

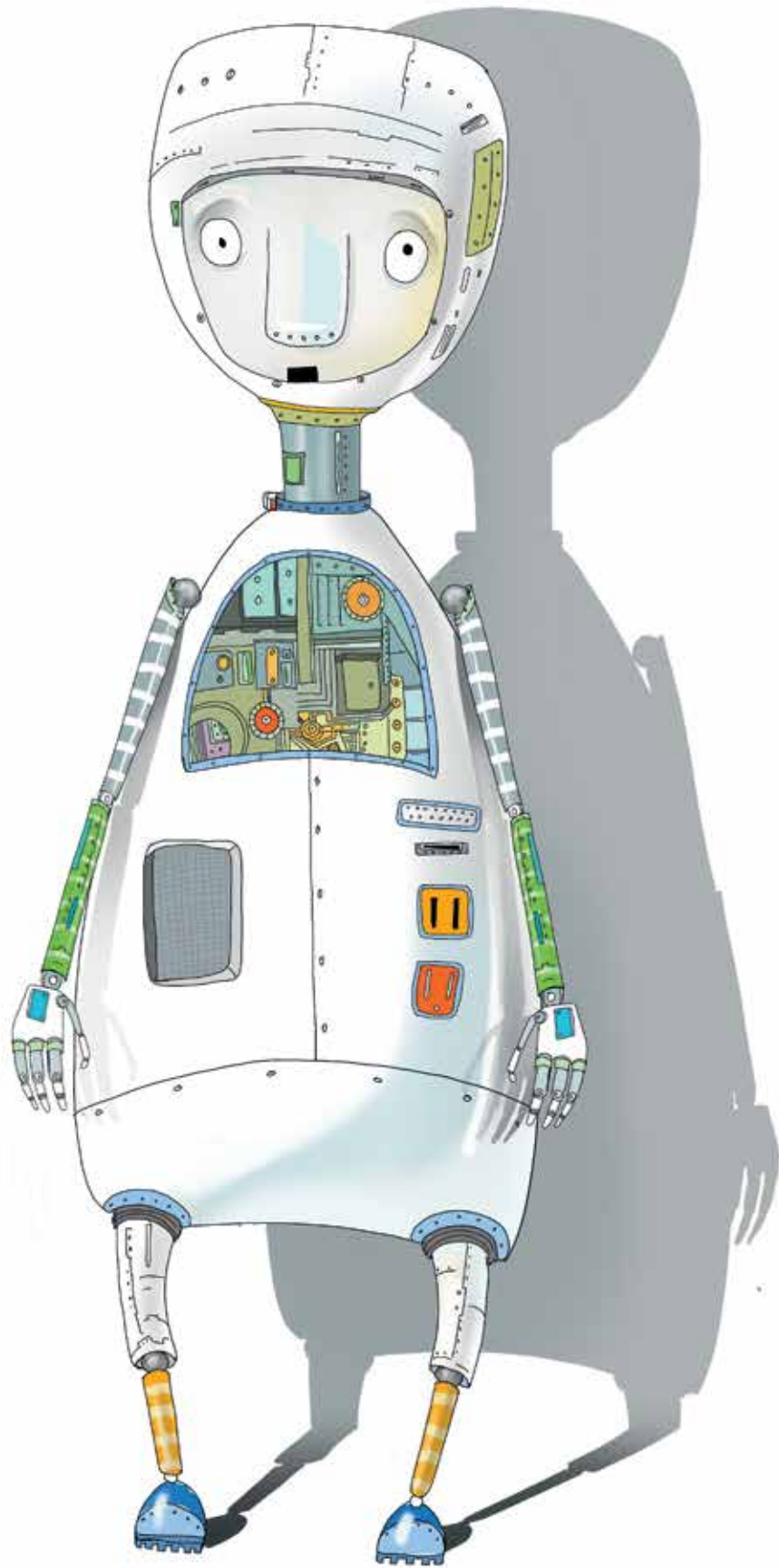
Técnicas de inteligencia artificial para la operación de robots de servicio

¿Cómo se ha usado la inteligencia artificial en los robots de servicio? Aquí te lo contamos. Partimos de los métodos tradicionales de la robótica, luego pasamos a cómo se utilizaron los métodos reactivos y los basados en datos, hacemos mención también de las redes neuronales generativas y cómo se pueden utilizar en los robots de servicio y, por último, presentamos las competencias de robots que se han organizado en el país a partir de los años noventa y cómo éstas han promovido la robótica de servicio en México.

