



Komputer  
Sapiens

# KOMPUTER SAPIENS

Revista de Divulgación de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial

ISSN 2007-0691

Año 2, Volumen 2

Julio-Diciembre 2010

Volumen Especial en **Inteligencia Computacional**

**Aprendizaje  
móvil inteligente**

**Reconocimiento** de personas  
utilizando medidas de **iris** humano

**Clasificación de arritmias** usando  
redes neuronales y lógica difusa

**Redes neuronales**  
para calificar capacidad crediticia

**Algoritmos genéticos**  
y relaciones difusas  
para comprimir datos

Precio Público \$50.00

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



©Komputer Sapiens, Año II Volumen II, julio-diciembre 2010, es una publicación semestral de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, A.C., con domicilio en Luis Enrique Erro No. 1, Tonantzintla, Pue., C.P. 72840, México, <http://www.komputersapiens.org.mx/>, correo electrónico: [komputersapiens@smia.org.mx](mailto:komputersapiens@smia.org.mx), tel. +52.222.266.31.00 ext. 8315, fax +52.222.266.31.52. Impresa por Sistemas y Diseños de México S.A. de C.V., calle Aragón No. 190, colonia Álamos, delegación Benito Juárez, México D.F., C.P. 03400, México, se terminó de imprimir el 30 de octubre de 2010, este número consta de 1000 ejemplares.

Reserva de derechos al uso exclusivo número 04-2009-111110040200-102 otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. ISSN 2007-0691.

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.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio, de la información aquí contenida sin autorización por escrito de los editores.

Komputer Sapiens es una revista de divulgación en idioma español de temas relacionados con la inteligencia artificial. 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

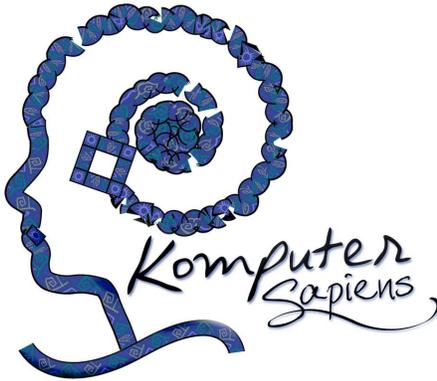
Presidente	Carlos Alberto Reyes García
Vicepresidente	Raúl Monroy Borja
Secretario	Alexander Gelbukh
Tesorero	Grigori Sidorov
Vocales:	Gustavo Arroyo Figueroa Jesús A. González Bernal Miguel González Mendoza Arturo Hernández Aguirre Oscar Herrera Alcántara Rafael Murrieta Cid Alejandro Peña Ayala

#### Komputer Sapiens

Editor en jefe y editor del volumen especial	Carlos Alberto Reyes García
Editora asociada e-Tlakuilo	Angélica Muñoz Meléndez Oscar Herrera Alcántara
Estado del IArte	Ma del Pilar Gómez Gil Jorge Rafael Gutiérrez Pulido
Sakbe	Laura Cruz Reyes Héctor Gabriel Acosta Mesa
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 Ridel



# Contenido

## ARTÍCULO INVITADO

### Aprendizaje Móvil Inteligente

por Ramón Zatarain Cabada y María Lucía Barrón Estrada  
 pág. 6 ⇒ Un alto porcentaje de la población de todas las edades cuenta con teléfonos celulares y dispositivos diversos de comunicación. Se presentan interesantes aplicaciones del apoyo que la tecnología inalámbrica y los sistemas inteligentes pueden ofrecer en la educación.

## ARTÍCULO INVITADO

### Reconocimiento de Personas basado en Medida Biométrica de Iris Humano usando Redes Neuronales Modulares

por Patricia Melín Olmeda

pág. 13 ⇒ Avances en el reconocimiento biométrico de patrones.

## ARTÍCULO INVITADO

### Clasificación de Arritmias en Señales Electrocardiográficas basada en un Sistema Híbrido utilizando Redes Neuronales y Lógica Difusa

por Oscar Castillo López

pág. 18 ⇒ Inteligencia computacional para clasificar arritmias cardiacas.

## ARTÍCULO INVITADO

### Algoritmos Genéticos y Estructuras Relacionales Difusas para Comprimir Datos

por Orión Fausto Reyes Galaviz y Carlos Alberto Reyes García

pág. 22 ⇒ Compresión de información aplicando algoritmos genéticos.

## ARTÍCULO INVITADO

### Redes Neuronales Artificiales para Calificar la Capacidad de Crédito de Entidades Mexicanas de Gobierno

por María del Pilar Gómez Gil y Alfonso Mendoza Velázquez

pág. 26 ⇒ Inteligencia Computacional para estimación de calificaciones crediticias.

## Columnas

Sapiens Piensa. Editorial pág. 2

e-Tlakuilo pág. 3

Estado del IArte pág. 4

Sakbe pág. 5

Deskubriendo  
Konocimiento pág. 30

---

# Sapiens Piensa

---

POR **Carlos Alberto Reyes**

Aunque la inteligencia se ha tomado como una capacidad predominantemente humana, los estudios recientes demuestran que es abundante en todos los ámbitos de la naturaleza. Así mismo una gran cantidad de procesos naturales ha demostrado una gran eficiencia y adaptabilidad a través de los procesos evolutivos. La combinación de inteligencia con procesos naturales ha inspirado una gran cantidad de modelos computacionales que ahora forman parte del área conocida como Inteligencia Computacional (IC). Esta área está dedicada al estudio de los Sistemas Inteligentes y también es conocida como Computación Cognoscitiva o más generalmente como Computación Suave (*Soft Computing*). En sí lo que pretende la IC es modelar el comportamiento inteligente, principalmente humano, con la intención de desarrollar sistemas con características y capacidades inteligentes similares. Los componentes principales de la Computación Suave son la lógica difusa (*Fuzzy Logic*), las redes neuronales (*Neural Networks*), los algoritmos evolutivos (*Genetic Algorithms*, *Evolutionary Estrategies*, *Evolutionary Programming*), y el razonamiento probabilístico (*Probabilistic Reasoning*). Las posibles aplicaciones que se pueden lograr con estas metodologías de forma independiente son particularmente útiles bajo condiciones de información compleja y sus resultados son muy satisfactorios. Las combinaciones logradas entre los componentes antes mencionados dan lugar a sistemas híbridos que resultan aún más poderosos y robustos que sus componentes básicos, ya que se logra una simbiosis sinérgica que permite obtener mejores respuestas que los modelos individuales. Esto hace recomendable su aplicación cuando la información es incierta, incompleta o presenta condiciones de no-linealidad, dinamismo, imprecisión, vaguedad, ambigüedad, etc.

En este volumen, dedicado a la Inteligencia Computacional, se ha conjuntado una buena muestra de estas metodologías con las que se puede ver la diversidad de problemas que es posible resolver con ellas, además de mostrar la relativa simplicidad de implementación. Cabe destacar que todos los trabajos presentados han sido desarrollados por investigadores mexicanos. Como primer trabajo invitado, de la pluma de Ramón Zatarain y Lucía Barrón, se presenta el artículo intitulado “Aprendizaje Móvil Inteligente” en el que se describe el desarrollo e implementación de un sistema llamado EDUCA cuyo objetivo es poner al alcance de cualquier usuario una he-

rramienta para el aprendizaje electrónico, que le permita crear cursos electrónicos capaces de adaptarse a la forma de aprender del estudiante, además de aprovechar la ubicuidad suministrada por los dispositivos móviles, permitiendo el despliegue de los cursos generados en dispositivos de este tipo. EDUCA es un sistema de aprendizaje inteligente con amplio potencial como herramienta educativa sin necesidad de que el usuario sea un experto en computación ni en pedagogía. Enseguida se presenta el artículo intitulado “Reconocimiento de Personas Utilizando la Medida Biométrica de Iris Humano usando Redes Neuronales Modulares” cuya autora es Patricia Melín, en donde se muestra la integración de redes neuronales modulares y la utilización de métodos de procesamiento de imágenes, que aplicadas a bases de datos de iris humano permiten hacer la identificación de personas. El siguiente artículo invitado está basado en un sistema híbrido de tipo Neuro-Difuso utilizado para el reconocimiento de arritmias cardíacas a partir del análisis de electrocardiogramas (ECG). Este artículo es producto de la investigación de Oscar Castillo y se intitula “Clasificación de Arritmias en Señales Electrocardiográficas basada en un Sistema Híbrido utilizando Redes Neuronales y Lógica Difusa”. Este trabajo es una clara muestra del potencial de aplicación que tienen los híbridos Neuro-Difusos. Como siguiente colaboración se presenta otro tipo de híbrido, en este caso Genético-Difuso dedicado a la compresión de datos y complementado con Redes Neuronales para el reconocimiento de los datos comprimidos. En esta investigación la compresión de datos se hace para reducir el tamaño de vectores para tareas de clasificación. La aplicación mostrada ha sido probada para reconocimiento de imágenes y se intitula “Algoritmos Genéticos y Estructuras Relacionales Difusas: Un Híbrido para Mejorar Tareas de Compresión de Datos”, trabajo realizado por Orión Fausto Reyes Galaviz y Carlos Alberto Reyes García, editor invitado de este número. Como corolario de los trabajos invitados para esta edición presentamos un artículo que describe una aplicación muy útil y práctica de la Redes Neuronales a problemas cotidianos de interés nacional. Este trabajo se intitula “Redes Neuronales Artificiales para Calificar la Capacidad de Crédito de Entidades Mexicanas de Gobierno” y es producto de investigaciones realizadas por María del Pilar Gómez Gil y Alfonso Mendoza Velázquez.

---

**... la inteligencia es abundante en todos los ámbitos de la naturaleza.**

---

Complementando la serie de artículos invitados contamos con las infaltables contribuciones de nuestros columnistas, que dan realce al material presentado en cada número. En esta ocasión de nueva cuenta se puede disfrutar de “e-Tlakuilo”, a cargo de Oscar Herrera, con las cartas enviadas por los lectores. Seguido de “Estado del IArte”, columna a cargo de María del Pilar Gómez Gil y Jorge Rafael Gutiérrez Pulido, y que contiene las innovaciones más relevantes y actuales en el mundo de la IA. A continuación encontraremos el camino al universo que representa la columna “Sakbe” a cargo de Laura Cruz Reyes y Héctor Gabriel Acosta Mesa, con el análisis puntual de diversos sitios de Internet con información y materiales relacionados con la IA, así como sus ligas correspondientes para su acceso inmediato. Finalmente tenemos el análisis interesante y profundo de libros sobre IA en la columna “Deskubriendo Konocimiento” que está a cargo de Gildardo Sánchez Ante y Alejandro Guerra Hernández, quienes en esta ocasión invitan a Angélica

García Vega para presentarnos la revisión del libro intitulado “Artificial Animals for Computer Animation: Biomechanics, Locomotion, Perception, and Behavior” obra de Xiaoyuan Tu.

Los editores de Komputer Sapiens, Angélica Muñoz Meléndez y el escritor de este editorial, estamos seguros que nuestros lectores disfrutarán de la lectura de este número, donde se ha podido conjuntar trabajos de calidad internacional que solucionan problemas diversos utilizando tecnologías emergentes, que serán del interés de nuestros lectores, y que esperamos estimulen a los jóvenes estudiantes a la búsqueda de retos intelectuales útiles. Que disfruten de la 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**, etlakuilo-ksapiens@smia.org.mx

Estimados lectores, es grato comentarles que han sido muchos los que nos han escrito preguntando acerca de cómo suscribirse y obtener los números de **Komputer Sapiens**. A todos los que tienen la misma inquietud les informamos que el procedimiento para suscribirse está disponible en el portal web de la revista

**www.komputersapiens.org.mx**

Les hago saber que existen dos tipos de suscripción, la individual y la institucional, con envío postal nacional e internacional. *Lo que vale cuesta* apreciados lectores, y cuando se trata de información recién “salida del horno” conviene no esperar. Por ello los invitamos a que envíen sus formularios de suscripción lo antes posible a fin de programar los envíos con antelación.

Los números anteriores están disponibles en forma electrónica en el mismo portal web, pues un compromiso ineludible del equipo editorial de la revista y de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, A.C. es divulgar el conocimiento en temas relacionados con la Inteligencia Artificial, y llegar a un amplio grupo de lectores.

A quienes escribieron solicitando información de las suscripciones antes de que habilitáramos la opción de suscripciones, y nos proporcionaron sus direcciones postales, les hemos enviado ejemplares de cortesía: a Toluca, Puebla, Tampico, y Querétaro en México; y a Barcelona en España, entre otros lugares. Nos da también mucho gusto comentarles que todos los ejemplares impresos de un tiraje de 1,000 revistas por volumen están prácticamente agotados. Esto habla del valor que nuestra audiencia le está dando a **Komputer Sapiens** y eso nos llena de orgullo y nos estimula a continuar con esta iniciativa.

### MC Mario Davila, Director de Investigación e Innovación Tecnológica, INTECH

Hola, muchas gracias por la revista, es muy buena, leí varios de los artículos, y el de los niños bilingües lo fotocopí para mandárselo a mi hija que vive en Miami, ya que mi nieto habla español e inglés. Los felicito porque es una revista de muy buena calidad, y me da mucho gusto que haya gente de gran capacidad en el INAOE, y en México. Por favor transmitan mis felicitaciones a todo el equipo editorial.

Mario, muchas gracias por tus comentarios, aunque hay que aclarar que la revista es de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, y sólo una parte del equipo editorial pertenece al INAOE. Somos muchas las personas que colaboramos en la elaboración de Komputer Sapiens, y estamos adscritos a diferentes instituciones mexicanas, públicas y privadas, distribuidas a lo largo de todo el país. Comentarios como el tuyo nos convencen de que el esfuerzo cotidiano bien vale la pena.

Quiero aprovechar para comentarles que estamos alternando números regulares. También quiero invitar una vez más a los empresarios, directivos, profesionistas de las Tecnologías de Información y Comunicación, y a las personas que toman decisiones en México a que se suscriban a nuestra revista, que representa una *punta de iceberg* del número de investigadores y profesionales que trabajamos en algún área de la Inteligencia Artificial, y en quienes pueden encontrar un valioso apoyo para la innovación y el desarrollo científico y tecnológico. ☞

## COLUMNAS

## Estado del IArte

a cargo de [María del Pilar Gómez Gil](#) y [Jorge Rafael Gutiérrez Pulido](#)

**“MUEBLES” A LA MEDIDA.** Una aplicación muy interesante de la Inteligencia Computacional se puede encontrar en proyectos “futuristas”. Por ejemplo, imaginemos un mundo donde los muebles pueden adaptarse a las necesidades de los humanos de manera inteligente. Esta es la idea detrás del proyecto *Roombots: Robótica Modular para Muebles Adaptables y Auto-organizables*, el cual se lleva a cabo en el Laboratorio de Robótica (BioRob por sus siglas en inglés) del Instituto de Bio-ingeniería de la Escuela de Ingeniería de la Escuela Politécnica Federal de Lausanne, en Suiza. Los Roombots son robots modulares que se utilizan como bloques de construcción de muebles capaces de moverse, auto-ensamblarse, auto-reconfigurarse y auto-repararse, según las necesidades de sus usuarios o según una tarea específica.

Los robots modulares tienen la ventaja de ser más resistentes a fallas y ser más versátiles que sus contrapartes, los robots monolíticos. Para conseguir su objetivo, el proyecto *Roombots* ha definido actualmente varios sub-proyectos: el diseño y construcción de prototipos que contengan conectores mecánicos y que permitan conectar y desconectar de manera rápida y segura los diferentes módulos del robot; el diseño de métodos nuevos que permitan un control adaptable del movimiento de las estructuras Roombots; el diseño de algoritmos de auto-configuración para la generación de una estructura en particular, o para transformar una estructura en otra; el



Imagen simulada de una mesa construida con Roombots y otros materiales. ©Biorobotics Laboratory, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

diseño de interfaces usuario-robot que permitan a los usuarios guiar, controlar y entrenar a los módulos. Algunos de estos proyectos de aprendizaje y auto-configuración usan técnicas de inteligencia computacional.

Para saber más sobre este proyecto futurista consultar (en inglés): [biorob.epfl.ch](http://biorob.epfl.ch).

**MUNDOS VIRTUALES.** La Inteligencia Computacional abarca tópicos tales como aprendizaje de máquina, descubrimiento de conocimiento, minería de datos, agentes de software, sistemas basados en conocimiento, entre otros. Una buena parte de la comunidad de Inteligencia Artificial (IA) está haciendo esfuerzos importantes para llegar, en un futuro próximo, a lo que se conoce como *conciencia* de máquina. Las características principales de ésta son: autoreproducible, autodidacta, y autoadaptable. Estas propiedades no están completamente desarrolladas en la actualidad. Las tareas que los robots y compu-

tadoras son capaces de hacer están diseñadas para realizarse bajo condiciones conocidas.

