



Komputer  
Sapiens

# KOMPUTER SAPIENS

Revista de Divulgación de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial

ISSN 2007-0691

Año 3, Volumen 1

Enero-Junio 2011

la **experiencia** de  
uso en video-juegos

**Realidad Virtual**  
para el sector eléctrico

**Inteligencia Ambiental**

**Tutores Inteligentes**

Reseña del libro  
**"Ant Colony Optimization"**

Precio Público \$50.00

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



©Komputer Sapiens, Año III Volumen I, enero-junio 2011, 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 31 de mayo 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	Raúl Monroy Borja
Vicepresidente	Alexander Gelbukh
Secretario	Miguel González Mendoza
Tesorero	Grigori Sidorov
Vocales:	Jesús A. González Bernal
	Alejandro Peña Ayala
	Gustavo Arroyo Figueroa
	Oscar Herrera Alcántara
	Rafael Murrieta Cid
	Arturo Hernández Aguirre
	Sofía Natalia Galicia Haro
	Hugo Terashima Marín
	Felix A. Castro Espinoza
	Ildar Batyrshin

#### Komputer Sapiens

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

#### Comité Editorial

Juan Manuel Ahuactzin Larios  
Piero P. Bonisone  
Ramón Brena Pinero  
Francisco Cantú Ortiz  
Ofelia Cervantes Villagómez  
Jesús Favela Vara  
Juan José Flores Romero  
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  
Manuel Montes y Gómez  
José Negrete Martínez  
Pablo Noriega B.V.  
Alejandro Peña Ayala  
Carlos Alberto Reyes García  
Antonio Sánchez Aguilar  
Jesús Savage Carmona  
Humberto Sossa Azuela  
Grigori Sidorov  
Luis Enrique Sucar Succar  
Alfredo Weitzenfeld Ridell



## Contenido

### ARTÍCULO INVITADO

## De juegos y jugar: la experiencia de uso en video-juegos

por Eduardo H. Calvillo Gámez

pág. 6 ⇒ Los video-juegos dejan una derrama económica cuantiosa a sus productores y desarrolladores, haciéndola una de las industrias de entretenimiento con un crecimiento tan alto que es difícil de medir. En este artículo se discute la experiencia de jugar video-juegos para producir conocimiento objetivo.

### ARTÍCULO ACEPTADO

## Ruta tecnológica de realidad virtual para el sector eléctrico

por Miguel Pérez Ramírez

pág. 11 ⇒ La tecnología de Realidad Virtual (RV) es utilizada por compañías que requieren desde complejos simuladores hasta sistemas de entretenimiento. En este artículo se describe cómo la RV puede ser utilizada en sistemas de capacitación en los procesos de CFE. Se presenta además un mapa tecnológico que puede servir de guía durante las diferentes etapas de adopción de la RV.

### ARTÍCULO INVITADO

## Navegación inteligente para obtener ambientes e-learning flexibles basados en objetos de aprendizaje

por Liliana Argotte Ramos, Julieta Noguez Monroy y Gustavo Arroyo Figueroa

pág. 17 ⇒ Un ambiente *e-learning* concierne uso de tecnologías de Internet para una amplia gama de soluciones para adquirir conocimiento. En este trabajo se describe una aplicación de IA en la enseñanza a nivel superior.

### ARTÍCULO INVITADO

## La omniestructura

por Ramón Brena Pinero

pág. 22 ⇒ El término "Inteligencia Ambiental" se refiere al uso coordinado de sensores, procesadores y controles, comunicados entre ellos y apoyados por el correspondiente software, para proveer a los usuarios servicios oportunos. En este artículo se discuten aplicaciones recientes, así como las implicaciones de la Inteligencia Ambiental.

### Columnas

Sapiens Piensa. Editorial [pág. 2](#)

e-Tlakuilo [pág. 3](#)

Estado del IArte [pág. 4](#)

Sakbe [pág. 5](#)

IA & Educación [pág. 28](#)

Deskubriendo  
Konocimiento [pág. 30](#)

---

# Sapiens Piensa

---

POR Raúl Monroy Borja

Este 2011, **Komputer Sapiens**, revista de divulgación de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial A. C. (SMIA), cumple su tercer año, y, en este quinto volumen, aparte de las ya tradicionales columnas, e-Tlakuilo, Estado del IArte, Sakbe, Deskubriendo Konocimiento, e IA & Educación, comprende una colección de cuatro artículos, uno de tipo contribución, seleccionado después de un riguroso proceso de revisión y arbitraje, y el resto de tipo invitado. Todos ellos giran alrededor de la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA), complementada por tecnologías habilitadores, tales como la graficación computacional, el cómputo móvil, tecnologías de multimedia, y dispositivos de sensado, en la información, la educación, la capacitación, y el entretenimiento. Es pues, en muchos sentidos, un volumen relacionado con (el jugar) video-juegos, la realidad virtual, el aprendizaje-e, y el cómputo ubicuo.