La inteligencia artificial (IA) es una especialidad dentro de la computación que se ocupa de crear sistemas que puedan replicar la inteligencia humana y las habilidades para resolver problemas. El primer trabajo en el campo de la inteligencia artificial fue realizado a mediados del siglo xx por el matemático británico y pionero en computación Alan Turing. En 1950 Alan Turing publicó “Computer Machinery and Intelligence”, que proponía una prueba de inteligencia de las máquinas, llamada The Imitation Game. En 1952 Arthur Samuel desarrolló un programa para jugar a las damas chinas, que fue el primer programa en aprender el juego de forma independiente. En 1956 John McCarthy llevó a cabo un taller de computación en Dartmouth, en donde por primera vez se usó el término “inteligencia artificial”.

Al principio se resolvían problemas con IA, usando lógica clásica, a través de la demostración de teoremas, con una representación simbólica del mundo. Se usaban (y siguen usando) lenguajes de programación llamados declarativos, en los cuales se programa utilizando axiomas (reglas), predicados (hechos) y operadores. Los lenguajes más utilizados son Lisp, Prolog, Clips, etc. En esta primera etapa se desarrollaron los algoritmos de búsqueda en redes topológicas más importantes, como son los algoritmos de A* y de Dijkstra.

Al mismo tiempo, empezó el desarrollo de la IA utilizando como ejemplo a la naturaleza. Así, el modelo matemático básico de una neurona fue inventado,



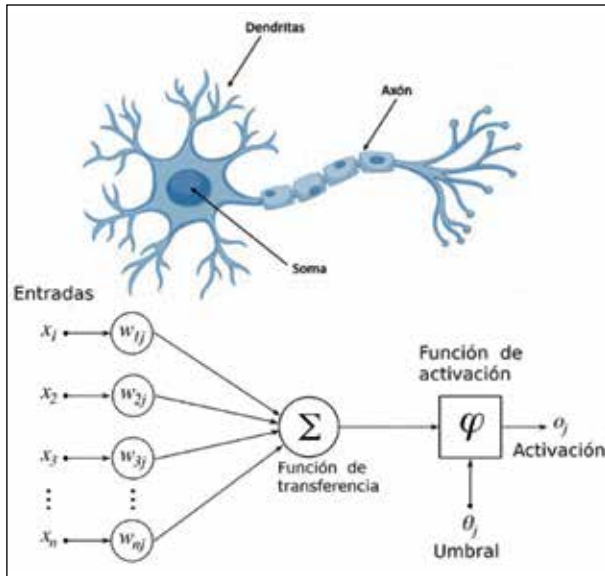


Figura 1. Modelo de una neurona. Crédito: Vázquez Silva, 2021.

en 1943, por el neurofisiólogo Warren McCulloch (véase la Figura 1). El perceptrón fue inventado por Frank Rosenblatt en 1957, en Cornell, en el que la función de activación es un escalón. El rechazo del perceptrón por parte de la comunidad de IA simbólica (Marvin Minsky) porque no resolvía la función lógica XOR hizo que se estancara su desarrollo, hasta que se inventaron las redes neuronales y el algoritmo de retropropagación para encontrar los pesos de la red en los años ochenta.