Will Wright es mejor conocido como la mente maestra detrás de los juegos Spore y Sims. En el segundo, los jugadores tienen la oportunidad de manejar la vida de gente simulada en mundo virtuales. En palabras de Wright los robots son un intento de modelar las habilidades físicas o mentales del ser humano. “No nos damos cuenta qué tan complicada es una mano hasta que intentamos crear una”, dice. Más complicado aún es simular el intelecto, las emociones, y otras habilidades como las musicales. Por ejemplo, algo

que aún está muy lejos de ocurrir es la transmisión de lo aprendido por una máquina a otra máquina, por ejemplo un curso de alemán. Cuando esto sea posible la diferencia entre un ser humano y una máquina no será clara. Para saber más sobre el trabajo de W. Wright puede consultar (en inglés): [www.wired.com/wired/archive/14.04/wright.html](http://www.wired.com/wired/archive/14.04/wright.html).<sup>2</sup>

¿Tiene noticias para esta columna? Escriba a [estadoiarte-ksapiens@smia.org.mx](mailto:estadoiarte-ksapiens@smia.org.mx)

## COLUMNAS

## Sakbe

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

*Inteligencia Computacional es un área de la IA que busca solución a problemas complejos con base en heurísticas. Las heurísticas encuentran rápidamente buenas soluciones, sin pretender hallar necesariamente la mejor solución, algo muy importante en problemas cuya solución óptima es difícil de hallar. Esto se basa en técnicas como redes neuronales artificiales, computación evolutiva, inteligencia colectiva, sistemas artificiales inmunes y sistemas difusos. Recomendamos portales web destinados al desarrollo y difusión de esta área.*

**CIML Community Portal** ⇒ Es el portal de la comunidad de Inteligencia Computacional (CI) y Aprendizaje Automático (ML), mantenido por la Universidad de Louisville en colaboración con la Universidad George Mason, EEUU. El objetivo de este portal es apoyar la colaboración entre investigadores, estudiantes y público en general interesados en CI y ML, así como facilitar el uso y difusión de esta área de conocimiento en todos los ámbitos de la ciencia e ingeniería. También es posible utilizar y compartir programas de software en estos temas, elegidos bajo ciertos estándares de calidad.

[www.cimlcommunity.org](http://www.cimlcommunity.org)



**CIRC** ⇒ Portal del grupo de investigación con sede en la Universidad de Pretoria, en el Departamento de Ciencias de la Computación, el cual centra su investigación en el ámbito de la Inteligencia Computacional. En este marco, el grupo trabaja en los campos de inteligencia colectiva, computación evolutiva, redes neuronales, sistemas multi-agente, minería de datos, análisis de imágenes, y sistemas de juegos.

Existe una gran variedad de investigaciones, ligas y foros para las personas que desean estudiar estos temas y formar parte de este grupo de manera virtual.

[cirk.cs.up.ac.za](http://cirk.cs.up.ac.za)

**Optimization Algorithm Toolkit** ⇒ Portal que contiene un programa de cómputo para desarrollar, aplicar y evaluar algoritmos de optimización, entre los que se incluye una biblioteca especializada en algoritmos de Inte-

ligencia Computacional. Posee una interfaz gráfica sencilla y amigable que le permite al usuario una comprensión básica de la funcionalidad de la herramienta.

[optalgtoolkit.sourceforge.net](http://optalgtoolkit.sourceforge.net)

**Computational Intelligence Laboratory** ⇒ Este portal contiene diversos recursos actualizados de información sobre CI, entre los que se pueden encontrar informes internos, publicaciones y enlaces a sitios relacionados con

el tema en todo el mundo. Este laboratorio opera físicamente en la Universidad de Manitoba, Canada y ofrece en su página web numerosos informes, publicaciones, tesis doctorales y videos.☞

[wren.ece.umanitoba.ca](http://wren.ece.umanitoba.ca)

## ARTÍCULO INVITADO

# Aprendizaje Móvil Inteligente

El Apoyo de la Tecnología Inalámbrica y los Sistemas Inteligentes en la Educación

por **Ramón Zatarain Cabada** y **María Lucía Barrón Estrada**

## Introducción

En la actualidad un alto porcentaje de la población de todas las edades cuenta con teléfonos celulares, asistentes personales digitales (PDAs), teléfonos inteligentes u otro tipo de dispositivo móvil, por lo que la necesidad de desarrollar aplicaciones diseñadas para ejecutarse en esta clase de dispositivos está en aumento.

Con el advenimiento de estas nuevas tecnologías inalámbricas, el aumento en el ancho de banda y capacidad de cómputo, así como la disponibilidad de los dispositivos móviles, es natural la expansión del aprendizaje electrónico o e-learning y su migración hacia el aprendizaje móvil. El término m-learning, cuyo prefijo m indica movilidad, hace referencia específicamente al uso de las tecnologías móviles como teléfonos celulares, PDAs (del inglés *Personal Digital Assistant* o ayudante personal digital), mini consolas de videojuegos o cualquier otro dispositivo electrónico portátil que permita realizar actividades de aprendizaje a través de su interfaz.

Existen muchas definiciones del término m-Learning. Desmon Keegan [1], responsable del proyecto m-learning, lo define como “la capacidad para proveer educación y entrenamiento en dispositivos PDAs, palmtops, teléfonos celulares y smartphones”. Lehner y Nosekabel [2] definen m-Learning como “cualquier servicio o plataforma que provea al aprendiz con información electrónica y contenido educativo que ayuden en la adquisición del conocimiento independientemente del lugar y tiempo”.

Las prácticas apropiadas de m-learning han tenido varios beneficios. Entre ellos podemos mencionar los siguientes:

- Mejorar la capacidad de leer y escribir, habilidades para la aritmética y reconocimiento de habilidades existentes.
- Estimular experiencias de aprendizaje colaborativo e independiente.
- Identificar las áreas en las que se necesita asesoría y soporte.
- Combatir resistencia del uso de Tecnología de Información y Computación (TIC) y ayudar al puen-

te del hueco entre el nivel del teléfono móvil y el nivel de la Tecnología de Información y Computación (TIC).

- Eliminar algo de formalidad para la experiencia del aprendizaje móvil y atraer a alumnos indispuestos.
- Ayudar a los alumnos a recordar con mayor enfoque por largos periodos.

## Requisitos para llevar a cabo el aprendizaje móvil

El uso de dispositivos móviles debe cumplir con las siguientes características esenciales [3]:

- Alta disponibilidad en cualquier lugar donde el usuario necesite aprender.
- Diseño orientado a asistir en el aprendizaje personalizado.
- Adaptación de acuerdo al desarrollo de habilidades y de conocimientos del usuario.
- Satisfacción de las necesidades de comunicación referentes al trabajo y al aprendizaje.
- Disposición de una interfaz amigable, que no requiera de experiencia previa en la tecnología.

Desde una perspectiva pedagógica, el *Mobile Learning* soporta una nueva dimensión en el proceso educacional. Las características del *Mobile Learning* presentadas por Chen [4] son:

- Urgencia en la necesidad de aprendizaje.
- Iniciativa de adquisición de conocimiento.
- Movilidad en el escenario de aprendizaje.
- Interactividad del proceso de aprendizaje.
- “Dependencia del contexto” de las actividades instruccionales.
- Integración de contenido instruccional.

---

**El término *m-learning* se refiere al uso de las tecnologías móviles en actividades de aprendizaje.**

---

Al desarrollar aplicaciones para dispositivos móviles, un desarrollador enfrenta a una serie de restricciones. En primer lugar, se encuentran las restricciones referentes a la interacción con el usuario. Los dispositivos móviles presentan pantallas de tamaño reducido, limitando la cantidad de información que se puede desplegar. De manera similar, estos dispositivos generalmente disponen de teclados como el que se muestra en la Figura 1, donde sólo se cuenta con las teclas numéricas, que doblan funciones como letras y símbolos, así como unos cuantos botones para navegación, haciendo la tarea de insertar información bastante tediosa.

Por otra parte se encuentran las restricciones en cuanto a la capacidad del dispositivo se refiere. La capacidad de procesamiento de los dispositivos móviles es bastante limitada, y colocar un procesador de

alto desempeño sería poco práctico ya que éste provocaría que el dispositivo se sobrecalentara, al mismo tiempo que disminuiría la carga de la batería considerablemente; esto sin mencionar el fuerte aumento en el precio del equipo que esto conllevaría. Por razones similares a estas, los dispositivos móviles cuentan con memoria del sistema en cantidades mucho menores a las que encontraríamos en una computadora personal, y con la desventaja de que la velocidad de acceso a ella es igualmente menor.

Además de estas restricciones, también están otras de tipo económico. Los dispositivos con mejor desempeño son generalmente los que tienen un precio más alto, por lo que desarrollar aplicaciones enfocadas a ellos es poco conveniente debido a que la mayoría del público no podría tener acceso a ellas. De igual manera, la transmisión de da-

tos es bastante costosa, provocando que la comunicación a sistemas remotos, como un servidor de base de datos, resulte en un gasto para el usuario.



Figura 1. Teclado de un dispositivo móvil

## Plataforma de desarrollo

El desarrollo de aplicaciones de escritorio se puede llevar a cabo en tres plataformas principales: Windows, Mac OS y Linux. Cuando se trata de aplicaciones para dispositivos móviles la historia es distinta, ya que el número de plataformas disponibles es bastante mayor, debido a que cada compañía crea su propio sistema operativo, y por ende, su propia plataforma de desarrollo. A continuación se presentan algunas de las plataformas más populares para desarrollo de aplicaciones móviles, exponiendo sus ventajas y desventajas.

- BREW.** Es una plataforma desarrollada por la compañía norteamericana de telecomunicaciones Qualcomm, en 2001 [5]. BREW provee un *kit* para el desarrollo de software (SDK, por sus siglas en Inglés), mediante el cual se pueden generar aplicaciones en lenguaje C/C++, y está dotado de un emulador que permite probar las aplicaciones desarrolladas en la misma computadora de escritorio, como si se tratara de un dispositivo móvil. La mayor ventaja de esta plataforma es que las aplica-

ciones desarrolladas sobre ella son compatibles con la mayoría de los dispositivos de la compañía. Su principal desventaja es el alto costo que implica certificar una aplicación, lo cual es obligatorio para todas las aplicaciones desarrolladas sobre esta plataforma.

- IPHONE.** El iPhone es un teléfono inteligente (*smartphone*), desarrollado por Apple Inc. en 2007 [6]. Es uno de los dispositivos móviles más versátiles, contando con todas las características de un teléfono celular, una agenda electrónica, un reproductor multimedia y un navegador de Internet, todo en uno. La arquitectura del sistema operativo de iPhone consta de cuatro capas: La capa inferior es el kernel del sistema operativo y se encarga de interactuar directamente con el hardware del iPhone; la siguiente capa presenta el núcleo de servicios, que provee el manejo de hilos, las comunicaciones, un manejador de base de datos, entre otros servicios; enseguida tenemos la capa de multimedia, encargada de la reproducción de audio y video, la

animación y demás servicios multimedia; y la capa superior llamada Cocoa Touch, que es la encargada de interactuar con el usuario. Una de las ventajas de utilizar esta plataforma es el ambiente de desarrollo tan completo provisto por la compañía, que permite crear aplicaciones de forma muy sencilla. Como desventajas tenemos que el desarrollo de aplicaciones para iPhone sólo pueden realizarse sobre el sistema operativo Mac OS X, y que las aplicaciones generadas tienen que pasar por un proceso de aprobación por parte de Apple para su publicación.

- **ANDROID.** Es un sistema operativo de código abierto, basado en un kernel de Linux, desarrollado por Google, y lanzado en 2007 [7]. Es un sistema bastante completo, que cuenta con soporte para aplicaciones multimedia, navegación de Internet, telecomunicaciones, y prácticamente cualquier clase de aplicación. La programación se hace en el lenguaje Java, aunque las bibliotecas provistas no corresponden a los estándares de la Java Standard Edition ni de la Java Micro Edition, lo que presenta un problema en cuanto a la compatibilidad de aplicaciones, debido a que es muy complicado reutilizar código previamente escrito para alguna de estas plataformas, y viceversa. La arquitectura de Android está compuesta por cuatro capas. En la capa inferior se encuentra el kernel de Linux, el cual sirve como interfaz con el hardware del dispositivo. A continuación, se encuentra la capa de bibliotecas del sistema, entre las que se encuentra el manejador de bases de datos SQLite, el manejador de gráficos OpenGL, el motor para el despliegue de contenidos Web WebKit, entre otras. Dentro de esta capa se encuentra el runtime de Android, que incluye una máquina virtual Dalvik, que es una implementación especial de la máquina virtual de Java, diseñada para su uso en dispositivos móviles. En el nivel siguiente se encuentra el framework de aplicaciones, que provee servicios como el manejo de ventanas, el de telefonía, de recursos, entre otros. En la capa superior están las aplicaciones, donde se encuentran el navegador Web, el teléfono, y es donde se hospedarán las aplicaciones que sean desarrolladas. La principal ventaja de Android es el respaldo de la empresa Google. Su principal des-

ventaja es que aún está en etapa de desarrollo y de acuerdo a desarrolladores se han encontrado errores en ella.

- **.NET Compact Framework.** El .NET Compact Framework es un subconjunto de la plataforma .NET de Microsoft, diseñado para ejecutarse en la familia de sistemas operativos para dispositivos móviles Windows CE. Utiliza las mismas bibliotecas que .NET, aunque en versiones reducidas, además de algunas diseñadas específicamente para dispositivos móviles [8]. Las ventajas que presenta esta plataforma, son la facilidad en la programación de aplicaciones, permitiendo utilizar los lenguajes C# y Visual Basic.NET, y contando con herramientas muy similares a las disponibles para el desarrollo de aplicaciones de escritorio, por lo que incluso una aplicación desarrollada sobre el .NET Compact Framework puede llegar a ser ejecutada en una computadora de escritorio. La principal desventaja de utilizar esta plataforma es que las aplicaciones generadas sólo podrán ser ejecutadas por los dispositivos móviles con sistemas operativos de la familia Windows CE, que son sólo un pequeño porcentaje del mercado.
- **JAVA Micro Edition.** Java Micro Edition (Java ME) es una plataforma diseñada por Sun Microsystems para dispositivos móviles y sistemas embebidos. Consta de un subconjunto de las bibliotecas de Java Standard Edition. Java ME es una plataforma muy popular, prácticamente todos los teléfonos celulares y demás dispositivos móviles actuales cuentan con una implementación de la plataforma, y se ha vuelto un estándar de facto para el desarrollo de juegos descargables [9]. El sistema operativo cambia dependiendo del fabricante del dispositivo, pero el programador no tiene que preocuparse por esto, gracias a que Java no genera código objeto para un sistema específico, sino que genera bytecode, un tipo de código interpretado por una máquina virtual, la Java Virtual Machine (JVM, por sus siglas en Inglés). Sun Microsystems provee un kit de desarrollo para Java ME, en el cual se incluye un emulador de dispositivos móviles, con el que se pueden realizar pruebas a las aplicaciones desarrolladas.

---

**El desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles está fuertemente limitado por el diseño, capacidad y costo de los dispositivos.**

---



Figura 2. Edición de un tema en la herramienta de autor.

## Sistemas de aprendizaje inteligente

En el trabajo presentado por Ho-Chuan Huang y Fu-Ming Hsieh [10] se describe un sistema capaz de adaptar los contenidos presentados, tanto al estilo de aprendizaje del estudiante, como al dispositivo desde el cual se realiza el acceso a la información. Para la deducción del estilo de aprendizaje del estudiante se realiza un diagnóstico, utilizando un modelo de inferencia mediante Redes Bayesianas (RB). Los autores no describen en detalle el modelo de RB utilizado, pero indican que algunas de las variables tomadas en cuenta son el tiempo de lectura de una página de contenidos, la frecuencia en la lectura y respuesta de correos electrónicos, la frecuencia de acceso a foros de discusión y la asistencia a reuniones y videoconferencias.

Para la adaptación del contenido a dispositivos móviles se utilizó la técnica de división de páginas, la cual consiste en dividir un contenido largo, en una serie de fragmentos más pequeños, que pueden ser presentados en múltiples páginas. Además de esto, también se consideraron algunos elementos como: la conversión de imágenes grandes a color, a imágenes de tamaño más pequeño en escala de grises, para ajustarse al ancho de banda de la red de telecomunicaciones y al tamaño de la pantalla del dispositivo.

## La plataforma EDUCA

La plataforma de aprendizaje electrónico EDUCA es un proyecto desarrollado como parte de una investigación financiada por la Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DGEST), en el Instituto Tecnológico de Culiacán, desde el año 2007. El proyecto es dirigido por el Dr. Ramón Zatarain Cabada y la Dra. María Lucía Barrón Estrada [11].

El objetivo de EDUCA es proveer una herramienta para el aprendizaje electrónico, que permita a cualquier usuario, sin necesidad de ser un experto en computación ni en pedagogía, crear cursos electrónicos capaces de adaptarse a la forma de aprender del estudiante, además de aprovechar la ubicuidad suministrada por

los dispositivos móviles, permitiendo el despliegue de los cursos generados en dispositivos de este tipo. Aunado a esto, EDUCA busca unir a estudiantes y profesores en una comunidad de aprendizaje, donde los estudiantes ya no sean simples consumidores de contenido, sino que aporten a la creación del material de estudio, mediante la recomendación de recursos que desde su punto de vista sean útiles para el resto de la comunidad, así como evaluando la calidad de los contenidos de un curso al momento de visualizarlo.

Los cursos generados poseen la capacidad de adaptarse a la forma en que el estudiante aprende, basándose en la teoría de estilos de aprendizaje de Richard Felder y Linda Silverman [12], para lo cual es necesario que el autor indique para qué estilo de aprendizaje es más adecuada cada una de las partes del material generado. Para permitir que el usuario defina el estilo de aprendizaje más adecuado para cada parte del curso, la herramienta de autor divide el contenido de un tema en varias unidades de aprendizaje; dentro de cada una de las cuales pueden existir uno o más componentes de tipo texto, audio, video o imagen. El usuario puede definir dos versiones para el contenido de un componente, una para cada estilo de la dimensión de comprensión (secuencial y global). Además, debe definir en qué grado se apega cada componente a los estilos de las dimensiones de presentación (visual y verbal) y percepción (sensitivo e intuitivo).