Primeramente, Eduardo H. Calvillo Gámez, nos presenta, a través de su artículo (invitado), intitulado “De juegos y jugar: la experiencia de uso en video-juegos”, a la experiencia de jugar video-juegos como una generadora de conocimiento. Este artículo expone, primero, la dificultad de caracterizar qué es un (video-) juego, y cómo ello ha dado origen a dos escuelas de pensamiento, una que basa su definición en aspectos lúdicos, y la otra que la basa en cuestiones de narración y discurso; con ello propone una definición de juego, basándose en las ideas de Juul y Kloster. Después, el autor incurre sobre las consecuencias psicológicas de jugar video-juegos; explica que la experiencia de usuario está conformada por entender la tarea a realizar, el contexto en que debe realizarse, y las características intrínsecas del usuario en turno; y muestra que sólo la experiencia de jugar, que se construye a partir de la interactividad, puede generar conocimiento positivo. Concluyendo, el artículo propone cómo la IA puede aplicarse para mejorar la experiencia del jugador, a través de la caracterización de este último, que permita elevar los ingredientes que hace a un buen juego, a saber: el reto y el nivel de interactividad.

En un ámbito tecnológico relacionado, el artículo “Ruta tecnológica de realidad virtual para el sector eléctrico”, de Miguel Pérez Ramírez, nos expone los beneficios de aplicar tecnología de punta de realidad virtual en el sector eléctrico mexicano. Este artículo explica cómo la realidad virtual maximiza la relación costo-beneficio y habilita una ruta tecnológica para la capacitación, los procesos teledirigidos (vgr. cirugía asistida por computadora) y para el entretenimiento (vgr. video-

juegos). En particular, el autor identifica varios procesos del sector eléctrico (Comisión Federal de Electricidad) amenos para la aplicación de sistemas de realidad virtual, propone una metodología de desarrollo, y propone un mapa tecnológico para la aplicación de la realidad virtual en el sector energético.

En nuestro segundo artículo invitado, intitulado “Navegación inteligente para obtener ambientes e-learning flexibles basados en objetos de aprendizaje”, los autores, Liliana Argotte Ramos, Julieta Noguez Monroy, y Gustavo Arroyo Figueroa, nos explican cómo converger SCORM, un modelo que refiere a un sistema de estándares, especificaciones y lineamientos técnicos, para integrar Objetos de Aprendizaje (OAs), que son entidades digitales, auto-contenidos y re-utilizables con propósito educativo, y un Sistema Tutor Inteligente (STI). El objetivo se logra al desarrollar un modelo tutor del STI, el cual establece una secuencia de acciones pedagógicas, que permite la navegación flexible de OAs, el cual se basa en redes dinámicas de decisión, que combinan tres teorías: probabilidad, utilidad, y decisión.

Por último, en nuestro tercer artículo contribución, denominado “La omniestructura”, Ramón Brena Pinero introduce el concepto de omniestructura, a la estructura que actualmente se desarrolla y que en un futuro no muy lejano aglutinará, cosas y seres humanos, en un solo medio, un solo camino. En este medio, Ramón conjetura, podremos observarnos y comunicarnos todos, objetos, animales, recursos y seres humanos, permitiendo realizar tareas, tales como la planificación del uso de recursos, de una manera sencilla. También, el autor nos previene de las consecuencias de esta comunicación, pues podrían estar en riesgo derechos humanos fundamentales, que restan en el anonimato y la privacidad, si la omniestructura no se diseña de modo que responda adecuadamente en función de quién pregunte, y a la vez no exista un hermano mayor quien pueda conocer todas nuestras actividades.

Esperamos pues que disfruten este volumen y que lo conserven como referencia posterior cuando deseen conocer un poco más sobre aplicaciones de IA sobre estas tecnologías habilitadoras.☞

---

**Raúl Monroy Borja** es el Director de la revista **Komputer Sapiens**, y Presidente de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, desde noviembre de 2010.

---

## e-Tlakuilo: Cartas de nuestros lectores

a cargo de **Oscar Herrera Alcántara**, [etlakuilo-ksapiens@smia.org.mx](mailto:etlakuilo-ksapiens@smia.org.mx)

Estimados lectores, una vez más los que conformamos el equipo editorial de **Komputer Sapiens** nos complacemos en compartir con ustedes un nuevo número de la revista de divulgación de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, la SMIA.

Quiero aprovechar para comentarles que a fines de 2010 el equipo de **Komputer Sapiens** experimentó algunos cambios. Se creó una figura de directores fundadores que al día de hoy está conformada por el Dr. Ángel F. Kuri Morales y el Dr. Carlos Alberto Reyes García (ambos expresidentes de la SMIA), el director general de la revista es el director en turno de la SMIA, actualmente el Dr. Raúl Monroy Borja, y la nueva editora en jefe es la Dra. Angélica Muñoz Meléndez. Estos cambios se ven motivados por la reestructuración de las diferentes funciones que desempeñamos los miembros de la mesa directiva de la SMIA, sus expresidentes, y el equipo editorial de **Komputer Sapiens**. Los cambios también forman parte de la estrategia acordada para atender de mejor manera los compromisos con nuestros lectores.

Invitamos a investigadores, académicos y desarrolladores de aplicaciones de IA a someter artículos de divulgación a nuestro Comité Editorial. Las contribuciones aceptadas sin duda serán leídas por un amplio grupo de lectores: empresarios, público en general, estudiantes, investigadores, entre otros, que con mucho gusto reciben los dos volúmenes de la revista que editamos por año.

Solicitamos contribuciones que propongan soluciones a problemas tecnológicos con impacto social, y eviten en lo posible el uso de expresiones matemáticas o técnicas que no sean de fácil comprensión para un amplio público. La divulgación del conocimiento científico es un gran desafío que bien vale la pena. Para obtener más detalles sobre cómo someter un artículo a nuestra revista consultar [www.komputersapiens.org.mx/informacion/autores.html](http://www.komputersapiens.org.mx/informacion/autores.html) y escribir a la siguiente dirección ante cualquier duda, en donde con gusto atenderemos sus inquietudes: [komputersapiens@smia.org.mx](mailto:komputersapiens@smia.org.mx).

