implica que un agente o robot debe resolver una secuencia ilimitada que no se conoce de antemano y, en consecuencia, la forma de resolverlos no se puede construir en tiempo de diseño [3]. El robot debe incorporar mecanismos que le permitan descubrir cómo resolver una tarea particular en un dominio dado en tiempo de ejecución.

El aprendizaje permanente en robótica generalmente alude al hecho de que un robot pueda abordar los procesos de aprendizaje abiertos que involucran las tareas y los dominios que encuentra durante su vida de manera eficiente. Puede permitir hacer algo mejor que simplemente manejar cada proceso de aprendizaje de forma independiente [4]. El robot debe tener la oportunidad de reutilizar el conocimiento adquirido en diferentes procesos de aprendizaje abiertos para que los desafíos de aprendizaje posteriores sean cada vez más accesibles. En este sentido, el aprendizaje permanente puede beneficiarse de los principios y avances de la robótica del desarrollo [5] y el desarrollo cognitivo [6]. El problema de crear robots para una operación abierta de por vida rara vez se ha abordado desde el punto de vista del diseño. Es decir, desde la perspectiva de poder diseñar cómo el robot debe aprender y comportarse en los diferentes dominios, a priori desconocidos, que enfrentará a lo largo de su vida para que estos comportamientos sirvan a los propósitos del diseñador [7].

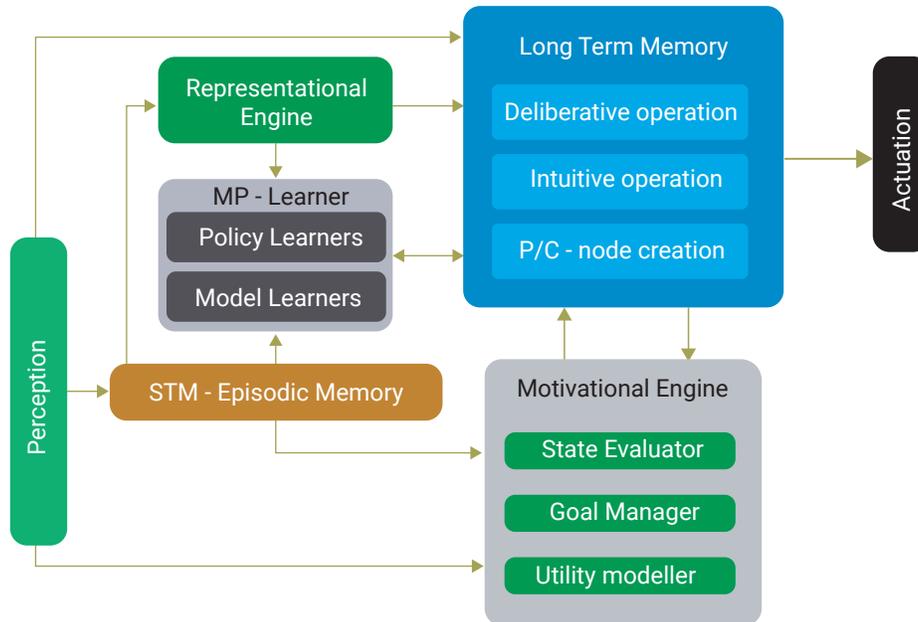
Esto es precisamente lo que es un mecanismo cognitivo en el fondo: una estructura funcional con métodos de operación (ejecución, coordinación, aprendizaje, etc.) para sus KN. Todos los mecanismos cognitivos contienen diferentes tipos de memorias y, en ellas, almacenan diferentes KN, tales como políticas/comportamientos/controladores, modelos de mundo/ambiente, objetivos, percepciones y abstracciones de estos, entre otros.

Actualmente existen algunos vacíos en estos enfoques, especialmente en el diseño de una estrategia simple para la regulación autónoma de múltiples unidades para optimizar la operación a largo plazo. El progreso real en la robótica cognitiva se abordará cuando algunos de estos problemas abiertos se vuelvan realistas y con soluciones de bajo costo.