Por ejemplo, en la Figura 2 se muestra la edición de un tema con tres unidades de aprendizaje. En la primera existen tres componentes, uno de tipo texto, otro de imagen y el tercero de audio; éste último es el que se encuentra seleccionado y se puede observar en la columna de la derecha cómo el usuario ha determinado que este componente se apega al estilo verbal de la dimensión visual/verbal, y al intuitivo de la dimensión sensitivo/intuitivo; así mismo, todos los componentes mostrados se encuentran en su versión secuencial. Para mostrar los componentes pertenecientes a la versión global es necesario cambiar de vista, seleccionando el ícono con la imagen de un globo terráqueo.

Al momento de desplegar la información de un tema en el intérprete de cursos, se seleccionará exactamente un componente de cada una de las unidades de aprendizaje, tomando el que se aproxime más al estilo de aprendizaje actual del estudiante.

## Visualización de cursos en dispositivos móviles

Con la aplicación instalada en un dispositivo móvil, el estudiante puede interactuar con los contenidos del curso. Los contenidos de dicho curso son aquellos que el autor eligió en el proceso de creación del mismo. La interacción de un estudiante con el curso se puede generalizar en dos acciones: navegar en los temas de estudio

y contestar cuestionarios. Dependiendo de las respuestas del estudiante, el estilo de aprendizaje del estudiante puede ir modificándose. En la Figura 3 se muestra cómo se visualizan los cursos identificando para ello el estilo de aprendizaje del estudiante. El usuario interactúa con la aplicación a través de los menús de navegación que le permiten ingresar a los capítulos y a sus contenidos, a los temas y cuestionarios. Cuando el usuario, en su navegación, solicita la visualización del contenido de un tema, el Intérprete selecciona los contenidos más adecuados para el estudiante, de acuerdo a su estilo de aprendizaje. El Intérprete obtiene el estilo de aprendizaje del estudiante desde el componente de Perfil del Estudiante. Este componente administra el perfil del estudiante, el cual está conformado por los resultados de las evaluaciones que el usuario realiza en el curso y su estilo de aprendizaje actual. El estilo de aprendizaje del

usuario es determinado por un Motor de Identificación de Estilos de Aprendizaje. El Motor de Identificación de Estilos de Aprendizaje es implementado a través de una red neuronal artificial.

La Red Neuronal recibe como entrada el estilo de aprendizaje en el que se están mostrando los contenidos del material didáctico (el estilo de aprendizaje actual del usuario) y el desempeño que el estudiante ha alcanzado en las evaluaciones que se le han aplicado. La salida que la red neuronal proporciona es el estilo de aprendizaje del estudiante.

La Figura 4 nos muestra la visualización de un curso en dispositivos móviles. Los dos primeros dispositivos móviles nos muestran parte del contenido de un curso de matemáticas, mientras que el tercer dispositivo móvil nos muestra una pregunta con sus opciones múltiples de respuesta.

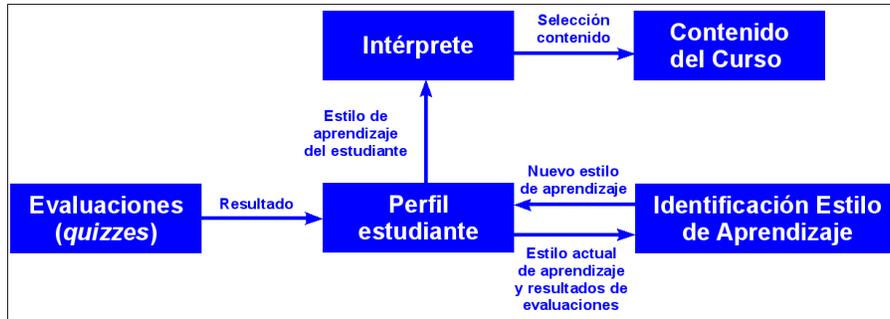


Figura 3. Identificación de estilos de aprendizaje

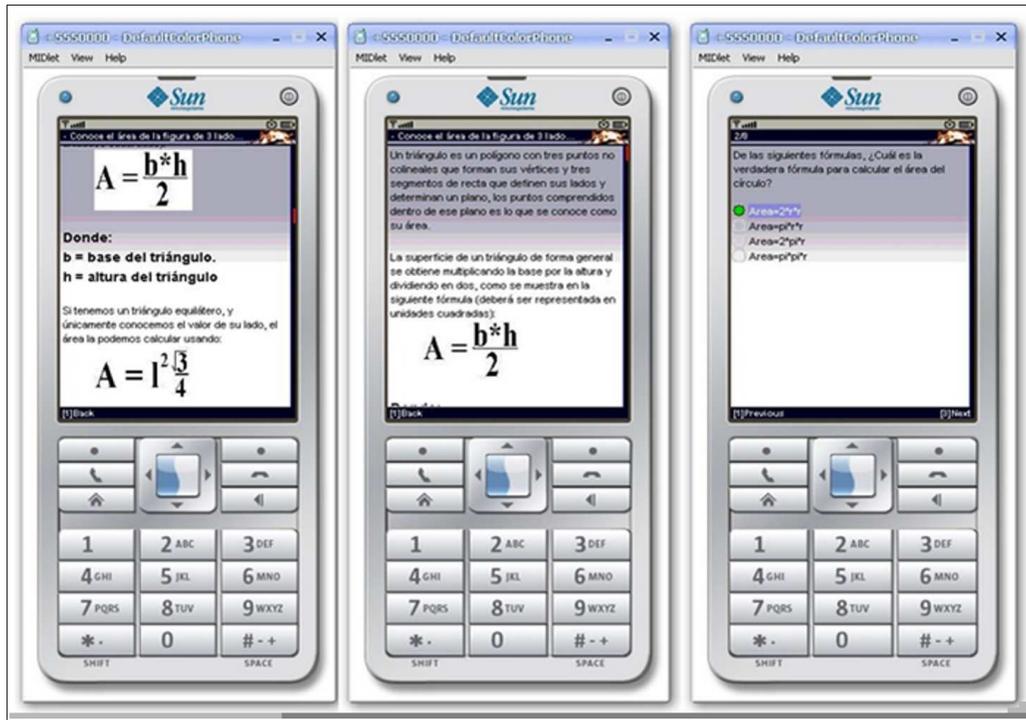


Figura 4. Visualización de un curso de matemáticas

## Conclusiones

El aprendizaje móvil propone la utilización de los dispositivos móviles como una herramienta que apoya al proceso de enseñanza y que extiende el aprendizaje electrónico. Se pueden identificar dos factores que son capaces de propiciar el éxito en el desarrollo del aprendizaje móvil. El primero se refiere a la presencia de los dispositivos móviles. La cantidad de celulares en México supera la cantidad de computadoras personales. Para diciembre de 2008, según [13], la cantidad de usuarios de celulares era de 77.93 millones, lo cual, con una población total de 103.3 millones (datos del Censo de Población y Vivienda 2005 del INEGI) representa una penetración del 75.4%. En algunos otros países como Reino Unido,

Italia, Suecia y República Checa la penetración es mayor del 100% [14], lo que representa que cada habitante posee más de un dispositivo móvil. El segundo factor tiene que ver con la ubicuidad que se proporciona. La posibilidad de estar presente en todas partes en todo momento, se vuelve de vital importancia en una sociedad en la que los estudiantes se ven limitados por factores como los horarios de trabajo, las grandes distancias hacia los centros de estudio, y el tiempo invertido en el traslado de un lugar a otro. Estos problemas son mayores en personas que trabajan y que están a su vez estudiando. Por último, el aprendizaje móvil es una opción muy importante también en el campo de la capacitación/entrenamiento de personal que labora en una empresa o institución. ☛

---

## REFERENCIAS

1. Keegan D. (2004) "The incorporation of mobile learning into mainstream education and training". *Proceedings of the 18th Asian Association of Open Universities Annual Conference*.
2. Lehner F., Nosekabel H. (2002) "The role of mobile devices in e-learning - First experience with an e-learning environment". *Proceedings of the IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education*.
3. Sharples M., Corlett D., Westmancott O. (2002) "The Design and Implementation of a Mobile Learning Resource". *Personal and Ubiquitous Computing* 6, pp. 220-234.
4. Chen, Y. K. (2002) "Scaffolding-Aid-Based Bird-Watching Learning System". *IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education*.
5. Qualcomm BREW, [brew.qualcomm.com/brew/en](http://brew.qualcomm.com/brew/en). Fecha de consulta: Septiembre 9 de 2010.
6. iPhone Developer Center, [developer.apple.com/iphone](http://developer.apple.com/iphone). Fecha de consulta: Septiembre 9 de 2010.
7. Android, [www.android.com](http://www.android.com). Fecha de consulta: Septiembre 9 de 2010.
8. .NET Compact Framework Developer Center, [msdn.microsoft.com/en-us/netframework/default.aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/netframework/default.aspx). Fecha de consulta: Septiembre 9 de 2010.
9. Java Micro Edition, [java.sun.com/javame](http://java.sun.com/javame). Fecha de consulta: Septiembre 9 de 2010.
10. Ho-Chuan Huang, Fu-Ming Hsieh. (2008) "An Adaptive Mobile Learning System with the Support of Learning Diagnosis". *Proceedings of the 16th International Conference on Computers in Education*. Taipei, Taiwan, pp. 189-190.
11. Zatarain-Cabada R., Barrón-Estrada M. L., Sandoval-Sánchez G., Urías-Barrientos E., Osorio-Velásquez J.M., Reyes García C. A. (2009) "EDUCA: A Web 2.0 Collaborative, Mobile and E-learning Authoring System". *Proceedings of 9th International Conference of Advanced Learning Technology*. Santander, España.
12. Felder R.M, Silverman L.K. (1988) "Learning and Teaching Styles In Engineering Education". *Engineering Education*, Vol. 78, No. 7, pp. 674-681.
13. Cellular-News, [www.cellular-news.com/story/36923.php](http://www.cellular-news.com/story/36923.php). Fecha de consulta: Septiembre 9 de 2010.
14. Prenskey M. (2005) "What Can You Learn from a Cell Phone? Almost Anything!". *Innovate, Journal of online education*, Vol. 1, No. 5, [www.innovateonline.info](http://www.innovateonline.info). Fecha de consulta: Septiembre 9 de 2010.

---

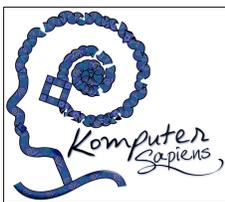
## SOBRE LOS AUTORES



**Ramón Zatarain Cabada** es doctor y maestro en Ciencias de la Computación por Florida Institute of Technology, es también licenciado en Informática egresado del Tecnológico de Culiacán. Actualmente es Profesor Investigador Titular C de la Maestría en Ciencias de la Computación del Instituto Tecnológico de Culiacán. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Sus principales líneas de investigación son el Aprendizaje Electrónico en sus modalidades móvil, basado en la web e híbrido. También trabaja en la implementación de Herramientas de Autor para Sistemas Tutoriales Inteligentes y de Compiladores.



**María Lucía Barrón Estrada** es doctora en Ciencias de la Computación por Florida Institute of Technology, maestra en Ciencias de la Computación egresada del Instituto Tecnológico de Toluca, y licenciado en Informática egresada del Tecnológico de Culiacán. Actualmente es Profesora Investigadora Titular C de la Maestría en Ciencias de la Computación del Instituto Tecnológico de Culiacán. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Sus principales líneas de investigación son el Aprendizaje Móvil, basado en la web e híbrido. También trabaja en la implementación de Herramientas de autor para Sistemas Tutoriales Inteligentes y en Lenguajes de Programación.



---

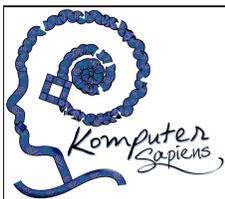
## ¡Envíenos sus contribuciones!

**Komputer Sapiens** solicita artículos de divulgación en todos los temas de Inteligencia Artificial, dirigidos a un amplio público conformado por estudiantes, académicos, empresarios, consultores y tomadores de decisiones. Los artículos deben estar escritos en español y tener una extensión entre 2,500 y 3,000 palabras.

Los tópicos de interés de la revista son muy variados e incluyen: agentes computacionales, ambientes inteligentes, aplicaciones de la inteligencia artificial, aprendizaje computacional, búsqueda y recuperación de información, creatividad, demostración automática de teoremas, evaluación de sistemas de inteligencia artificial, filosofía de la inteligencia artificial, historia de la inteligencia artificial, inteligencia artificial distribuida, programación de juegos, lógicas, minería de datos, planificación, procesamiento de lenguaje natural, razonamiento automático, razonamiento bajo incertidumbre, reconocimiento de patrones, redes neuronales, representación del conocimiento, robótica, sistemas multiagente, sistemas basados en el conocimiento, sistemas basados en el comportamiento, sistemas ubicuos, tutores inteligentes, vida artificial, visión computacional.

Instrucciones para autores e información general: [www.komputersapiens.org.mx](http://www.komputersapiens.org.mx)

---



## ¡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 de 1,000 ejemplares.

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

---

## ARTÍCULO INVITADO

# Reconocimiento de Personas basado en Medida Biométrica de Iris Humano usando Redes Neuronales Modulares

por **Patricia Melín Olmeda**

---

**Se presenta una arquitectura de red neuronal modular para un sistema de reconocimiento de personas mediante la medida biométrica del iris humano. En este sistema, una base de datos del iris humano es procesada mediante métodos de procesamiento de imágenes. Se obtuvieron las coordenadas del centro y radio del iris para posteriormente realizar un recorte del área de interés eliminando el ruido alrededor del iris. Las entradas a la arquitectura de red neuronal modular fueron las imágenes de iris procesadas y la salida es el número de persona identificada. La integración de los módulos se hizo con el integrador del tipo de red de compuertas.**

---

## Introducción

Este trabajo de investigación está centrado en el área de reconocimiento biométrico de patrones, específicamente en el reconocimiento mediante la medida biométrica del iris humano. En la actualidad las medidas biométricas están siendo ampliamente utilizadas para sistemas de reconocimiento de personas. Se ha escuchado hablar mucho del uso de este tipo de medidas, las más conocidas son la firma, la huella dactilar, el rostro y la voz; pero conforme se fue investigando en esta área se descubrieron nuevas medidas, entre las que destacan el iris humano por su particularidad de no perder con el paso de los años su universalidad y autenticidad.

Con la finalidad de conseguir una buena identificación se trabajó con redes neuronales modulares divididas en tres módulos, la entrada en cada módulo es la división de la base de datos de iris humano. Se emplearon algunos métodos o técnicas de pre-procesamiento de imágenes como normalización, re-dimensión, recorte, detección de bordes, entre algunos otros. El resultado final del pre-procesamiento dependió de las pruebas que se hicieron conforme avanzó el tiempo para lograr una mejor identificación.

## Desarrollo histórico

La primera utilización del iris se presentó en París, donde los criminales eran clasificados de acuerdo al color de sus ojos siguiendo la propuesta del oftalmólogo francés Alphonse Bertillon (1880) [1].

La investigación en la tecnología de la identificación ocular comenzó en el año 1935. Durante ese año apareció un artículo en el *New York State Journal of Medicine* donde se sugirió que: “el patrón de las arterias y venas de la retina podría ser usado para la identificación unívoca de un individuo” [2].

Después de investigar y documentar el uso potencial del iris como instrumento para identificar personas, los oftalmólogos Flom y Safir patentaron su idea en 1987; y posteriormente, en 1989, patentaron los algoritmos respectivos junto con el matemático John Daugman. A partir de ahí otros autores desarrollaron enfoques similares [2]. Posteriormente en 2001 John Daugman presentó un nuevo algoritmo para el reconocimiento de personas utilizando la medida biométrica del Iris [3].

En la literatura ha sido bien documentada la unicidad de la identificación ocular. El iris es tan único que no hay dos iris iguales, aún en mellizos, en toda la humanidad. La probabilidad de que dos iris produzcan el mismo código es de uno entre diez elevado a la setenta y ocho, dándose a conocer que la población de la tierra se estima aproximadamente en diez elevado a la diez, millones de habitantes [4].

Los sistemas de reconocimiento biométrico están jugando un papel muy importante en el desarrollo tecnológico y social, debido a que es cada vez más frecuente ver que dichos sistemas se basan en medidas biométricas, como por ejemplo, los que se muestran en la Figura 1.

Las técnicas de identificación biométrica son muy diversas, ya que cualquier elemento significativo de una persona es potencialmente utilizable como elemento de identificación biométrica. Incluso con la diversidad de técnicas existentes, a la hora de desarrollar un sistema de identificación biométrica se mantiene un esquema totalmente independiente de la técnica empleada [5].

