



# KOMPUTER SAPIENS

Revista de Divulgación de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial

AÑO I, NÚMERO II

Septiembre 2009



## los robots del futuro y su importancia para México

Robots humanoides de servicio: un nicho de oportunidad

## sistemas tutoriales inteligentes para laboratorios virtuales

una mirada al campo de la educación a distancia



## reseña del libro las ciencias de lo artificial. versión español



## modelos asociativos

¿Cómo asocia el cerebro humano  
patrones para recuperar información?

PRECIO PÚBLICO: \$40.00

[www.komputersapiens.org.mx](http://www.komputersapiens.org.mx)

©2009 Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial



Luis Enrique Erro No. 1  
Tonantzintla, Pue., C.P. 72840. México  
tel. +52.222.266.31.00 x 8315  
fax +52.222.266.31.52

Impreso en México  
ISSN en trámite

Komputer Sapiens es una revista de divulgación en idioma español de temas relacionados con la inteligencia artificial. La revista es patrocinada por la SMIA, la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial.

Los artículos y columnas firmados son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial.

La mención de empresas o productos específicos en las páginas de Komputer Sapiens no implica su respaldo por la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial.

Komputer Sapiens fue creada en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, con la clase `papertex` disponible en el repositorio *CTAN: Comprehensive TeX Archive Network*, <http://www.ctan.org/>

#### Directorio SMIA

Presidente	Carlos Alberto Reyes García
Vicepresidente	Raúl Monroy Borja
Secretario	Alexander Gelbukh
Tesorero	Grigori Sidorov

Vocales:	Gustavo Arroyo Figueroa
	José Galaviz Casas
	Jesús A. González Bernal
	Miguel González Mendoza
	Arturo Hernández Aguirre
	Oscar Herrera Alcántara
	Rafael Murrieta Cid
	Alejandro Peña Ayala

#### Komputer Sapiens

Editor en jefe	Carlos Alberto Reyes García
Editora asociada e-Tlakuilo	Angélica Muñoz Meléndez
Estado del IArte	Oscar Herrera Alcántara
	Ma del Pilar Gómez Gil
	Jorge Rafael Gutiérrez Pulido
Sakbe	Laura Cruz Reyes
	Héctor Gabriel Acosta Mesa
IA & Educación	J. Julieta Noguez Monroy
Deskubriendo Konocimiento	Gildardo Sánchez Ante
	Alejandro Guerra Hernández
Asistencia técnica	José Alberto Méndez Polanco
Logotipo & portada	Gabriela López Lucio
Edición de imagen	Jaqueline Montiel Vázquez
	Departamento de Imagen & Diseño, INAOE

#### Comité Editorial

Juan Manuel Ahuactzin Larios  
Gustavo Arroyo Figueroa  
Piero P. Bonisone  
Ramón Brena Pinero  
Francisco Cantú Ortiz  
Jesús Favela Vara  
Juan José Flores Romero  
Olac Fuentes Chávez  
José de Jesús Galaviz Casas  
Leonardo Garrido Luna  
Alexander Gelbukh  
Jesús A. González Bernal  
José Luis Gordillo  
Angel Kuri Morales  
Christian Lemaître León  
Aurelio López López  
Raúl Monroy Borja  
Eduardo Morales Manzanares  
Angélica Muñoz Meléndez  
José Negrete Martínez  
Pablo Noriega B.V.  
Alejandro Peña Ayala  
Carlos Alberto Reyes García  
Antonio Sánchez Aguilar  
Jesús Savage Carmona  
Humberto Sossa Azuela  
Grigori Sidorov  
Luis Enrique Sucar Succar  
Alfredo Weitzenfeld Ridell

# Contenido



## ARTÍCULO INVITADO

### Los Robots del Futuro y su Importancia para México

por Eduardo Morales Manzanares y L. Enrique Sucar Succar

**pág. 7** ⇒ En diversos laboratorios en el mundo está surgiendo una nueva generación de robots que pueden entender y asistir a los seres humanos: los robots de servicio. Estos robots van a transformar la vida de las personas en un futuro próximo, ya que realizarán una gran cantidad de tareas en beneficio de la humanidad.

Es importante que México se vuelva un protagonista mundial en el desarrollo de los robots humanoides de servicio. Los autores detallan por qué esto es esencial para el desarrollo del país.

## ARTÍCULO INVITADO

### Sistemas Tutores Inteligentes para Laboratorios Virtuales

por Julieta Noguez Monroy

**pág. 13** ⇒ Los servicios de educación a distancia y el alto costo de los laboratorios reales han impulsado el desarrollo de herramientas abiertas de software para simular, visualizar y programar equipos o herramien-

tas que genéricamente han recibido el nombre de laboratorios virtuales.

En este artículo se da un panorama de los laboratorios virtuales, sus ventajas y aplicaciones.

## ARTÍCULO ACEPTADO

### Modelos Asociativos

por María Elena Acevedo Masqueda, Cornelio Yáñez Márquez y Federico Felipe Durán

**pág. 20** ⇒ El cerebro humano ha sido un gran misterio desde siempre. En este artículo los autores introducen al lector en el ámbito de los modelos asociativos, describen e ilustran la forma en que el cerebro humano realiza asociaciones entre patrones para recuperar información; así como el nacimiento de estos modelos y las diversas técnicas utilizadas a través del tiempo para lograr modelos eficientes.

## Columnas

Sapiens Piensa. Editorial **pág. 2**

e-Tlakuilo **pág. 3**

Estado del IArte **pág. 4**

Sakbe **pág. 6**

IA & Educación **pág. 29**

Deskubriendo  
Konocimiento **pág. 30**

---

# Sapiens Piensa

---

POR **Carlos Alberto Reyes García**

Después de un involuntario periodo de latencia un nuevo número de *Komputer Sapiens* está preparado para ver la luz, y cumplir con su propósito de difundir los trabajos, proyectos, propuestas y novedades producidos o aportados por científicos dedicados al desarrollo de la Inteligencia Artificial.

Para este número varios investigadores mexicanos nos han aportado contribuciones muy interesantes que abarcan varios tópicos de actualidad en el área. Eduardo Morales y Enrique Sucar contribuyen con el artículo invitado intitulado “Los Robots del Futuro y su Importancia para México”, en el cual ofrecen un impactante análisis sobre la situación de la robótica en México y las perspectivas y oportunidades que el cultivo de esta tecnología puede proporcionar como detonador del desarrollo de nuestro país. En particular destacan la relevancia que los robots humanoides tienen dentro de la industria de robots misma, ya que al dominarse la fabricación de alta complejidad requerida se permitirá la producción de este tipo de robots con mayor facilidad. Muestran además, de una forma muy objetiva, la situación declinante de México en cuanto a competitividad se refiere, y el importante aporte que el desarrollo de la industria robótica puede hacer para retomar un crecimiento duradero. Así mismo plantean cómo se beneficiarían la mayoría de industrias establecidas y cómo se desarrollaría la ciencia en general, y describen una serie de productos que se derivarían de la fabricación de robots humanoides. La lectura de este artículo ofrece una perspectiva alentadora del potencial de desarrollo que nuestro país tiene si se impulsan industrias de alta tecnología como la robótica.

Otro artículo invitado con enfoques novedosos en educación, intitulado “Sistemas Tutores Inteligentes para Laboratorios Virtuales”, es presentado por Julieta Noguez. La autora hace una descripción detallada de los laboratorios virtuales y desglosa sus dos formatos principales, laboratorios virtuales simulados y laboratorios virtuales remotos. Posteriormente presenta una descripción de los sistemas tutores inteligentes, y en particular la de aquellos soportados por el enfoque de los modelos relacionales probabilistas. Se complementa el artículo con la propuesta de una arquitectura que integra los sistemas tutores inteligentes a la enseñanza del manejo de los laboratorios virtuales, la cual se soporta con la presentación de varias aplicaciones prácticas ya desarrolladas.

El artículo enviado y seleccionado para publicación en este número se titula “Memorias Asociativas” y es de la autoría de María Elena Acevedo, Cornelio Yañez y Federico Felipe, en esta contribución y por medio de

---

**En este número se señala la situación declinante de la competitividad de México, pero también se ofrece una perspectiva alentadora del potencial de desarrollo que nuestro país tiene si se impulsan industrias de alta tecnología como la robótica.**

---

analogías, los autores ofrecen una descripción general de la forma en que se comportan las memorias que actúan por asociación, y cómo se han derivado los modelos computacionales a partir de ellas. Además de presentar una breve historia de los modelos asociativos, también se presenta una descripción de algunos de los modelos fundamentales de este enfoque, como los modelos asociativos bidireccionales (BAM). Se redondea el artículo con una descripción detallada de las llamadas BAM Alfa-Beta que son modelos desarrollados por el mismo grupo de investigación. Y para finalizar se presentan algunas ideas sobre las potenciales aplicaciones prácticas de estos modelos.

Como parte infaltable y complementaria de los artículos centrales presentamos las contribuciones de nuestros columnistas, entre los que se cuenta Oscar Herrera con e-Tlakuilo, donde podremos ver una selección de cartas de nuestros lectores. El Estado del IArte es proporcionado por María del Pilar Gómez Gil y Rafael Gutiérrez con varias notas relevantes. En la sección de Sakbe Laura Cruz y Héctor Gabriel Acosta hacen la revisión de tres importantes sitios de Internet que pueden ser de gran utilidad para nuestros lectores. No podía faltar la Sopa de Letras, aportada también por Oscar Herrera. También damos la bienvenida a René Carbonell Pulido, talentoso caricaturista mexicano, quien colaborará con sus excelentes cartones.

Para finalizar quisiera mencionar que el retraso en la publicación de este número fue un tanto causado por la falta de artículos enviados, por lo que recurrimos a la invitación directa a los autores. Por lo que quiero aprovechar esta oportunidad para invitar a nuestra comunidad a enviarnos artículos de divulgación, ya que es la mejor forma de mantener la continuidad de esta revista. Que tengan una buena e ilustrativa lectura. ☺

---

**Carlos Alberto Reyes** es Presidente de la SMIA, la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, y Editor en Jefe de *Komputer Sapiens*.

---

# e-Tlakuilo: Cartas de nuestros lectores

a cargo de **Oscar Herrera Alcántara**

Hace un año *Komputer Sapiens* era una promesa y ahora es un sueño hecho realidad. La presentación y lanzamiento del primer número fue todo un éxito y tuvo lugar el día jueves 30 de octubre de 2008, a eso de las 11:00 de la noche en un reconocido restaurante ubicado entre la Av. Ejército Nacional y Periférico, en México D.F. y contó con la presencia de investigadores de diferentes países que participaron en el evento MICAI'2008. Después de la presentación oficial y con algunas palabras dirigidas por el ahora expresidente de la SMIA, el Dr. Ángel Kuri; el nuevo presidente, el Dr. Carlos A. Reyes, el Dr. Luis E. Sucar, y la editora asociada, Dra. Angélica Muñoz.

Queremos agradecerles los comentarios que nos hacen llegar a través del correo electrónico, y los invitamos a que continúen escribiendo sus dudas y comentarios, que procuraremos atender en este espacio reservado para nuestros lectores.

## **Ernesto, investigador, Universidad Autónoma del Carmen, Campeche**

Presenté un trabajo, como autor, en el evento MICAI 2008. Aquí en la universidad hay varias personas que están interesadas en obtener una copia de los diferentes números de la revista, ¿cómo podríamos obtener más ejemplares?. Me gustaría enviar un artículo de divulgación para su revista ¿cómo le puedo hacer?

Estimado Ernesto, la cuota que se paga para presentar un trabajo en el evento MICAI te convierte en socio activo por un año y eso te da el derecho de recibir los ejemplares de nuestra revista durante un año. En el caso de requerir más ejemplares el precio unitario al público

es de 40.00 pesos que pueden ser cubiertos por depósito bancario en la cuenta de la SMIA, visita [www.smia.org.mx](http://www.smia.org.mx) donde encontrarás esa información. Requerimos que alguno de ustedes funja como "contacto" y nos proporcione una dirección postal para enviarles los ejemplares por mensajería. Lo mismo aplica para empresas y otras instituciones públicas o privadas. Además recuerda que la versión electrónica de los ejemplares publicados estará disponible en nuestro portal electrónico una vez que éstos salgan de circulación.

Para someter artículos a nuestra revista para que sean revisados y eventualmente aceptados, revisa nuestro portal en el enlace "Información → Autores de Artículos".

## **Pepe, pasante de ingeniería en computación, Hidalgo**

El tema de la IA me parece fascinante, creo que el adquirir los diferentes ejemplares de la revista es un primer paso para conocer más de esos temas. Sin embargo, en mi universidad hay pocos profesores que trabajan en esa área de la computación y me gustaría, al igual que a otros de mis compañeros, tener más información de IA, ¿cómo podría hacerle?

Pepe, te invitamos a revisar constantemente las noticias y cambios en nuestro portal, ahí puedes leer acerca de la formación de capítulos estudiantiles, ya sea para que puedan formar uno nuevo o adjuntarse a alguno cercano. Los miembros de un capítulo se convierten en socios de la SMIA y una de las ventajas es que te da derecho a recibir una copia de la revista. Además, los capítulos estudiantiles puedan solicitar la visita de inves-

tigadores de reconocido prestigio y los gastos pueden correr por cuenta de la SMIA.

También te invitamos a enrolarte en alguna de las diferentes actividades que tiene la SMIA tales como participar en congresos, como el Congreso Mexicano de Inteligencia Artificial, COMIA y en concursos que muy pronto organizaremos con temas relacionados con la IA.

## **Guillermo, profesor universitario y consultor**

Si no tienen patrocinios o nadie se anuncia con ustedes ¿la distribución de la revista podría suspenderse?

Estimado profesor, los que colaboramos para que *Komputer Sapiens* sea una realidad hemos podido constatar que nuestra revista era una necesidad más que otra cosa, aún no se lanzaba el primer número y ya había una gran inquietud de muchas personas por adquirirla. Desde luego que los patrocinios son bienvenidos, nuestro primer tiraje fue de 1000 ejemplares y no requirió patrocinio alguno. Un alto porcentaje de la revista ya se distribuyó por todo el país entre un amplio sector de la población, estudiantes, profesionistas, profesores, investigadores, etc. ¡Anunciantes, aprovechen! Considero que es poco probable que absolutamente nadie se interese por anunciarse con nosotros, pero aún cuando ese fuera el caso, la SMIA cuenta con recursos propios para continuar con la ardua labor de divulgación del conocimiento.☺

---

Cartas de nuestros lectores a [etlakuilo-ksapiens@smia.org.mx](mailto:etlakuilo-ksapiens@smia.org.mx)

---

## COLUMNAS

## Estado del IArte

a cargo de [María del Pilar Gómez Gil](#) y [Jorge Rafael Gutiérrez Pulido](#)**MICAI 2008: UNA REUNIÓN DE AMIGOS.**

Cuando la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA) se inició en los años 80's, su fundador el Dr. José Negrete y los primeros socios acostumbraban referirse a ella como una "sociedad de amigos". Los que trabajábamos en IA en aquella época éramos realmente pocos, pero este apelativo sigue siendo válido actualmente. Lo anterior pudo constatarse del 27 al 29 de octubre de 2008, cuando se llevó a cabo la Séptima Conferencia Mexicana e Internacional en Inteligencia Artificial, MICAI 2008 (*Mexican International Conference on Artificial Intelligence 2008*). En la conferencia se presentaron 159 trabajos del estado del arte de IA realizados por investigadores y profesionistas de alrededor de 28 países.

El MICAI estuvo formado por conferencias magistrales, reuniones de trabajo, presentaciones en carteles y tutoriales. El Dr. Simon Haykin, profesor de la universidad de McMaster, en Ontario Canadá, fue uno de los conferencistas invitados. El Dr. Haykin es una verdadera autoridad en sistemas adaptativos y de aprendizaje aplicados a procesamiento de señales, control y reconocimiento de patrones. La sencillez, cordialidad y accesibilidad de tan distinguido personaje sorprendió a todos en el evento. La Dra. Stephanie Forrest, de la Universidad de Nuevo México en Albuquerque, EUA. y profesora-investigadora del Instituto de Santa Fe, también fue uno de los conferencistas distinguidos del congreso, presentando ideas fundamentales sobre los Sistemas Inmunológicos Artifi-

ciales, sobre los cuales ha investigado en los últimos años. En la conferencia nos enteramos de que algunos de los algoritmos desarrollados por el equipo de trabajo de la Dra. Forrest forman parte de las plataformas de software utilizadas por el sistema operativo Vista de Microsoft.

Un punto muy importante del evento fue que en su cena de gala se presentó oficialmente la revista [Komputer Sapiens](#).



Presentación de la revista [Komputer Sapiens](#). De izquierda a derecha, doctores [Carlos Alberto Reyes](#), [Enrique Sucar](#), [Angel Kuri](#) y [Angélica Muñoz](#). Fotografía cortesía de M.P. Gómez Gil

**50 AÑOS DE COMPUTACIÓN EN MÉXICO.**

En la revista de octubre de 2008 de [Komputer Sapiens](#), Christian Lemaître nos recordó que hace solamente 50 años se instaló la primera computadora en México. Como parte de las celebraciones que ameritan este aniversario, un grupo de académicos liderados por la UNAM organizaron el Congreso "50 años de la Computación". Este congreso se llevó a cabo en el Palacio de Minería del 12 al 14 de noviembre de 2008, y su objetivo fue el generar un ambiente de reflexión profunda so-

bre el estado y las perspectivas de la computación en México. En dicho congreso se dieron cita cientos de investigadores, profesionistas, profesores, estudiantes, funcionarios e interesados en conocer y colaborar en el desarrollo de esta disciplina.