Actualmente contamos con una lista de casi un millar de miembros de la SMIA, que si bien en gran parte son mexicanos, también es cierto que hay un importante número de suscriptores de otros países a quienes se

les envían sus ejemplares sin costo adicional. Quienes no sean miembros de la SMIA y no se hayan todavía suscritos a la revista ¿qué esperan? Los que se suscribieron el año pasado ¿qué esperan para renovar su suscripción?

### Alfredo, estudiante de posgrado.

Me gustaría recibir la revista **Komputer Sapiens**, y ser socio de la SMIA con la cuota de estudiante, ¿requiero llenar algún formato especial?, ¿es necesario enviar una constancia de estudios?

Alfredo, puedes pagar la suscripción a la revista con el formulario que está disponible en [www.komputersapiens.org.mx/suscripciones.html](http://www.komputersapiens.org.mx/suscripciones.html). Ahí se incluyen los detalles de los montos a pagar, y puedes hacerlo mediante depósito bancario. También puedes optar por ser miembro de la SMIA y aprovechar que el envío de los ejemplares de la revista sin costo adicional es uno de los beneficios de ser socio. Para ver los detalles de los beneficios de ser miembro activo de la SMIA por favor visita [smia.org.mx](http://smia.org.mx).

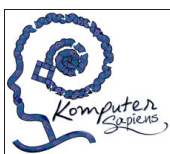
Para comprobar que eres estudiante se requiere que envíes una constancia de estudios o copia de tu credencial con vigencia de al menos un año.

### Gaspar González, desde Canadá.

Hola. Estoy muy contento de encontrar la revista y la SMIA. Quisiera suscribirme a la revista pero no tengo acceso a Banamex desde Canada (aquí vivo). ¿Podría decirme cómo mandar el pago? Me gustaría hacer la petición de que la revista acepte el pago a través de Paypal.

Nos da mucho gusto saber que te gustó nuestra revista. Tenemos habilitado el envío a otros países, incluido Canada, pero desafortunadamente no podemos aún recibir pagos por Paypal. Vamos a trabajar en ello. Por lo pronto te estamos enviando un ejemplar de cortesía en lo que resolvemos la recepción de pagos del extranjero.

Espero que este número de Komputer Sapiens les sea de gran utilidad, como lo han sido los números anteriores que pueden ser descargados en formato PDF desde [www.komputersapiens.org.mx](http://www.komputersapiens.org.mx). Reciban un saludo del e-Tlakuilo que sigue en espera de sus comentarios. ¡Hasta la próxima! 🌟



### 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)

## COLUMNAS

## Estado del IArte

a cargo de María del Pilar Gómez Gil y Jorge Rafael Gutiérrez Pulido

Robot PR2. Fuente [www.willowgarage.com](http://www.willowgarage.com)

**TELEPRESENCIA.** 2011 podría ser el año del robot “yo”, el año en que comencemos a enviar a nuestros representantes robóticos al trabajo, a reuniones, o simplemente a supervisar avances de nuestro proyecto actual. Algunas firmas estadounidenses y japonesas ya están vendiendo estos robots avatares que podrían ser nuestro otro yo, y así permitirnos estar en dos lugares al mismo tiempo.

Willow Garage y Anybots son empresas de California que están desarrollando esta tecnología llamada robot de telepresencia. Estos robots pueden ser controlados vía web y explorar el espacio en que se encuentran gracias a sus cámaras, que les sirven como ojos. *Hablar a un colega robot puede ser raro al principio pero uno se acostumbra rápido*, dice Trevor Blackwell de Anybots.

Apenas en enero de 2011 Willow Garage anunció que ya vendió sus robots PR2 a cuatro instituciones de Corea, Francia, y Estados Unidos. A principios del año pasado donó a 11 instituciones algunos de sus modelos anteriores como parte de su programa beta. Esta empresa establecida en Menlo Park se ha convertido en líder de robótica

de software libre, luego de haber desarrollado una plataforma de software libre llamada ROS -Sistema Operativo Robot por sus siglas en inglés- a la que se quiere convertir en un estándar en la academia e industria.

Para saber más puede consultarse (en inglés) [www.willowgarage.com](http://www.willowgarage.com).

**WATSON EN JEOPARDY!** Watson, un sistema de preguntas y respuestas desarrollado por la IBM y basado en inteligencia artificial y procesamiento paralelo, le ganó a Ken Jennings y Brad Rutter, campeones humanos en el juego Jeopardy!, en un evento que tuvo lugar del 14 al 16 de Febrero de este año. Jeopardy! es un programa de televisión estadounidense donde los concursantes reciben respuestas, y deben parafrasear la pregunta que corresponde a dicha respuesta.

El gran reto que enfrenta una computadora al participar en este juego, está en que requiere “entender” la información que se encuentra “entre líneas” en las oraciones que le son presentadas. Por otra parte, su principal ventaja está en que el sistema no se ve afectado por emociones, como les sucede a los humanos. Watson recibe las preguntas como texto electrónico, al mismo tiempo que éstas son visibles a los competidores humanos, y después de ejecutar en paralelo algoritmos para encontrar posibles soluciones y realizar análisis sobre bases de datos construidas con millones de documentos, decide cuál es la respuesta con mejor probabilidad de éxito, contestándola con voz sintetizada.