---

**El iris es tan único que no hay dos iris iguales,  
aún en mellizos, en toda la humanidad.**

---

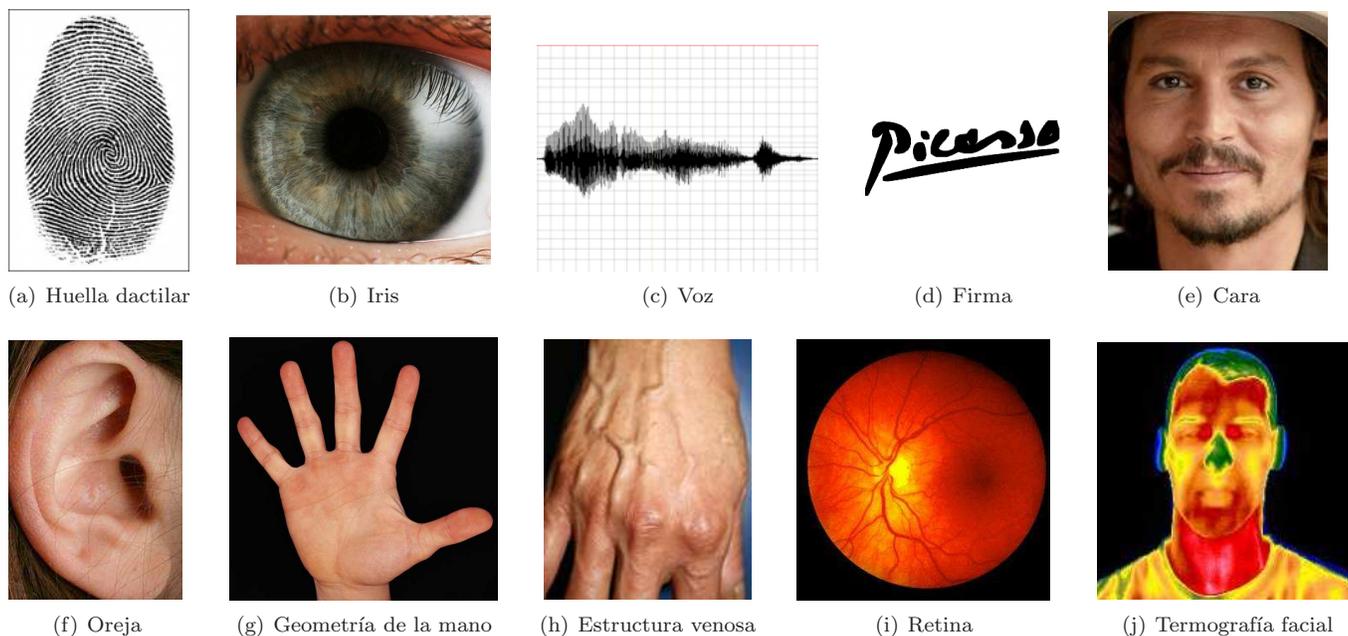


Figura 1. Ejemplos de medidas biométricas

Los seres humanos tenemos muchas características en común, pero al mismo tiempo tenemos características que nos diferencian y nos hacen únicos unos de otros, a lo largo de los años se han hecho muchos trabajos e investigaciones al respecto desarrollando así técnicas, métodos y sistemas que permiten el uso de estos patrones para la identificación de personas.

### Propiedades de iris

El iris es un órgano interno del ojo localizado detrás de la córnea y el humor acuoso, que consiste de un tramado de tejidos conectivos, fibras, anillos y coloraciones que constituyen una huella distintiva de las personas al observarse a corta distancia. La textura del iris no tiene expresión genética y su morfogénesis es completamente aleatoria [6].

Las propiedades del iris que potencian su utilización para la identificación de personas incluyen: a) irrepetibilidad en dos individuos, b) imposibilidad de modificarlo sin riesgo de perder la visión, c) es un patrón con alta aleatoriedad, y d) su facilidad de registro a corta distancia. Pero también presenta algunas desventajas como son: a) su tamaño pequeño dificulta la adquisición a ciertas distancias, b) es un objetivo móvil, c) está ubicado en una superficie curva, húmeda y reflexiva, d) su imagen suele estar afectada por pestañas, párpados y reflejos de luz, y e) sus deformaciones no son elásticas cuando la pupila cambia de tamaño [7].

### Metodología

La metodología empleada para resolver este problema se plantea a continuación:

1. Buscar una base de datos de iris humano.
2. Determinar división de la base de datos, en cuanto a individuos por módulo para la red neuronal modular.
3. Buscar métodos y/o técnicas de pre-procesamiento de imágenes para aplicarlos a la base de datos y obtener una mejor identificación.
4. Programar en MATLAB 7.3 [8] distintas arquitecturas de red neuronal modular. Las RNMs constarán de tres módulos [9].
5. Buscar un método de integración modular que proporcione los resultados deseados.

### Planteamiento del problema

Se trabajó con una base de datos de iris humano obtenida del Instituto de Automatización de la Academia en Ciencias de China (CASIA). Consta de 14 imágenes (7 ojo derecho - 7 ojo izquierdo) por persona, de un total de 99 individuos, dando un total de 1386 imágenes. Las dimensiones de las imágenes son de  $320 \times 280$ , en formato JPEG [10].

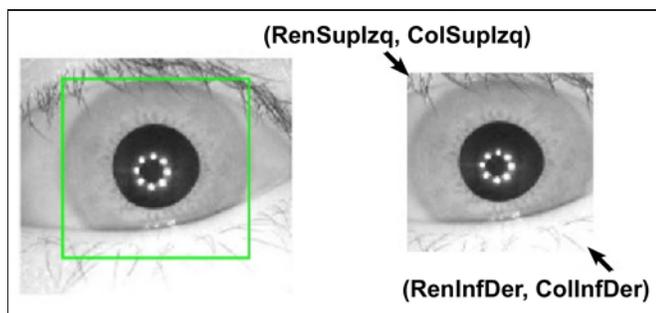


Figura 2. Recorte del iris utilizando la función “imcrop” de Matlab

**Pre-procesamiento de imágenes** El pre-procesamiento que se le ha dado a las imágenes antes de introducirlas a la red neuronal es el siguiente:

- Obtener las coordenadas y radio del iris y pupila utilizando el método desarrollado por Libor Masek y Peter Kovesi.
- Realizar el recorte de iris.
- Redimensionar recorte del iris 108-108
- Convertir las imágenes de matriz a vector
- Normalizar las imágenes.

**Obtención de coordenadas del centro y radio de iris y pupila.** Para obtener las coordenadas del centro y radio del iris y la pupila de las imágenes de la base de datos CASIA se utilizó el método desarrollado por Libor Masek y Peter Kovesi [11].

Dicho método consiste en aplicar una serie de filtros y cálculos matemáticos hasta conseguir lo deseado.

Primero se aplica detección de bordes con el método de Canny; después continúa el proceso utilizando un ajuste gamma de la imagen; a la imagen resultante obtenida anteriormente se le aplica una supresión no máxima; posteriormente se le aplica a la imagen el método umbral.

Finalmente, se aplica la transformada de Hough para encontrar el máximo en el espacio Hough y, por lo tanto, los parámetros del círculo (renglón y columna del centro del iris y su radio).

Para la obtención de las coordenadas del centro y radio de la pupila se realiza el mismo proceso anterior, sólo tomando en cuenta al final las coordenadas del centro y radio del iris para determinar las de la pupila.

**Recorte del iris.** Después de obtener las coordenadas del iris, se calculan los puntos superior derecho e inferior izquierdo para realizar el recorte (Figura 2).

$$\begin{aligned} \text{RenSupIzq} &= \text{RenglonIris} - \text{RadioIris}; \\ \text{RenInfDer} &= (\text{RenglonIris} + \text{RadioIris}) - \text{RenSI}; \\ \text{ColSupIzq} &= \text{ColumnaIris} - \text{RadioIris}; \\ \text{ColInfDer} &= (\text{ColumnaIris} + \text{RadioIris}) - \text{ColSI}; \end{aligned}$$

## Red neuronal modular

La investigación estuvo enfocada en el reconocimiento de personas usando una arquitectura de red neuronal modular. Se trabajó en tres módulos, la entrada de cada módulo será de 33 individuos (264 imágenes para entrenamiento - 198 imágenes para prueba).

Se utilizó el método de integración de red de compuertas (*Gating Network*). Se entrenaron las redes neuronales usando la expresión empírica de Renato Salinas ( $2 \times (k + 2), k + m, k$ ), en las capas internas y de salida, usando  $2 \times (k + 2)$  primera capa oculta,  $k + m$  segunda capa oculta y  $k$  neuronas de salida. Siendo  $k$  el número de personas y  $m$  el número de imágenes por persona [12].

Al obtener los cálculos utilizando la expresión empírica de Renato Salinas quedaron de esta manera las capas de las redes neuronales.

Primera capa oculta ( $2(k + 2)$ ) = 70.

Segunda capa oculta ( $k + m$ ) = 41.

Capa de salida ( $k$ ) = 33.

Al determinar las características de la red neuronal modular, como son el número de módulos a emplear, las entradas, las capas ocultas, el número de neuronas para cada capa oculta y las salidas, queda especificada la arquitectura (Figura 3).

## Resultados

Se realizaron experimentos con la arquitectura de red neuronal modular determinada, siendo estos experimentos con tres tipos de algoritmos de aprendizaje: gradiente descendiente con aprendizaje adaptativo (GDA), gradiente descendiente con aprendizaje adaptativo y momentum (GDX), y gradiente conjugado escalado (SCG). Se consiguieron los siguientes resultados por cada uno de los tres módulos en cuanto a porcentaje de identificación.

- **Módulo 1.** En este módulo los resultados fueron mejores con el algoritmo de gradiente conjugado escalado (SCG), con 92.92% de identificación (184/198), error de 0.000001, tiempo de 4.23 minutos y 249 épocas.
- **Módulo 2.** En este módulo los resultados fueron mejores con el algoritmo de gradiente conjugado escalado (SCG), con 94.94% de identificación (188/198), error de 0.000001, tiempo de 7.22 minutos y 376 épocas.
- **Módulo 3.** En este módulo los resultados fueron mejores con el algoritmo de gradiente conjugado escalado (SCG), con 92.42% de identificación (183/198), error de 0.000001, tiempo de 2.20 minutos y 185 épocas.
- **Integración.** Teniendo los resultados de cada módulo se realizó la integración de todos los módulos, tomando en cuenta que en los tres módulos el

algoritmo de aprendizaje de gradiente conjugado escalado resulto el más eficiente en todos. Por lo tanto la integración mediante red de compuertas se efectuó con este algoritmo. Obteniendo como resultado final un 93.43% de identificación (555/594).

### Conclusiones

En este artículo se presentó una arquitectura de red neuronal modular, compuesta por la base de datos de entrada de imágenes de iris humano, tres módulos para entrenar las imágenes, y en cada módulo se cuenta con dos capas ocultas de 70 y 41 neuronas respectivamente. Al realizar el trabajo se intentó de diversas formas realizar la eliminación de ruido que presentaban las imágenes originales hasta llegar a la obtención de las coordenadas del centro y radio, y posteriormente realizar un recorte alrededor del iris. Al tener las imágenes recortadas se entrenó con un total de 264 imágenes por módulo

(792 en total). Trabajando con tres tipos de algoritmos de aprendizaje (gradiente descendiente con aprendizaje adaptativo (GDA), gradiente descendiente con aprendizaje adaptativo y momentum (GDX), y gradiente conjugado escalado (SCG)) y probando con diversos tamaños de las imágenes de iris recortadas. Al analizar los resultados en cada módulo se llegó a la conclusión que el mejor algoritmo de aprendizaje es el gradiente conjugado escalado (SCG) con un tamaño de  $108 \times 108$  en las imágenes. Al realizar la integración con red de compuertas se obtuvieron resultados considerablemente buenos al lograr un 93.43% de identificación (555 identificadas de 594 imágenes de prueba). El trabajo futuro consiste, en buscar algún procesamiento de imágenes diferente o que se complemente con el actual, con el cual se pueda conseguir superar el porcentaje de identificación obtenido en los resultados mostrados en este artículo.

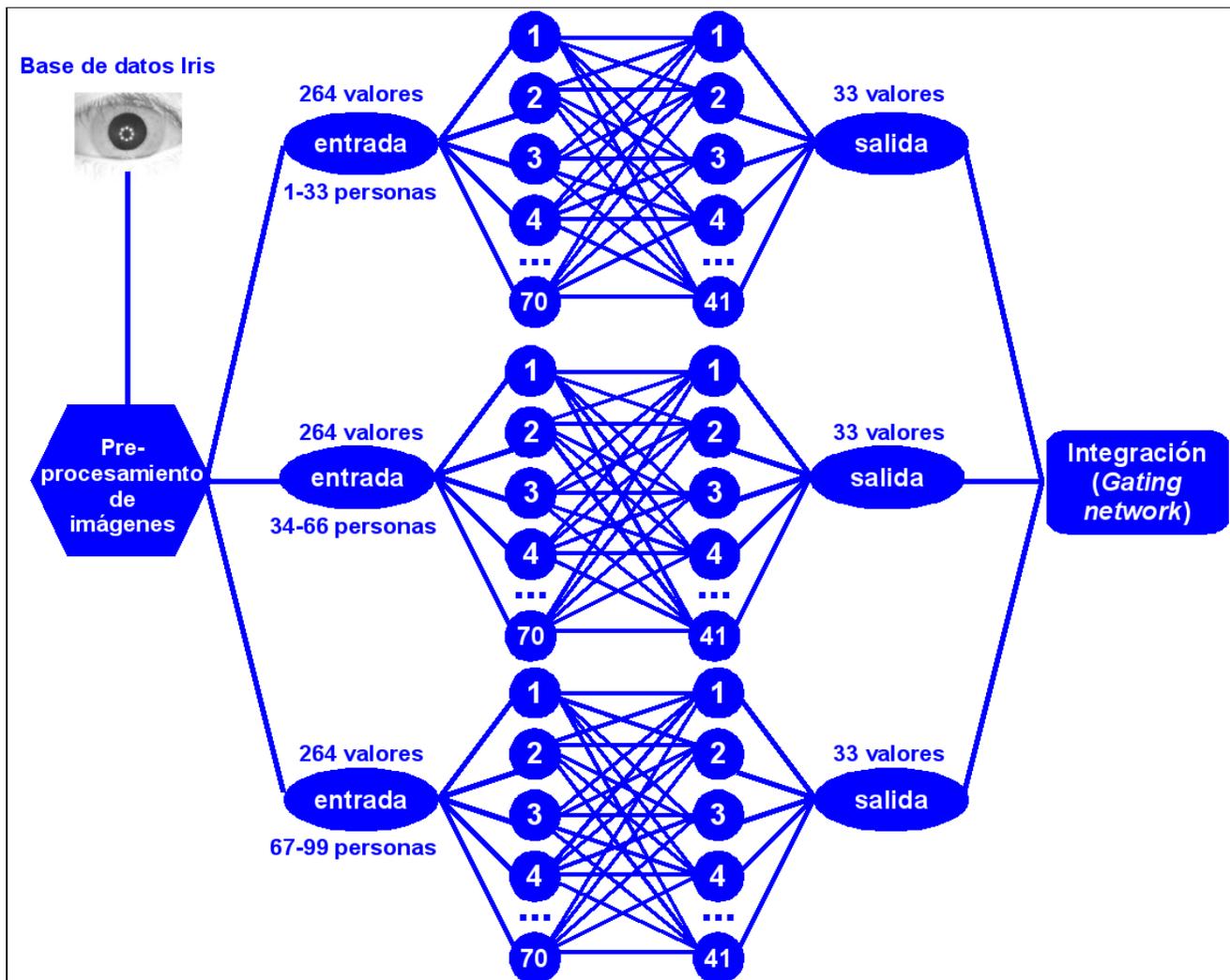


Figura 3. Arquitectura de la Red Neuronal Modular

**REFERENCIAS**

1. Tisse C., Martin L., Torres L., Robert M. (2002) "Person identification technique using human iris recognition", *Proceedings of Vision Interface 2002*, pp. 294-299.
2. López J. (2005) "Estado del Arte: Reconocimiento Automático del Iris Humano", *Scientia et Technica*, Vol. XI, No. 29, pp. 77-81.
3. Daugman J. (2001) "Statistical Richness of Visual Phase Information: Update on Recognizing Persons by Iris Patterns", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 45, No. 1, (2001), pp. 25 - 38.
4. Sánchez O., González J. (2003) "Control de Acceso basado en Reconocimiento de Iris", Monografía, Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Mecatrónica; Cartagena de Indias, , pp. 1-137.
5. Khaw P. (2002) "Iris recognition technology for improved authentication", Sala de Lectura de Seguridad de la Información, SANS Institute, pp. 1-17.
6. Muron A., Pospisil J. (2000) "The human iris structure and its usages", *Physica* 39, pp. 89-95, Czech Republic.
7. Ma L. Wang, Tan T. (2002) "Iris recognition based on multichannel Gabor filtering", *5th Asian Conference on Computer Vision (ACCV2002)*, Vol. 1, pp. 279-283.
8. Ayuda de MatLab, versión 7.3.0.267 (R2006b).
9. Jang J., Sun C., Mizutani, E. (1996) *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*, Prentice Hall.
10. Base de datos de iris humano. Instituto de Automatización de la Academia en Ciencias de China (CASIA). Disponible en [www.cbsr.ia.ac.cn/english/IrisDatabase.asp](http://www.cbsr.ia.ac.cn/english/IrisDatabase.asp)
11. Masek L., Kovesi P. (2003) *MATLAB Source Code for a Biometric Identification System Based on Iris Patterns*. The University of Western Australia. 2003.
12. Salinas R. (2000) "Red Neuronal de Arquitectura Paramétrica en Reconocimiento De Rostros", *Ciencia Abierta*, pp. 5-9. Disponible en: [cabierta.uchile.cl/revista/17/articulos/paper4/index.html](http://cabierta.uchile.cl/revista/17/articulos/paper4/index.html).