El congreso tuvo varias conferencias magistrales y mesas de discusión que abordaron los siguientes temas: estado y perspectivas de la computación, investigación, docencia, formación de recursos humanos, vinculación, aplicaciones y futuro de la computación. Resultó muy interesante el perca-

tarnos que en prácticamente todas las mesas de discusión y conferencias magistrales, apareció algún tema relacionado con la Inteligencia Artificial: aprendizaje automático, minería de datos, redes neuronales, lógica difusa, algoritmos genéticos, robótica, lingüística computacional, etc. En especial, el Dr. Ramón López de Mantarás, director del Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial del Consejo Superior de Investigación Científica en Barcelona, comentó en su conferencia magistral que

---

### La Inteligencia Artificial es la tecnología clave del futuro de la computación

---

En la actualidad, un gran número de aplicaciones de software y dispositivos utilizan algoritmos de inteligencia artificial, lo cual es completamente “transparente” para quien los usa. Esto implica que el conocimiento de IA es cada vez más importante para los profesionistas involucrados con la ciencia de la computación.

Aprovechando la ocasión, la UNAM acuñó la medalla conmemorativa de los 50 años del cómputo

en México. El anverso de la medalla contiene el escudo de la Universidad Nacional Autónoma de México y en el Reverso (mostrado en la imagen) el logotipo de los 50 años del cómputo en México, representación de un circuito integrado de cómputo. Fue diseñada por la DG. Deana Luz Castro Segura y grabada por el Maestro Lorenzo Rafael en 30 gr. de plata pura 999.9/100.

---

Las memorias del evento pueden consultarse en la página oficial del congreso: <http://www.congreso50.unam.mx/>

---



Reverso de la medalla conmemorativa de los 50 años del cómputo en México. Fotografía cortesía de M.P. Gómez Gil

**CREANDO ESTRUCTURAS MENTALES.** La forma exacta en que el cerebro humano organiza el conocimiento no es del todo conocida actualmente. Por ejemplo, se sabe que el cerebro utiliza ciertas regiones específicas para ejecutar tareas relacionadas con habilidades operativas y abstractas; sin embargo, aún se desconoce mucho sobre la manera en que maneja la información este fascinante órgano.

En un esfuerzo conjunto, investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y la Universidad Carnegie Mellon (CMU), ambos en los Estados Unidos, han desarrollado un modelo que podría impactar de manera importante el campo de la inteligencia artificial. Se trata de un modelo para encontrar la mejor estructura que puede tener un conjunto de datos. El modelo está basado en la tendencia natural que poseen los seres humanos para ordenar información.

Charles Kemp (CMU) y Josh Tenenbaum (MIT) publicaron su trabajo en agosto de 2008 en las Memorias de la Academia Nacional de Ciencia de Estados Unidos de Norteamérica<sup>1</sup>. Su modelo considera estructuras tales como árboles, anillos, jerarquías, entre otras, y selecciona la mejor forma de agrupar la información que se le presenta. Si se proporcionan pocos datos, digamos atributos de animales, entonces este modelo elige una representación jerárquica para mostrarlos. Conforme se va proporcionando más datos, el modelo transita a otras for-

mas de representación de los datos. Esto podría ayudar a científicos de diversas áreas a analizar datos y explicar cómo es que el cerebro humano descubre patrones en cúmulos de datos. Para saber más puede consultar <http://www.pnas.org/content/105/31/10687> (en inglés).

Cabe señalar que existen otros modelos artificiales que permiten generar representaciones de datos. Entre los más interesantes tenemos a los mapas auto-organizados (SOM, por sus siglas en inglés). Estos son mapas generados automáticamente a través de un algoritmo no supervisado de aprendizaje artificial que, en palabras de su creador Teuvo Kohonen<sup>2</sup>, es el que más asemeja la forma en que ocurre el aprendizaje en el cerebro.☞

---

Para comunicarse con los responsables de esta columna, escriba a [estadoarte-ksapiens@smia.org.mx](mailto:estadoarte-ksapiens@smia.org.mx)

---



Suscripciones  
& información

[kompulersapiens@smia.org.mx](mailto:kompulersapiens@smia.org.mx)  
[www.kompulersapiens.org.mx](http://www.kompulersapiens.org.mx)

<sup>1</sup>Kemp C., Tenenbaum, J. (2008) “The discovery of structural form”. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*. Vol. 105, No. 31, pp. 10687- 10692.

<sup>2</sup>Para más información sobre T. Kohonen ver Columna Estado del IArte, *Komputer Sapiens* Año 1, Número 1. Octubre 2008.

## COLUMNAS

## Sakbe

a cargo de **Laura Cruz Reyes** y **Héctor Gabriel Acosta Mesa**, sakbe-ksapiens@smia.org.mx

**Minería de datos en series de tiempo** ⇒ La minería de datos en series de tiempo estudia las técnicas mediante las cuales podemos encontrar similitudes, diferencias o relaciones entre secuencias de eventos registrados en el tiempo. Algunos ejemplos de series de tiempo son: el comportamiento diario de las bolsas de valores, el registro del ritmo cardiaco, o los impulsos eléctricos observados en un electroencefalograma. Los patrones temporales

son muy comunes en la naturaleza, de ahí la importancia del estudio de las técnicas que nos permitan analizarlos. Una excelente introducción al tema se puede encontrar en el sitio del Dr. Eamonn Keogh, en éste podrán encontrar tutoriales y artículos cuya particularidad es la de presentar los temas con apoyos gráficos y ejemplos simples que muestran claramente las ideas básicas de este tipo de análisis. En esta página se dispone de un reposi-

torio de bases de datos temporales y código didácticamente simplificado para facilitar la experimentación con algoritmos de minería de datos.



Gráficas de pulso cardiaco

<http://www.cs.ucr.edu/~eamonn>



**Robótica educativa** ⇒ El gusto por la ciencia y la tecnología puede ser cultivado a distintos niveles

haciendo uso de recursos pedagógicos que introducen al aprendiz de una manera lúdica. Tal es el caso de los ambientes de desarrollo para robots, mediante los cuales se pueden abordar temas de matemáticas, física, química, mecánica, electrónica y computación, entre otros. Estos equipos generalmente contienen sensores, activadores y “cerebros” programables necesarios para desarrollar un prototipo robótico que resuelva una tarea en particular. En la actualidad los clubs de robótica

son muy populares, en ellos se enseñan los conceptos básicos de construcción y programación de robots, mediante prácticas orientadas a la resolución de problemas concretos tales como los planteados en los torneos de robótica. Dos excelentes sitios para iniciarse en esta disciplina son [mindstorms.lego.com](http://mindstorms.lego.com) y [www.handyboard.com](http://www.handyboard.com). Así mismo, dos empresas donde podrás adquirir estos equipos en México son: Edacom ([www.edacom.com.mx](http://www.edacom.com.mx)) y Robodacta ([www.robodacta.com.mx](http://www.robodacta.com.mx)).

<http://www.ortop.org/>

**Simulador visual de algoritmos** ⇒ En las diferentes carreras de computación, las materias relacionadas con análisis y diseño de algoritmos juegan un papel preponderante en la formación de profesionales de alto nivel. A pesar de su importancia, la dificultad de estas materias impacta en los índices de reprobación, deserción y rezago. Grupos de investigación de la Universidad de Tecnología de Helsinki, en Finlandia, vieron en los ambientes virtuales de aprendizaje

una solución a esta problemática. Estos grupos desarrollaron el simulador de algoritmos TRAKLA2, el cual es una de las muchas estrategias que ha permitido a Finlandia ser un país líder en educación. Cualquier interesado, mediante un proceso de registro sencillo, puede acceder a todos los módulos para entrenarse con ejercicios resueltos y nuevos ejercicios; así como también retroalimentarse de lo realizado. La creación de cuentas de usuario (en español o finés) y el

acceso a los módulos del simulador están disponibles en el sitio [trakla.cs.hut.fi/app](http://trakla.cs.hut.fi/app). Actualmente TRAKLA2 ofrece módulos para aprender sobre algoritmos básicos, algoritmos de ordenamiento, diccionarios, algoritmos de grafos, análisis de algoritmos y algoritmos espaciales. Una sólida formación en estos tópicos es de vital importancia para el desarrollo de algoritmos inteligentes eficientes.

<http://www.cs.hut.fi/Research/TRAKLA2/index.shtml>



## ARTÍCULO INVITADO

# Los Robots del Futuro y su Importancia para México

por **Eduardo Morales Manzanares** y **Luis Enrique Sucar Succar**

## Introducción

En diversos laboratorios en el mundo está surgiendo una nueva generación de robots que pueden entender y asistir a los seres humanos: los robots de servicio. Se predice que los robots de servicio van a transformar en buena medida la vida de las personas en un futuro próximo, ya que realizarán una gran cantidad de tareas en beneficio de la humanidad. Éstas van desde tareas cotidianas como cortar pasto, labores que requieren de cierto entrenamiento especializado como cuidar personas de avanzada edad o enfermas, trabajos que involucran un alto grado de exactitud, como intervenciones en cirugía de alta precisión, hasta tareas que involucran riesgos elevados, como explorar una mina terrestre o marítima, o desactivar una bomba. La Figura 1 ilustra a un robot humanoide de servicio realizando diversas tareas.

La revolución robótica va a detonar un importante avance científico y tecnológico en diversas áreas de la mecánica, control, electrónica y computación; pero además ayudará a resolver problemas sociales de salud y seguridad, entre otros; y creará una nueva industria con importantes beneficios económicos. En su conjunto, la robótica impulsará el desarrollo de los países que inviertan y se coloquen a la vanguardia en esta tecnología.

Dentro de la gran gama de posibles robots que se pueden desarrollar, sin lugar a duda, los robots humanoides son los que ofrecen mayores beneficios. Por un lado, se espera que un robot humanoide de tamaño natural tenga la capacidad de utilizar todas las herramientas que el hombre ha desarrollado a lo largo de su historia, sin que se tengan que adaptar ambientes especiales. Esto es muy importante, ya que abre una amplia gama de aplicaciones para este tipo de robots. Por otro lado, los robots humanoides están en el extremo de complejidad de los robots de servicio. Esto implica, que al contar con las capacidades para desarrollar robots humanoides, el desarrollo de robots más sencillos se vuelve mucho menos complejo. La interacción de los robots humanoides con las personas se da de una manera más natural al tener una apariencia similar a la de un humano, y por lo tanto se espera mayor aceptación que con otro tipo de robots. Finalmente, existe una tendencia emocional y cultural de construir máquinas que se parezcan y trabajen como humanos.



**Figura 1. Ejemplo de un humanoide realizando tareas de servicio.**

Consideramos importante que México se vuelva un protagonista mundial en el desarrollo de los robots humanoides de servicio; en las siguientes secciones detallamos por qué esto es esencial para el desarrollo del país.

## Omnipresencia y dependencia tecnológica

La penetración de la robótica en diversos sectores ya es una realidad. Existen actualmente aplicaciones a partir del uso de robots, tan diversas, como tareas militares y de seguridad, en el sector salud, en servicios domésticos, en el acceso y exploración de lugares remotos o peligrosos, en la industria manufactura para incrementar la productividad y la eficiencia de los factores, en atención de personas con discapacidades, en entretenimiento, por

mencionar sólo algunas. Diversos investigadores [1] estiman que la industria robótica podría ser tan importante como la industria automotriz<sup>3</sup>. Se espera un muy importante incremento en el mercado mundial de robots, en particular de los robots de servicio, ver Figura 2. Si no se invierte en México en esta tecnología se va a crear una costosa dependencia en el futuro, y se estará perdiendo la oportunidad de insertarse con éxito en esta tecnología a partir de una visión estratégica de largo plazo. El campo de la robótica promete tener un crecimiento acelerado en los próximos años, con penetración y repercusiones innovadoras en prácticamente todos los sectores económicos del país. México tiene la oportunidad y la obligación de posicionarse como país generador y exportador de una de las tecnologías que van a moldear el futuro de la sociedad.

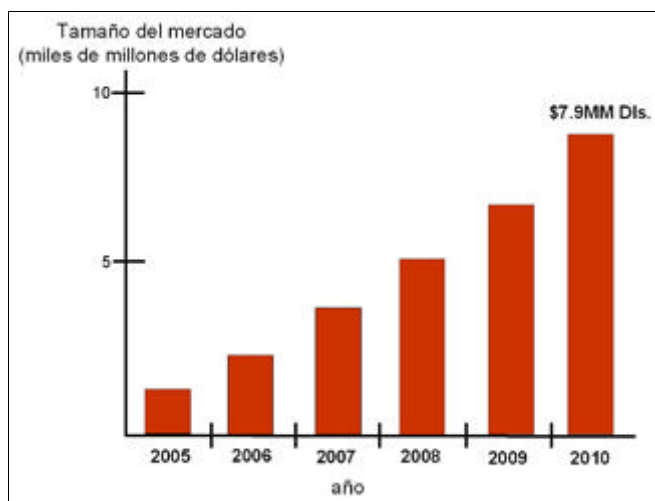


Figura 2. Tendencia esperada del mercado de robots de servicio (fuente: Robotic Trends [2]).

## Competitividad

Independientemente de las fórmulas empleadas para medir la competitividad de un país, el resultado neto es que México ha perdido competitividad en la última década. El Foro Económico Mundial estima que México ha perdido más de veinte lugares en los últimos diez años, al pasar de la posición 32 a la posición 55 y resulta altamente preocupante la tendencia a la baja que muestra el país. En el mundo globalizado de hoy, perder competitividad implica dejar de ser atractivo para la inversión nacional y extranjera, supone aumento del desempleo y significa abatir, aún más, las condiciones de bienestar de los ciudadanos. Existen diversos factores que influyen en los niveles de competitividad de un país, entre los que se pueden citar: contar con una sociedad incluyente, preparada y sana; disponer de mercados de factores eficientes; contar con sectores precursores de

clase mundial; y contar con sectores económicos con potencial creciente y probado. El desarrollo de la robótica en México permitirá el abaratamiento de esta tecnología, hará más eficiente los procesos en diversos sectores productivos, mejorará su calidad y por tanto incrementará la competitividad del país. Por otro lado, los robots de servicio ayudarán a impulsar las políticas públicas, como se plantea más adelante, lo cual contribuirá a formar una sociedad con mayor equidad. Los países industrializados como Japón, Corea, Estados Unidos y los de la Unión Europea están invirtiendo fuertes cantidades de dinero en el desarrollo de la robótica porque estiman que va a ser uno de los factores que impulsará su desarrollo y elevará sus niveles de competitividad. Las proyecciones de mercado mundial son de crecimiento exponencial, lo que abre oportunidades de crecimiento para México del mismo orden si continuamos en la frontera del conocimiento y si se trabaja en la construcción de mercados de innovación a nivel nacional. México no puede seguir rezagándose y debe actuar con determinación para recuperar sus niveles de competitividad internacional; la inversión en robótica es una vía promisoriosa para lograrlo.

## Industria tecnológica

En forma análoga a la industria automotriz y a la de las computadoras, una industria robótica tendrá en el futuro un efecto multiplicador, generando industrias proveedoras (partes mecánicas, electrónicas, etc.) y consumidoras (desarrolladoras de software y aplicaciones), que contribuirán al desarrollo económico del país. Se espera una importante generación de patentes dado que la industria robótica es relativamente joven y tiene expectativas muy altas de crecimiento. También se espera que se generen empresas especializadas en las diversas aplicaciones que se darán con los robots de servicio, por ejemplo, para labores domésticas, de la salud, culturales, de enseñanza, de seguridad, etc.

Las industrias de alta tecnología han experimentado el crecimiento más rápido en la economía global y ahora constituyen el mayor componente individual de las exportaciones manufactureras de los países en desarrollo. Un aspecto fundamental para un desarrollo económico próspero es la capacidad de entrar y competir en sectores de alta tecnología. La robótica es uno de ellos y México tiene la capacidad de hacerlo.

## Políticas públicas

Se espera que la robótica beneficie a una gran cantidad de sectores, pero en particular se espera que facilite la implantación de políticas públicas en el sector salud, en aspectos de seguridad, y en las áreas educativas.

1. Existe una clara tendencia de crecimiento acelera-

<sup>3</sup>Por cada empleo en la industria automotriz se generan otros siete empleos en industrias relacionadas y en 2001 representó el 3.7 % del PIB de Estados Unidos y en 2005, el 2.5 % del PIB nacional.

do de personas de la tercera edad; sin embargo, no existe la infraestructura apropiada ni se cuenta con personal capacitado y suficiente para su cuidado. Se espera que entre 2012 y 2023 la tasa de crecimiento de las personas de la tercera edad se mantenga en niveles por arriba del 4% anual [3], y se estima que a mediados del presente siglo habrá 121 ancianos por cada 100 niños y adolescentes en el país [4].

Por otro lado, existe una gran cantidad de personas con discapacidades que requieren atención especial. Según el censo de 2000 en México, el 45% del total de discapacitados presentaba limitaciones relacionadas con sus brazos o piernas, el 29% era invidente o sólo percibía sombras, el 17% eran sordos o escuchaban con ayuda de un aparato, y el 10% tenía otra clase de discapacidad [5]. Los robots humanoides de servicio pueden ayudar a la implantación de políticas públicas, ya que pueden servir como acompañantes, ayudar a recordar qué medicinas tomar y cuándo tomarlas, “monitorear” signos vitales y reconocer posibles situaciones que requieran atención médica, hacer llamadas de urgencia, etc. (ver Figura 3). También pueden ayudar en tareas como leer en voz alta y contestar correos electrónicos, buscar y leer noticias de Internet, alertar sobre posibles obstáculos a ciegos, identificar y alertar la presencia de personas, entre otras.