Aunque Watson cometió varios errores, esta victoria es importante pues, como opinó al respecto el Dr. Edward Feigenbaum, científico de la Universidad de Stanford y considerado por muchos el padre de los sistemas expertos: “Hace 20 años, ¿quién hubiera pensado que esto sería posible?”. Aún así, y según palabras del Dr. Dave Ferruci, principal investigador en el equipo de desarrollo de este proyecto, esta victoria no significa que la tarea del entendimiento de lenguaje natural está dominada (para conocer sobre la problemática detrás de esta tarea, consultar **Komputer Sapiens** de Enero-Junio 2010). Sin embargo, sí significa que los avances hacia esta conquista están más cerca. Es posible que Watson ganara pues tuvo mucha suerte en el juego, pero aún si así fuera, esta es una característica bastante humana, ¿no creen?

Para saber más puede consultarse (en inglés) [www.watson.ibm.com](http://www.watson.ibm.com)

¿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](mailto:sakbe-ksapiens@smia.org.mx)

**QualOpt Project** ⇒ Muchos sistemas del mundo-real requieren métodos de optimización de alto desempeño. No obstante, la práctica común es la confección manual de estos sistemas, lo cual demanda mucha experiencia y gran cantidad de pruebas de ensayo y error. Una de las metas de la algoritmia experimental es el diseño de algoritmos cuya relación calidad/tiempo sea favorable para sus creadores. Herramientas como la estadística pueden ayudar a tomar decisiones de diseño correctas y con menor cantidad de experimentación. Por ejemplo, en el ajuste de parámetros las pruebas estadísticas ayudan al

diseñador a tomar decisiones en un contexto con incertidumbre ya que los resultados dependen de la corrida y las instancias no pueden ser examinadas completamente. QualOpt es un software gratuito que permite comparar gráficamente la calidad de módulos de optimización, así como validar resultados mediante pruebas estadísticas avanzadas para comparación de métodos y determinación de la significancia de la muestra. El software opera sobre Internet y algunas pruebas, implementadas en librerías de C y Java, pueden ser descargadas.

[qualopt.eivd.ch](http://qualopt.eivd.ch)

**AI depot** ⇒ A diferencia de lo que se podría suponer, la aplicación de técnicas de IA está más cerca de lo que pensamos. Muchos equipos y desarrollos de software que usamos cotidianamente, como por ejemplo, automóviles, lavadoras, editores de texto o buscadores WEB, entre otros, utilizan algoritmos de IA. Las aplicaciones de IA son muy extensas y variadas por lo que es conveniente

tener conocimiento de qué tipo de problemas resuelven y cómo podemos aplicarlos para solucionar problemas de nuestro entorno. Un sitio que resulta de gran utilidad para ello es AI depot. En este portal se encontrará una amplia gama de recursos como: un foro de discusión sobre qué es la IA y sus aplicaciones, artículos de divulgación, tutoriales, herramientas y ambientes de desarrollo.

[ai-depot.com](http://ai-depot.com)

**Wolfram Alpha** ⇒ La inteligencia artificial (IA) llegó al núcleo del software científico, no sólo para ofrecer métodos de cómputo inteligente, sino también para soportar sus propios procesos. Una de estos productos es Wolfram-Alfa, concebido por el físico inglés Stephen Wolfram. Según palabras de su creador, Wolfram-Alpha es un motor de conocimiento gratuito y en-línea que atiende consultas en tiempo real haciendo cómputo inteligente en su gigantesca base de conocimiento. Para consultas matemáticas, Wolfram-Alpha está soportado por el popular paquete de programación Mathematica que comprende álgebra computacional, computación simbólica y numéri-

ca, visualización, y aplicaciones estadísticas. El motor de búsqueda, en lugar de proporcionar una lista enorme de enlaces a sitios web, como los buscadores convencionales, trata de interpretar las consultas y devolver una respuesta concreta y congruente. Por ejemplo si la pregunta es "president of Mexico" mostrará información básica del presidente actual, la secuencia de presidentes, información personal y una línea de tiempo. Como esta aplicación está en desarrollo, muchas preguntas aún no tienen respuestas satisfactorias. Su desarrollo es un paso importante en la interacción humano-computadora.

[www.wolframalpha.com](http://www.wolframalpha.com)

**REMIDEC** ⇒ La Ciencia de la Computación se sustenta en distintas áreas de investigación entre las que se encuentran el desarrollo de software, algoritmos, redes, IA, entre otros. La comunidad de computación en México está integrada por desarrolladores e investigadores de estas áreas, quienes conforman la Red Mexicana de In-

vestigación y Desarrollo en Computación (REMIDEC), cuyo objetivo es coordinar los esfuerzos en pro del desarrollo de esta área de conocimiento en nuestro país. En su portal se encontrará información de eventos importantes, foro de discusión, lecturas recomendadas y ofertas de trabajo, entre muchos otros recursos de interés. ☞

[turing.iimas.unam.mx/~remidec](http://turing.iimas.unam.mx/~remidec)

## ARTÍCULO INVITADO

# De juegos y jugar: la experiencia de uso en video-juegos

por **Eduardo H. Calvillo Gámez**

## Introducción

Jugar videojuegos se vuelve cada día una actividad más cotidiana. La industria de los video-juegos ha estado trabajando para diseñar alguno que sea del agrado para casi todos los círculos sociales, a tal punto que si todavía hay gente que no juegue con ellos, lo más seguro es que estén en el proceso de diseñar alguno que cumpla con esas expectativas. Los video-juegos dejan una derrama económica cuantiosa a sus productores y desarrolladores, haciéndola una de las industrias de entretenimiento con un crecimiento tan alto que es difícil de medir [1].