A partir del siglo XXI, con la cantidad inmensa de datos que existen en internet por las redes sociales, y aunado esto al desarrollo de tarjetas gráficas (llamadas GPU por sus siglas en inglés) –inicialmente impulsadas por los videojuegos–, fue posible entrenar redes neuronales con una cantidad muy grande de capas y pesos, dando como resultado las redes neuronales profundas.

Los robots de servicio son sistemas de *software* y *hardware* cuyo objetivo es simplificar el trabajo humano en la logística, los hogares, las oficinas, las tiendas, etc. Este tipo de robots son dispositivos móviles programables que ofrecen servicios en forma automática o semiautomática. Ellos se encuentran en ambientes dinámicos y complejos. Su autonomía consiste en la habilidad de tomar decisiones basadas en una representación interna del mundo. Asi-

mismo, efectúan cambios en el entorno mediante la ejecución de acciones. Han surgido de áreas de investigación como la inteligencia artificial, el procesamiento de señales y la teoría de control.

Para cumplir con tareas difíciles, los robots de servicio necesitan tener las siguientes capacidades básicas: ser reactivos, es decir, reaccionar oportuna y apropiadamente a eventos imprevistos, y ser capaces de resolver tareas por medio de planes. A diferencia de los robots industriales, estos robots navegan en los espacios que les han sido asignados. Así como los televisores, radios, computadoras y los teléfonos celulares se incorporaron a la vida cotidiana, los robots de servicio ya lo están haciendo y son cada vez más familiares. En el campo de los robots de servicio se han desarrollado tres paradigmas muy bien marcados: la arquitectura tradicional, la reactiva y la basada en datos.

Los modelos tradicionales

En este caso, se tiene una representación del medio ambiente con una representación simbólica de los objetos en un espacio determinado y se planean los movimientos y las acciones usando técnicas de inteligencia artificial tradicionales de búsquedas en redes topológicas (Figura 2). Asimismo, tienen una

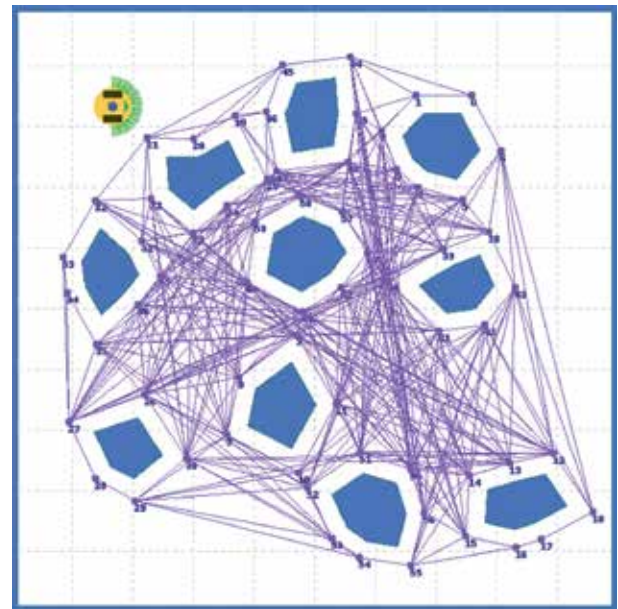


Figura 2. Representación simbólica del medio ambiente con una red topológica. Crédito: Savage, 2023.



Figura 3. Robot Shakey de la Universidad de Stanford. Crédito: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Shakey_the_Robot_\(developed_between_1966-1972_at_SRI_International\)_-_Computer_History_Museum_\(2007-11-10_23.16.01_by_Carlo_Nardone\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Shakey_the_Robot_(developed_between_1966-1972_at_SRI_International)_-_Computer_History_Museum_(2007-11-10_23.16.01_by_Carlo_Nardone).jpg)

organización serial, de modo que, si un módulo falla, todo el sistema falla. Este tipo de sistemas no es adecuado para entornos dinámicos ni para robots que presentan errores en el movimiento y en el **sensado**.

El robot Shakey fue el primer ejemplo de esta arquitectura, desarrollada en el periodo de 1966-1972 en la Universidad de Stanford. Este modelo se muestra en la **Figura 3**.