2. La seguridad se ha vuelto una de las preocupaciones principales de la sociedad moderna. Se calcula que sólo en la Ciudad de México hay más de 400 delitos cometidos en las calles todos los días; sin embargo, se estima que no se denuncia más del 90% de ellos [6]. Un robot de servicio puede cuidar un lugar haciendo uso de sus sensores, “patrullar” espacios, reconocer situaciones anormales o movimientos considerados como sospechosos, grabarlos y alertar, o bien llamar a las autoridades correspondientes. Ver Figura 4.
3. Independientemente de los importantes avances que se puedan lograr en aspectos científicos y tecnológicos, así como de las implicaciones que pueda tener para ayudar a implantar políticas públicas en áreas tan prioritarias como salud, o de las altas expectativas de desarrollo de una industria con repercusiones potenciales muy positivas en el desarrollo económico del país, se tiene que reconocer que los robots humanoides son muy llamativos. El contar con robots humanoides “Hechos en México” haciendo diversas tareas creará una imagen positiva en la juventud, y en la sociedad en su conjunto, en cuanto a las capacidades que se tienen en México para estar a la vanguardia en tecnologías de punta, promoverá la educación, ayudará a difundir la

ciencia e impulsará el desarrollo de nuevos avances científico y tecnológicos.

## Productos derivados

Los robots humanoides son particularmente atractivos por su similitud con los humanos y porque prometen utilizar las herramientas, dispositivos y sistemas que el hombre ha diseñado para su uso a lo largo de los años. Por otro lado, la tecnología y componentes desarrollados para los humanoides pueden utilizarse para diversos robots y aplicaciones. Por ejemplo, la tecnología para los



Figura 3. Ejemplo de un robot asistente de personas de un hospital.



Figura 4. Ejemplos de robots utilizados en seguridad.

## La robótica es particularmente atractiva por su efecto multiplicador al integrar diversas áreas científicas y tecnológicas.

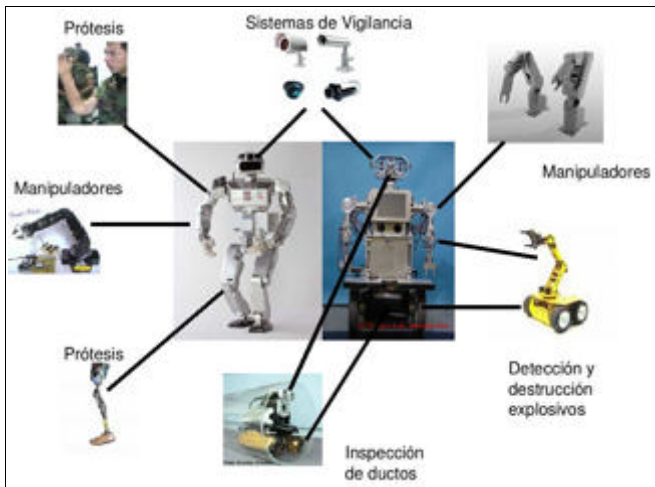


Figura 5. Diferentes partes de un robot humanoide se pueden utilizar para diversas aplicaciones.

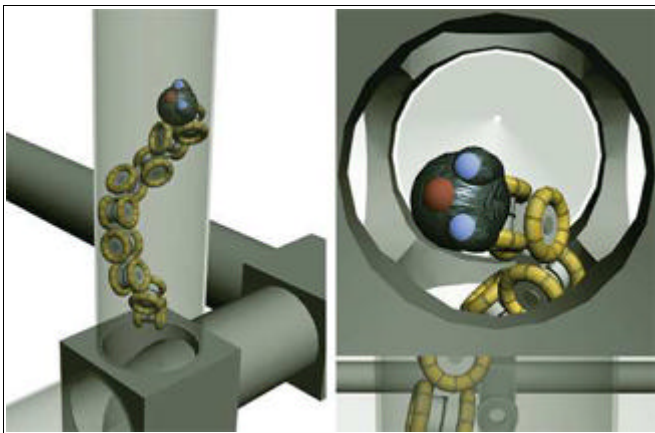


Figura 6. Ejemplo de robot móvil para inspeccionar ductos.

brazos manipuladores se puede utilizar para construir manipuladores de bajo costo accesibles para la pequeña o mediana industria. Esto es muy importante, ya que abre la posibilidad de proveer a la pequeña y mediana empresa con tecnología de punta a un costo razonable, que le permita eficientar sus procesos y enfrentar en mejores condiciones los efectos de una economía global. En la Figura 5 se muestra cómo diferentes partes de un robot humanoide se pueden transformar en diversos productos.

También se pueden desarrollar robots tele-dirigidos para situaciones de peligro, como incendios o derrumbes, para no arriesgar vidas humanas. Se pueden desarrollar plataformas móviles que se pueden utilizar con fines de inspección, por ejemplo, de tanques de almacenamiento, ductos y alcantarillados, como se ilustra en la Figura 6.

### Desarrollo de la ciencia

Desde el punto de vista científico, entender y explicar la inteligencia humana, así como crear máquinas inteligentes sigue siendo uno de los grandes retos de la actualidad. Una de las teorías sobre la inteligencia establece que ésta sólo se puede entender cuando está asociada a un cuerpo físico (*embody*) que le permita interactuar con el mundo. En este sentido, el desarrollo de robots “inteligentes”, y en particular de robots humanoides, es una manera de poder ampliar nuestro conocimiento acerca de lo que es la inteligencia; y un gran reto para el avance en el desarrollo de máquinas inteligentes. El impulso de la robótica en el país también ayudará a atacar problemas científicos en mecánica, electrónica, control y computación. En particular, se podría avanzar en el uso de nuevos materiales como fluidos magnetoreológicos, materiales electro-elásticos y micro-electro-mecánicos o MEMs. Se avanzaría en teorías modernas de control adaptable y dinámico para que el robot no sólo pueda caminar, sino que incluso pueda correr. También se podría avanzar en el diseño de nuevos sensores y equipo electrónico que atiendan necesidades en ahorro de energía, operar en tiempo real, ser modular y de bajo costo; requeridas para el desarrollo de robots humanoides. Finalmente, se avanzaría en diversos campos de las ciencias computacionales tales como aprendizaje del robot por imitación, reconocimiento de objetos y personas, e interacción en lenguaje natural, entre otras.

### Efecto multiplicador

La robótica es particularmente atractiva por su efecto multiplicador al integrar diversas áreas científicas y tecnológicas. Por un lado, el desarrollo de la robótica actúa como catalizador para acelerar el desarrollo científico en áreas relacionadas como visión, control, planificación, interacción humano-robot, mecánica, electrónica y sistemas de aprendizaje, entre otras; estos avances que resultan inmanentes a la robótica, también pueden utilizarse con gran éxito en otros desarrollos científicos y tecnológicos relevantes para el país. Por ejemplo, los desarrollos en visión pueden extenderse a aplicaciones de seguridad, control de calidad, análisis de imágenes médicas, etc. La investigación en interacción humano-robot puede emplearse para mejorar en general la interacción humano-computadora, con repercusiones en la industria de las comunicaciones, sistemas de información, sistemas interactivos, etc. Las soluciones en cuanto a la coordinación de tareas que tiene que realizar un robot, pueden extra-

---

## El impulsar el desarrollo de robots humanoides en México ayudará a mejorar la competitividad del país y nos colocará en ventaja competitiva ante una previsible invasión de una nueva industria que se vislumbra inminente.

---

polarse a problemas de decisión como el control de procesos industriales complejos. Los avances en electrónica y control pueden ayudar a automatizar diversos procesos industriales. En suma, todos los desarrollos científicos y tecnológicos asociados e impulsados por el desarrollo de robots humanoides pueden influir positivamente en el avance de la comunidad científica en tecnologías de punta, así como en diversos procesos productivos. Por otra parte, el amplio espectro de la robótica estimula la formación de cadenas productivas muy importantes, pues no sólo eleva la calidad y el control de insumos y materiales especializados que participan en la producción de robots y sus componentes, sino que también fomenta la capacitación y desarrollo de capital humano de gran calidad a lo largo de las cadenas productivas que origina desde el inicio hasta el destino final.

### La robótica está al alcance del país

A diferencia de otras áreas científicas en donde se requiere una substancial inversión de recursos para poder competir a nivel mundial y en donde la tecnología de punta se encuentra varias décadas adelante de la realidad nacional, el desarrollo de la robótica está al alcance del país, ya que la mayoría de la tecnología para su desarrollo está disponible y además, se ha trabajado en robótica en los principales centros de investigación y en las grandes universidades del país por muchos años. Esto significa que tenemos las mismas oportunidades de generar alto valor agregado. Su desarrollo, sin embargo, requiere de una inyección de recursos adecuadamente enfocados, controlados y rigurosamente evaluados que permitan crear las condiciones necesarias en el país para alcanzarlo y formar recursos humanos que sustenten y le den continuidad al área.

### Generación de recursos humanos

El incremento esperado en el área de robótica va a requerir una gran cantidad de recursos humanos tanto en la academia como en la industria. El impulso de la robótica en el país requiere la participación de manera coordinada de los grupos más importantes en esta área, lo cual contribuirá a la formación de especialistas a nivel nacional en las diferentes áreas de la robótica, tanto a nivel profesional como a nivel de maestría y doctorado. El país requiere formar expertos en robótica que atiendan a las demandas futuras de una industria creciente,

y apoyen carreras como la de mecatrónica, la cual es ofertada actualmente por 45 instituciones educativas a nivel nacional.

### Conclusiones

El desarrollo de la robótica está al alcance del país. El impulsar el desarrollo de robots humanoides en México ayudará a mejorar la competitividad del país y nos colocará en ventaja competitiva ante una previsible invasión de una nueva industria que se vislumbra inminente. Por otro lado, eliminará gran parte de la dependencia tecnológica que irremediablemente se creará en una gran cantidad de sectores económicos si no se aborda esta tecnología de forma inmediata. Ayudará a desarrollar una industria nacional en este rubro y en tecnologías asociadas, impulsando la generación de patentes y trayendo consigo nuevos empleos y el abaratamiento de costos en este tipo de tecnologías. Se espera que sus aplicaciones tendrán repercusiones económicas y sociales importantes que ayudarán a la implantación de políticas públicas en el país relacionadas con el sector salud, seguridad y educación. Se tendrá un importante impacto en el avance científico en áreas como las ciencias cognitivas, las ciencias de la ingeniería y las ciencias computacionales. El desarrollo de robots tendrá un efecto multiplicador que beneficiará otras áreas científicas y tecnológicas y favorecerá la generación de encadenamientos productivos. Finalmente, ayudará a formar una nueva generación de profesionistas que pueda atender a las demandas esperadas en esta área.

---

**No cabe duda que los robots de servicio, en particular los humanoides, van a tener un desarrollo muy importante en los próximos años con un mercado similar al que actualmente tienen las computadoras; la pregunta es si México va a ser un protagonista en el desarrollo de los robots del futuro o un simple observador. ☞**

---

### REFERENCIAS

1. Willis C. (2008) "The Philosophy & Future of Androids". *Android World*. <http://www.androidworld.com/prod40.htm>
2. Kara D. (2006) "Global trends in the consumer robotics market". Presentación en el

seminario *Emerging Technology and Best Practices Seminar Series*. Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de Boston. <http://www.bu.edu/mfg/programs/outreach/etseminars/2006march/>

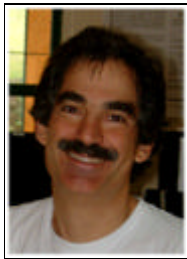
3. CONAPO. Comunicado de prensa 04/05, México, D.F., 27 de febrero de 2005. <http://www.conapo.gob.mx/prensa/2005/042005.pdf>

4. CONAPO. Comunicado de prensa 49/04, México, D.F., 22 de septiembre de 2004. <http://www.conapo.gob.mx/prensa/2004/492004.pdf>

5. INEGI (2007) “Discapacidad en México”. <http://cuentame.inegi.gob.mx/impresion/poblacion/discapacidad.asp>

6. Wondratschke C. (2005) “Seguridad ciudadana y medios de comunicación en la Ciudad de México”. Reporte técnico, Centro de Competencia en Comunicación para América Latina. <http://www.c3fes.net/docs/seguridadmexico.pdf>

**SOBRE LOS AUTORES**



**Eduardo Francisco Morales Manzanares** es investigador Titular de la coordinación de Ciencias Computacionales del INAOE. Obtuvo el grado de doctor en computación en la Universidad de Strathclyde, Glasgow, Inglaterra; y obtuvo la maestría en tecnologías de la información de la Universidad de Edimburgo, en Inglaterra. Ha dirigido o codirigido 10 tesis doctorales y 25 tesis de maestría, y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel II. Sus principales áreas de interés son aprendizaje computacional, programación lógica inductiva, descubrimiento de conocimiento en bases de datos, aprendizaje por refuerzo y robótica. Correo electrónico: emorales@inaoep.mx



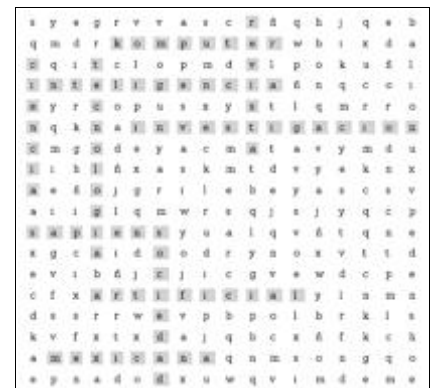
**Luis Enrique Sucar Succar** es Investigador Titular de la coordinación de Ciencias Computacionales del INAOE. Es doctor en computación del Imperial College en Londres, Inglaterra; y tiene una maestría en ingeniería eléctrica de la Universidad de Stanford, EUA. Ha sido presidente de la SMIA, miembro del comité asesor del IJCAI y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel II. Cuenta con más de 100 publicaciones científicas, y ha formado a 12 doctores y más de 30 maestros en ciencias. Sus principales intereses de investigación son en modelos gráficos y razonamiento probabilista en IA, visión computacional, robótica móvil y tutores inteligentes. Correo electrónico: esucar@inaoep.mx

**PASATIEMPOS**

Solución a la Sopa de Letras anterior

por **Oscar Herrera Alcántara**

- 1. inteligencia
- 2. artificial
- 3. sociedad
- 4. mexicana
- 5. revista
- 6. komputer
- 7. sapiens
- 8. ciencia
- 9. tecnología
- 10. investigación



## ARTÍCULO INVITADO

# Sistemas Tutores Inteligentes para Laboratorios Virtuales

por **Julieta Noguez Monroy**

## Importancia de los laboratorios en la enseñanza

Dentro de las disciplinas científicas y tecnológicas, la formación de estudiantes no puede completarse sin recibir lecciones prácticas, que principalmente se llevan a cabo en laboratorios de diferentes tipos. Sin embargo, los equipos y el material empleado en las prácticas de laboratorio pueden ser muy costosos, dificultando el acceso a un número importante de estudiantes. Cuando el equipo es propiedad de una empresa, no puede distraerse fácilmente para labores de capacitación y entrenamiento, porque se da prioridad a su amortización. Si hay riesgo de que el estudiante dañe el equipo o bien las condiciones del experimento puedan dañar al estudiante, también se tienen dificultades para llevar a cabo experimentos con equipo real. En particular en algunas disciplinas como en medicina, se presenta el riesgo de afectar a terceras personas durante el entrenamiento de médicos, paramédicos y enfermeras si se cometen errores.

Desafortunadamente, en nuestro país, no todas las instituciones educativas cuentan con el equipo y los laboratorios para ofrecer un entrenamiento adecuado, lo que obliga a los estudiantes a desplazarse a otros sitios geográficos para poder realizar sus prácticas. Si el equipo es complejo, los estudiantes pueden requerir un largo tiempo para capacitarse y los costos de desplazamiento también se incrementan. Adicionalmente, los laboratorios reales requieren la coincidencia en tiempo y espacio de alumnos y profesor, dificultándose la optimización de los recursos y el tiempo requerido para la capacitación y entrenamiento a través de la realización de prácticas o experimentos. Otros países viven condiciones similares en cuanto al acceso a laboratorios reales para estudiantes que se encuentran dispersos geográficamente.

---

**En general los servicios de educación a distancia y el alto costo de los laboratorios reales han impulsado el desarrollo de herramientas abiertas de software para simular, visualizar y programar equipos o herramientas, que genéricamente han recibido el nombre de laboratorios virtuales.**

---

## Laboratorios Virtuales

Un laboratorio virtual es un ambiente heterogéneo y distribuido para la solución de problemas, que permite a un grupo de participantes trabajar en proyectos que requieren el uso de laboratorios [1] y donde los usuarios no

tienen que estar físicamente en el laboratorio para realizar los experimentos. Los laboratorios virtuales ofrecen un acceso remoto a equipo de laboratorio, a bancos de talleres y experimentos técnicos, permitiendo nuevas y mejores formas integradas de la educación a distancia. Existen dos formatos de los laboratorios virtuales:

### Laboratorios Virtuales Simulados

Proveen el acceso a un modelo simulado del equipo experimental y del entorno; siendo este modelo similar, tanto en funcionalidad como en apariencia, al equipo y al entorno reales [2]. Tienen como ventaja principal proporcionar acceso ilimitado al laboratorio, sin riesgo alguno para el operador inexperto, ni para el equipo experimental.

### Laboratorios Virtuales Remotos

Otorgan el acceso remoto a un laboratorio real mediante una computadora conectada a Internet, de manera que se pueda controlar y observar la operación del equipo experimental, así como el desarrollo de los experimentos [3]. El estudiante tiene, entonces, la ventaja de operar y experimentar con un equipo real, para un mejor desarrollo de sus habilidades prácticas, al enfrentarse con situaciones reales que son difíciles de modelar completamente en una simulación.