Dado lo anterior, es normal que la industria quiera encontrar la “fórmula mágica” para producir el video-juego perfecto y, como consecuencia, que además sea altamente lucrativo. Por esto existen muchos manuales y guías basados en experiencias personales sobre qué es lo que compone un buen video-juego (e.g. [2]).

Hablar de video-juegos es hasta cierto punto fácil y difícil. Todos los que alguna vez han jugado un video-juego tienen alguna “teoría” sobre qué hace buen juego y qué es una buena experiencia al jugarlo. Alguna vez me tocó escuchar en una reunión decir que alguien era un experto en video-juegos porque llevaba jugando la mayor parte de su vida. Todos tenemos derecho a presentar nuestra opinión sobre algún tema en el que estemos envueltos, pero generar conocimiento a partir de una opinión, por muy bien informada que ésta sea, es algo complicado. Es esto lo que hace difícil el trabajar con video-juegos y todo lo que esto envuelve, todos (los que juegan) tienen una opinión al respecto, y la mayoría cree que esa opinión genera conocimiento.

Para iniciar la discusión, primero diferenciamos el asunto entre opinión y conocimiento. Popper [3] expone que existen dos tipos de conocimientos: objetivo y subjetivo. El conocimiento objetivo es aquel que permite encontrar la solución a un problema, para a partir de allí comenzar a generar nuevos problemas y nuevas soluciones. En otras palabras, el conocimiento objetivo es aquel que da una explicación y permite predecir situaciones futuras. Mientras que el conocimiento subjetivo es aquel que responde a la interpretación personal de los problemas, por lo cual no permite la generalización ni predicción de situaciones futuras, simplemente responde a la opinión del observador.



**Figura 1. Ajedrez. Detalle de pinturas de la tumba de Metjtji (2350 A.C.), colección del Museo de Louvre. Fuente: [www.louvre.fr](http://www.louvre.fr)**

El objetivo del presente artículo no es presentarme como un experto en video-juegos, sino el de discutir acerca de la experiencia de jugarlos para generar conocimiento objetivo.

Los videojuegos, y la experiencia de jugarlos, son objetos de estudio complicados, pues caen dentro de los límites de muchos, y diversos, campos de estudio como son: estudios literarios, estudios de medios, filosofía, computación, psicología, etcétera. Si bien no es el interés cubrir a detalle todos estos campos aquí, sí lo es presentar los resultados más relevantes para formular una discusión sobre la importancia de entender qué es la experiencia de jugar videojuegos, y más aún, la importancia de hacerlo sobre una base de conocimiento objetivo.

De lo que sí no habla este artículo es sobre las consecuencias psicológicas de jugar videojuegos. Por ejemplo, no se abordan temas sobre si jugar videojuegos nos hace más violentos, inteligentes, etcétera. Nos ocupamos únicamente de entender la experiencia de jugar un video-juego, o sea, el sentarse y estar jugando y disfrutando lo que se hace.

El documento se encuentra organizado de la siguiente forma: primero se introduce el tema de juegos y videojuegos, después el de la experiencia de uso, para posteriormente mezclar ambos temas y discutir modelos sobre la experiencia de jugar videojuegos. Se termina con conclusiones y trabajo futuro.





Figura 2. Chess Free HD desarrollado por Optime Software LLC. Fuente: itunes.apple.com

## Juegos y Video-Juegos

¿Qué es un video-juego? Por sencilla que parezca la pregunta, es algo complicado de definir. Tenemos juegos de muchas formas y apariencias, ejemplos sobran: Tetris®, Solitario, PacMan®, World of Warcraft, Grand Theft Auto<sup>1</sup> son algunas de las formas aceptables que puede tomar un videojuego. Otros como Second Life, FarmVille©, juegos de apuesta tienen más obstáculos para poder ser aceptados como juegos por algunas personas. Sin importar por ahora qué define un videojuego, lo que sí es seguro es que al ver uno rápidamente lo podemos identificar. Es decir, no definimos un juego con base en su apariencia o características físicas, sino con base en la experiencia que podemos obtener de él.

A pesar del éxito comercial de los videojuegos, hasta hace 10 años, aproximadamente, no era bien visto que alguna persona dijera que hacía investigación sobre videojuegos. Hasta esa fecha, los principa-

les trabajos que abordaban a los juegos provenían, en general, de la filosofía. De aquí podemos mencionar el trabajo del filósofo holandés Johan Huizinga. Huizinga realizó una reflexión sobre la función del juego en el desarrollo de la cultura humana, y el que la definición del ser humano se hiciera a partir su capacidad de pensar, lo cual incluiría también su capacidad de jugar [4]. En Homo-Ludens, Huizinga argumenta sobre cómo el jugar nos ayuda a definirnos como personas, como grupo social y como cultura. Además de este estudio, otros filósofos y humanistas se dedicaron al estudio del juego, pero casi siempre abordaron el juego en función de la condición humana y de persona, no una discusión sobre el juego en sí mismo.