**SOBRE EL AUTOR**

**Patricia Melín Olmeda** obtuvo su Doctorado en Ciencias en Computación (Habilitación) en 2007 de la Academia de Ciencias de Polonia. Es Profesor-Investigador y Coordinadora del Posgrado en Computación del Instituto Tecnológico de Tijuana, en México. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores con Nivel II. Actualmente es Presidente de HAFSA (*Hispanic American Fuzzy Systems Association*), Vicepresidente del Capítulo Mexicano de la Sociedad de Computación Inteligente (*IEEE Computational Intelligence Society*) y miembro del Comité Técnico de Redes Neuronales de la IEEE. Sus intereses de investigación son en Redes Neuronales Modulares, Lógica Difusa Tipo-2, Enfoques Híbridos Neuro-Difusos y Genético-Difusos. Ha publicado en estas áreas más de 70 artículos en revistas especializadas con impacto, 5 libros autoreados, 15 libros editados, y 200 artículos en memorias de congresos internacionales.

## ARTÍCULO INVITADO

# Clasificación de Arritmias en Señales Electrocardiográficas basada en un Sistema Híbrido utilizando Redes Neuronales y Lógica Difusa

por **Oscar Castillo López**

**Presentamos una arquitectura híbrida para la clasificación de arritmias cardiacas teniendo como fuente registros de ECG de la base de datos de arritmias del MIT-BIH. Se tomaron muestras de diversos tipos de arritmias contenidas en estas señales ECG aplicando métodos lineales y no-lineales para extraer características. Se utilizaron tres métodos de agrupamiento, y posteriormente se hizo clasificación por medio de un sistema de inferencia difuso, cuyo resultado es el correspondiente tipo de arritmia.**

## Introducción

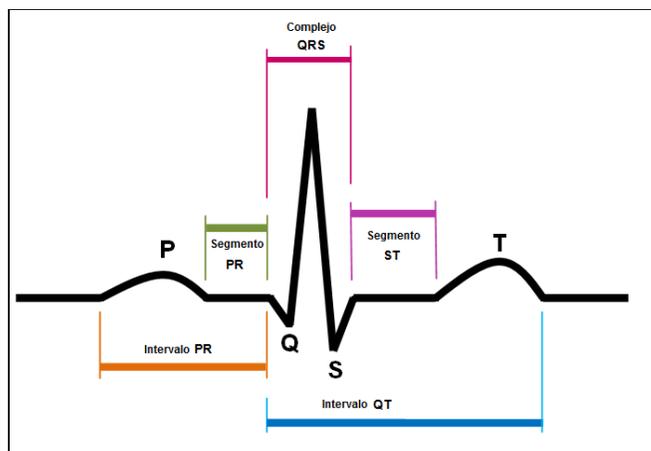
Un electrocardiograma o ECG representa la actividad eléctrica del corazón, como una gráfica en forma de ondas. Una señal de ECG contiene información importante que puede ayudar al diagnóstico médico ya que refleja la actividad cardiaca de un paciente y si esta actividad es normal o presenta ciertas patologías. Los ECG son herramientas estándares usadas en el diagnóstico de enfermedades del corazón. Los médicos obtienen tales señales de manera fácil y no invasiva agregando electrodos en el cuerpo del paciente. El dispositivo Holter es usado frecuentemente para la grabación de ECG [1].

Los médicos aplican el dispositivo Holter al paciente cuando se requiere monitorizar su ECG para buscar la existencia de algunos ciclos anormales en el ECG de un día. Una persona puede registrar alrededor de 100,000 ciclos cardiacos en un día. El ECG muestra cada ciclo cardiaco como una serie de ondas eléctricas. Las contracciones, que bombean sangre, son representadas por la onda P, el complejo QRS y la onda T. La onda P representa actividad en las cámaras superiores del corazón. El complejo QRS y la onda T representan la actividad en las cámaras inferiores [2] (Figura 1).

Una arritmia cardiaca es una alteración en la actividad rítmica del corazón en su amplitud, duración y el ritmo. La base de datos de arritmias del MIT-BIH [2] contiene un conjunto de 48 registros de ECG con 30 minutos aproximadamente de duración por cada uno, cada registro corresponde a un paciente. En esta base

de datos se encuentran diversos tipos de arritmias como son: L-Bloqueo de la Rama Izquierda, R-Bloqueo de la Rama Derecha, A-Pulso Atrial Prematuro, a- Pulso Atrial Prematuro con Aberración, J-Pulso Prematuro de la Unión Nodal, Fusión de Ritmo Normal y Ventricular, I-Onda Ventricular Flutter, J- Pulso de Escape de la Unión Nodal, E- Pulso de Escape Ventricular, S-Pulso Supra-Ventricular Prematuro, f-Fusión de Pulso Normal y Pausado, así como ciclos cardiacos normales. Con la finalidad de obtener mejores resultados de clasificación de arritmias cardiacas hemos optado por un sistema híbrido donde combinamos diversas metodologías [3].

Muchas soluciones han sido propuestas para desarrollar sistemas automatizados de reconocimiento y clasificación de ECG. Algunos métodos de procesamiento que se han aplicado a la señal ECG son: Estadísticos y Sintácticos, Redes Neuronales Multicapa (MLP), Mapas Auto organizados (SOM), Learning Vector Quantization (LVQ), Sistemas Discriminantes Lineales, Sistemas Difusos o Neuro-Difusos, Máquinas de Soporte Vectorial (SVM), Enfoques Bayesianos, Sistemas Expertos, Modelos de Markov, Sistemas Híbridos que son la combinación de diferentes soluciones [4,5,6,7].



**Figura 1. Ciclo cardiaco normal con sus puntos fiduciales**

**Una arritmia cardiaca es una alteración en la actividad rítmica del corazón en su amplitud, duración y ritmo.**

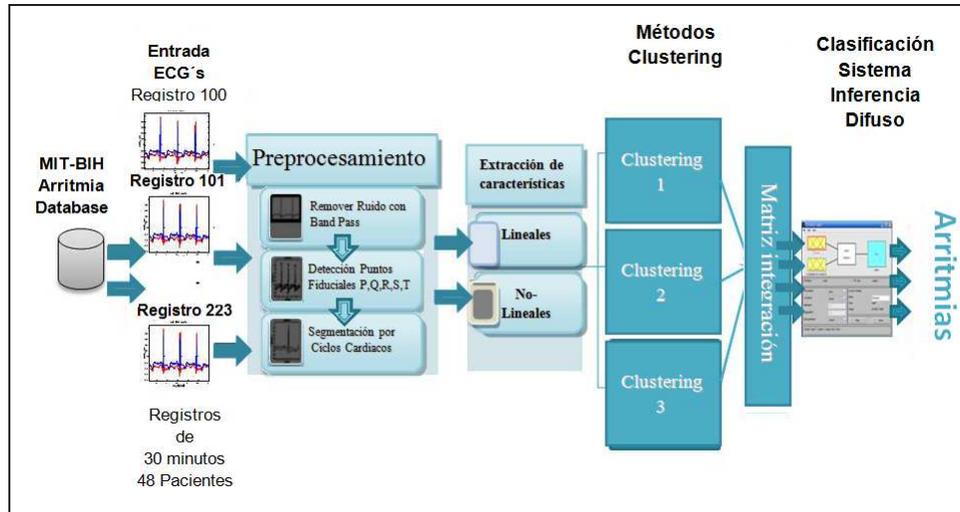


Figura 2. Arquitectura del Sistema Híbrido

### Metodología utilizada

La metodología empleada para resolver el problema fue la siguiente [7]:

1. Adquisición de la base de datos de arritmias del MITBIH.
2. Pre-procesamiento de registros ECG.
3. Búsqueda de métodos de extracción de características lineales y no lineales.
4. Búsqueda de tres métodos de agrupamiento.
5. Clasificación a través de un sistema de inferencia difuso.

En la Figura 2 mostramos la arquitectura propuesta.

### Adquisición de la base de datos de arritmias de MIT-BIH

Se trabajó con la base de datos de arritmias proporcionada por el MIT-BIH [2], compuesta por 48 registros de señales de ECG con aproximadamente 30 minutos de duración cada registro (Figura 3). De ellos 23 registros están numerados del 100 al 124, y 25 registros numerados del 200 al 234. Estos registros incluyen una gran variedad de fenómenos clínicamente importantes. El 60 % de las señales provienen de pacientes hospitalizados, de los cuales 25 son hombres de 32 a 89 años de edad, y 22 son mujeres de 23 a 89 años de edad.

Esta base de datos fue documentada con anotaciones realizadas por cardiólogos, también participaron técnicos de Holter, asistentes de laboratorio e ingenieros del

MIT y del Hospital Beth Israel, Universidad de Washington, St. Louis, quienes identificaron cada ciclo cardiaco y asignaron en su caso una clasificación de arritmia correspondiente.

En cuanto a las herramientas utilizadas, para leer los registros de ECG se utilizó una distribución por parte de “PhysioBank” [2] desarrollada en MatLab llamada “ECG Exporter”. Con esta herramienta podemos revisar cada registro ECG, así como sus anotaciones.

### Pre-procesamiento de registros ECG

El pre-procesamiento de registros de ECG se compone por:

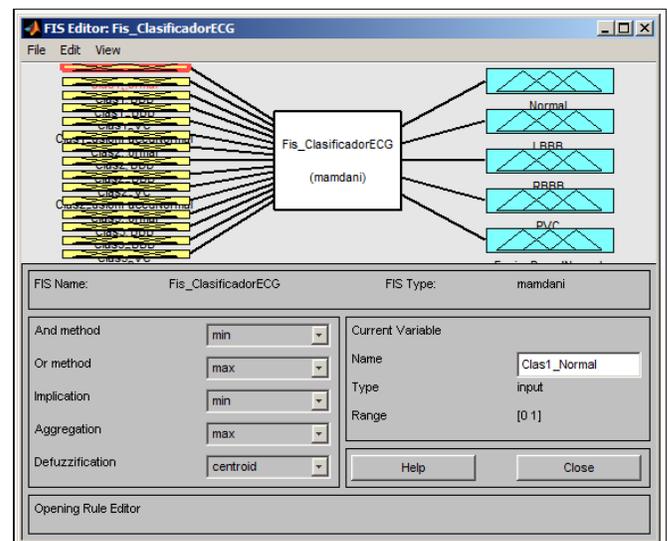


Figura 3. Sistema difuso para integrar los resultados de los tres clasificadores

- **Eliminación de ruido.** Las señales obtenidas de los pacientes se les aplicó un filtro pasa-bandas.
- **Detección de puntos fiduciales y segmentación de ciclos cardiacos.** Se tomó como referencia los tiempos de los puntos R otorgados por el MIT-BIH en la base de datos, cada punto R nos indica la presencia de un ciclo cardiaco, de tal forma fue posible ubicar los inicios de las ondas P o inicios de los ciclos y sus puntos finales, posteriormente realizamos la segmentación.

### Búsqueda de métodos de extracción de características lineales y no lineales

Las primeras características lineales utilizadas en este trabajo son la entropía de Shannon y la complejidad de Lempel-Ziv.

- **Entropía de Shannon.** La entropía es una medida que cuantifica la incertidumbre presente en un conjunto de datos debido a su cantidad de información. De este modo, la entropía de un conjunto de datos se puede interpretar como el grado de información que proporciona su observación; entre mayor sea la incertidumbre en la observación del conjunto de datos, mayor es su valor de entropía.
- **La Complejidad de Lempel-Ziv.** El cálculo de la complejidad Lempel-Ziv permite estimar qué tan compleja o irregular es una serie de tiempo. Se mide el número de patrones distintos que deben ser copiados para reproducir una secuencia dada. El análisis de la complejidad de Lempel-Ziv (LZ) está basado en la transformación de la señal a analizar en una secuencia cuyos elementos son sólo unos pocos símbolos. Esta secuencia P se examina de izquierda a derecha, y un contador de complejidad  $c(n)$  se incrementa en una unidad cada vez que se encuentra una nueva sub-secuencia de caracteres consecutivos.

### Arquitectura del sistema híbrido

El trabajo estuvo enfocado en la clasificación de las arritmias cardiacas (se consideran 5 arritmias como ilustración) empleando un sistema híbrido combinando tres clasificadores distintos.

En la fase experimental empleamos 70% de los datos para entrenamiento (350 muestras) y 30% de los datos para prueba (150 muestras). En lo que respecta al 70% de datos de entrenamiento se aplicó validación cruzada de 10 veces. En otras palabras, empleamos 10 sub-muestras aleatorias disjuntas, y se utilizó una para validación y las demás para entrenamiento, y se repitió este ciclo para la segunda sub-muestra y así sucesivamente.

El primer clasificador fue un K-vecinos más cercanos (KNN) difuso habiéndose considerado  $k=5, 4, 3$  vecinos más cercanos.

El segundo clasificador fue una red neuronal multicapa de 140 neuronas en la capa de entrada, 10,000 épocas, tasa de aprendizaje= 0.3, método de aprendizaje de gradiente descendente con momentum de 0.5, y probamos con 50, 100 y 150 neuronas en la capa oculta, y 5 neuronas en la capa de salida. Cada salida representa una clase respectiva.

El tercer clasificador fue también una red neuronal multicapa de 140 neuronas en la capa de entrada, 10,000 épocas, tasa de aprendizaje= 0.001, método de aprendizaje de retropropagación con gradiente escalado conjugado, y probamos también con 50, 100 y 150 neuronas en la capa oculta, y 5 neuronas en la capa de salida.

Para combinar los resultados de los tres clasificadores se empleó un sistema de inferencia difusa (ver Figura 3). Las características del sistema difuso son: tipo Mamdani con defuzificación de centroide, 15 entradas con 3 funciones trapezoidales cada una. Las primeras 5 entradas representan la matriz de membresías del clasificador KNN difuso. Las segundas 5 entradas representan la matriz de activaciones de la red neuronal multicapa con método de aprendizaje de gradiente descendente con momentum. Las últimas 5 entradas representan la matriz de activaciones de la red neuronal multicapa con método de aprendizaje retropropagación con gradiente escalado conjugado. En total se tienen 120 reglas difusas con 5 salidas con 3 funciones trapezoidales. Las salidas representan las clases Normal, LBBB, RBBB, PVC, Fusión de Pausada y Normal (FPN).

Tabla 1. Resultados del sistema difuso

	Normal	LBBB	RBBB	PVC	FPN
Normal	30	0	0	0	0
LBBB	0	30	0	0	0
RBBB	0	1	29	0	0
PVC	0	0	0	30	0
FPN	0	0	1	1	28
Tasa de clasificación 98%					

### Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos con la arquitectura propuesta.

- **Primer Clasificador: K-NN difuso.** En los experimentos de este clasificador encontramos que el mejor resultado se obtuvo en la validación cruzada con  $k = 3$  vecinos cercanos, siendo de 94.28% la tasa de clasificación. En lo que respecta a los datos de prueba, empleando el mejor clasificador se obtuvo una tasa de clasificación de 95.33%.

- **Segundo Clasificador: Red Neuronal Multi-capas con Retropropagación con Gradiente Descendente con Momentum.** En los experimentos de este clasificador encontramos que el mejor resultado se obtuvo en la validación cruzada con 150 neuronas en la capa oculta, siendo de 92.85 % la tasa de clasificación. En lo que respecta a los datos de prueba, empleando el mejor clasificador se obtuvo una tasa de clasificación de 96.67%.
  - **Tercer Clasificador: Red Neuronal Multi-capas con Retropropagación con Gradiente Conjugado Escalado.** En los experimentos de este clasificador encontramos que el mejor resultado se obtuvo en la validación cruzada con 100 neuronas en la capa oculta, siendo de 93.62 % la tasa de clasificación. En lo que respecta a los datos de prueba, empleando el mejor clasificador se obtuvo una tasa de clasificación de 97.33%.
- Sistema de Inferencia Difusa.** Finalmente, con

el sistema de inferencia difusa, mencionado en la sección anterior, combinamos las salidas de cada clasificador, y el resultado final fue una tasa de clasificación del 98 % (ver Tabla 1).

## Conclusiones

En este artículo presentamos una arquitectura para realizar clasificación de arritmias cardiacas utilizando la base de datos de arritmias del MIT-BIH. Esta arquitectura está basada en un sistema híbrido donde combinamos grupos de arritmias utilizando un sistema de inferencia difuso. Con base en los experimentos realizados encontramos que los tres clasificadores arrojan buenos resultados individualmente. Sin embargo, combinando sus salidas con un sistema de inferencia difusa tipo Mamdani con las reglas y funciones de pertenencia apropiadas, se puede lograr una tasa de clasificación muy alta. Como trabajo futuro se considerará una cantidad de arritmias mayor y otras bases de datos de arritmias. 🌱

---

## REFERENCIAS

1. Clifford G., Azuaje F., McSharry P. (2006) *Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis. Engineering Medicine & Biology*, Artech House, Boston—London.
2. MIT-BIH Arrhythmia Database. *PhysioBank. Physiologic signal archives for biomedical research*. Disponible en [www.physionet.org/physiobank/database/mitdb/](http://www.physionet.org/physiobank/database/mitdb/)
3. Melin P., Castillo O. (2005) *Hybrid Intelligent Systems for Pattern Recognition*, Springer-Verlag.
4. Bishop C. (1995) *Neural Networks for Pattern Recognition*, Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 116-149.
5. Ceylan R., Ozbay Y., Karlik B. (2009) "A novel approach for classification of ECG arrhythmias: Type-2 fuzzy clustering neural network", *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, pp. 6721-6726.
6. Ozbay Y., Ceylan R., Karlik B. (2006) "A fuzzy clustering neural network architecture for classification of ECG arrhythmias", *Computers in Biology and Medicine*, Vol. 36, pp. 376-388.
7. Ramirez E., Castillo O., Soria J. (2010) "Hybrid System for Cardiac Arrhythmia Classification with Fuzzy K-Nearest Neighbors and Multi Layer Perceptrons combined by a Fuzzy Inference System", por aparecer en *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks 2010*, Barcelona, España.