Algunas de las ventajas más importantes en el uso de los laboratorios virtuales son las siguientes [4]:

- **Reducción de costos.** Si un participante carece localmente de un recurso, es posible utilizar el hardware y software del laboratorio virtual. Con esta medida ya no tiene que adquirir el equipo original o bien ya no tiene la necesidad de desplazarse físicamente para utilizarlo.
- **Promoción de la transferencia de la tecnología.** El software desarrollado y depurado en un sitio puede incorporarse a una biblioteca común, a fin de que esté disponible a un gran número de participantes.
- **Ampliación del tiempo y del acceso.** Debido a que el laboratorio virtual se puede instalar en un servidor, los experimentos y recursos del laboratorio virtual estarán siempre disponibles para los estudiantes autorizados.

- **Facilidad de crecimiento del sistema.** El nuevo hardware remoto o local puede integrarse fácilmente al sistema y ser controlado rápidamente a través de módulos de software, sin que sea necesario modificar todo el sistema.
- **Simulación transparente.** Empleando módulos de software reconfigurable es posible simular cualquier programa de tiempo real, basado en sensores.
- **Comparación de resultados de experimentos.** Diferentes instituciones que realizan investigación pueden hacer experimentos en un laboratorio virtual, así como publicar y comparar sus resultados.
- **Reducción de riesgos al recibir la capacitación.** Empleando ambientes virtuales de aprendizaje es posible reducir los riesgos y la necesidad de utilizar equipo peligroso para el entrenamiento y la capacitación; así como reducir las consecuencias de los errores que pudiesen cometer los estudiantes. Por ejemplo en plantas eléctricas, en ambientes quirúrgicos o en ambientes de condiciones climáticas extremas como el uso del equipo de vulcanología.
- **Incorporación de estrategias didácticas, tutores, ayudas en líneas.** El avance en los ambientes virtuales de aprendizaje permite que especialistas de las diferentes instituciones propongan herramientas y soluciones para un mejor aprovechamiento de los laboratorios virtuales con fines de capacitación y entrenamiento de personal.

En la mayoría de laboratorios virtuales se realizan experimentos para los cuales el estudiante proporciona los elementos necesarios para así permitir que el sistema simule o realice el experimento diseñado. Normalmente durante la realización de los experimentos no se interrumpe la sesión, ni se establece diálogo alguno con el estudiante. Se dice que el sistema brinda retroalimentación a través de los resultados obtenidos, que el propio estudiante debe interpretar. La posibilidad de que el estudiante pueda explorar y modificar la mayor cantidad de variables o parámetros de un experimento brinda las características de los ambientes abiertos de aprendizaje, debido a que permiten asociar la libre exploración para

fomentar un mejor aprendizaje. Estos ambientes presentan algunas dificultades que dependen de manera importante de las características particulares de cada estudiante, y no hay una clara definición de lo que constituye un comportamiento de exploración efectivo.

Adicionalmente, cada desarrollo de un laboratorio virtual consume tiempo y esfuerzo, ya que se implementa una construcción única para un solo tipo de experimentos. Por otra parte, los sistemas tutores inteligentes han evolucionado en las últimas décadas y pueden brindar ayudas importantes dentro de un laboratorio virtual.

## Sistemas Tutores Inteligentes

Un sistema tutor inteligente es un sistema que tiene como objetivo principal reproducir el comportamiento de un tutor humano (competente) que puede adaptarse al ritmo de aprendizaje del estudiante [5, 6].

La incorporación de sistemas tutores inteligentes a laboratorios virtuales enfrenta serios retos debido a sus características de interacción. La mayoría de los sistemas tutores inteligentes mantienen una interacción directa con el estudiante, empleando diálogos.

Algunos de los principales retos que se presentan al combinar los recursos de los laboratorios virtuales con los sistemas tutores inteligentes son los siguientes:

- Inferir el conocimiento a través de la interacción del estudiante con el laboratorio virtual.
- Incorporar modelos que permitan considerar los márgenes de incertidumbre en los procesos de inferencia.
- Dar seguimiento personalizado al estudiante durante el desarrollo del experimento y brindar una evaluación posterior y una adecuada retroalimentación.
- Adaptar la complejidad y alcance del siguiente experimento acorde a los antecedentes del estudiante y a los resultados previos obtenidos.
- Incorporar material didáctico y explicaciones previas al desarrollo de los experimentos.
- Contar con los experimentos y lecciones más adecuados, de acuerdo a la planeación pedagógica del curso en el que se utilicen.

---

**Un tutor inteligente reproduce el comportamiento de un tutor humano competente y flexible.**

---



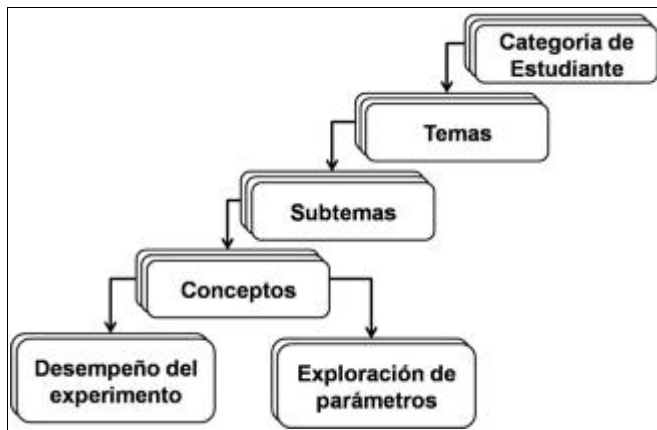


Figura 1. Dependencia entre clases de un fragmento del modelo del estudiante.

En el ámbito de los sistemas tutores inteligentes y de los laboratorios virtuales el elemento clave para la representación de la información relevante de cada estudiante, así como sus interacciones y los resultados de los experimentos es el modelo del estudiante.

Para enfrentar los retos antes mencionados, diversos autores han incorporado diferentes herramientas o métodos que permiten manejar la incertidumbre. En esta dirección las redes bayesianas [7] han permitido definir estructuras eficientes y efectivas para la representación de incertidumbre; y se ha demostrado que se pueden utilizar para modelar las relaciones entre las acciones observadas del estudiante, sus estados internos y sus resultados.

### Los modelos relacionales probabilísticos

El concepto de modelos relacionales probabilísticos (*Probabilistic Relational Models*, PRM) [8], extiende la representación de las redes bayesianas basadas en atributos para incorporar una estructura relacional mucho más rica, permitiendo la especificación de un modelo de probabilidad para clases de objetos y que las propiedades de una entidad dependan probabilísticamente de propiedades de otras entidades relacionadas. Estos modelos permiten representar incertidumbre sobre propiedades de la entidad, dependencia probabilística entre otras propiedades de la entidad, sobre propiedades de otras entidades y sobre la estructura en sí misma.

Para añadir un Sistema Tutor Inteligente a un Laboratorio Virtual se desarrolló un modelo relacional del estudiante [9, 10] que de manera flexible permitiera modelar las diversas variables involucradas en el desempeño de un experimento y asociarlas a la exploración y comportamiento del estudiante para inferir sus estados de conocimiento.

El modelo permite realizar inferencia de conocimiento a través de la propagación de evidencia en forma dinámica cada vez que el estudiante repite un experimento. Las relaciones de dependencia se definen primero a nivel de

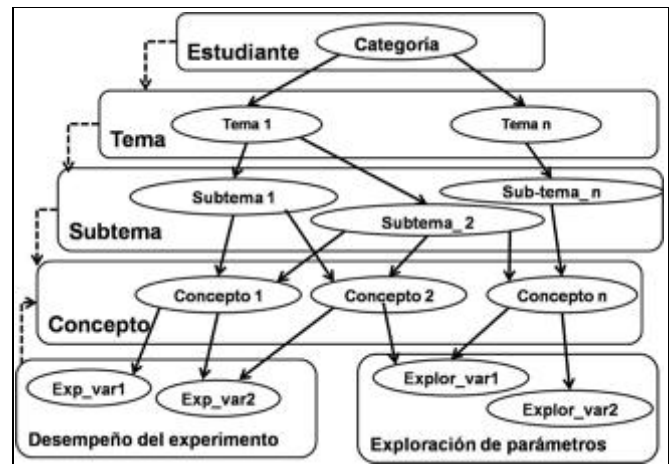


Figura 2. Esqueleto obtenido a partir del modelo relacional de la Figura 1.

clases. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de dependencias probabilísticas entre clases.

Una vez establecidas las relaciones entre las clases, el modelo del estudiante relacional probabilístico permite definir un esqueleto como el de la Figura 2 y partir de él, las instancias de cada experimento (conjunto de variables aleatorias específicas) y sus tablas de dependencia condicional.

Cuando un estudiante realiza un experimento se hace la propagación de evidencia sólo en la red asociada, es decir, no se mantiene en línea todo el modelo, todo el tiempo. Esto permite resolver el problema de complejidad computacional, de tal forma que tanto el modelo del estudiante, como el módulo tutor están en posibilidad de dar tiempos de respuesta aceptables durante la interacción del estudiante con el laboratorio virtual.

### Arquitectura genérica

Para integrar los recursos de un laboratorio virtual con un sistema tutor inteligente se propuso la arquitectura genérica [11] que se muestra en la Figura 3.

El módulo tutor de este ambiente también es un modelo relacional probabilista que con base en las inferencias del modelo del estudiante decide la mejor acción pedagógica para un estudiante, de acuerdo a su desempeño e interacción en el laboratorio.

### Aplicaciones

Con base en esta arquitectura se han desarrollado diversos laboratorios virtuales inteligentes, entre los que destacan los que se describen a continuación.

#### Laboratorio Virtual de Robótica Móvil

Fue el primer caso de estudio para aplicar la arquitectura genérica descrita en la sección anterior. Se desarrolló un sistema tutor inteligente combinado con un laboratorio virtual para un curso de robótica móvil de nivel licenciatura.

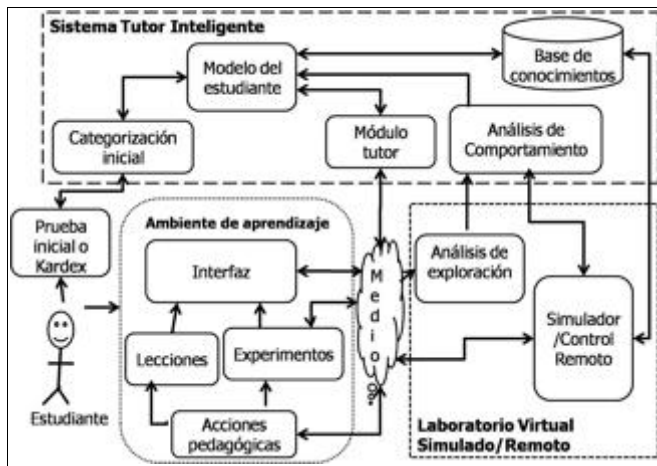


Figura 3. Arquitectura genérica que permite compartir laboratorios virtuales y sistemas tutores inteligentes.

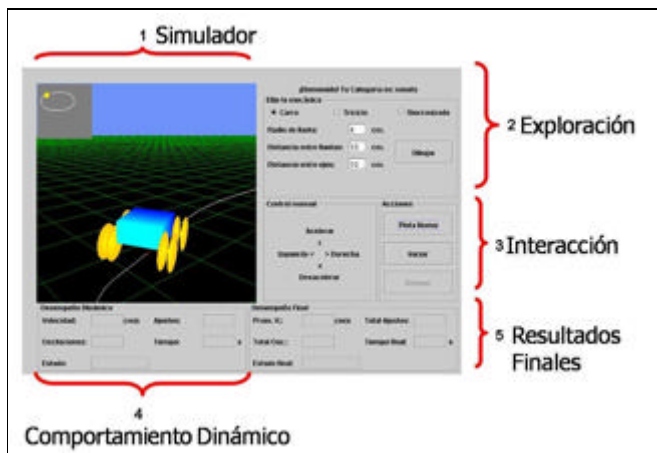


Figura 4. En este ejemplo el estudiante seleccionó una mecánica de carro y aumentó el radio de las llantas del robot (2). La clasificación del estudiante es novato y por ello la pista asignada en la sección del simulador (1) es muy sencilla. El estudiante puede controlar el carro o pedir pista nueva en la sección de interacción (3). Conforme el carro se desplaza se observan los parámetros de desempeño en forma dinámica (4) y al concluir el experimento se muestran los resultados finales en la sección de desempeño final (5).

En un ambiente de aprendizaje, la robótica proporciona enriquecedoras experiencias de aprendizaje. Permite a los estudiantes colaborar en la construcción de sistemas integrados, realizando aplicaciones del mundo real, fomentando el trabajo en equipo, participando en forma multidisciplinaria y promoviendo el pensamiento crítico. Adicionalmente, en forma reciente, ha habido mucho interés en la aplicación de kits de robots pequeños reconfigurables y de bajo costo para labores de enseñanza.

Uno de los objetivos del curso seleccionado es que los estudiantes programen robots móviles que concursarán en desplazamiento en pistas, considerando el diseño me-

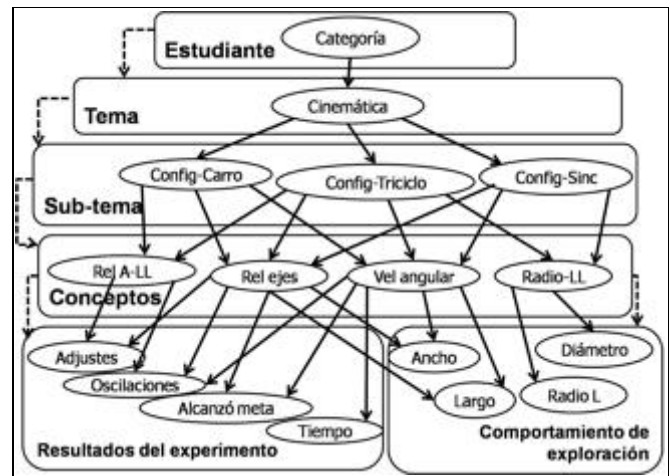


Figura 5. Red bayesiana que corresponde al experimento 1, basado en el esqueleto del modelo relacional probabilista del esquema experimento (Figura 3).

cánico, la información de los sensores y haciendo ajustes a través de mecanismos de control. Por esa razón se diseñaron y desarrollaron en el laboratorio virtual cuatro experimentos que permiten conocer los diversos aspectos de la mecánica y cinemática de robots móviles, el uso de sensores infra-rojos, así como la facilidad de que el estudiante realice programas de control de robots y los pruebe en el ambiente simulado del laboratorio virtual. Estos experimentos deben ayudar a los estudiantes a que posteriormente construyan robots móviles reales y participen exitosamente en competencias nacionales e internacionales de robótica móvil [12].

El ambiente virtual se diseñó como un ambiente semiabierto de aprendizaje que brindara al estudiante la oportunidad de aprender a través de la libre exploración, pero con criterios específicos relacionados con las metas del experimento a fin de guiar el proceso de aprendizaje. La sección del simulador permite visualizar el movimiento de los robots de cada experimento. Refleja los cambios de la mecánica de los robots (forma, tamaño de llantas, distancia entre ejes y distancia entre llantas), que el estudiante selecciona cuando explora estos parámetros. De acuerdo a la categoría del estudiante se selecciona la complejidad de la pista y posteriormente el simulador aplica el modelo cinemático correspondiente a la elección del estudiante. Dependiendo del experimento el estudiante podrá interactuar directamente controlando la velocidad y la dirección del robot, como se muestra en la Figura 4, o bien ejecutando sus programas de control automático.

El sistema tutor inteligente está formado por un módulo de categorización inicial, el modelo del estudiante, la base de conocimiento y el módulo tutor.

El modelo del estudiante fue desarrollado empleando como base los modelos relacionales probabilísticos descritos en la sección anterior. La Figura 5 muestra la red bayesiana del experimento 1, obtenida a partir del mo-

delo relacional probabilista. Una parte muy importante en la aplicación del modelo fue la asociación de los resultados físicos y de los parámetros de exploración del experimento a variables aleatorias que permitieran la inferencia de conocimiento del estudiante.

El módulo tutor es el responsable de decidir la mejor acción pedagógica que el laboratorio virtual inteligente debe presentar al estudiante, tomando en cuenta su desempeño. El módulo tutor deberá decidir si un estudiante requiere ayuda, lecciones, repetir el último experimento con mayor, menor o igual grado de dificultad, o bien cambiar la serie de experimentos.

Para la evaluación del laboratorio virtual y el sistema tutor inteligente, se realizó un estudio de campo para medir la efectividad de la ayuda en el aprendizaje del estudiante. Se obtuvieron resultados positivos y alentadores, tanto cuantitativos como cualitativos de la capacidad de predicción del sistema, de la utilidad del tutor inteligente, así como del ambiente semi-abierto de aprendizaje. Se puede ver más detalle del proceso de evaluación en [12]. El laboratorio virtual puede visitarse y está disponible en el siguiente sitio. Se requiere un navegador Web, jdk y java 3D. Para acceder hay que registrarse como estudiante y contestar un cuestionario sencillo:

<http://elearning.ccm.itesm.mx:8080/VirtualLaboratory>

A continuación se hace una breve descripción de otras aplicaciones desarrolladas con los modelos descritos anteriormente.

### Laboratorio Virtual de Robótica Móvil con Competencias en Línea

Además de permitir explorar las características mecánicas, de sensores y de programación automática para robots móviles en un ambiente de seguimiento de línea, permite la participación de hasta cuatro alumnos en concursos o competencias [13]. Ver Figura 6.