En el área de estudios literarios y de medios los juegos, en este caso de los video-juegos, se vuelven objeto de estudio de una manera más metódica. De aquí nacen dos escuelas de pensamiento sobre el estudio de los video-juegos: Ludología y Narratología. Estas dos escuelas se enfrascaron en una discusión sobre cuál debe ser el punto de estudio de los video-juegos. Para la primera el foco debería ser el jugar, mientras que para la segunda es la narración de historias [5]. El principal exponente de la escuela de los ludólogos propone el concepto de Literatura Ergódica [6] para ejemplificar el tipo de experiencia que significa interactuar con un juego. La literatura ergódica implica el leer y hacer, como leer un libro de yoga, informarse sobre una pose y luego hacerla; no es leer el libro de yoga de principio a fin. Del lado de los narratólogos, la experiencia era equiparada con aquella representada en series de ciencia ficción como “Via-

je a las Estrellas” (*Star Trek*) [7], o para lectores más modernos el cuarto de entrenamientos de los X-Men. La experiencia de jugar era la de verse inmerso física y mentalmente en un mundo ajeno al real, donde se pudieran realizar actividades e interactuar con personajes ficticios.

Al interior de estas dos escuelas se comienza a proponer una serie de definiciones para definir lo que es un juego. Sin embargo, no se puede llegar a consensuar una definición universal. A cada definición nueva se le propone un contra-ejemplo, un juego que no puede ser descrito a partir de la abstracción propuesta. La discusión no permite encontrar una definición académica en la que todos estén de acuerdo, pero sí permite formalizar el campo de estudio de los videojuegos.

Para fines de la discusión propuesta en este artículo, pongamos como punto de partida la definición de juego propuesta por Juul [8]:

---

**“Es un sistema basado en reglas con un resultado variable y cuantificable, donde a diferentes resultados se le asignan diferentes valores, el jugador hace un esfuerzo para influir el resultado, además de sentirse emocionalmente ligado al resultado, y las consecuencias de la acción son negociables”.**

---

Esta definición deja fuera, por ejemplo, los juegos de azar pues en estos juegos el jugador no hace un esfuerzo para influir el resultado. O bien, no incluye juegos como World of Warcraft o los basados en el Wii<sup>TM</sup> o Kinect<sup>TM</sup>, pues las consecuencias de la acción de jugar no son siempre negociables, como lo es por ejemplo, una lesión física.

<sup>1</sup>Wikipedia es una buena fuente para consultar de qué tratan estos videojuegos.

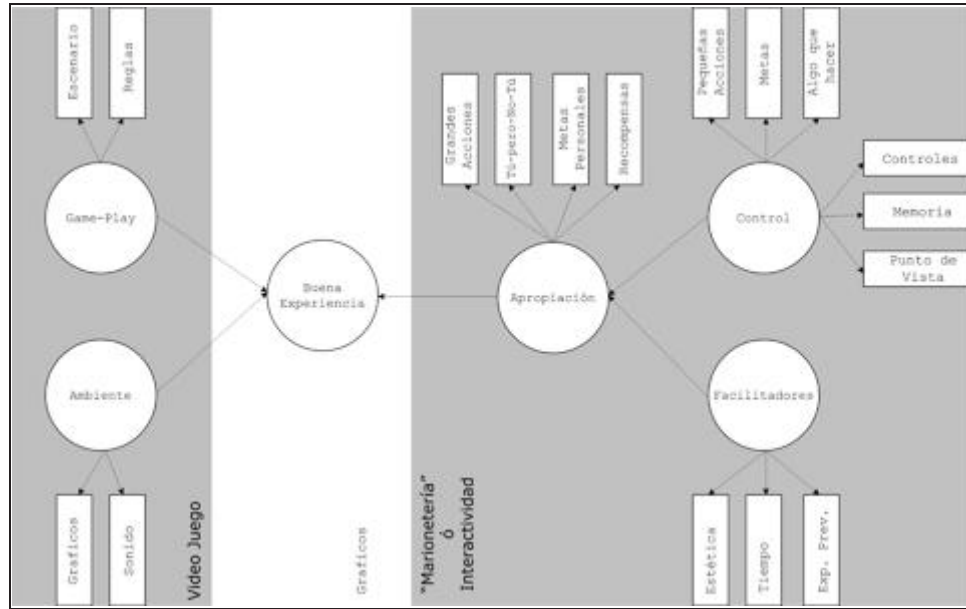


Figura 3. El modelo de los elementos básicos de la experiencia de jugar [13]

A partir de la definición académica propuesta, podemos complementar con una definición de un desarrollador de videojuegos. Koster [9] propone que un videojuego es simplemente un conjunto de reglas disfrazadas por una historia o escenario. Por ejemplo, describe Koster, al juego de Tetris® se le puede cambiar la historia, donde en lugar de poner figuras geométricas para formar líneas que van desapareciendo, se le puede considerar como la historia de un dictador. El objetivo de esta variante del juego es dejar caer disidentes a un pozo y, al acomodarlos en líneas horizontales, estos desaparecen; el dictador pierde el juego cuando los disidentes forman una columna vertical para salir del pozo y hacer frente al dictador. En ambos casos las reglas del juego son las mismas, pero la historia puede cambiar totalmente la experiencia de jugar ambos juegos.