Todo lo que aprendemos lo hacemos porque es posible guardarlo o almacenarlo, y aquí es donde la memoria del individuo o del robot es vital para lograrlo. La memoria a largo plazo (LTM) es un elemento de memoria de nivel superior que almacena la información obtenida después del análisis de datos reales almacenados en memorias de corto alcance. Desde un punto de vista psicológico, la LTM almacena los conocimientos adquiridos por el agente durante su vida y experiencia. Este conocimiento está representado por modelos y comportamientos.

Para el aprendizaje a lo largo de la vida se requiere una metodología para diseñar el sistema de impulso por necesidad, así como un mecanismo operativo que permita la selección de metas y habilidades aprendidas previamente. El Cerebro Darwinista Multinivel (MDB, por sus siglas en inglés de Multilevel Darwinist Brain) es una arquitectura cognitiva general presentada por primera vez en el 2000 [8], que sigue un enfoque de robótica de desarrollo para la adquisición automática de conocimiento en un robot real a través de la interacción con su entorno para que pueda adaptar su comportamiento de forma autónoma para lograr sus objetivos de diseño.

Para conseguir la deseada adaptación a través de la evolución establecida por las teorías darwinianas, base de esta arquitectura, se han utilizado Redes Neuronales Artificiales (RNA) como representación de los modelos, principalmente por su idoneidad para ser adaptados a través de procesos evolutivos. No hay limitación con respecto al tipo de RNA que se puede usar en el MDB. La adquisición de conocimiento en la MDB es un proceso neuroevolutivo dedicado al aprendizaje de los parámetros de la RNA. La neuroevolución es una herramienta de aprendizaje de referencia por su robustez y adaptabilidad a entornos dinámicos y tareas no estacionarias [9,10,11]. El modelo de arquitectura cognitiva MDB se resume en la Figura 1.



**Figura 1.** Ejemplo de una Arquitectura Cognitiva. El Cerebro Darwinista Multinivel (MDB) es una arquitectura cognitiva que sigue un enfoque evolutivo para proporcionar a los robots autónomos una adaptación de por vida. Tomado de [12].

## Primeros pasos en el TEC

En los años recientes el Laboratorio de Inteligencia Artificial para las Ciencias Naturales (LIANA), del Área Académica de Ingeniería Mecatrónica del TEC (<https://www.tec.ac.cr/unidades/laboratorio-inteligencia-artificial-ciencias-naturales-liana>) ha incursionado en algunos proyectos de robótica básica. Durante el 2022 se concretó la primera fase del proyecto Open Source Cognitive Applied Robot (OSCAR), donde han participado estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, un robot formado por dos brazos antropomorfos y una cámara cenital, que podrán ser utilizados para múltiples funciones, Figura 2.

La idea fundamental en el desarrollo de OSCAR consiste en disponer de una plataforma completamente abierta en términos de software y hardware, y con una intervención amplia del equipo investigador de LIANA en su proceso de diseño (de forma que se disponga de un conocimiento de su creación que facilite el futuro desarrollo de versiones mejoradas, alternativas, o se facilite la producción de más ejemplares del diseño original). De esa manera, se dispondrá de una herramienta económica, flexible y adecuada para constituirse en la plataforma de investigación y desarrollo de la línea de investigación en Robótica Cognitiva de LIANA. Además, el propio proceso de desarrollo, diseño, construcción y revisión constituye una fuente importante de proyectos de graduación de alto valor para estudiantes de grado.

En la siguiente fase de este proyecto se busca crear una herramienta de control y manipulación de alto nivel, que permita a casi cualquier persona interactuar y dar comandos; además, de establecer la plataforma ROS 2 (Robotic Operating System) como el marco de software de referencia para