### Laboratorio Virtual para la Enseñanza Media<sup>4</sup>

Permite entrenar al estudiante en un ambiente seguro sobre las operaciones básicas de un torno mecánico para estudiantes de escuelas secundarias técnicas [14]. Ver Figura 7.

### Laboratorio Virtual de Conservación de Momento Lineal

Permite, a través de una historia de salvar un astronauta en el espacio, aprender los conceptos de conservación de momento lineal y sus factores asociados de masa y velocidad [15]. Ver Figura 8.

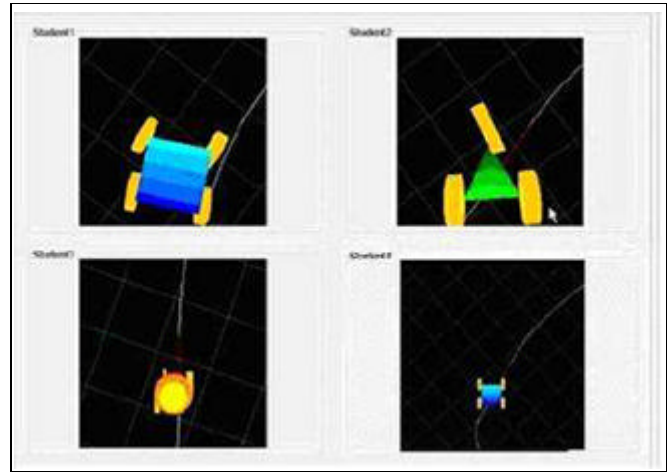


Figura 6. Laboratorio Virtual de Robótica Móvil con competencias en línea. <http://elearning.ccm.itesm.mx:8080/VirtualLaboratory>

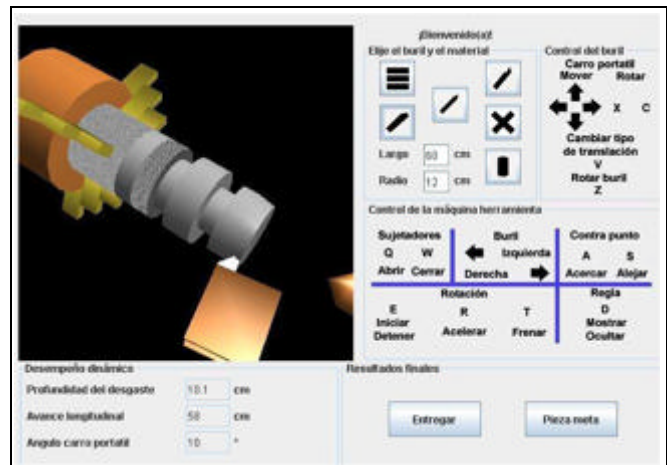


Figura 7 Laboratorio Virtual de Torno. <http://elearning.ccm.itesm.mx:8080/Lasito>

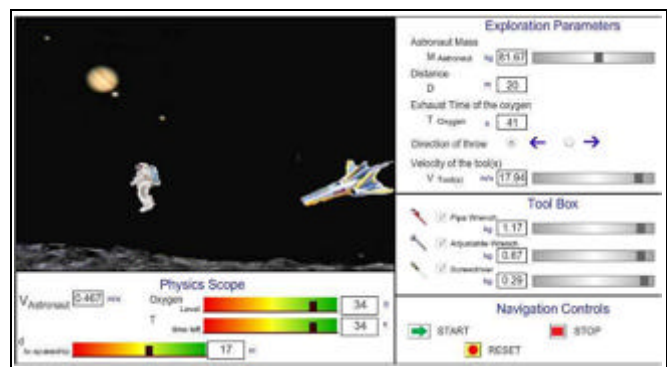


Figura 8. Laboratorio Virtual de conservación de momento lineal. <http://elearning.ccm.itesm.mx:8080/EEXIP>

<sup>4</sup>Proyecto financiado por el fondo sectorial CONACYT-SEP-SEByN.

Las pruebas de cada laboratorio virtual inteligente con estudiantes reales pueden verse en los documentos de referencia citados y son alentadoras en el sentido que han permitido una ganancia de aprendizaje importante a través de la incorporación de sistemas tutores inteligentes.

## Conclusiones

Los ejercicios de laboratorio son una parte importante en la formación de estudiantes en diversas disciplinas científicas y tecnológicas. Desafortunadamente en nuestro país no todas las instituciones educativas cuentan con el equipo y los laboratorios adecuados, su distribución territorial es desigual e insuficiente en algunos campos del conocimiento para atender la demanda de profesionales calificados en las diversas regiones del país.

Los laboratorios virtuales pueden verse como una ampliación de los servicios de educación a distancia que ofrecen la posibilidad de atender y compartir diferentes recursos y trabajarlos como si estuvieran en el mismo sitio donde se encuentran los recursos reales.

En este trabajo se combinan los recursos de los sistemas tutores inteligentes con los laboratorios virtuales, la definición de un nuevo modelo del estudiante, la incorporación de ayudas didácticas a través de la labor del sistema tutor inteligente, y el diseño de un ambiente virtual de aprendizaje adecuado para permitir al estudiante la adquisición de habilidades y conocimientos. Todo esto desarrollado con tecnología propia y en ambientes de desarrollo abiertos.

Los sistemas tutores inteligentes permiten dar seguimiento y retroalimentación adecuada a los estudiantes que interactúan con un laboratorio virtual, mejorando así su comprensión y aprendizaje.

El modelo descrito proporciona ventajas importantes, entre las que destacan: flexibilidad para considerar diferentes modelos de cada estudiante, adaptabilidad para obtener un modelo inicial de un nuevo estudiante a partir de modelos de estudiante similares, modularidad brindando facilidades para añadir nuevos experimentos, eficiencia propagando las probabilidades sólo para el subconjunto del modelo, y facilidad para construir y mantener el sistema. ☞

---

## REFERENCIAS

1. Wagner B. (1999) "From Computer Based Teaching to Virtual Laboratories in Automatic Control". *29th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, San Juan Puerto Rico, sesión 13d6-6.
2. Joler M., Christodoulou C.G. (2001) "Virtual Laboratory, Instruments and Simulations Remotely Controlled via the Internet". *Antennas and Propagation Society 2001 IEEE Intl. Sym.*, Vol 1, pp. 388-391.
3. Massino M., Sheridan T.B. (1994) "Teleoperator Performance with Varying Force and Visual Feedback". *Human Factors*, 36(1), pp. 145-157.
4. Gertz M., Stewart D., Nelson B., Khosla P. (1994) "Using hypermedia and reconfigurable software assembly to support virtual laboratories and factories". *5th International Symposium on Robotic and Manufacturing*, pp. 15-17.
5. Frasson C., Mengelle T., Aimeur E., Gouardères G. (1996) "An Actor-Based Architecture for Intelligent Tutoring Systems". *Third International Conference (ITS'96)*, pp. 57-65.
6. Self J. (1999) "The defining characteristics of intelligent tutoring systems research: ITSs care, precisely". *International Journal of Artificial Intelligent in Education*, vol 10, pp. 350-364.
7. Pearl J. (1988) *Probabilistic Reasoning in Intelligence Systems*. Morgan Kaufman. San Mateo, California.
8. Koller. D. (1999) "Probabilistic Relational Model". *9th International Workshop Inductive Logic Programming*. Saso Ozevosky & Peter Flach (eds), pp. 3-13. Springer Verlag.
9. Noguez J., Sucar E., Ramos F. (2003) "Probabilistic Relational Student Model for Virtual Laboratories". *AIED 2003 11th International Conference on Artificial Intelligence in Education*. pp. 533-534. Sydney, Australia.
10. Noguez J., Sucar L.E., Espinosa E. (2007) "A Probabilistic Relational Student Model for Virtual Laboratories". *Lectures Notes in Artificial Intelligence 4511*, pp. 303-308. Springer Verlag.
11. Noguez J., Sucar E. (2005) "A semi-open learning environment for virtual laboratories". *Lectures Notes in Artificial Intelligence 3789*, pp.1185-1194. Springer-Verlag.
12. Noguez J., Sucar E. (2006) "Intelligent virtual laboratory and project oriented learning for teaching

mobile robotics”. *International Journal of Engineering Education. Special Issue on Robotics Education*, G. McKee (ed). Vol 22, number 4, pp. 743-757. Tempus Pub.

13. Huesca Juárez G. (2006) *Laboratorio Virtual de robótica móvil, en esquemas de coordinación concurrente*. Tesis de maestría, Maestría en Ciencias de la Computación, Tecnológico de Monterrey Campus Cuernavaca.

14. Noguez J., Huesca G. (2008) “LaSiTo: A Lat-

he Simulated Virtual Laboratory”. *Proceedings of the 38th IEEE International Conference on Frontiers in Education (FIE2008)*. S2A-18. Saratoga Springs, New York. USA.

15. Munoz K. (2008) “Investigation of a hybrid learning environment for teaching Physics using the Olympia architecture”. Thesis of M.Sc. in Computing and Intelligent Systems. School of Computing and Intelligent Systems. University of Ulster, Magee Campus. Irlanda del Norte.

**SOBRE LA AUTORA**



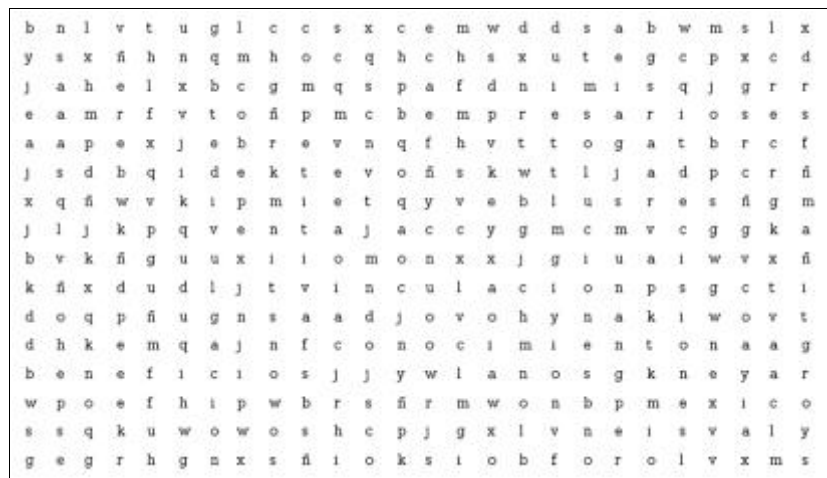
**Julieta Noguez Monroy** recibió el grado de doctora en ciencias de la computación en 2005 en el Tecnológico de Monterrey. Realizó estudios de la maestría en ciencias de la computación (IIMASS-UNAM, 1982-1985) y de la maestría en ciencias computacionales (Tecnológico de Monterrey, 1995-1998). Es también ingeniera en comunicaciones y electrónica, egresada del Instituto Politécnico Nacional. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI nivel 1), de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial y de la *Artificial Intelligence in Education Society*. Es responsable de la cátedra de investigación en e-Learning y profesora/investigadora en el Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México. Sus áreas de investigación son Inteligencia Artificial en Educación, Sistemas Tutores Inteligentes, Laboratorios Virtuales, e-Learning, Robótica y Técnicas Didácticas Colaborativas. Correo electrónico: jnoguez@itesm.mx

**PASATIEMPOS**

# Sopa de Letras

por **Oscar Herrera Alcántara**

1. soluciones
2. empresarios
3. decisiones
4. vinculacion
5. mexico
6. divulgacion
7. conocimiento
8. beneficios
9. ventaja
10. competitividad



## ARTÍCULO ACEPTADO

# Modelos Asociativos

por María Elena Acevedo Masqueda, Cornelio Yáñez Márquez y Federico Felipe Durán

---

**El cerebro humano ha sido un gran misterio desde siempre. Aún cuando se conocen los elementos que conforman su estructura, no se sabe en realidad cuál es la interacción que existe entre ellos, lo que nos permite llevar a cabo las diversas actividades y desarrollar algunas habilidades. Una de las tantas habilidades que tiene nuestro cerebro es la de poder recordar, lo que nosotros llamamos memoria. Nuestra memoria puede ser asociativa, ya que asocia diversos objetos que posteriormente nos sirven para recordar. Este comportamiento tan útil para nosotros ha servido de estímulo para que el hombre trate de simularlo creando modelos asociativos.**

---

## Introducción

En algunas ocasiones debemos grabar en nuestra memoria algún número, ya sea telefónico, de una tarjeta de crédito, o algún número de identificación personal (NIP), o la placa de nuestro automóvil. Algunas de las técnicas que utilizamos para memorizar esos datos es relacionarlos con nuestra fecha de cumpleaños, el número de la playera de un jugador de nuestro equipo favorito, el número de nuestro domicilio o nuestra edad.

A veces las asociaciones que realizamos están enfocadas a ciertas características particulares de personas o lugares. Por ejemplo, si no recordamos el rostro de algún conocido, entonces alguien puede auxiliarnos mencionando el color del pelo, de ojos o de la tez de esa persona, la forma de la nariz, el tamaño de las orejas, su estatura, su complexión, quizá algún tatuaje o cicatriz, o su manera de vestir. Alguno de esos detalles o su combinación provocan la asociación automática con el poseedor de esas características.

Otras veces, podemos recordar algún lugar con tan sólo escuchar una canción, percibir un olor, observar un tipo particular de arbusto o flor, o simplemente escuchar el nombre de ese lugar.

El recuerdo puede aparecer de forma involuntaria cuando un pensamiento nos encamina, mediante la asociación, hacia otro pensamiento y éste hacia otro y así sucesivamente, hasta que llegamos a un pensamiento final que no tiene relación con el primero que nos abordó. Sin embargo, si se analiza la ruta de pensamientos nos daremos cuenta que cada uno de esos pensamientos está asociado con el anterior.

Estos son algunos ejemplos de la forma en que trabaja nuestra memoria en la vida cotidiana. En el proceso de memorización siempre intervienen dos fases, en la primera de ellas se produce la asociación de los dos objetos en cuestión: el que queremos recordar (objetivo) y el que nos estimula al recuerdo (estimulante). En la segunda fase basta con alimentar a nuestra memoria con el objeto estimulante y el objetivo aparecerá automáticamente. Lo que en realidad está haciendo nuestra memoria es reconocer ciertas características mostradas por un objeto, lo que en el área de la Inteligencia Artificial se llama Reconocimiento de Patrones.

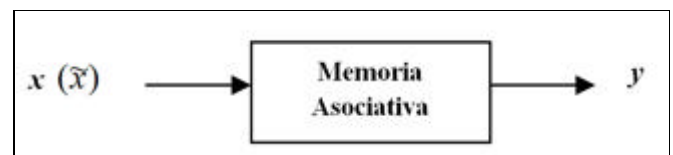
Sin embargo, nuestra memoria no sólo nos sirve para recordar objetos, también nos ayuda en la clasificación de los mismos. Para realizar esta tarea es suficiente con aprender las características que distinguen a cada conjunto de objetos de naturaleza similar y cuando uno de ellos se nos presenta, automáticamente sabemos la clase a la que corresponde; una vez más se realiza un reconocimiento de patrones.

Este comportamiento de nuestra memoria tiene características importantes que nos resultan de gran utilidad en la vida diaria. Esta utilidad ha inspirado a muchos investigadores en la creación de modelos que permitan simular ese mismo comportamiento.

## Conceptos básicos

En esta sección se expondrán los conceptos básicos necesarios para entender el contexto de un modelo asociativo, estos conceptos fueron tomados de [1].

La creación de una Memoria Asociativa (MA) requiere de dos fases: en la primera fase se asocian las parejas de patrones que serán aprendidos, por lo que esta fase es llamada fase de aprendizaje; en la segunda fase la memoria asociativa recibe un patrón de entrada, el recuerdo estimulante, y su tarea es entregar un patrón de salida, el recuerdo objetivo, a esta fase se le llama fase de recuperación. De lo anterior podemos definir una memoria asociativa como un sistema de entrada y salida que permite la asociación de patrones y cuyo proceso tiene un flujo en una sola dirección. Este esquema se ilustra en la Figura 1.



**Figura 1.** Una memoria asociativa puede visualizarse como un sistema de entrada y salida.

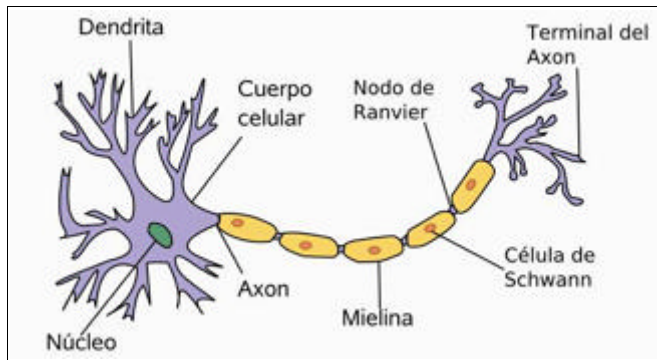


Figura 2. Estructura básica de una neurona. Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Neuronas>

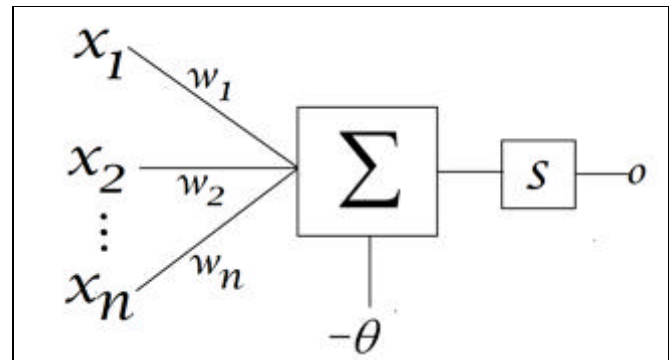


Figura 3. Primer modelo de neurona propuesto por McCulloch y Pitts en 1942.