Modelos reactivos

Éstos están basados en el comportamiento de los insectos. No es necesaria una representación del medio ambiente ni se utiliza planeación de acciones ni de movimientos. Adecuados para entornos dinámicos y con errores en el sensado, están basados en comportamientos que funcionan en paralelo. Estos últimos se pueden diseñar usando lógica de orden cero, **máquinas de estados**, **campos potenciales** y redes neuronales, entre otras técnicas. Se pueden entonces tener varios comportamientos en paralelo, en



Figura 4. Robot Genghis del MIT. Crédito: www.robotsguide.com.

forma jerárquica, y un árbitro decide, dependiendo de la jerarquía, cuál es la salida de comportamiento que se enviará a los actuadores del robot. Este paradigma afirma que el comportamiento inteligente en los robots puede lograrse mediante la interacción de muchos comportamientos simples. Genghis, un robusto andador hexápodo, es un ejemplo de esta arquitectura, desarrollada por Rodney Brooks en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) en los años ochenta, el cual se muestra en la **Figura 4**.

Modelos basados en datos y probabilísticos

Estos modelos utilizan una cantidad inmensa de datos, con los que se entrenan redes neuronales artificiales combinadas con técnicas probabilísticas. Se utilizan cadenas de Márkov ocultas (Hidden Markov Model, HMM), filtros de partículas, procesos de decisión de Márkov, etc. Stanley, un vehículo autónomo, el cual se muestra en la **Figura 5**, creado en la Universidad de Stanford en 2005 bajo la dirección de Sebastian Thrun, es un ejemplo de esta arquitectura.

Modelos híbridos

Se combinan las arquitecturas tradicionales, reactivas, las basadas en datos y las probabilísticas para suplir las deficiencias de cada una de ellas. La robot Justina, mostrada en la **Figura 6**, ha sido desarrollada en la Facultad de Ingeniería de la UNAM y utiliza esta arquitectura para su funcionamiento.

Sensado

Se utilizan sensores para capturar el medio ambiente en donde opera el robot. Pueden ser cámaras, micrófonos, sensores de temperatura, giroscopios, ultrasonido, láser o brújulas electrónicas.

Máquinas de estados

Dispositivos que contienen una descripción de un sistema usando el concepto de estados; se utilizan para ejecutar algoritmos.

Campos potenciales

Concepto matemático que se utiliza para modelar interacciones entre objetos o partículas en campos como la física, la robótica y la inteligencia artificial.



Figura 5. Robot Stanley de la Universidad de Stanford. Crédito: Wikipedia.org.

Capacidades de los robots de servicio

Para poder interactuar en un medio ambiente, un robot de servicio requiere ser capaz de reconocer comandos de voz, objetos, personas (rostros, gestos y acciones), lugares, etc. Para poder reconocer objetos en el medio ambiente, desde hace unos años se utilizan las redes neuronales profundas (véase la Figura 7), las cuales cuentan con una cantidad muy grande de neuronas.

Para poder reconocer objetos comunes como mesas, sillas, pelotas, plátanos, platos, etc., en el robot Justina se usan redes neuronales convolucionales, reconocimiento para el que la principal dificultad que encontramos fue conseguir datos de entrenamiento. Lo que nos costó más trabajo fue tener una canti-



Figura 6. Robot Justina de la UNAM. Crédito: BioRobotics/UNAM (en línea).

dad grande de imágenes, pero se superó gracias a la captura de muchos videos y a su segmentación y etiquetado, de modo que pudieran servir durante el entrenamiento. Para encontrar los parámetros de una red neuronal, se necesita una cantidad inmensa de imágenes de muestras de entrenamiento, imágenes que por lo regular no están disponibles para ser