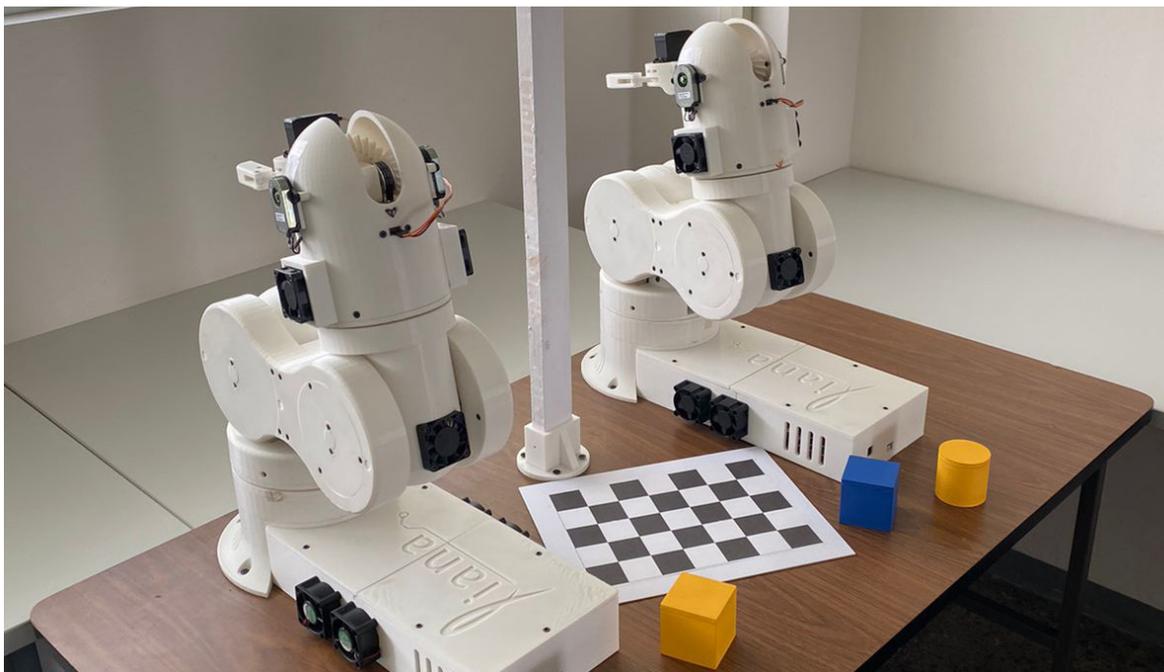


Figura 2. Proyecto Open Source Cognitive Applied Robot (OSCAR). Imagen LIANA.

facilitar la comunicación entre programas de alto nivel. El uso de ROS 2 como plataforma de trabajo permitirá desarrollar otras habilidades de orden superior en el futuro cercano. Tales como el uso de una arquitectura cognitiva base, para el estudio, desarrollo y análisis de habilidades cognitivas más complejas que podrán ser implementadas.

## Colaboración internacional

Actualmente se trabaja en un proyecto de investigación para caracterizar y validar una representación de conocimiento para el fenómeno de aprendizaje en memorias a largo plazo para arquitecturas cognitivas de robots autónomos. Este se desarrolla en colaboración con el Grupo Integrado de Ingeniería (GII) (<https://gii.udc.es/>) de la Universidade da Coruña (UDC) en España.

La colaboración entre el TEC y la UDC data de varios años, diversas generaciones de estudiantes han realizado mediante pasantías sus prácticas profesionales como parte de proyectos de investigación dentro del GII. El GII es propiamente donde nació la propuesta del MDB, la cual se ha ido mejorando y ampliando con los años.

Este proyecto busca contribuir a la próxima generación de robots autónomos con mayores capacidades para trabajar con o sin supervisión limitada; potenciar la capacidad cognitiva de los robots a partir del estado actual del arte para alcanzar mayores niveles de interacción y autonomía. Para lograr esto, puede requerir: percepción avanzada, acción e interacción inteligentes, razonamiento y aprendizaje, mayor interpretación/comprensión de los entornos complejos del mundo real (que posiblemente involucren acciones humanas), la anticipación del efecto de las acciones, adaptación y replanificación, degradación elegante, seguridad y protección.

Esto se puede abordar proporcionando una arquitectura cognitiva que incluya control motivacional, percepción activa multimodal basada en la atención, redescipción y abstracción representacional, equilibrio de reacción/deliberación, LTM basado en el contexto distribuido y toma de decisiones, con propósito, modelado del mundo y aprendizaje de habilidades intrínsecamente motivado, estudio de seguridad/protección en estos sistemas.

El objetivo de este proyecto es desarrollar y validar una representación del conocimiento (knowledge nuggets o KN) y algoritmos para la evaluación de características de interés para la Memoria a Largo Plazo en robots autónomos.