**Una memoria asociativa es un sistema de entrada y salida, que permite la asociación de patrones y cuyo proceso tiene un flujo en una sola dirección.**

El conjunto de los pares de patrones que se asocian y que son aprendidos por la MA se llama conjunto fundamental. La naturaleza de los patrones asociados puede ser diversa, es decir, se pueden asociar números telefónicos con nombres de personas, fotografías de artistas famosos con películas, imágenes de autos con su nombre y modelo, palabras con sus definiciones correspondientes (un diccionario), los artículos de una tienda departamental con sus precios, la huella digital o el ADN de una persona con su foto, las características que definen una raza con el nombre del país de origen, los diferentes tipos de luz con sus rangos de frecuencias, en fin, una memoria asociativa puede relacionar cualquier tipo de patrón.

Ahora bien, si una MA asocia patrones iguales, es decir, huellas digitales con huellas digitales, entonces estamos hablando de una memoria autoasociativa. Por otro lado, si los patrones de entrada son diferentes a los de salida (cualquier ejemplo de los antes mencionados), entonces decimos que la memoria es heteroasociativa.

De la Figura 1 podemos observar que el patrón alimentado puede ser un patrón del conjunto fundamental ( $x$ ), o una fracción de ese patrón o una versión distorsionada de él ( $\tilde{x}$ ) y la memoria dará como resultado su correspondiente patrón de salida ( $y$ ). Lo anterior es la característica más deseable de una memoria asociativa, que sea capaz de recuperar un patrón completo a partir de diversas versiones de un patrón del conjunto fundamental. Sin embargo, hasta el momento no existe un modelo asociativo que recupere todos los patrones a partir de patrones ruidosos.

Una vez que hemos asociado los conceptos que se uti-

lizarán a lo largo de este trabajo y sus correspondientes definiciones, procedemos a conocer un poco de los inicios de los modelos asociativos.

## Historia de los Modelos Asociativos

La rutina que realiza nuestra memoria al almacenar asociaciones o recordar objetos parece simple pero se lleva a cabo mediante un proceso complejo. Sabemos que nuestro cerebro está compuesto de un gran número de células llamadas neuronas y que éstas están conectadas entre sí. En realidad, nadie conoce con exactitud la estructura formada por la conexión de neuronas. Para entender de manera sencilla la forma de trabajar de una sola neurona, analicemos la Figura 2.

Las dendritas son ramificaciones que le permiten a la neurona recibir la información (impulsos) que le envían otras neuronas. Esta información es procesada y el resultado se envía a través del axón que funge como cable conductor, el cual se conecta a otras neuronas a través de las dendritas. De esta forma una neurona puede comunicarse con sus compañeras.

Con base en este comportamiento básico, en 1943 Warren McCulloch y Walter Pitts proponen el primer modelo de neurona cuya estructura se muestra en la Figura 3.

Haciendo la analogía de la estructura de este modelo con la estructura de la neurona se puede observar que las dendritas son las entradas  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , los pesos  $w_1, w_2, \dots, w_n$  representan la intensidad de cada uno de los impulsos que fueron transmitidos por otras neuronas a través del axón y que fueron recibidos por las

dendritas. El símbolo  $\Sigma$  significa el procesamiento de la información recibida, y depende de las entradas y de los pesos ya que ambos son multiplicados y posteriormente sumados. Después de este procesamiento se tiene un límite o umbral representado por  $\theta$ . Si el valor obtenido en el procesamiento es mayor a ese umbral, entonces la neurona se activa. La forma de activación de la neurona depende de la función  $s$ . El resultado se presenta a la salida y es transmitido a otras neuronas, lo que en el caso del modelo original se realizaría a través del axón.

En 1958 Frank Rosenblatt propuso su perceptrón basado en las ideas de McCulloch y Pitts y en una regla de aprendizaje basada en la corrección del error. Una de las características de este modelo que más interés despertó fue su capacidad de aprender a reconocer patrones. El Perceptrón está constituido por un conjunto de sensores de entrada que reciben los patrones de entrada a reconocer o clasificar, y una neurona de salida que se ocupa de clasificar a los patrones de entrada en dos clases, según que la salida de la misma sea 1 (activada) o 0 (desactivada). Sin embargo, este modelo tenía muchas limitaciones, una de ellas consistía en no poder clasificar patrones que no eran linealmente separables, es decir, aquellos conjuntos de patrones que no pueden separarse mediante líneas rectas.

En 1969 Marvin Minsky y Seymour Papert publicaron su libro: *Perceptrons: An introduction to Computational Geometry* [2], el cual para muchos significó el final de las redes neuronales. En él se presentaba un análisis detallado del Perceptrón, en términos de sus capacidades y limitaciones, lo cual desanimó de manera contundente a los investigadores que en ese momento trabajaban en esa área.

Trece años más tarde, en 1982, J. J. Hopfield [3] introduce un nuevo modelo de red neuronal llamado Red de Hopfield, el cual revive el interés por las redes neuronales. Hopfield se preguntó si la interacción entre elementos similares podría dar como resultado un comportamiento diferente al presentado por un solo elemento cuando éste no interactuaba con los demás. Esto es lo que ahora se llama comportamiento emergente. La forma clásica y simple de ilustrar el comportamiento emergente es describir qué es lo que pasa cuando se forma “la ola” en los estadios de fútbol. Si el estadio está casi vacío, es difícil que los aficionados puedan generar “la ola”, ya que la euforia mostrada por algún grupo de aficionados no es transmitida a la parte restante del estadio porque no hay una gran cercanía entre ellos y no hay interacción. Sin embargo, si el estadio está ocupado a su máxima capacidad, entonces la cercanía entre las personas es más estrecha y la euforia mostrada por un grupo de gente se transmite con mayor facilidad, lo que resulta en que “la ola” recorra el estadio de manera continua y varias veces.

Basado en este comportamiento, Hopfield juntó varias neuronas de McCulloch y Pitts (NMP) y las hizo

interactuar, como se observa en la Figura 4.

En este ejemplo se tienen cuatro NMP, cada una de estas neuronas está conectada con las neuronas restantes. Sin embargo, ninguna neurona está conectada con ella misma. La respuesta a esa interacción fue un comportamiento similar a la de una memoria asociativa. Siendo Hopfield físico de profesión, él trató de explicar el comportamiento de la red propuesta como un sistema físico. Hopfield afirma que este sistema tiene estados estables (ideas generales) que corresponden a mínimos de energía. De manera ideal, esos estados estables deberían ser los patrones aprendidos; sin embargo, es difícil que eso suceda. Ahora, cada uno de esos estados estables tiene un área de atracción. Si alimentamos la memoria con un patrón que cae dentro del área de atracción de un estado estable (una idea parcial) entonces, después de algunas iteraciones (“darle vueltas” a la idea) convergirá a un estado estable o idea general, este comportamiento se ilustra en la Figura 5. El sistema de Hopfield nos asegura que cualquier idea parcial siempre aterrizará en un estado estable.

Otra característica de esta red es que también puede reconocer patrones que han sido contaminados con algún tipo de ruido, estos patrones también representarían una parcialidad del patrón original y podrían converger a éste, si fuera un estado estable. Es por eso que nosotros podemos reconocer objetos aún cuando sólo tengamos acceso visual a una parte de ellos o hayan sufrido cambios físicos.

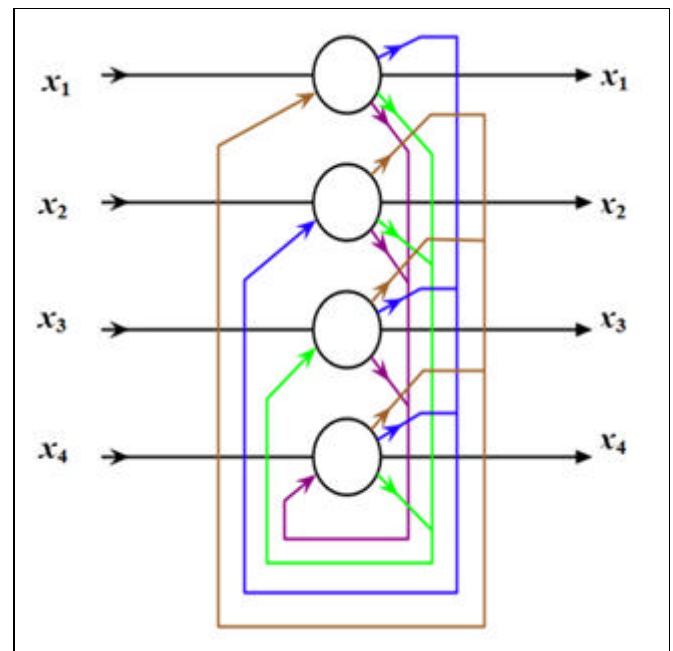


Figura 4. Estructura de la Memoria Hopfield. Cada una de las neuronas está conectada con las demás, pero no existe una conexión hacia sí misma.



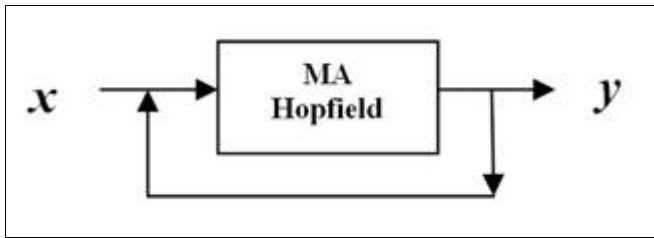


Figura 5. Diagrama a bloques de una Memoria Asociativa Hopfield. El proceso itera hasta que se llega a un estado estable.

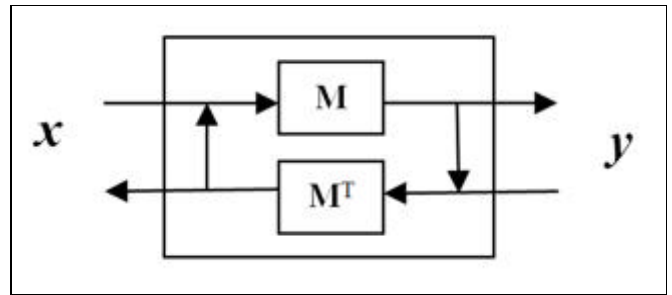


Figura 6. Estructura de la BAM de Kosko.

## En realidad, nadie conoce con exactitud la estructura formada por la conexión de neuronas.

La naturaleza de la estructura de esta memoria la hace del tipo autoasociativo, esto es, los patrones de entrada son iguales a los patrones de salida. Uno se preguntaría de qué sirve tener una memoria de este tipo, de qué sirve asociar un patrón con él mismo. Pues bien, supongamos que guardamos en nuestra memoria la cara de nuestro mejor amigo, después lo dejamos de ver por algunos años y un día, lo encontramos de frente, pero como el tiempo y la moda cambian físicamente a las personas, entonces observamos a una persona con arrugas, el pelo cano, tal vez con bigote o con el cabello más corto, más largo o con un peinado diferente. Lo vemos de frente y lo observamos muy detenidamente como queriendo descubrir un rostro familiar. Después de unos segundos de observación reconocemos a esa persona tan estimada que hace algunos años era físicamente diferente. ¿Cuál es el motivo por el cual somos capaces de reconocer a alguien que ha cambiado su físico? Nuestra memoria asoció los rasgos característicos de esa persona con esos mismo rasgos, en el momento en el que encontramos de frente a nuestro amigo tratamos de reconocer las particularidades que lo distinguen; sin embargo, encontramos al patrón aprendido con menos y/o más características, eso nos remite a un patrón con ruido que alimentará a nuestra memoria y que convergirá a la cara de joven de nuestro amigo.

Por otro lado, también somos capaces de reconocer personas aún cuando las veamos de espaldas o de perfil, lo que análogamente correspondería a una idea parcial y convergirá a una idea general (estado estable). Sin embargo, por lo regular nuestra memoria no es autoasociativa sino heteroasociativa, es decir, a los patrones por aprender los asociamos con patrones diferentes.

La memoria Hopfield tiene algunas limitaciones: el ser autoasociativa y una capacidad de recuperación muy pobre. Aún cuando esta memoria tiene las desventajas anteriores, la gran importancia de su propuesta es el renacimiento del interés en el área de redes neuronales y que, como se describirá en seguida, fue la base para los

diversos trabajos sobre modelos asociativos bidireccionales.

Sin embargo, la red Hopfield no es la única opción en cuanto a modelos asociativos, entre ellos podemos encontrar los clásicos y los no clásicos. Los modelos clásicos [4-7] corresponden a aquellos que utilizan sumas de productos para su aprendizaje y recuperación. Los modelos no clásicos cambian esas sumas por mínimos y máximos, y los productos por operaciones morfológicas como erosión y dilatación [11], u operadores tales como Alfa y Beta [1]. Las operaciones morfológicas y los operadores Alfa-Beta también han sido utilizados en modelos asociativos bidireccionales.

### Modelos asociativos bidireccionales

Nuestra memoria tiene la habilidad de que una vez que se han asociado dos patrones, podemos recuperar cualquiera de los dos al presentar alguno de ellos, es decir, nuestra memoria es bidireccional. En un sentido, uno de los patrones desempeña la función de estimulante y el otro de objetivo. En el sentido contrario, las funciones se invierten de tal manera que tenemos un proceso bidireccional. Proceso que no se da en el caso de los modelos asociativos no bidireccionales, en donde uno de los patrones siempre asume la función de estimulante mientras que el otro siempre es el objetivo.

Las Memorias Asociativas Bidireccionales (BAM, *Bidirectional Associative Memories*) fueron conocidas a través del trabajo de Kosko en 1988 [9]. El propósito de Kosko era eliminar la desventaja de la autoasociatividad de la red de Hopfield y, al mismo tiempo, mejorar la capacidad de recuperación. Su diseño consistió en conectar dos memorias Hopfield. Una de ellas es la transpuesta de la memoria original, como se puede observar en la Figura 6.

Kosko logra sus dos objetivos, esto es, su modelo es una memoria heteroasociativa que supera la capacidad de recuperación de la memoria Hopfield, aunque aún muestra una capacidad muy baja.

La BAM de Kosko tiene un funcionamiento muy similar a la de Hopfield, es decir, la memoria se crea utilizando el mismo procedimiento, creando una matriz de correlación, y sólo se necesita obtener la transpuesta de dicha matriz. Al igual que Hopfield, la BAM necesita iterar hasta encontrar un estado estable, sólo que en este caso el proceso va en ambos sentidos, es decir, podemos presentar como entrada un patrón  $x$  (estimulante) y obtener un patrón  $y$  (objetivo) o viceversa. Para lograr esto, el par de patrones necesita ser un estado estable de manera que cualquier idea parcial pueda caer en su área de atracción y así recuperar el patrón deseado.

Muchos investigadores tomaron como base este modelo y aplicaron varias técnicas para tratar de mejorar la capacidad de recuperación. Su principal objetivo era el lograr que los estados estables del sistema correspondieran a los pares de patrones entrenados. Para esto, algunos adicionaron elementos a los patrones [10], otros entrenaron a la memoria en repetidas ocasiones [11], también se utilizaron algunos métodos de codificación [15], se cambió la estructura original de la BAM [12], se modificó la regla de aprendizaje [14, 15], se utilizaron técnicas de programación lineal [16] y de otro tipo [17] para lograr una memoria más eficiente. Sin embargo, ninguno de esos modelos logró recuperar de manera total todos los patrones entrenados. Haciendo una analogía con nuestra memoria, podríamos decir que a muchos de nosotros nos sucede lo mismo, no podemos recordar toda la información que aprendemos.

Existen otros modelos de BAM que no están basados en el trabajo de Kosko y que utilizan algoritmos no clásicos, como ya se había mencionado: dilatación, erosión y operadores Alfa-Beta. También podemos encontrar un trabajo en donde la estructura de la red tiene tres capas y no necesita un proceso iterativo.

De todos los modelos de BAM, los basados en Kosko y los no clásicos, sólo uno de ellos ha logrado recuperar de manera correcta todos los patrones aprendidos sin necesidad de encontrar estados estables, ni utilizar técnicas complejas para la obtención de mejores resultados y más aún, sin limitar la naturaleza de los patrones aprendidos, es decir, no deben ser linealmente independientes u ortonormales, o tener cierta distancia de Hamming entre ellos, y no importando el número de pares de patrones por aprender. El único modelo que ha logrado esto es la Memoria Asociativa Bidireccional Alfa-Beta [18], obviamente, basada en los operadores Alfa-Beta de los cuales hereda el nombre. El funcionamiento de este modelo está sólidamente fundamentado matemáticamente. Siempre recuperará todos los patrones.

## La BAM Alfa-Beta

La estructura de la BAM Alfa-Beta se muestra en la Figura 7. Esta memoria consta de cuatro fases, dos para el sentido directo y otras dos para el sentido inverso.

En la fase de aprendizaje se construyen dos memorias autoasociativas Alfa-Beta: una de tipo mín y otra de tipo máx, en este caso el conjunto de patrones  $x$  son los patrones de entrada y los  $y$ , los patrones de salida. Estas dos memorias constituyen la etapa 1. La etapa 2 es una de las memorias asociativas clásicas: *Linear Associator*, esta memoria tiene como característica principal que puede recuperar todos los patrones siempre y cuando los patrones de entrada sean ortonormales.

En el sentido contrario, las etapas 3 y 4 son construidas de manera similar a las etapas 1 y 2, respectivamente. Para la etapa 3, en la fase de aprendizaje se construyen dos memorias autoasociativas Alfa-Beta del tipo máx y mín con los patrones  $y$  que ahora juegan el papel de patrones de entrada. Por otra parte, dado que ahora los patrones  $x$  corresponden a los patrones de salida, entonces es con estos patrones que construimos la matriz *Linear Associator* que correspondería a la etapa 4, con lo cual se concluye con el diseño completo de una BAM Alfa-Beta.