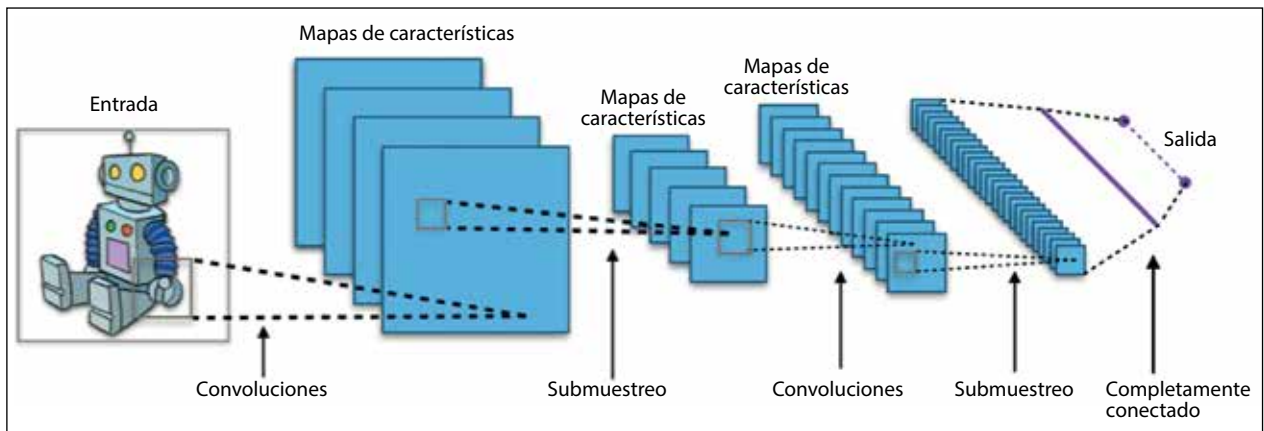


Figura 7. Red neuronal convolucional. Crédito: "Typical cnn architecture", Wikimedia Commons.

utilizadas; sin embargo, actualmente existen redes neuronales profundas que ya han sido entrenadas previamente y lo único que se tiene que hacer es reentrenarlas con los objetos particulares que se quiere reconocer.

Aprendizaje de los robots usando simuladores

■ Construir un robot puede ser costoso por el *hardware* requerido en lo referente tanto a sensores como a unidades de procesamiento; por ello, los simuladores representan una alternativa para aprender nuevos comportamientos. Además, los simuladores presentan la ventaja de que permiten hacer experimentos en mucho menos tiempo que con un robot real. En el cuento “Sueños de un robot”, del escritor de ciencia ficción Isaac Asimov, se describen robots que tienen la capacidad de soñar. Pero, ¿de qué le serviría a un robot soñar? Con imágenes simuladas, el robot puede estar entrenando en nuevos entornos mientras está en modo de reposo y así aprender nuevos comportamientos.

Inteligencia artificial generativa

■ La inteligencia artificial generativa está basada en un tipo de redes neuronales retroalimentadas con muchos componentes, las cuales han sido entre-

nadas con una cantidad inmensa de datos tomados de internet. Estas redes pueden generar contenidos a través de modelos de lenguaje y pueden generar texto, imágenes (como la mostrada en la **Figura 8**), videos, voz sintética, música o códigos de programas.

Una de las redes más populares es la Generative Pretrained Transformer (GPT), basada en una red neuronal llamada Transformer, la cual es una arquitectura de aprendizaje profundo desarrollada por Google, propuesta en “Attention Is All You Need” (Vaswani y cols., 2017). Algunos consideran que este artículo es un documento fundacional para la inteligencia artificial moderna, ya que los Transformers se convirtieron en la arquitectura principal de los modelos de lenguaje de gran tamaño (LLM, por sus siglas en inglés). ChatGPT es un ejemplo de este tipo de inteligencia artificial generativa, la cual es en realidad un perico cibernético que, dado un conjunto de palabras, va prediciendo cuál es la palabra más probable que debe seguir, de acuerdo con la forma como fue entrenada. Se puede usar para generar diálogos entre humanos y robots, puede hacer ensayos, redactar reportes y generar códigos de computadoras. En el futuro cercano, los robots de servicio podrían utilizar ChatGPT para dialogar e interactuar con los seres humanos.