Además, este proyecto se enmarca en un proyecto Europeo Horizon que recién inicia, denominado PILLAR-Robots: Purposeful Intrinsically-motivated Lifelong Learning Autonomous Robots. Coordinado desde el GII de la UDC en España, en asociación con otros centros de investigación de Italia, Francia y Grecia,

La robótica cognitiva es una disciplina de absoluta avanzada, que abre el camino para el desarrollo de sistemas de naturaleza física (como son los robots) dotados de capacidades y posibilidades para realizar acciones de alto grado de interacción con los humanos, de forma segura y eficiente, y prolongada en el tiempo, favoreciendo el aprendizaje de manera natural y estructurada. El desarrollo de una línea de investigación en el área dentro del TEC, caracterizada por el trabajo interdisciplinar y con proyección y conexión internacional, supone un elemento especialmente útil para la consecución de los objetivos del TEC en cuanto a logros educativos y de desarrollo de innovación e investigación.

## Referencias

- [1] W.M. Roth, A. Roychoudhury, The development of science process skills in authentic contexts, *J. Res. Sci. Teach.* 30 (2) (1993) 127–152.
- [2] S.M. Land, M.J. Hannfin, A conceptual framework for the development of theories in action with open-ended learning environments, *Educ. Technol. Res. Dev.* 44 (3) (1996) 37–53.
- [3] S. Doncieux et al., Open-ended learning: a conceptual framework based on representational redescription, *Front. Neurobot.* (2018).
- [4] S. Thrun, T.M. Mitchell, Lifelong robot learning, *Rob. Auton. Syst.* 15 (1–2) (1995) 25–46.
- [5] J. Weng et al., Autonomous mental development in robots and animals, *Science* (80) 291 (2001) 599–600.
- [6] M. Asada et al., Cognitive Developmental Robotics: A Survey, *IEEE Trans. Auton. Ment. Dev.* 1 (1) (2009) 12–34.
- [7] D. Vernon, *Artificial cognitive systems: A primer*, MIT Press, 2014.
- [8] R. Duro, J. Santos, F. Bellas, and A. Lamas, “Online Darwinist cognitive mechanism for an artificial organism,” *Proceedings supplement book SAB2000*, pp. 215–224, 2000
- [9] Yao, Xin. “Evolving artificial neural networks.” *Proceedings of the IEEE* 87, no. 9 (1999): 1423-1447
- [10] Romero, Alejandro, et al. “Analysing autonomous open-ended learning of skills with different interdependent subgoals in robots.” *2021 20th International Conference on Advanced Robotics (ICAR)*. IEEE, 2021.
- [11] Becerra, José Antonio, et al. “Motivational engine and long-term memory coupling within a cognitive architecture for lifelong open-ended learning.” *Neurocomputing* 452 (2021): 341-354.
- [12] Bellas, Francisco, Richard J. Duro, Andrés Faiña, and Daniel Souto. “Multilevel Darwinist Brain (MDB): Artificial evolution in a cognitive architecture for real robots.” *IEEE Transactions on autonomous mental development* 2, no. 4 (2010): 340-354.

## Sobre los autores

### **Esteban Arias-Méndez**

Esteban Arias Méndez es profesor e investigador de la Escuela de Ingeniería en Computación del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Campus Tecnológico Central Cartago, desde 2014. Ingeniero en Computación, Máster en Ciencias de la Computación. Actualmente estudiante del Doctorado Académico en Ingeniería TEC-UCR. <https://orcid.org/0000-0002-5600-8381>

### **Juan Luis Crespo-Mariño**

Juan Luis Crespo Mariño es Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Santiago de Compostela y Dr. Ingeniero Industrial por la Universidad de A Coruña (ambas en España). Docente e Investigador activo del Área de Ing. Mecatrónica, del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Campus Tecnológico Central Cartago desde 2015. <https://orcid.org/0000-0002-2716-4107>

### **José Antonio Becerra-Permy**

José Antonio Becerra Permy es Licenciado y Dr. en Informática por la Universidad de A Coruña. Profesor en Ciencias de la Computación y Tecnologías de la Información. Miembro del Grupo Integrado de Investigación en Ingeniería (GII) de la Universidade da Coruña, A Coruña, Galicia, España. <https://orcid.org/0000-0002-3259-3416>