La idea de conjuntar una memoria autoasociativa Alfa-Beta mín y una máx, se basa en que el primer tipo de memoria es inmune ante el ruido sustractivo y la segunda memoria puede trabajar con patrones contaminados con ruido aditivo. Esto hace que la BAM Alfa-Beta sea capaz de manejar ambos tipos de ruido, no así el ruido mezclado, es decir, combinación de ruido aditivo y sustractivo. En la Figura 8 se ilustran las definiciones de ruido aditivo, sustractivo y mezclado.

Ahora bien, podríamos preguntarnos ¿por qué crear dos memorias autoasociativas? La respuesta es sencilla, las memorias autoasociativas Alfa-Beta tienen la ventaja de poder recuperar de manera perfecta todos los patrones entrenados y, como ya se ha mencionado, soportan una gran cantidad de ruido sustractivo o aditivo. Es claro que no se podía desperdiciar esa ventaja y se hizo uso de ella. El proceso es el siguiente. A cada uno de los patrones de entrada se le añade un vector ortonormal de tamaño igual al número de pares de patrones entrenados. Veamos el siguiente ejemplo. Supongamos que entrenamos a la BAM Alfa-Beta con cuatro pares de patrones, los vectores que se le añadirán a cada uno de los patrones de entrada se muestran en la Figura 9.

Con este conjunto de patrones se crean ambas memorias asociativas: la mín y la máx. Con esto se concluye la construcción de la etapa 1. Para la etapa 2, se construye un *Linear Associator* sin utilizar ninguna operación, simplemente se acomodan los patrones de salida en columnas y se forma la matriz que representa a este tipo de memoria. De esta forma terminamos con la fase de aprendizaje.

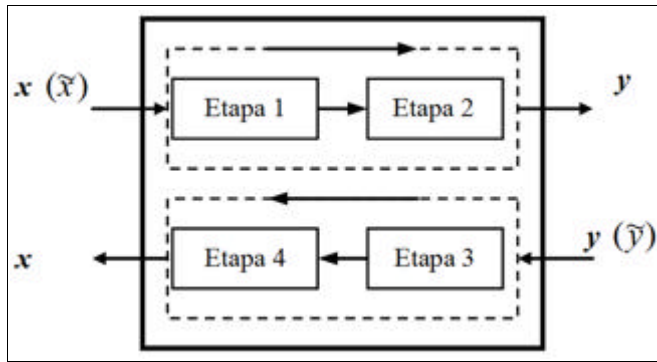


Figura 7. Estructura de la BAM Alfa-Beta.

**Ruido Aditivo: Cambiar ceros por unos**  
 00100011      ⇒      11101011

**Ruido Sustractivo: Cambiar unos por ceros**  
 00100011      ⇒      00000010

**Ruido Mezclado: Combinar ruido aditivo y sustractivo**  
 00100011      ⇒      10010010

Figura 8. Ilustración de las definiciones de ruido

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

El primer vector ortonormal se crea asignándole un uno al primer elemento y ceros a los restantes. Para el segundo vector ortonormal se coloca un uno en la segunda posición y se le asigna un cero a las restantes. El tercer vector se forma colocando un uno en la tercera posición y cero en las demás. Finalmente, el cuarto vector ortonormal se genera asignándole un uno al cuarto elemento y cero a los demás.

Figura 9. Vectores ortonormales que se añaden a los cuatro pares de vectores. La dimensión de estos vectores corresponde al número de pares de patrones asociados.

El término  $y_3^2$  corresponde al segundo elemento del tercer vector. Se puede observar que el primer vector,  $y^1$ , queda ubicado en la primera columna de la matriz *Linear Associator*, el segundo vector  $y^2$  se coloca en la segunda columna, mientras que los vectores  $y^3$  y  $y^4$  se ubican en la tercera y cuarta columna de la matriz, respectivamente.

$$LinearAssociator = \begin{bmatrix} y_1^1 & y_1^2 & y_1^3 & y_1^4 \\ y_2^1 & y_2^2 & y_2^3 & y_2^4 \\ y_3^1 & y_3^2 & y_3^3 & y_3^4 \end{bmatrix}$$

Figura 10. *Linear Associator* construido con cuatro patrones  $y$  de dimensión 3, para la etapa 2 en la fase de aprendizaje.

Notemos lo siguiente, tomando el ejemplo anterior: al primer patrón de entrada se le añade el primer vector de arriba, el único 1 se encuentra en la primera posición y su patrón de salida correspondiente se acomoda en la primera columna de la matriz del *Linear Associator* (ver Figura 10). Al segundo patrón de entrada se le añade el segundo vector de arriba, nótese que el único 1 se encuentra en la segunda posición y es en la segunda columna de la matriz en donde se acomoda su vector de salida correspondiente.

El objetivo de la etapa 1 en la fase de recuperación es el de recuperar el vector añadido correspondiente a cada vector de entrada. La posición del único 1 nos indicará la columna en la que se encuentra el correspondiente patrón de salida.

La BAM Alfa-Beta tiene un fundamento matemático muy sólido que asegura que siempre se podrá recuperar el patrón ortonormal añadido a un patrón de entrada, lo que al mismo tiempo también nos asegura que el patrón de salida correspondiente siempre será recuperado. Por supuesto, siempre y cuando los patrones presentados a la BAM Alfa-Beta correspondan al conjunto fundamental, y en algunos casos, cuando los patrones contengan cierta cantidad de ruido aditivo o sustractivo, pero nunca combinado.

En general, los modelos asociativos encuentran uso en varias aplicaciones, por ejemplo, para crear bases de conocimiento [19], en lattices o estructuras de conceptos [20], también se han utilizado como predictores [21], clasificadores [22], en la compresión de datos [23, 24], en el reconocimiento de huellas digitales [25], en la detección de bordes [26], en el área de extracción de características [27, 28] o como un traductor Español-Inglés/Inglés-Español [29].

Estas son áreas en las que las redes neuronales fueron utilizadas por muchos años, pero las memorias asociativas, de relativamente poca aparición, han ido ganando terreno gracias a sus resultados competitivos.

¿Cómo encontrarían estas aplicaciones un uso productivo? Actualmente la industria tiene la tendencia hacia la automatización total de sus procesos. Esto requiere que las decisiones, inherentes al proceso, se tomen adecuadamente sin intervención humana. Un sistema capaz de tomar decisiones y de interactuar con un medio ambiente específico se denomina Agente Inteligente Experto (AIE). Este sistema puede presentar un comportamiento similar al del ser humano en cuanto a interpretar los estímulos del medio ambiente, procesarlos y tomar una decisión, para finalmente dar una respuesta racional a sus percepciones. La primera etapa en el proceso que realiza un agente, es la de interpretar las percepciones que recibe de su medio ambiente. Una forma de interpretación es realizando una detección de bordes o una extracción de características para que, basado en esta información, el AIE pueda ubicar dentro de alguna clase (clasificar) la percepción recibida y pasar a la etapa de la decisión. De igual forma, esta información puede ser utilizada para hacer alguna predicción o dar un diagnóstico. Para cualquier toma de decisión es necesario consultar la base de conocimiento del agente, la cual juega el papel de la memoria en el ser humano. Para esto contamos con las estructuras de conceptos que ayudan a crear bases de conocimiento, en donde se guarda el conocimiento básico que necesita el agente para decidir o, en dado caso, hacer una inferencia a partir de ese conocimiento básico. Por otro lado, si el agente inteligente necesita guardar información en forma de imágenes, entonces es necesaria una manera eficiente para administrar su espacio y poder guardar esos archivos. Comprimir esa información le ayuda al AIE a contar con más espacio para almacenar más imágenes.

De lo anterior podemos darnos cuenta de que las aplicaciones que se han desarrollado para los modelos asociativos pueden utilizarse como herramientas para implementar un agente inteligente experto para la automatización de procesos que requieran de toma de decisiones. Además, cada una de esas aplicaciones puede usarse de forma particular como herramienta para sistemas que requieran el reconocimiento de patrones, como por ejemplo, un sistema de control de calidad o un predictor meteorológico.

## Conclusiones

Nuestra memoria es un dispositivo grandioso que nos permite almacenar información mediante la asociación de datos. Esta habilidad ha sido fuente de inspiración para muchos investigadores que han intentado simular ese comportamiento. Sin embargo, aún estamos lejos de imitar los fenómenos tan complejos que suceden en nues-

tra memoria. El trabajo sobre la memoria Hopfield ha sido importante para el renacimiento del interés de los investigadores en inteligencia artificial y de la creación de la memoria asociativa bidireccional de Kosko.

Estos modelos asociativos se han desarrollado desde hace, relativamente, poco tiempo. Cada trabajo nuevo ha podido superar a sus predecesores; sin embargo, aún no han encontrado, al menos en México, una aplicación práctica que coadyuve en el desarrollo tecnológico de nuestro país. Es por eso que el objetivo es continuar trabajando en el área de los modelos asociativos, tratando de obtener mejores modelos que imiten el comportamiento de la mente humana, pero al mismo tiempo, tratando de encaminarlos hacia aplicaciones prácticas que sean en beneficio de México. ☞

## REFERENCIAS

1. Yáñez, C. (2002) *Memorias Asociativas basadas en Relaciones de Orden y Operadores Binarios*, Tesis de Doctorado, Centro de Investigación en Computación, México.
2. Minsky M., Papert S. (1969) *Perceptrons*, MIT Press, Cambridge.
3. Hopfield J.J. (1982) "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 79, pp. 2554-2558.
4. Steinbuch K. (1961) "Die Lernmatrix", *Kybernetik*, Vol. 1, No. 1, pp. 36-45.
5. Willshaw D., Buneman O., Longuet-Higgins H. (1969) "Non-holographic associative memory", *Nature*, No. 222, pp. 960-962.
6. Anderson J. A. (1972) "A simple neural network generating an interactive memory", *Mathematical Biosciences*, Vol. 14, pp. 197-220.
7. Kohonen T. (1972) "Correlation matrix memories", *IEEE Transactions on Computers*, C-21, Vol. 4, pp. 353-359.
8. Ritter G. X., Sussner P., Diaz-de-Leon J. L. (1998) "Morphological associative memories", *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 9, pp. 281-293.
9. Kosko B. (1988) "Bidirectional associative memories", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 18, No. 1, pp. 49-60.
10. Wang Y.-F., Cruz J.B. Jr., Mulligan, Jr. (1990) "Two coding strategies for bidirectional associative memory", *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 1, No. 1, pp. 81-92.

11. Leung C.S., Cheung K.F. (1991) "Householder encoding for discrete bidirectional associative memory", *IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, Vol. 1, pp. 237-241.
12. Sarkar D. (1996) "A three-stage architecture for bidirectional associative memory", *IEEE International Conference on Neural Networks*, Vol. 1, pp. 531/4-531/9.
13. Tai H.-M., Wu C.-H., Jong, T.-L. (1989) "High-order bidirectional associative memory", *Electronics Letters*, Vol. 25, No. 21, pp. 1424-1425.
14. Jeng Y.-J., Yeh C.-C., Chiveh, T.D. (1990) "Exponential bidirectional associative memories", *Electronics Letters*, Vol. 26, No. 11, pp. 717-718.
15. Wang, Y.-F., Cruz J.B., Jr., Mulligan, Jr. (1991) "Guaranteed recall of all training pairs for bidirectional associative memory", *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 1, No. 6, pp. 559-567.
16. Perfetti R. (1993) "Optimal gradient descent learning for bidirectional associative memories", *Electronics Letters*, Vol. 29, No. 17, pp. 1556-1557.
17. Acevedo M.E. (2006) *Memorias Asociativas Bidireccionales Alfa-Beta*. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación en Computación, México.
18. R. Bogacz. (1996) "Implementing Knowledge Database in Neural Networks". *Proceedings of the Second Conference on Neural Networks and Their Applications*, pp.66-71. April 1996.
19. R. Bělohlávek (2005) "Fast Access to Concepts in Concept Lattices via Bidirectional Associative Memories". *Neural Computation*, Vol. 17(10), pp. 2291-2300.
20. J.C.S. Ruiz, O.A.I. Mayora, J.J. Torres, L.G.S. Ruiz (1995) "Short-term ozone forecasting by artificial neural networks". *Advances in Engineering Software*, vol. 23, pp. 143-149, Elsevier.
21. Mathai G., Upadhyaya B.R. (1989) "Performance Analysis and Application of the Bidirectional Associative Memory to Industrial Spectral Signatures". *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN '89)*, Vol. 1, pp. 33-37.
22. Guzmán E., Pogrebnyak O., Yáñez-Márquez C., Moreno J. A. (2006) "Image Compression Algorithm Based on Morphological Associative Memories", *Lecture Notes in Computer Science 4225*, pp. 519-528.
23. Wang C.C., Tsai C.R. (1998) "Data Compression by the Recursive Algorithm of Exponential Bidirectional Associative Memory", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics*, Vol. 28, No. 2, April 1998.
24. Acevedo-Mosqueda M. E., Yáñez-Márquez C., López-Yáñez I. (2006) "A New Model of BAM: Alpha-Beta Bidirectional Associative Memories", *Lecture Notes in Computer Science 4263*, pp. 286-295.
25. Chartier S., Lepage R. (2002) "Learning and Extracting Edges from Images by a Modified Hopfield Neural Network", *Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'02)*.
26. Aldape-Pérez M., Yáñez-Márquez C., Argüelles-Cruz A. J. (2007) "Optimized Associative Memories for Feature Selection", *Lecture Notes in Computer Science 4477*, pp. 435-442.
27. Aldape-Pérez M., Yáñez-Márquez C., López-Leyva L. O. (2006) "Feature Selection Using a Hybrid Associative Classifier with Masking Techniques", *Fifth Mexican International Conference on Artificial Intelligence*, pp. 151-160, IEEE Computer Society.
28. Acevedo-Mosqueda M. E., Yáñez-Márquez C., López-Yáñez I. (2006) "Alpha-Beta Bidirectional Associative Memories Based Translator", *International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol. 6, pp.190-194.



## ¡Anúnciese con nosotros!

Atención patrocinadores & anunciantes: **Komputer Sapiens** es una revista de divulgación en idioma español de temas relacionados con la Inteligencia Artificial, con un tiraje inicial de 1,000 ejemplares.

Información: [komputersapiens@smia.org.mx](mailto:komputersapiens@smia.org.mx)

## SOBRE LOS AUTORES



**María Elena Acevedo Mosqueda** se graduó de la carrera de ingeniería con especialización en computación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en 1996. Se ha desempeñado como profesora en ESIME desde 1994. Recibió el grado de maestra en ciencias con especialización en computación en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) en 2001. Obtuvo el grado de doctora en ciencias con especialidad es computación en el Centro de Investigación en Computación del IPN (CIC-IPN) en 2006. Su principal área de investigación son las Memorias Asociativas Bidireccionales. Correo electrónico: eacevedo@ipn.mx



**Cornelio Yáñez Márquez** recibió el título de licenciatura en física y matemáticas en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN en 1989; el grado de maestro en ciencias en ingeniería de la computación lo obtuvo en el CINTEC-IPN en 1995, y el grado de doctor en ciencias en el CIC-IPN en México en 2002, recibiendo la presea Lázaro Cárdenas 2002. Actualmente es profesor titular en el CIC-IPN. Sus intereses en la investigación incluyen las Memorias Asociativas, Matemática Morfológica y Redes Neuronales. Correo electrónico: cyanez@cic.ipn.mx



**Federico Felipe Durán** es ingeniero en comunicaciones y electrónica egresado del IPN (1984) y de la maestría en ciencias en ingeniería eléctrica del CINVESTAV-IPN (1986). Actualmente es profesor de tiempo completo en la ESIME-IPN y sus áreas de interés son la Inteligencia Artificial, las Bases de Datos y la Minería de Textos. Correo electrónico: ffelipe@ipn.mx

## CARTONES

## Robots de servicio

por **René Carbonell Pulido**<sup>5</sup>



<sup>5</sup>Logotipo del Torneo Mexicano de Robots Limpiadores 2005.

## COLUMNAS

## IA &amp; Educación

a cargo de **Julietta Noguez Monroy**, [iaeducacion-ksapiens@smia.org.mx](mailto:iaeducacion-ksapiens@smia.org.mx)

En el ámbito internacional, la sociedad de inteligencia artificial en educación (*Artificial Intelligence in Education*, AIED) [1], promueve la investigación y desarrollo, así como el conocimiento avanzado en el campo de la inteligencia artificial en educación.

La sociedad está formada por una comunidad interdisciplinaria en las áreas de ciencias computacionales, educación y psicología. Se promueve la investigación rigurosa y el desarrollo de ambientes interactivos de aprendizaje, adaptados al comportamiento e interacción de estudiantes de todas las edades.

Esta sociedad brinda a la comunidad importantes encuentros a través de diversos congresos, publicación de artículos en revistas y libros, así como otras actividades muy interesantes. El congreso más reciente de esta sociedad fue el *The 14th Conference on Artificial Intelligence in Education: Building Learning Systems that Care:*

*From Knowledge Representation to Affective Modeling*, llevado a cabo del 8 al 10 de julio de 2009, en la ciudad de Brighton, Inglaterra.

Por otra parte, continuando con las reflexiones sobre la estrecha colaboración entre la Inteligencia Artificial y la Educación les compartimos la aportación del Dr. Rafael Morales Gamboa, colega de la Universidad de Guadalajara.