Los usos de la inteligencia artificial basados en métodos tradicionales, en la lógica simbólica, los basados



Figura 8. Imagen generada para entrenar a robots de servicio. Crédito: ai2thor.org (<https://ai2thor.allenai.org/ithor>).

en datos y los que se valen de redes neuronales han contribuido todos a que el desarrollo de la robótica de servicio haya avanzado mucho en los últimos años.

Competencias de robótica en México

Las competencias de robots que se han organizado en México a partir de los años noventa han promovido mucho la robótica de servicio en el país. En 1997, en la ciudad de Querétaro, se organizó el Concurso Nacional de Robótica (CNR), con la participación de estudiantes de esta área de todo el país. Una de las categorías principales fue la de robots seguidores de líneas pintadas en el piso. Equipos de robótica de varias universidades del área metropolitana de la Ciudad de México participaron en esta competencia, pero los resultados que obtuvieron no fueron muy alentadores y las instituciones decidieron, por tanto, entrenar a sus estudiantes y propiciar que compitieran entre ellos para que llegaran mejor preparados. Así, estudiantes del ITAM, del ITESM-CEM, de la Universidad Iberoamericana y de la UNAM se reunían para hacer competencias informales entre ellos y practicar.

De este modo, el desempeño en el CNR en los años siguientes mejoró en forma sustantiva. En 1999 se acordó con los organizadores del CNR que se tuvieran competencias regionales para que después los campeones de éstas se presentaran en el nacional en la ciudad de Querétaro. Así, en 1999 se organizó el primer Concurso Metropolitano de Robótica de la Ciudad de México en las instalaciones de Universum, en la UNAM. Después, en el 2000, se llevó a cabo en el ITAM; en el 2001, en la Universidad Iberoamericana; en el 2002, en el ITESM-CEM; en el 2003, en el IPN, y en 2004, en el ITESM Cuernavaca. En esta competencia se tuvo una reunión con los organizadores del Torneo de Robots Limpiadores de Playa, que habían estado organizando competencias de robots en los estados de Puebla y Veracruz. En el 2005 la competencia fue en la Universidad La Salle. Se acordó entonces que se unieran el Concurso Metropolitano de Robótica con el Torneo de Robots Limpiadores de Playa para organizar el Torneo Mexicano de Robótica (TMR). Así, en 2008 se organizó el primer Torneo Mexicano de Robótica en el Palacio de Minería de

la Facultad de Ingeniería de la UNAM (Figura 9). La respuesta de los participantes y el interés del público en general fue muy grande, así como la cobertura que hicieron los medios.

Por otra parte, a partir del 2002, equipos mexicanos de robótica comenzaron a participar en la competencia internacional más importante de robots, el RoboCup, primero con equipos del ITESM-CEM y después del ITAM. Desde entonces, la participación mexicana ha crecido, principalmente con equipos del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP), la Universidad La Salle, la UNAM, etc., en las siguientes ligas: Robots Aibos, Small Size, Humanoid KidSize, Simulación de Fútbol, @Home, Junior Rescue, Junior Soccer, Junior Dance, Junior CoSpace y @Work. Algunas de estas categorías se incluyeron en el primer TMR de 2008, que fue reconocido por la Federación Mundial del RoboCup como RoboCup Mexican Open.