Con base en las definiciones de Juul y Koster podemos extraer los componentes mínimos que deben estar presentes al interactuar con un juego: reglas, historia e interactividad. Con estos tres componentes básicos, podemos proponer que los dos primeros forman la característica básica del juego, mientras que la tercera es el de la persona usando el juego, es decir, jugando. Para entender el concepto de la experiencia de jugar nos movemos de campo de estudio al de Interacción Humano Computadora, de interés para los estudiosos de la Inteligencia Artificial.

### La experiencia de uso

La experiencia del usuario es el resultado de interactuar con una aplicación, la cual debe tratarse sea positiva. La experiencia de uso se define a partir de entender la tarea que va a realizar el usuario, el contexto en el que le va a realizar, así como las características propias del usuario. Si bien cada uno de los elementos puede ser evaluado por separado, es la conjunción de todos ellos la que forma la experiencia de usuario. Y el objetivo es lograr que el usuario tenga una experiencia positiva.

La experiencia del usuario es necesariamente subjetiva, puede ser resultado de componentes temporal, sensual, emocional y composicional [10], que interactúan uno con el otro en diferentes momentos de la experiencia. Esto hace que sea difícil medir o generalizar esta experiencia. Afortunadamente en el área de psicología positiva existen diferentes teorías que nos pueden ayudar a entender la experiencia de uso como algo no totalmente subjetivo. Para medir una experiencia como positiva es necesario entender qué es lo que nos hace llegar a esos estados de experiencias plenas, en lugar de enfocarse en aquellas que han sido traumáticas. Csikszentmihalyi [11] propone el concepto de *flow* o flujo para describir aquellas experiencias que hacemos, y logramos, por el gusto de llegar a ellas. Para llegar a *flow* se tiene que cumplir una serie de pasos: debe ser un reto, desarrollar habilidades, permitir tanto la concentración como medir el progreso, y lograr metas. Es decir, tal vez el resultado de

la experiencia plena es personal, pero las etapas para alcanzarlo son comunes. Y es con base en dichos elementos comunes que podemos compartir experiencias con otras personas, a pesar de que los resultados sean diferentes.

Entonces definamos a la experiencia de uso como tanto el proceso como el resultado [12], donde el primero es la parte objetiva y sobre la cual podemos producir conocimiento objetivo, y la segunda es la parte subjetiva de la experiencia.

## La experiencia de jugar video-juegos

Al analizar el proceso de lo que forma la experiencia de jugar videojuegos, nos enfocamos primero en aquellos elementos que son necesarios, pero no suficientes, para producir una experiencia positiva al jugar. Es decir, podemos jugar en un ambiente social donde tal vez lo que hace positiva la experiencia es la interacción grupal, y el juego pasa a un segundo plano. Por eso el enfoque es el de tratar de entender, a partir de que una persona comienza a jugar, cuáles son los elementos básicos que deben estar presentes para construir una experiencia positiva. El hecho de que los elementos estén presentes no asegura que la experiencia sea positiva, pero si no están, la experiencia será negativa.

Los elementos básicos de la experiencia de jugar [13] dividen la experiencia en dos elementos: descripción del juego e interactividad (ver Figura 3). En la primera se incluyen elementos como las reglas, escenario y el ambiente. En el segundo, el control, la apropiación y los facilitadores. La experiencia se construye a partir de la interactividad, es decir, un juego con un ambiente pobre no está inmediatamente condenado al fracaso, y viceversa, uno con los mejores gráficos y sonidos no está destinado al éxito.

La interactividad consiste en primera instancia en obtener el control del juego. Es decir, conocer las acciones básicas (brincar, rotar, etc.) y su mapeo a los controles

usados, además de entender el objetivo principal del juego, mantenerse ocupado. Mientras que la apropiación es el usar el control para realizar nuestros propios objetivos, elaborar estrategias, realizar actividades fuera de nuestra cotidianidad para que el juego nos pueda premiar. En un ejemplo más tangible, apropiarnos del juego implica cambiar un: “se murió el monito” por un “yo perdí”.

Los facilitadores sirven para “amortiguar” la falta de control para lograr una apropiación. Es decir, a falta de control los elementos estéticos, o nuestras experiencias previas, pueden lograr que llegemos a apropiarnos de la experiencia. Pero aún a pesar de esto, si no llegamos a tener control, los facilitadores no pueden mantener la apropiación.

La importancia de identificar los elementos necesarios para una experiencia positiva al jugar es que nos dan herramientas para manipular y conocer los grados que cada uno de esos elementos pueden tener en la experiencia global.

Por ejemplo, en una serie de experimentos que se realizaron con el juego de Guitar Hero®, se comparó la experiencia de jugar utilizando la guitarra versus el control normal del PlayStation®. El estudio se realizó en dos etapas. En la primera, el enfoque se centró únicamente en la parte subjetiva. Se les pidió a los participantes que jugaran y al finalizar nos dijeran su opinión. El resultado fue que las experiencias eran diferentes, y que no se podía generalizar con base en dichas opiniones. En la segunda etapa se utilizó el modelo propuesto y los resultados mostraron que aquellos participantes que jugaron con el control tuvieron una experiencia positiva, pero en términos comparativos, estaban jugando un juego diferente. Mientras que los que jugaron con la guitarra se sintieron estrellas de rock, los que jugaban con el control únicamente se divertían [14].