---

## SOBRE EL AUTOR



**Oscar Castillo López** obtuvo su Doctorado en Ciencias en Computación (Habilitación) en 2007 de la Academia de Ciencias de Polonia. Es Profesor-Investigador del Posgrado en Computación del Instituto Tecnológico de Tijuana, en México. Además, es coordinador de investigación del Instituto y Responsable del Cuerpo Académico de Sistemas Híbridos Inteligentes. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores con Nivel II. Es Presidente Electo de IFSA (*International Fuzzy Systems Association*), Presidente del Capítulo Mexicano de la Sociedad de Computación Inteligente (*IEEE Computational Intelligence Society*), y miembro del Comité Técnico de Sistemas Difusos de la IEEE. Sus intereses de investigación son en Lógica Difusa Tipo-2, Control Difuso, Enfoques Híbridos Neuro-Difusos y Genético-Difusos. Ha publicado en estas áreas más de 70 artículos en revistas especializadas con impacto, 5 libros autoreados, 20 libros editados, y 200 artículos en memorias de congresos internacionales.

## ARTÍCULO INVITADO

# Algoritmos Genéticos y Estructuras Relacionales Difusas: Un Híbrido para Mejorar Tareas de Compresión de Datos

por **Orion Fausto Reyes Galaviz** y **Carlos Alberto Reyes García**

## Introducción

Se puede decir que existe una relación entre dos o más conjuntos cualquiera cuando existe una asociación, interacción o interconectividad entre los elementos de dichos conjuntos. Esta asociación puede generalizarse para lograr obtener diversos grados de asociación o interacción entre dichos elementos, es decir, no sólo saber si existe o no una asociación entre elementos, sino también poder decir si existen diversos grados de asociación entre los elementos. Estos grados de asociación pueden ser expresados por grados de pertenencia como una relación difusa, o valores comprendidos entre lo verdadero (1) y lo falso (0). Las ventajas y el poder que tienen estas relaciones difusas pueden ser aprovechadas para desarrollar sistemas expertos que capturen el conocimiento de una persona versada en un área en específico, o, como veremos más adelante, para comprimir y, a su vez, recuperar información de diferentes tipos. Esto último puede lograrse si obtenemos la relación existente entre un vector de códigos difusos o libros de códigos y una matriz de datos de entrada que se desea comprimir. Esta compresión se hace más eficiente con un Algoritmo Genético (AG) que optimiza automáticamente el método de compresión. La eficiencia del modelo propuesto completo se muestra al comprimir matrices que contienen patrones de sonidos y efectuar su reconocimiento una vez comprimidos, y en este caso se utilizó la base de llanto "Chillanto".

## ¿Qué son las estructuras relacionales difusas?

Las Ecuaciones (Estructuras) Relacionales Difusas (ERD) [1] están asociadas con el concepto de matrices de las relaciones binarias o relaciones verdaderas o falsas (0 y 1). Estas matrices pueden contener también relaciones difusas, expresadas por grados de relación entre 0 y 1. Una vez que se tienen las matrices con sus relaciones se aplica el producto relacional difuso. Diversos tipos de operaciones difusas pueden ser aplicadas, con las que es posible comprimir la información guardada dentro de una matriz de información, y mantener al mismo tiempo la información más relevante que pueda funcionar para recuperar dicha información o más aún, clasificar información que pueda representar patrones de entrada para un sistema de reconocimiento automático.

En [2] se demostró por primera vez la compresión de vectores formados por características de muestras de sonido, por medio de productos relacionales difusos. En este trabajo, el reconocedor de patrones por sí solo mostró un desempeño bajo al tratar de identificar llantos de bebés normales, con asfixia o con sordera. Para mejorar la clasificación de las muestras se recurrió a reforzar directamente las muestras previamente comprimidas, lo cual se logró añadiendo un vector con valores estadísticos extraídos del vector de características sin comprimir. Con la intención de mejorar el compresor relacional difuso, sin la ayuda de dicho vector, proponemos la utilización de un Algoritmo Genético que puede hacer una búsqueda exhaustiva de los diferentes grados de compresión que pueden lograrse usando diferentes valores en las variables del rango de compresión y método de compresión.

Las ecuaciones relacionales difusas, son la base de los Productos Relacionales Difusos (FRP por sus siglas en inglés), introducidas en 1976 [3] para investigar los aspectos de aplicación y teóricos de la teoría de conjuntos difusos presentados previamente por el Dr. Lotfi A. Zadeh. Las ecuaciones relacionales fueron originalmente introducidas a partir de ecuaciones relacionales Booleanas [4], o donde los valores de la relaciones solamente pueden ser verdaderos o falsos.

## El producto relacional difuso

Las relaciones difusas entre dos conjuntos pueden ser aplicadas tanto en matrices booleanas como en matrices difusas de la siguiente manera: digamos que  $R$  es una relación entre los conjuntos  $X$  y  $Y$ , y que  $S$  es una relación entre los conjuntos  $Y$  y  $Z$ , cada uno de estos conjuntos pueden tener uno o más elementos. A estos conjuntos se les pueden aplicar diversas operaciones binarias o difusas, cada una de ellas resultando en un producto relacional desde el conjunto  $X$  hasta el conjunto  $Z$ . Existen diversos productos relacionales que consisten en operaciones como  $max$ ,  $min$  o implicación, que se aplican sobre las matrices formadas por las relaciones  $R$  y  $S$ , y obtienen como resultado otra matriz que refleja las relaciones entre  $X$  y  $Z$  y que son las que se tratan de establecer. Esta es además la matriz sobre la que se hará la compresión.

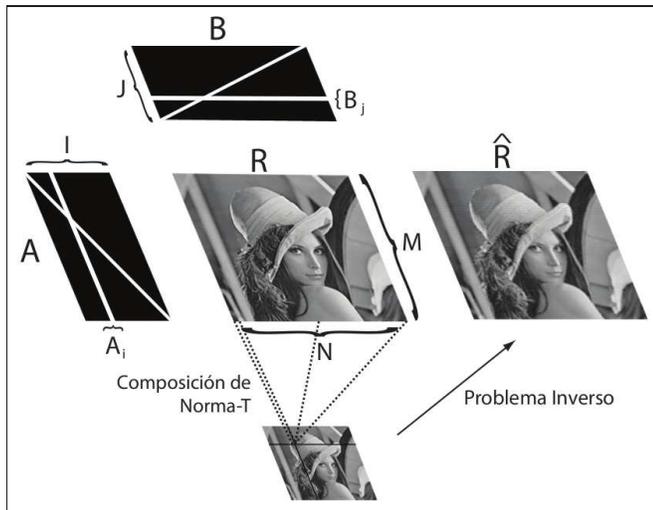


Figura 1. Compresión y descompresión relacional difusa de una imagen

### Compresión de imágenes usando el producto relacional difuso

Para calcular un producto relacional difuso entre matrices necesitamos las matrices de entrada, una de las cuales es una matriz de una imagen a escala de grises con valores difusos entre  $[0,1]$ , siendo 0 el color negro, 1 el color blanco, y los valores entre estos dos la escala de intensidad de gris. La matriz tiene un tamaño inicial de  $N \times M$ , y queremos comprimirla a una matriz de  $J \times I$ , por lo cual debemos construir un par de “libros” de códigos que puedan comprimir primero  $N$  y después  $M$  de la matriz de entrada. Para esto definimos los valores de  $J$  e  $I$  que determinan el tamaño final de la matriz comprimida. Este proceso se ilustra en la Figura 1.

### Compresión de características de sonidos con ayuda de Algoritmos Genéticos

El procedimiento de compresión de características de sonido es similar al anterior, sólo que en este caso usaremos los patrones contenidos dentro de las matrices relacionales resultantes para hacer una clasificación de patrones y tratar de obtener resultados similares que cuando se usan los vectores originales sin comprimir. Primero tomamos un vector de características, en este caso características de llanto de bebés de la base de datos “Chillanto”, cada vector tiene 361 características, por lo que podemos construir matrices de tamaño  $19 \times 19$ . El tamaño de compresión de esta matriz está dado por  $I$  y  $J$ , que son valores variables encontrados por nuestro algoritmo genético. Otras variables que seleccionará el algoritmo genético son el Producto Relacional a usar, la red neuronal más adecuada, y el rango de compresión.

### Algoritmos Genéticos

Los algoritmos genéticos son programas que trabajan

sobre una población de representaciones abstractas (llamados cromosomas o genomas) de soluciones candidatas (llamadas individuos o fenotipos) para problemas de optimización, en donde los individuos deben evolucionar hacia mejores soluciones [5]. Tradicionalmente, las soluciones se representan en números booleanos como cadenas de ceros y unos, pero es posible tener otras codificaciones. La evolución usualmente empieza desde una población de individuos generados aleatoriamente. En cada generación se evalúa la aptitud de cada individuo, después se seleccionan múltiples individuos de la población actual y se modifican (recombinados y posiblemente mutados aleatoriamente) para formar una nueva población. La nueva población se usa entonces para la siguiente iteración del algoritmo. Comúnmente, el algoritmo termina cuando, un número dado de generaciones se ha producido, o un nivel satisfactorio de aptitud se ha alcanzado. Entonces, se dice que se ha alcanzado una solución que puede ser o no ser satisfactoria.

Un paso importante es decidir cómo codificar los individuos para que puedan representar una solución aleatoria del problema a resolver. En la Tabla 1 mostramos cómo codificamos a nuestro individuo. Cada individuo propone un experimento aleatorio diferente en la primera generación y lo ejecuta, el usuario puede definir el número de experimentos por generación que se desee ejecutar. Cuando cada uno de los experimentos ha concluido, se tiene un valor de precisión dado por cada una de las redes neuronales entrenadas, esta precisión es la que se usará como función de aptitud para seleccionar a los mejores individuos de cada generación y reproducirlos para obtener mejores individuos en generaciones futuras.

Para el individuo de ejemplo de la Tabla 1, el valor de  $Sh$  es de 0.0396, el producto relacional difuso a ser usado es la de Lukasiewicz, la red neuronal artificial seleccionada es la red de retropropagación con cascada de avance, y por último, el valor que tendrá la matriz comprimida será de  $4 \times 4$ , sólo un caso hipotético de qué tipo de experimentos propone un individuo. Para nuestro experimento decidimos inicializar 16 individuos aleatorios, estos individuos se reproducirán y recombinarán por 20 generaciones.

Cuando tenemos los 16 resultados de los primeros individuos aleatorios se ordenan del mejor resultado al más bajo, posteriormente se seleccionan sólo los ocho primeros resultados, eliminando por elitismo el 50% de los individuos con resultados más bajos. Los ocho individuos seleccionados para pasar a la siguiente generación deben ser usados para generar una nueva generación de 16 individuos. Ya que tenemos los 16 nuevos individuos, se toman por pares y se decide si se cruzan sus cromosomas o pasan a la nueva generación sin ser alterados. La cruce de cromosomas sirve para recombinar dos padres y generar dos hijos que tengan la información de sus predecesores, pero a su vez representan una nueva solución.

Para cada par de individuos se genera un número aleatorio entre 0 y 1, si el número es menor que la tasa de cruce, que en nuestro caso es 0.6, ambos individuos son recombinados o cruzados. El punto de cruce es también determinado aleatoriamente. En la Figura 2 podemos ver que la cruce se hace en el punto 11. Luego se aplica la operación de mutación si un número aleatorio entre 0 y 1 generado para este fin es menor o igual a la tasa de mutación, 0.05 en nuestro caso, de lo contrario pasará a la siguiente generación sin ser alterado.

El individuo es seleccionado para ser mutado, si el número en un bit seleccionado aleatoriamente es un 0, se transforma en 1, y viceversa (ver Figura 3).

Terminado el proceso de mutación y cruce se tiene una nueva generación de individuos, es decir que tenemos 16 nuevos experimentos a ejecutar. Los procesos de elitismo, cruce y mutación se repiten por 20 generaciones, o el número de generaciones que el usuario haya definido, hasta obtener una última generación cuyos individuos deben ser mejores que sus antecesores, y uno de ellos será el ganador de todas las generaciones, ya que contendrá la mayor precisión global de todos los experimentos. Podemos ver el resultado de nuestros experimentos en la Tabla 2 después de ejecutar el AG por 20 generaciones.

En los resultados de la Tabla 2 tuvimos casi un 91% de reconocimiento con las matrices comprimidas de los llantos de bebé, cuando en generaciones iniciales se obtuvo hasta un 86% de reconocimiento. En estos experi-

mentos los valores del *Sh* son de 0.071 y 0.064 respectivamente, los demás valores resultaron iguales, ya que el producto relacional seleccionado fue el del Producto algebraico en el cual sólo se multiplican los valores de *R* y *S* ( $R \times S$ ), y después se toma el valor mínimo de todos los resultados. La Red Neuronal Artificial (RNA) seleccionada para ambos casos fue la Red de Cascada de Avance con Retropropagación y por último, la compresión que proponen ambos individuos es de  $10 \times 10$ .

En los primeros experimentos sólo lográbamos obtener hasta un 64% de reconocimiento, si quisiéramos intentar con valores de *Sh* aleatorios, elegir diferentes RNA, intentar diferentes productos relacionales, y diferentes tamaños de compresión, todo esto de manera manual, el sintonizar el algoritmo nos tomaría demasiado tiempo, y el encontrar una solución óptima sería una tarea muy pesada, por esto es que dejamos que el algoritmo genético encuentre una solución óptima de manera automática, y no es necesario que haga una búsqueda exhaustiva de todas las soluciones, ya que la búsqueda, selección por aptitud, recombinaciones y mutaciones hacen que el algoritmo encuentre la solución óptima. Los AG son eficientes cuando se trata de buscar soluciones óptimas a problemas complejos, el problema que tienen es que son muy lentos al hacer la búsqueda. Algunos pudieran decir que “el trabajo lo hace la computadora y nosotros sólo debemos esperar”, ya que al final, cuando encontramos las variables optimizadas, las pruebas de reconocimiento pueden hacerse casi en tiempo real.☺

Tabla 1. Individuo aleatorio y variables a buscar con el AG

Sh								FRP			RNA		I y J		
0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0

0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1

0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1

↑ punto de cruce



0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1

0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1

Figura 2. Cruza de dos individuos en un solo punto

0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1



0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1

Figura 3. Mutación aleatoria de un individuo

Tabla 2. Resultados de los individuos después de 20 generaciones

Sh					FRP					RNA		Compresión			<i>Fitness</i>	
1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	90.8496732
1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	90.8496732

## INFORMACIÓN ADICIONAL

La Base de Datos “Chillanto” es propiedad del Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica – CONACYT, México. Los autores agradecen al Dr. Edgar M. García-Tamayo, Dr. Emilio Arch-Tirado y su grupo en INR-México por su soporte al recolectar la base de datos de llanto de bebé.

## REFERENCIAS

1. Reyes García C.A. (2005) “Sistemas Difusos (FuzzySystems): Fundamentos y Aplicaciones”, Tutorials and Workshops of the IV Mexican International Conference on Artificial Intelligence, ITESM Monterrey, México, Noviembre 14-18, 2005.
2. Reyes Galaviz O.F, Reyes García C.A. (2009) “Fuzzy Relational Compression Applied on Feature Vectors for Infant Cry Recognition”, A. Hernandez Aguirre et al. (Eds.): MICAI 2009, LNAI 5845, pp. 420-431, 2009. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
3. Sanchez E. (1976) “Resolution of composite fuzzy relation equations”, Inform. and Control, No. 30, pp. 38-49.
4. di Nola A., Pedrycz W., Sessa S., Pei-Zhuang W. (1994) “Fuzzy Relation Equation Under A Class Of Triangular Norms: A Survey and New results”, *Stochastica*, Vol. 3, No. 2.
5. Fogel, David B. (2000) *Evolutionary Computation: Towards a New Philosophy of Machine Intelligence*. New York: IEEE Press. p. 140.

## SOBRE LOS AUTORES



**Orion Fausto Reyes Galaviz** obtuvo el grado de Maestro en Ciencias Computacionales en el Instituto Tecnológico de Apizaco, en Tlax., México; y el de Ingeniero Electromecánico en la misma institución. Es profesor de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, y miembro activo del SMIA desde 2004. Actualmente es estudiante de Doctorado en la Universidad de Alberta, en Canada. Cuenta con más de 40 publicaciones científicas publicadas en memorias de congresos internacionales, nacionales, revistas de divulgación científica y capítulos de libros. Sus principales áreas de interés son el Cómputo Suave, Lógica Difusa, Estructuras Relacionales Difusas y los Sistemas Bioinspirados. Correo electrónico: reyesgal@ualberta.ca



**Carlos Alberto Reyes García** obtuvo el doctorado en Ciencias de la Computación con especialidad en IA por la Florida State University. Realizó una estancia postdoctoral en el Instituto Internazionale per gli Alti Studi Scientifici (IIASS) en Salerno, Italia. Es investigador de tiempo completo de la Coordinación de Ciencias Computacionales del INAOE en Puebla, México. Es investigador nacional nivel I del SNI. Actualmente es el presidente de la Sociedad Mexicana de Inteligencia (SMIA). Sus áreas de investigación de interés son: Inteligencia Computacional, Clasificación de Habla, Hablante y Llanto de Bebé, y Reconocimiento de Patrones en General.