Durante el RoboCup 2006, en Bremen, Alemania, los equipos mexicanos que participaron en el evento se dieron cuenta de que en las ligas Junior (pensadas para participantes entre 12 y 19 años) no hubo equipos mexicanos, ni ningún equipo latinoamericano. Así, un grupo de profesores decidió llevar al menos un equipo junior para la próxima RoboCup, que tendría lugar en 2007, en Atlanta, EUA. Con el fin de lograr este objetivo se inició un programa en el segundo semestre de 2006 en el sistema de bachillerato de la UNAM, a fin de preparar a sus docentes para la enseñanza de habilidades de robótica y progra-



Figura 9. Torneo Mexicano de Robótica en el Palacio de Minería, en el 2008. Crédito: BioRobotics/UNAM (en línea).

mación. Gracias a estas iniciativas, el primer equipo mexicano junior participó en la RoboCup en 2007, y en 2014 un equipo de bachillerato de la UNAM obtuvo el primer lugar en la liga Junior CoSpace.

Un efecto positivo secundario es que hemos notado que la mayoría de los estudiantes que participan en las ligas junior luego deciden continuar con estudios en ingeniería o ciencias. Paralelamente a estos esfuerzos, se iniciaron clubes de robótica en el ITAM, en la UNAM y en otras universidades. Estos clubes les dan a los estudiantes la oportunidad de aprender conceptos básicos de robótica como formación curricular extra, y se han abierto principalmente en las tardes y los sábados. Además, se han realizado esfuerzos para desarrollar y mejorar cursos que ayuden a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica e Informática que se especializan en robótica.

Federación Mexicana de Robótica

En 2010, se creó la Federación Mexicana de Robótica (FMR) para supervisar estos esfuerzos. La FMR agrupa a profesores investigadores que han estado colaborando durante más de 15 años en la organización de asociaciones nacionales y eventos internacionales de robótica, y que están afiliados a algunas de las universidades e institutos de investigación más prestigiosos de México. Los principales objetivos de la FMR incluyen: fomentar el desarrollo de la robótica en México; organizar competencias de robótica regionales, nacionales e internacionales; establecer colaboraciones con grupos similares en todo el



Figura 10. Robots tipo humanoide jugando fútbol en el RoboCup, llevado a cabo en la Ciudad de México en 2012. Crédito: BioRobotics/UNAM (en línea).

mundo; organizar redes de investigación en robótica y otros campos relacionados, y difundir los resultados de la investigación y desarrollo en el campo de la robótica entre el público. En 2012 la Federación RoboCup, junto con la FMR, organizaron el RoboCup en la Ciudad de México, con una asistencia de alrededor de 2 500 participantes extranjeros y un estimado de 35 000 espectadores. Hubo un gran interés en este evento por parte de la sociedad mexicana y la cobertura mediática fue enorme. En la **Figura 10** se observa a un grupo de robots jugando fútbol.

Jesús Savage Carmona

Facultad de Ingeniería, UNAM.
robotssavage@gmail.com

Marco Antonio Negrete Villanueva

Facultad de Ingeniería, UNAM.
mnegretev@gmail.com

Lecturas recomendadas

Federación Mexicana de Robótica: <https://femexrobotica.org/>.

Laboratorio de Bio-Robótica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, *Bio-Robotics* /UNAM: <https://biorobotics.fi-p.unam.mx/>.

Laboratorio de Mecatrónica y Robótica del Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional (CIC-IPN): <https://www.cic.ipn.mx/index.php/acerca-de-rym>.

Laboratorio de Robótica del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE): <https://ccc.inaoep.mx/laboratorios/robotica>.

RoboCup Organization: <https://www.robocup.org/>.

“Robots” [dossier] (febrero de 2023), *Revista de la Universidad de México*, 893:6-100.

Savage, J. (2023), “Lección 5: planeación de movimientos”, Facultad de Ingeniería, UNAM. Disponible en: https://biorobotics.fi-p.unam.mx/wp-content/uploads/Courses/robots_moviles/2024-1/lecciones/Leccion_5.pdf.

Vaswani, A., N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones y cols., (2017), “Attention Is All You Need”, *Advances in Neural Information Processing Systems*, Annual Conference on Neural Information Processing Systems, Long Beach.

Vázquez Silva, E. (2021), *Categorización semántica de objetos a partir de la interacción humano-objeto*, tesis de maestría en Computación, UNAM.