## REFERENCIAS

1. "International Artificial Intelligence in Education (AIED) Society": <http://aied.inf.ed.ac.uk/aiedsoc.html>
2. "International Journal of Artificial Intelligence on Education": <http://www.ijaied.org>

---

## Interacción de la IA en la Educación

---

por **Rafael Morales Gamboa**

El sueño de utilizar las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para revolucionar los procesos educativos surge casi al mismo tiempo que las primeras computadoras, por lo que resulta natural que la primera imagen de la relación entre la Inteligencia Artificial y la Educación que produzca nuestra mente sea el uso de herramientas computacionales inteligentes en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Ejemplos de este tipo de herramientas son los Sistemas Tutores Inteligentes que se han producido a lo largo de casi cuarenta años de investigación y desarrollo siguiendo el modelo de la enseñanza individualizada y cuyo principio básico de diseño es la adaptación inteligente a las necesidades específicas de cada estudiante. Casi cualquier técnica de Inteligencia Artificial ha sido empleada en este tipo de sistemas para modelar los conocimientos y razonamientos que un tutor humano exhibe y realiza al llevar a cabo su labor. La asociación *Artificial Intelligence in Education* muestra en sus publicaciones [2] un gran número de ejemplos de este tipo.

La relación entre la Inteligencia Artificial y la Educación es, sin embargo, mucho más rica. De esta relación ha surgido de manera natural la necesidad y conveniencia de modelar computacionalmente los procesos de aprendizaje de los estudiantes. También se realiza investigación para estimar el impacto de los entornos virtuales educativos sobre el aprendizaje. En esta forma, la Inteligencia Artificial se ha constituido en componente esencial de la

instrumentación de laboratorios de experimentación en la educación de diversas disciplinas.

Un enfoque adicional y más sutil de la aplicación de la Inteligencia Artificial en la Educación es su uso como lenguaje para la formalización de teorías cognitivas y pedagógicas de cómo los humanos procesamos información y adquirimos conocimientos y habilidades y de cómo podemos hacer más ricos y eficientes dichos procesos.

En resumen, la Inteligencia Artificial se relaciona con la Educación en por lo menos tres formas distintas: i) como lenguaje para la formalización de teorías cognitivas y pedagógicas sobre los procesos de enseñanza-aprendizaje, ii) como tecnología para la construcción de instrumentos de laboratorio en los cuales experimentar con diversas aplicaciones de dichas teorías y, finalmente, iii) como tecnología para la construcción de herramientas de apoyo a los procesos de enseñanza-aprendizaje en entornos reales de educación formal e informal enriquecidos con tecnología. En conjunto, estas tres formas de interacción de la Inteligencia Artificial con la Educación conforman un claro ejemplo de cómo el pensamiento computacional, como espíritu de nuestra era, afecta todas las artes y plantea nuevas preguntas y desarrollos. ☞

---

Si desea contribuir en esta columna ¡su aportación es bienvenida! Envíela a [iaeducacion-ksapiens@smia.org.mx](mailto:iaeducacion-ksapiens@smia.org.mx)

---

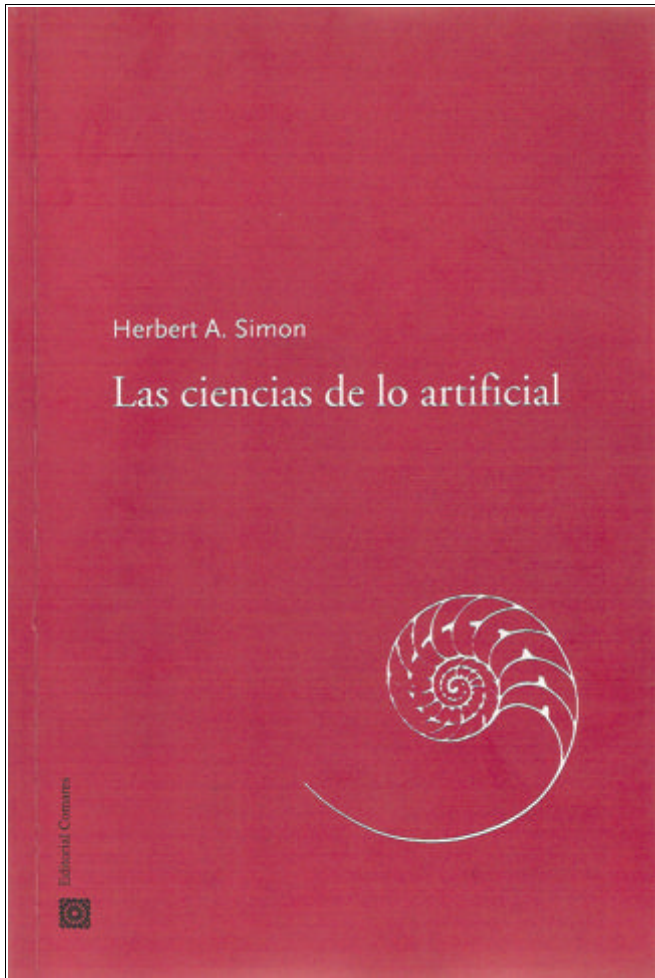
## COLUMNAS

# Deskubriendo Konocimiento

a cargo de **Gildardo Sánchez Ante** y **Alejandro Guerra Hernández**, deskubriendokonocimiento-ksapiens@smia.org.mx

## *Las Ciencias de lo Artificial* de Herbert A. Simon

por **Alejandro Guerra Hernández**



Portada del libro *Las Ciencias de lo Artificial*, de Herbert A. Simon. Versión en español editada por Comares, 2007

En 1983, Richard Feynman, premio Nobel de física, explicaba a sus estudiantes en Caltech: “Las ciencias computacionales difieren de la física, en que éstas no son en realidad una ciencia. No estudian objetos naturales. Tampoco son matemáticas, como podría creerse, aunque usan intensamente el razonamiento matemático... En realidad, son como una ingeniería...”<sup>6</sup>. ¿Cuál es

<sup>6</sup>Lecture Notes on Computation, Penguin Books 1999, p. xiii.

entonces la naturaleza de la investigación en Inteligencia Artificial? Para contestar a esta y otras cuestiones fundamentales, la lectura del clásico de Herbert A. Simon que hoy nos ocupa, resulta ineludible.

*Las Ciencias de lo Artificial* fue construido incrementalmente a partir de dos series de conferencias, revisadas cuidadosamente a lo largo de tres ediciones. La primera de estas series (capítulos uno, tres y cinco) data de 1968 y presenta la tesis central en buena parte de la investigación de Simon: ciertos fenómenos son artificiales en un sentido muy específico, son sistemas que se amoldan, en función de propósitos, al medio ambiente en el que viven. Son fenómenos que contrastan con el carácter necesario de lo natural, en su contingencia producto de la adaptación al medio ambiente. La contingencia de los fenómenos artificiales, tal y como lo ilustra la opinión de Feynman que abre esta columna, ha suscitado dudas sobre su pertenencia al ámbito de la ciencia.

---

**Simon argumenta que el verdadero problema es mostrar cómo se pueden formular proposiciones empíricas sobre sistemas que, en circunstancias distintas, pueden ser bastante diferentes a lo que son. Cómo dotar de un contenido teórico a las ingenierías, distinto al de las ciencias que las sustentan.**

---

La computación juega un papel central en la argumentación de Simon, en particular, en la postulación de la hipótesis de que un sistema físico de símbolos tiene los medios necesarios y suficientes para la acción inteligente en general, y de que tal hipótesis es sujeto de estudio de una ciencia de lo artificial. La argumentación parte de la descripción de los sistemas artificiales como interfaces entre un medio interno y uno externo para satisfacer un objetivo: si el medio interno se adapta al externo, o viceversa, el objetivo del artefacto se cumplirá. Lo relevante aquí es que esta división nos permite una descripción funcional de los artefactos en términos de su medio externo y sus objetivos, a condición de que consideremos que el artefacto es adaptable (en biología por selección natural, en ciencias del comportamiento por racionalidad).



Dado que lo artificial connota similitudes más externas que internas, esto es, sistemas físicos distintos pueden organizarse de maneras distintas para mostrar el mismo comportamiento externo, la simulación adquiere otra dimensión como fuente de conocimiento nuevo. Más allá de su uso como una mera computación de las consecuencias de nuestras premisas, la simulación puede verse como una forma de lograr que un artificio imite a otro. La computadora como una organización de componentes funcionales elementales en la que, con gran aproximación, lo único relevante para el comportamiento de todo el sistema es la función realizada por dichos componentes, potencia esta visión de la simulación. Si suponemos que la computadora es un sistema físico de símbolos, al igual que el cerebro y la mente humana, ésta emerge como un candidato a explorar las consecuencias en el comportamiento humano de hipótesis alternativas a la organización de sus componentes.

Como evidentemente la hipótesis del sistema físico de símbolos es una hipótesis empírica, Simon recolecta datos a su favor en el dominio de la psicología cognitiva (capítulo tres), partiendo de una nueva hipótesis: El ser humano, como sistema de comportamiento, es bastante simple. La complejidad aparente de nuestro comportamiento es fundamentalmente un reflejo de la complejidad del entorno en que nos encontramos. Para ello, Simon propone estudiar los límites en la ejecución de la resolución de problemas, tanto con resultados empíricos como con simulación computacional. La controvertida conclusión de Simon es que el sistema humano de procesamiento de información opera básicamente en serie: que puede procesar unos pocos símbolos a la vez y que los símbolos que procesa deben retenerse en una estructura de memoria limitada, cuyo contenido puede variar rápidamente. Cabe recordar que Simon se ha focalizado en la resolución de problemas, por lo que no considera tareas como el mantenimiento de la memoria pasiva. La segunda edición de *Las Ciencias de lo Artificial* agrega evidencia más reciente en este sentido, aunque claro, el rápido avance de las neurociencias en los últimos años tiene mucho que decirnos al respecto.

Simon argumenta (capítulo cinco), que el sujeto de una ciencia artificial se encuentra en esa fina interfaz entre el medio interno y el externo del artefacto, en la forma en que se origina la adaptación de los medios a los entornos. Es necesario pues, que las escuelas profesiona-

les asuman sus responsabilidades en la medida en que descubran y enseñen una ciencia del diseño, un cuerpo doctrinal acerca del diseño que sea intelectualmente sólido, analítico, parcialmente formalizable y transmisible. Las herramientas de la inteligencia artificial extienden la capacidad de la computación para dar forma a una teoría del diseño que apoye esta actividad. El resto del capítulo se ocupa de qué temas deberían incorporarse en una teoría de diseño y en su enseñanza.

El segundo ciclo de conferencias data de 1980 y se incluyó en la segunda edición de *Las Ciencias de lo Artificial*. En este ciclo Simon aborda la racionalidad acotada desde una perspectiva económica (capítulo dos), aproximando la teoría de la empresa como una teoría de decisión bajo incertidumbre y de la computación. La idea central es que un agente no puede computar soluciones óptimas, puesto que sus capacidades son limitadas, así que en realidad debe poder computar soluciones que satisfagan sus problemas. Simon argumenta que la IA, al igual que la investigación de operaciones, es central en el cómputo de lo que llama “racionalidad procedimental” de la empresa. La búsqueda heurística puede encontrar soluciones bastante buenas en este contexto, incluso en situaciones que no están descritas cuantitativamente. Para ilustrar sus puntos de vista, Simon echa mano de la teoría de juegos y del dilema del prisionero, en donde si los jugadores luchan por una recompensa satisfactoria, y no por la óptima, la solución cooperativa es estable. La racionalidad acotada parece producir mejores resultados en este tipo de situación competitiva. El capítulo termina con una presentación de los procesos evolutivos no planificados, pero adaptables, que modelan las instituciones económicas.

Simon actualiza su propuesta de plan de estudios para las ciencias de la ingeniería y el diseño (capítulo seis), extendiéndola al dominio del análisis de información para políticas públicas; y los contenidos sobre psicología cognitiva (capítulo cuatro). Además, Simon decide agregar un ensayo de 1962 sobre los sistemas complejos y su organización jerárquica (capítulo ocho). Las ideas principales aquí son la frecuencia con que los sistemas complejos se organizan jerárquicamente; la tesis de que los sistemas jerárquicos tienden a evolucionar mucho más rápido que los sistemas no jerárquicos de tamaño similar; y las ventajas de esta organización para el estudio de los sistemas complejos y su descripción.

---

**Si suponemos que la computadora es un sistema físico de símbolos, al igual que el cerebro y la mente humana, ésta emerge como un candidato a explorar las consecuencias en el comportamiento humano de hipótesis alternativas a la organización de sus componentes.**

---

En la tercera edición, Simon agrega un nuevo capítulo (siete) sobre visiones alternativas de la complejidad, que actualiza su aproximación a los sistemas complejos al abordar temas como la teoría de catástrofe, caos, algoritmos genéticos y autómatas celulares. Esta edición, al igual que las anteriores, viene dedicada a Allen Newell, cuya obra *Teorías Unificadas de la Cognición* (Harvard University Press, 1994) es el complemento perfecto a esta lectura.

La Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA), en conjunto con el Institut de Dret i Tecnologia de la Universitat Autònoma de Barcelona y la Unidad Cuajimalpa de la Universidad Autónoma Metropolitana

na nos hacen llegar vía la Editorial Comares (Granada, 2006) esta edición castellana de *Las Ciencias de lo Artificial*, en el contexto de los festejos por los cincuenta años de la inteligencia artificial y el vigésimo aniversario de la SMIA. El volumen comprende además, a modo de prólogo, una breve historia de la IA en nuestro país, signada por los presidentes de la SMIA y una excelente introducción, donde Pablo Noriega nos ofrece una serie de notas y claves sobre el texto, en extremo útiles para una lectura más provechosa de este clásico. La traducción al castellano es excelente y ojalá, al igual que **Komputer Sapiens**, sea el artificio que promueva una tradición por abordar la IA desde nuestro idioma.☞

## CARTONES

# Robots de servicio

por René Carbonell Pulido



## Capítulos estudiantiles de la SMIA

Los capítulos estudiantiles de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA) agrupan estudiantes de nivel licenciatura o posgrado, de disciplinas afines a la computación y la informática, interesados en una o varias de las ramas de la inteligencia artificial. Las actividades de cada capítulo son coordinadas por un académico o profesional dedicado al área. Los estudiantes, académicos y profesionales miembros de un capítulo son también, por ese hecho, miembros de la SMIA.

### Programa de beneficios para capítulos estudiantiles

- Suscripción a la revista de divulgación de la SMIA, Komputer Sapiens.
- Participación en los concursos nacionales a la mejor tesis del área en sus distintas categorías.
- Apoyo de la SMIA para realizar estancias de investigación con distinguidos miembros de la organización.
- Apoyo para asistir a eventos organizados por la SMIA.
- Apoyo para organizar eventos académicos.
- Acceso al acervo de información de la SMIA.

Este conjunto de beneficios no es estático, sin duda la SMIA podrá ofrecer más y mejores cuanto mayor sea el número de socios. Más información en el portal web de la SMIA:

<http://www.smia.org.mx/>

---

## Membresía a la SMIA

La cuota anual por membresía a la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial es de \$ 1,000.00 (un mil pesos 00/100 M.N.) si es usted un académico o profesional vinculado con la computación. Si es usted estudiante de alguna disciplina afín a la computación y tiene manera de comprobarlo documentalmente entonces la cuota anual es de \$ 500.00 (quinientos pesos 00/100 M.N.). La cuota de membresía debe pagarse mediante depósito bancario a la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial A.C. en la cuenta:

Banamex 0047040  
Sucursal 4152  
CLABE:002180415200470406

El comprobante de depósito puede ser digitalizado y enviado a [membresia@smia.org.mx](mailto:membresia@smia.org.mx)

---

## Premios SMIA 2009 Convocatoria a las Mejores Tesis de Maestría y Doctorado sobre Inteligencia Artificial

La Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial convoca al concurso de las mejores tesis de Maestría y Doctorado desarrolladas en algún campo de la Inteligencia Artificial. Podrán participar los egresados de maestría y doctorado de cualquier Universidad, Instituto de Educación Superior o de Investigación mexicanos, graduados durante el año 2008 o hasta el 30 de septiembre de 2009. El plazo para la entrega de las tesis inicia a partir de la publicación de la presente convocatoria y concluirá el 21 de octubre de 2009.

Consulte las bases en el portal web de MICA 2009: <http://www.cimat.mx/Eventos/micai09>



**November 9-13, 2009**  
**Guanajuato, Mexico**  
<http://www.cimat.mx/Eventos/micai09>

The 8th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, (MICA I 2009) is organized to address current AI research topics and applications. The aim is to bring together leading researchers from all over the world, interested in advancing the state of the art in AI.

The conference will provide an exceptional opportunity to the researchers to meet and discuss scientific results and new approaches for solving AI problems. The 5-day conference commences with one day of Tutorials and one day of Workshops. The main activities will feature prominent keynote speakers, and paper presentation in parallel tracks. All papers accepted for oral presentation will appear in the conference proceedings published by Springer in a volume of the series Lecture Notes in Artificial Intelligence.



**May 10-14, 2010**  
**Toronto, Canada**  
<http://www.cse.yorku.ca/AAMAS2010/>

AAMAS-2010, the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems will take place at the Sheraton Centre Toronto Hotel in downtown Toronto Canada, on May 10-14, 2010. AAMAS is the premier scientific conference for research on autonomous agents and multiagent systems.



**August 16-20, 2010**  
**Lisbon, Portugal**  
<http://ecai2010.appia.pt/>

ECAI is the leading Conference on Artificial Intelligence in Europe, and is a biennial organization of the European Coordinating Committee for Artificial Intelligence - ECCAI.

The ECAI 2010 Programme Committee invites the submission of papers and posters for the technical programme of the nineteenth biennial European Conference on Artificial Intelligence. High-quality original submissions are welcome from all areas of contemporary AI.