## ARTÍCULO INVITADO

# Redes Neuronales Artificiales para Calificar la Capacidad de Crédito de Entidades Mexicanas de Gobierno

por **María del Pilar Gómez Gil** y **Alfonso Mendoza Velázquez**

## Introducción

La rama de la inteligencia artificial conocida como Inteligencia Computacional trata con la teoría, diseño, aplicación y desarrollo de modelos computacionales inspirados en modelos biológicos. La inteligencia computacional incluye a las redes neuronales artificiales, los algoritmos genéticos, la programación evolutiva, los sistemas difusos y combinaciones híbridas de estos paradigmas. Algunos de los sistemas basados en inteligencia computacional son capaces de aprender, esto es, pueden adecuar su comportamiento en respuesta a lo que sucede en el medio ambiente en que se encuentran inmersos, con el fin de ajustarse correctamente a la actividad para la que fueron creados. Este medio ambiente es “informado” al sistema a través de una buena cantidad de ejemplos que contienen características que el sistema debe conocer para realizar correctamente su actividad. Este conocimiento adquirido a través de la observación, puede ser utilizado para tomar decisiones certeras cuando el sistema es enfrentado a un ejemplo aparentemente diferente a los que le fueron “enseñados,” pero con características esenciales similares a las almacenadas en la base de conocimiento del sistema, esto es, el sistema adquiere la capacidad de “generalizar”. Estas habilidades de aprendizaje y generalización permiten usar a los sistemas basados en inteligencia computacional en una gran variedad de aplicaciones asociadas con actividades que requieran optimización, clasificación, pronóstico o toma de decisiones.

Dentro del área financiera, las redes neuronales artificiales (RNA) han sido muy utilizadas. Por ejemplo, se han usado para modelar el comportamiento del mercado cambiario y de mercados de capitales, para la evaluación de créditos e inversiones, para simular problemas macroeconómicos o para realizar pronósticos de bancarrota y de calidad crediticia. En una importante cantidad de estas aplicaciones se ha encontrado que las RNA tienden a obtener mejores resultados que otras técnicas estadísticas o matemáticas usadas comúnmente en estas disciplinas, tales como el Análisis Discriminante Múltiple, los modelos de variables categóricas o de variable dependiente limitada (Probit y Logit), los algoritmos genéticos o la programación lineal.

Una aplicación donde las RNA y otros modelos de inteligencia computacional han mostrado ser particular-

mente útiles es en la estimación de calificaciones crediticias. Una calificación de crédito es una opinión acerca de la solidez financiera del ente que está siendo calificado, que puede ser una emisión de deuda, la estructura financiera de una compañía o las finanzas públicas de una entidad gubernamental. Entre otras cosas, estas calificaciones permiten estimar la probabilidad de que una organización no pueda cumplir con sus compromisos financieros, lo cual es muy útil para la administración de riesgos. Las calificaciones crediticias son otorgadas por una entidad evaluadora reconocida, en base a una serie de estudios realizados sobre indicadores financieros del sujeto en cuestión; en México operan desde 2001 las calificadoras Standard & Poor's, Moodys y FitchRatings. Las calificaciones crediticias son representadas a través de una escala de valores; por ejemplo, la escala de calificaciones que otorga la organización FitchRatings va desde “AAA”, que representa la más alta calidad crediticia, hasta “E”, que implica el peor caso posible donde la calificación ha sido suspendida, habiendo otras 19 posibilidades más entre estos valores extremos. Entre los productos que se pueden calificar se encuentran las finanzas, las emisiones de certificados bursátiles, los créditos bancarios, etc. No sólo las entidades particulares buscan obtener una calificación crediticia, sino también los gobiernos y entidades públicas. Desde 2001, la calificación crediticia fue implantada como un requisito opcional para los gobiernos estatales y municipales de México que busquen buenas condiciones para sus financiamientos comerciales. Actualmente, todos los estados de la República Mexicana cuentan con al menos dos calificaciones crediticias otorgadas por agencias reconocidas internacionalmente. Dada la importancia de estas calificaciones en el sistema financiero y en las finanzas públicas estatales, puede ser de gran utilidad contar con sistemas que permitan estimar estas calificaciones de manera objetiva y con la mejor probabilidad de éxito.

## Un modelo para estimación de calificaciones crediticias

Los modelos matemáticos usados para estimar calificaciones crediticias pueden construirse a través del uso de clasificadores o de estimadores de funciones; una RNA puede utilizarse para el diseño de cualquiera de éstos. Las RNA reciben información del medio ambiente exterior,

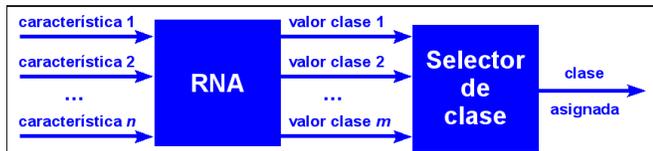


Figura 1. Una RNA usada como clasificador

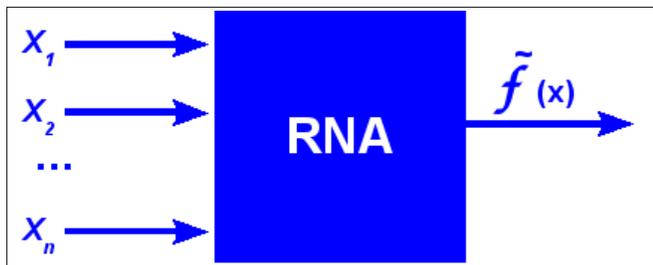


Figura 2. Una RNA usada como estimador de funciones

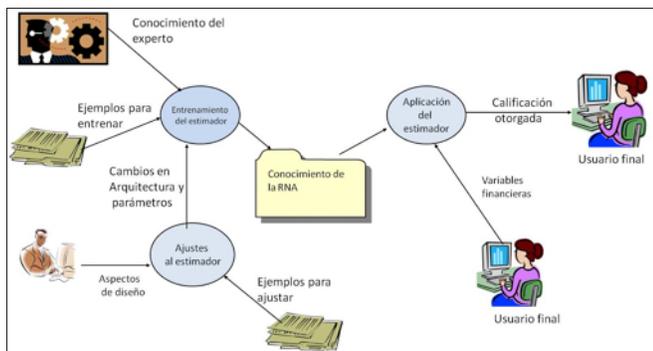


Figura 3. Un sistema basado en redes neuronales artificiales (RNA) para estimar calificaciones crediticias

la cual procesan de acuerdo a una serie de reglas de evaluación y producen salidas, que pueden representar entre otras cosas, una clase asignada o el valor estimado de una función real. La Figura 1 muestra un diagrama de cómo se usaría una RNA como clasificador. La red recibe valores (características) que representan al objeto que se desea clasificar, los evalúa y produce tantas salidas como posibles clases de objetos conozca la red. Posteriormente, a través de alguna estrategia se evalúan dichos valores y se escoge la clase que mejor representa al objeto. La figura 2 muestra un diagrama de cómo se usaría una RNA para simular a una función matemática. La red recibe como entrada los valores de las variables involucradas en la función y produce como salida un número real que estima la función. Las RNA están formadas de componentes básicos de procesamiento, llamados neuronas, que se conectan unos a otros a través de valores numéricos reales llamados pesos. Las neuronas pueden estar organizadas en diferentes grupos conectados entre sí, conocidos como niveles, o seguir alguna otra estrategia de conexión. Dependiendo de la estrategia de conexión de las neuronas y de los algoritmos utilizados para entrenar los pesos se

pueden crear diferentes modelos de RNA. Actualmente existen un sinnúmero de modelos de RNA y algoritmos para entrenarlas.

La Figura 3 muestra los componentes principales de un sistema estimador de calificaciones crediticias basado en una RNA. El sistema contiene tres componentes principales: entrenamiento, ajustes y evaluación, que se describen a continuación.

### Entrenamiento del estimador

Como todo modelo basado en inteligencia computacional con capacidad de aprendizaje, el sistema de calificación crediticia debe ser expuesto a ejemplos representativos a fin de extraer el conocimiento necesario para realizar su función de estimación. A esta etapa se le conoce como “entrenamiento” y debe realizarse antes de que el sistema pueda ser utilizado por sus usuarios finales. El entrenamiento requiere que el experto humano proporcione los datos que ha considerado pertinentes para realizar la estimación de la escala crediticia. Por ejemplo, en el trabajo desarrollado por los autores titulado “Herramientas para el Pronóstico de la Calificación Crediticia de las Finanzas Públicas Estatales en México: Redes Neuronales Artificiales, Modelo Probit Ordenado y Análisis Discriminante” el cual obtuvo el segundo lugar en la Categoría de Investigación del Premio Nacional Bolsa Mexicana de Valores 2009, se utilizaron 34 variables financieras de entrada, seleccionadas con base en un análisis minucioso de la información proporcionada por las organizaciones calificadoras y con base en resultados obtenidos de investigaciones anteriores. Estas variables incluyeron mediciones relacionadas a la dimensión estatal, generación de ingreso e inversión, gasto ordinario, apalancamiento, sostenibilidad de deuda y resultados financieros. Para el estimador de calificaciones crediticias se utiliza una red de perceptrones con un nivel escondido que recibe 34 entradas y genera una salida. Las entradas son las variables financieras y la salida es un valor numérico real que aproxima la calificación crediticia. A su vez este último valor es aproximado a un número entero en el intervalo de los valores numéricos de las calificaciones presentes en los datos de entrenamiento.

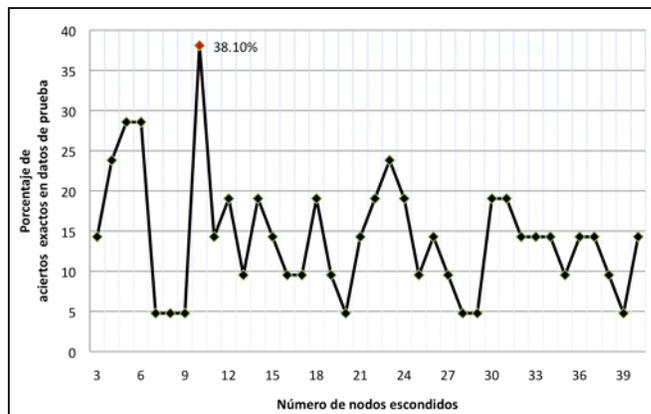
La red se entrenó utilizando un algoritmo conocido como Retropropagación, el cual se dice que es “supervisado”, pues funciona utilizando un conjunto de ejemplos que contienen las salidas esperadas de la red, además de los valores que se usarán para alimentarla. Retropropagación busca disminuir progresivamente el error de salida de la red que se genera al evaluarla con los ejemplos de entrenamiento. Este error es la suma de todas las diferencias generadas entre el valor deseado y el valor que realmente obtiene la red para cada uno los ejemplos disponibles para el entrenamiento. En base a este error, el algoritmo define un valor de incremento o decremento para cada peso de la red; este proceso se repite una gran

cantidad de veces por cada uno de los ejemplos, hasta que el error es muy pequeño o hasta que ya no es posible disminuir más dicho error. Al final del entrenamiento, el conocimiento de la red está inmerso en los valores de sus pesos, los cuales son números reales, por lo que no es posible interpretar de manera semántica su significado. Retropropagación es ampliamente utilizado en aplicaciones de entrenamiento supervisado, dada su versatilidad y disponibilidad en la mayoría de los paquetes de software comerciales para el uso de RNA.

### Ajustes al estimador

La mayoría de los modelos basados en inteligencia computacional y aprendizaje por ejemplos contienen una serie de parámetros numéricos cuyos valores deben ajustarse de manera experimental a las características del problema en que se están aplicando. En el caso de las RNA, el diseñador del sistema requiere realizar varios experimentos usando los datos disponibles a fin de determinar cuál es la arquitectura de red más adecuada. Cuando se utiliza una red de perceptrones con un nivel escondido para aproximar funciones, debe determinarse cuál es el número óptimo de neuronas que deben definirse en el nivel escondido. Desgraciadamente, a la fecha no existe un método confiable y fácil de aplicar para determinar este número, por lo que el diseñador(a) de la RNA utiliza su intuición y experiencia realizando una serie de pruebas con diferentes arquitecturas hasta encontrar alguna que le satisfaga. La Figura 4 muestra el comportamiento de diferentes redes neuronales para el caso de la estimación crediticia de los estados de la Republica Mexicana que fueron entrenadas con exactamente los mismos datos, pero con una arquitectura diferente en cuanto al número de neuronas en su nivel escondido. Puede notarse en la Figura 4 la fuerte diferencia presente en el desempeño de las RNA, debida solamente al número de neuronas en el nivel escondido. Esta diferencia se debe al hecho de que, entre más neuronas tenga la red en el nivel escondido, tiene mayor capacidad de aprendizaje, pero al mismo tiempo, tiene un mayor número de pesos que ajustar a través de su algoritmo de aprendizaje. Por otro lado, entre más pesos tenga una red, requiere más ejemplos de entrenamiento para encontrar valores adecuados de sus pesos. La capacidad de los algoritmos de entrenamiento para ajustar adecuadamente los pesos de una RNA también depende fuertemente de la calidad de datos disponibles para entrenarla, esto es, de qué tan bien representan todo el universo que se desea que la red conozca.

La información utilizada para entrenar y probar las redes neuronales sobre las finanzas públicas de las entidades federativas en México presentadas en la Figura 4 fue recolectada de la base de datos provista por la calificadora FitchRatings disponible en la sección de finanzas públicas de su página web ([www.fitchmexico.com](http://www.fitchmexico.com)). Esta



**Figura 4. Desempeño de diferentes RNA para estimación crediticia de Estados de la República Mexicana (Mendoza-Velázquez y Gómez-Gil 2010)**

base de datos se compone de 133 casos de las 22 entidades federativas calificadas en México por FitchRatings desde el año 2001 al año 2007.

### Aplicación del estimador

Una vez que se ha ajustado la arquitectura de la RNA, el sistema estimador está listo para usarse. La eficiencia de este tipo de sistemas suele medirse a través de un análisis de su comportamiento al enfrentarse a datos que no fueron utilizados para su entrenamiento y ajuste. Es costumbre probar la eficiencia de estos estimadores crediticios contando el número de veces que obtienen la misma calificación que la organización calificadora y dividiendo este número entre el número total de ejemplos analizados, a fin de obtener un porcentaje de acierto. De manera similar, se calcula el porcentaje de acierto con respecto al número de veces que el sistema obtiene una calificación que queda a una, dos y tres escalas del valor que obtuvo la empresa calificadora. La Tabla 1 contiene los porcentajes de acierto obtenidos por una RNA con 10 nodos escondidos para un conjunto de pruebas de los estados de la Republica Mexicana. Se incluyen en esa tabla los resultados obtenidos por otros dos métodos comúnmente utilizados para este tipo de aplicaciones. Puede notarse en la Tabla 1 que la RNA obtiene un mejor porcentaje de aciertos exactos que los otros métodos, así como un mejor porcentaje de aciertos a una escala de distancia del valor esperado; esto no ocurre para dos y tres escalas de distancia del valor esperado, donde la red queda en segundo lugar.

### Comentarios finales

La aplicación de RNA en el área financiera que se comenta aquí obtuvo mejores resultados que otros métodos que no utilizan inteligencia computacional para realizar sus estimaciones, al compararse con los resultados obtenidos por expertos humanos. Esto es cierto cuando se consideran estimaciones exactas de la calificación

crediticia o estimaciones a una escala de distancia; para los casos donde se aceptan estimaciones a 2 y 3 escalas de distancia, otros métodos convencionales resultan más eficientes. Esto nos demuestra que las RNA, como cualquier otra herramienta, son adecuadas para solucionar algún tipo de problemas, pero no para todos. Otro punto importante a observar es el hecho de que los porcentajes de acierto exactos obtenidos tanto por las RNA como por los otros métodos convencionales parecen muy bajos, comparados con los obtenidos por sistemas automáticos en otros problemas de estimación o clasificación. Sin embargo, estos porcentajes de eficacia son comunes en este tipo de problema, debido probablemente a la compleji-

dad inherente en las relaciones de las diferentes variables financieras y sociales involucradas en la evaluación, y a la subjetividad que está asociada con los métodos manuales que siguen los expertos de las empresas calificadoras. De cualquier manera, definitivamente aún es necesario realizar más análisis e investigación relacionados con la selección de las variables involucradas en el entrenamiento, los modelos de aprendizaje y arquitecturas de RNA utilizadas para modelar al estimador y sobre la manera de entrenar estos modelos, a fin de mejorar los resultados y conseguir sistemas automáticos confiables en las actividades económicas del país.☞

**Tabla 1. Desempeño de una RNA con 10 nodos escondidos en la asignación de calificaciones crediticias a Estados de la República Mexicana, comparada con otros métodos convencionales (Mendoza-Velázquez y Gómez-Gil 2010)**

Criterio	Red neronal	Análisis discriminante	Probit ordenando
aciertos en el conjunto de pruebas	38.10 %	28.57 %	28.57 %
aciertos a una escala de distancia	61.90 %	61.90 %	47.62 %
aciertos a dos escalas de distancia	71.43 %	76.19 %	9.5 %
aciertos a tres escalas de distancia	76.19 %	95.24 %	9.5 %

## INFORMACIÓN ADICIONAL

- Este artículo está basado en los resultados obtenidos en el trabajo “Herramientas para el Pronóstico de la Calificación Crediticia de las Finanzas Públicas Estatales en México: Redes Neuronales Artificiales, Modelo Probit Ordenado y Análisis Discriminante”, el cual obtuvo el 2<sup>o</sup> lugar en la Categoría de Investigación del Premio Nacional Bolsa Mexicana de Valores 2009. Disponible en: [www.mexder.com/MEX/Premio\\_Nacional\\_de\\_Derivados.html](http://www.mexder.com/MEX/Premio_Nacional_de_Derivados.html)
- Para saber más, consultar trabajo citado previamente a publicarse en “Herramientas de Diagnóstico y Respuesta de las Finanzas Públicas Locales en México en un Entorno de Crisis” Editor: Mendoza, A. Editorial Porrúa 2010. Winston, Patrick H. Inteligencia Artificial, tercera edición. Editorial Adison-Wesley Iberoamericana, Washington 1994. Sierra Araujo, B. Aprendizaje Automático: conceptos básicos y avanzados. Pearson Prentice Hall, Madrid 2006.

## SOBRE LOS AUTORES



**María del Pilar Gómez Gil** obtuvo su doctorado en Ciencias de la Computación en Texas Tech University, Estados Unidos. Actualmente es investigadora asociada de la Coordinación de Computación del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, ubicado en Tonantzintla, Puebla. Es miembro nivel senior de la IEEE, de la sección de inteligencia computacional de la IEEE, de la ACM y del SMIA. Sus intereses profesionales y de investigación giran alrededor de la solución de problemas complejos a través del uso de las Redes Neuronales Artificiales, el Reconocimiento de Patrones y la Ingeniería de Software.



**Alfonso Mendoza Velázquez** obtuvo el doctorado y maestría en Economía por The University of York, UK. Realizó también estudios de maestría en Finanzas en el ITAM y cuenta con una licenciatura en Economía por la UAEM. Es Profesor Investigador en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla y Director del Centro de Investigación e Inteligencia Económica. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Ha sido consultor para el Banco Interamericano de Desarrollo, el Programa de Desarrollo de Naciones Unidas, el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.N.C., y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Sus líneas de investigación comprenden las finanzas públicas de gobiernos locales y su calidad crediticia, finanzas internacionales, y aplicaciones en econometría de series de tiempo.

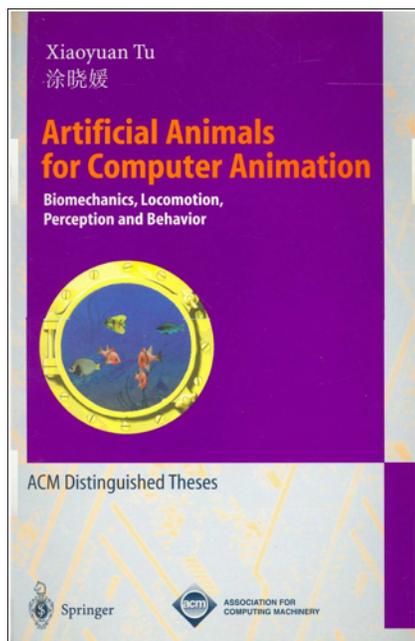
## COLUMNAS

# Deskubriendo Konocimiento

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

## *Artificial Animals for Computer Animation: Biomechanics, Locomotion, Perception, and Behavior* de Xiaoyuan Tu

por **V. Angélica García Vega**



Portada del libro, Springer-ACM, 1999.

Esta reseña se puede transformar en un acto multimodal, multimedia, si al leerlo puede admirar los videos resultado del trabajo que se presenta en el libro, y/o hasta puede bailar al son de Juan Luis Guerra si le gusta la salsa, o escuchar “La mer” de Debussy, si prefiere sólo un acompañamiento para el alma.

Cuántos de nosotros no hemos disfrutado de ese fondo de pantalla, en el que observamos peces tropicales nadando en un ecosistema

marino. Los peces tienen un gran parecido con sus pares naturales pero en dos dimensiones, no tienen volumen, lo que impide que “nos traguemos la píldora”, les falta algo para ser iguales a los naturales. El trabajo de Xiaoyuan Tu que se presenta en el libro “Artificial Animals for Computer Animation: Biomechanics, Locomotion, Perception, and Behavior” (disponible en el sitio [www.dgp.toronto.edu/~tu/thesis/thesis.html](http://www.dgp.toronto.edu/~tu/thesis/thesis.html)) lleva a otra dimensión la modelación de peces y mundos marinos.

Una de las más grandes expectativas de la Inteligencia Artificial es tener un modelo computacional comprensible que emule las maravillosas destrezas de los animales, entre las que se incluyen la locomoción, la percepción, la conducta, la manipulación, el aprendizaje y la cognición. En esta obra la autora conjunta técnicas de dos áreas de la computación, la graficación por computadora y la vida artificial, para crear un modelo computacional funcional de especies y su ecosistema que tienen una complejidad mayor a la de animales inferiores.

La disertación doctoral de Xiaoyuan Tu ganó el premio de la ACM (*Association for Computer Machinery*) quizá la más prestigiosa asociación internacional de computación. Los estudios y la disertación de Tu se realizaron en el Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Toronto. En la disertación que da

lugar al presente libro, Xiaoyuan Tu describe un modelo computacional sorprendente que modela animales marinos y su hábitat natural. Hasta la fecha de la publicación del libro no ha habido otra disertación doctoral en el campo que haya alcanzado el premio de la ACM. Y la Universidad de Toronto tampoco ha recibido otro premio en ese campo

El trabajo de Tu se ubica en el campo de la animación por computadora, esta sub-disciplina de la graficación por computadora tiene como objetivo la síntesis por computadora de imágenes en movimiento. La animación por computadora es una tecnología usada en la publicidad, los juegos interactivos, las películas de imágenes animadas, la educación, la divulgación, entre otros. En este libro se presenta un marco de trabajo para lograr modelar los detalles y complejidades del movimiento y conducta de animales que habitan en un ecosistema natural con un mínimo de intervención por parte del usuario responsable de la animación.

El trabajo de Tu es importante porque ha hecho avanzar el campo de la animación por computadora, ya que su trabajo se basa no sólo en los modelos que incorporan principios físicos sino que conjunta principios biológicos para lograr imágenes computacionales que tienen una gran semejanza con sus contrapartes naturales. Esto último es lo que

acerca el trabajo de Tu al campo de la Vida Artificial. Sus modelos computacionales logran capturar las características esenciales comunes a todas las criaturas biológicas: biomecánicas, de locomoción, de percepción y conductuales. Logra crear agentes autónomos animados que emulan la apariencia, el movimiento y la conducta realista de animales individuales pero también los patrones de conductas sociales presentes en grupos de animales.

En 1994 recibió el premio de la Academia Canadiense de Artes Multimedia y el Premio Internacional de Medios Digitales para la Excelencia Técnica. Sus sorprendentes animaciones: “The Undersea World of Jack Cousto” ([www.dgp.toronto.edu/~tu/thesis/node141.html](http://www.dgp.toronto.edu/~tu/thesis/node141.html)) y “Go Fish!” ([www.dgp.toronto.edu/~tu/thesis/node140.html](http://www.dgp.toronto.edu/~tu/thesis/node140.html)) acapararon la atención en las ediciones 1995 y 1996 del SIGGRAPH Electronic Theater.

El libro se organiza en doce capítulos, en el primero se presenta la motivación y los retos a los que la autora se enfrentó al realizar el trabajo, describe su metodología así como las contribuciones y resultados. En el segundo capítulo se describen los fundamentos del trabajo, se expone una taxonomía de los modelos de graficación que hay, en particular se describe el modelado basado en Física. Se presentan también los aspectos de modelado de la percepción y control de conducta para la animación conductual y finalmente se hace una amplia discusión de los modelos de selección de acción de los que la autora seleccionará el adecuado para su trabajo.

En el tercer capítulo se hace una revisión de los aspectos biológicos y se presenta una descripción de la anatomía funcional de un pez artificial. En el cuarto se describe el modelo biomecánico del pez y de su locomoción, presenta los modelos discretos basados en la Física, se describe la mecánica y las ecuaciones hidrodinámicas con las que se modelan los músculos. Se presentan así mismo, las soluciones numéricas y por último se describe el modelo de los controladores motores de los músculos y de la aleta pectoral.

En el quinto capítulo se discute el modelado de la forma y de la apariencia de los peces, se describe la construcción de los modelos geométricos 3D de los peces. Se calculan las coordenadas de las texturas. Se acoplan los modelos dinámicos con los de despliegue y se describe la visualización de los movimientos pectorales.

En el sexto capítulo se presenta el modelado de la percepción, a diferencia de los caracteres animados tradicionales que tienen acceso a información precisa sobre el entorno en el que se encuentran, Tu propone dotar de un modelo de percepción visual a sus caracteres animados, de manera que tiene un sistema de visión limitado

localmente en el que está presente un campo de visión pero también oclusiones. Para ello requiere de técnicas de visión por computadora para calcular la visibilidad que tendrá el carácter animado. Esta capacidad del pez artificial obliga a que se diseñe y construya un mecanismo de atención, “Focuser”, para el “animat” (contracción de animal y robot, término inventado para denominar a los modelos físicos o soft que se generan con las técnicas de la Vida Artificial). Al final del capítulo se discuten algunos modelos de visión sintética.

En el capítulo 7 se presenta el diseño y la implementación del sistema de conductas. Se presenta una arquitectura de dos capas para el control conductual, uno a nivel de acción y otro a nivel intencional. En este sentido, Tu presenta un trabajo de modelado conductual cognitivo. Describe los hábitos, presenta un modelo del estado mental, describe el generador de intenciones y describe cómo la percepción es guiada por la intención poniendo de relieve el trabajo que tiene el sistema de enfoque. Discute las características de las conductas en términos de la persistencia de éstas, de la fatiga que se presenta. Las conductas son tipificadas como rutinas conductuales lo cual permite modelar al menos tres tipos de peces artificiales: depredadores, presas y “pacifistas”.

En el capítulo octavo se modela el entorno marino, se describen las fuerzas y torques de las corrientes de agua que afectarán e interaccionarán con los peces, se discute el modelado de las algas marinas, el plancton y de las burbujas de agua (aquí pueden escuchar a Juan Luis Guerra y su canción “quisiera ser un pez . . .”). En el capítulo nueve se presenta una interfaz gráfica para el usuario en la que presenta cómo un animador puede crear sus modelos tanto para el ecosistema como para los animales. En el capítulo diez se presentan los resultados de animación, los dos cortos premiados, pero también se discuten las conductas individuales y grupales, de caza, de apareo de los “animats”. En el capítulo once se presentan las conclusiones y las direcciones en las que se puede encaminar el trabajo futuro tanto en el campo de la Animación como en el de Vida Artificial.

En el epílogo se presenta una revisión de trabajos que se realizaron en el intermedio de cuando el autor finalizó su disertación y la aparición del libro. Entre los que cabe destacar el trabajo de Funge que presenta una metodología alternativa basada en un modelado cognitivo.

El libro incluye cuatro apéndices, en el primero se presentan modelos de contornos deformables, en el segundo la visualización de los movimientos pectorales y en el tercero se presentan los detalles de los mecanismos de selección de acción. En el último se presentan las

imágenes en color de sus animaciones.

Comprender y explotar el paradigma que Tu propone requiere de conocimientos en diversas áreas, es de lectura amena. Sin embargo, el modelado basado en principios físicos requiere que se tenga una comprensión de ecuaciones diferenciales, de sistemas de masas y resortes, de los modelos de osciladores que son base de su modelado funcional.

Tu desarrolló su trabajo en máquinas Silicon Graphics y usando la biblioteca de funciones gráficas, usó también el paquete RenderMan©. Y el producto de su investigación es un entorno con el que un animador puede crear especies y su correspondiente ecosistema. Xiaoyuan

Tu plantea la posibilidad de que su trabajo sea usado no sólo para cuestiones de animación sino como una herramienta que usen científicos de otras disciplinas como las biológicas.

Finalmente podemos decir que Xiaoyuan Tu se adelantó a las necesidades de los creadores de videojuegos, y su trabajo es un antecesor de Maya, Blender y tantos programas que existen para crear modelos de seres biológicos. Acuérdense de Tu cuando vean la película SimONE con Al Pacino. El libro de Tu nos permite acercarnos de una manera clara a los intrínquilos de la creación de modelos animados, a pesar de las complejidades del modelado.✿



### Formulario de Suscripción a Komputer Sapiens

#### Datos del suscriptor *(para envío de la revista)*

Tipo de suscripción:  individual  institucional  
 Nombre:

Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno

#### Dirección:

Calle No. exterior No. interior Colonia

Código postal Ciudad Estado País

Correo electrónico Teléfono Fax

#### Datos para envío del recibo *(completar si los datos no son los mismos del suscriptor)*

Nombre:  
 Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno

#### Dirección:

Calle No. exterior No. interior Colonia

Código postal Ciudad Estado País

Correo electrónico Teléfono Fax

#### Costo de las suscripciones 2011

*Incluyen IVA y gastos de envío por correo terrestre*

**Individuales** México: MX\$ 165.00 EEUU & Cuba: MX\$ 220.00 o US\$ 20.00  
 Otros países: MX\$ 260.00 o US\$ 26.00

**Institucionales** México: MX\$ 580.00 *Incluye 3 ejemplares de cada volumen, disponible sólo en México*

Depositar el monto de la suscripción a la **Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial A.C.** en la cuenta:  
**Banamex 0047040 Sucursal 4152 CLABE:002180415200470406**

y enviar este formulario con copias del comprobante de pago y de la cédula de identificación fiscal para emisión de factura, en caso de requerirse, a [komputersapiens@smia.org.mx](mailto:komputersapiens@smia.org.mx), o bien al fax +52(222) 266.31.52 ext. 8302, atención a **Komputer Sapiens**.

## 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:

[www.smia.org.mx](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)

---

## COMIA 2011

### 3<sup>er</sup> Congreso Mexicano de Inteligencia Artificial

COMIA es un nuevo esfuerzo de la SMIA para promover la investigación y enseñanza de la Inteligencia Artificial en universidades e instituciones de enseñanza superior mexicanas, y se promueve como un foro científico para presentación y publicación de trabajos de investigación derivados de tesis o proyectos, terminados o en proceso, en español. El COMIA surge como una alternativa al MICA con la intención de hacer accesible, para muchos estudiantes e investigadores incipientes, la posibilidad de publicación de trabajos de investigación en español en un congreso científico soportado por una sociedad profesional de amplio prestigio internacional como la SMIA. Convocatoria a postular sede para COMIA 2011 en:

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



## Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial Convocatoria para Organizar MICAI 2011, 10th Mexican International Conference on Artificial Intelligence

### Antecedentes

MICAI (*Mexican International Conference on Artificial Intelligence*) es organizado por la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA), en cooperación con la Institución sede, así como con el apoyo de otras sociedades profesionales y entidades auspiciantes.



MICAI surge de la unión de la Reunión Nacional de Inteligencia Artificial (RNIA), que era organizada anualmente por la SMIA desde 1984, y del Simposium Internacional de Inteligencia Artificial (ISAI), que era organizado anualmente por el Tecnológico de Monterrey desde 1988. Para el año 2000 se unieron ambos congresos en MICAI, cuya periodicidad era cada dos años y cuyas sedes fueron: MICAI 2000 en Acapulco, MICAI 2002 en Mérida, MICAI 2004 en la Ciudad de México, donde se determinó que a partir de 2005 MICAI se celebrara cada año, MICAI 2005 en Monterrey, MICAI 2006 en Apizaco, MICAI 2007 en Aguascalientes, MICAI 2008 en Atizapán de Zaragoza, MICAI 2009 en Guanajuato, y MICAI 2010 en Pachuca.

MICAI 2011 se llevará a cabo durante el mes de octubre de 2011, en una semana que definirá la SMIA en colaboración con el comité organizador sede. Se espera la participación de 400 a 500 asistentes, de los cuales alrededor de 100 serán extranjeros y el resto locales, regionales y nacionales, con una participación de estudiantes del orden de 250. El congreso tendrá una duración de 5 días, de lunes a viernes, de los cuales el lunes se dedicará a la impartición de tutoriales, cursos de 4 a 8 horas; el martes, miércoles y jueves, se dedicarán a la celebración del congreso propiamente dicho, de las conferencias colocadas y de las conferencias magistrales; y finalmente el viernes a la celebración de talleres de trabajo.

Para promover el desarrollo de la Inteligencia Artificial en las diferentes áreas geográficas del país, se abre la Convocatoria para Organizar MICAI 2011.

### Características de la Convocatoria

- (1) MICAI 2011 se llevará a cabo durante octubre de 2011, en una semana por definir por la mesa directiva de la SMIA.
- (2) La convocatoria está abierta a todas las instituciones académicas de educación superior y de investigación, tales como universidades públicas y privadas, institutos tecnológicos, centros de investigación, etc.
- (3) Las propuestas deberán ser enviadas por medio electrónico e impreso al coordinador del Comité de Selección de Sede de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, a [kargaxxi@inaoep.mx](mailto:kargaxxi@inaoep.mx).
- (4) Una propuesta podrá ser presentada por una o más instituciones e incluir la participación de empresas privadas e instituciones de gobierno.
- (5) Se recibirán propuestas hasta el 30 de enero de 2011.
- (6) La sede será designada a más tardar el 15 de febrero de 2011.

Consulte las **Bases de la Convocatoria** en el portal web de la SMIA:

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

---