---

## Los jugadores tienen una opinión sobre sus video-juegos y suelen creer que esa opinión genera conocimiento.

---

### Conclusiones y trabajo futuro

El objetivo del presente artículo ha sido poner en la mesa de discusión la experiencia de jugar video-juegos para poder producir conocimiento objetivo. Dado lo anterior, se presentó una discusión sobre el concepto de juego, experiencia de uso, y el modelo de los elementos básicos de jugar videojuegos. El objetivo de dicho modelo es el de proveer de los elementos necesarios que puedan ser manipulados y aislados para entender qué es lo que forma la experiencia, así como para predecir el comportamiento que se tendrá una vez que dichos elementos sean alterados.

Qué se puede lograr al aislar los diferentes elementos es una cuestión abierta. Actualmente me encuentro investigando la influencia que tienen los dispositivos de entrada (los controles) al desarrollar estrategias mientras jugamos. En estudios preliminares hemos visto que al jugar el mismo juego con el Nintendo Wii™ con la computadora, la gente emplea diferentes estrategias ante las mismas condiciones. Si bien aún no queda claro el por qué sucede esto, al entender cuáles son los elementos que forman la experiencia se hace más manejable el comprender qué puede influir en dichos cambios.

Dentro del campo de la Inteligencia Artificial, la im-

portancia de conocer los diferentes elementos que forman la experiencia de jugar radica en que pueden utilizarse técnicas de esta disciplina para mejorar la experiencia del jugador. La detección de patrones, minería de datos, y aprendizaje computacional podrían usarse para adquirir perfiles y lograr una experiencia de juego sostenida adaptando cada uno de los elementos. Al mismo tiempo, se puede usar elementos de visión computacional para detectar si el jugador presenta síntomas de fatiga o algún tipo de estrés para terminar o adaptar el juego. Esto último nos permitiría explorar la relación que existe entre videojuegos y adicción, y los elementos de la experiencia que pueden producir adicción.

Como conclusión general se puede ver que el campo de los video-juegos es multidisciplinario donde el trabajo sinérgico puede lograr un entendimiento más completo de algo, que a pesar de ser muy criticado, es de importancia para nuestra formación humana. En otras palabras, para comprender la importancia de los juegos es necesario darle el lugar que necesita en función de su influencia, y donde todos podamos aportar algo para su mejor comprensión. 🌱

## REFERENCIAS

1. Sweet K. (2011) *Video game makers slam sales data*. CNN Money, March 2011.
2. Wilde T. (2011) "How to make a videogame (with no experience)". *Games Radar*, US. Disponible en línea: [www.gamesradar.com/f/how-to-make-a-videogame-with-no-experience/a-2009011310166933084](http://www.gamesradar.com/f/how-to-make-a-videogame-with-no-experience/a-2009011310166933084).
3. Popper K.R. (1997) *Knowledge and the body-mind problem. In defense of interaction*. Routledge, Barcelona, España.
4. Huizinga J. (1950) *Homo-Ludens: A Study of the Play Element in Culture*. Beacon Press, London, UK.
5. Frasca G. (2003) "Ludologists love stories, too: notes from a debate that never took place". *Proc. of Level-Up Conference (Utrecht, Netherlands, November 2003)*, Marinka C., Joost R. (eds.), University of Utrecht, pp. 420–425.
6. Aarseth E. J. (1997) *Cybertext: Perspectives on Ergodic Literature*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, USA.
7. Murray J. (1997) *Hamlet on the Holodeck*. MIT Press Cambridge, Mass, Cambridge, MA, USA.
8. Juul J. (2005) *Half-Real: Video Games Between Real Rules and Fictional Worlds*. The MIT Press, Cambridge, MA, USA.
9. Koster R. (2005) *A theory of fun for game design*. Paraglyph Press, Arizona, USA.
10. McCarthy J., Wright P. (2004) *Technology as Experience*. The MIT Press, Cambridge, MA, USA.
11. Csikszentmihalyi M. (1990) *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. Harper Perennial, New York, USA.
12. Calvillo-Gómez E. H., Cairns P. (2008) "Pulling the strings: A theory of puppetry for the gaming experience". *Conference Proceedings of the Philosophy of Computer Games 2008*, Günzel S., Liebe M., Mersch D. (eds.), pp. 308–323.
13. Calvillo-Gómez E. H., Cairns P., Cox A.L.(2010) "Assesing the core elements of the gaming experience". *Evaluating User Experience in Games*. Springer, London, UK.
14. Calvillo-Gómez E. H. (2009) *On the Core Elements of the Experience of Playing Video Games*. PhD thesis, University College London.

## SOBRE EL AUTOR



Eduardo H. Calvillo G3mez cuenta con los grados de doctor en Interacci3n Humano Computadora por el Colegio Universitario de Londres (UCL) en Reino Unido, maestro en Ciencias en Ingenier3a El3ctrica por la Universidad Tufts en Boston, Estados Unidos, e ingeniero electr3nico por la Facultad de Ciencias de la Universidad Aut3noma de San Luis Potos3. Sus 3reas de inter3s e investigaci3n son Experiencia de Uso, Video-Juegos, Dispositivos de Entrada, Estrategia Tecnol3gica, Sistemas de Informaci3n y Epistemolog3a de Interacci3n Humano Computadora.

Ha sido editor invitado de la revista de investigaci3n *Entertainment Computing* de Elsevier, Director del Programa Acad3mico del Taller Mexicano de Interacci3n Humano Computadora, y consultor en la misma 3rea.

## ARTÍCULO ACEPTADO

# Ruta tecnológica de realidad virtual para el sector eléctrico

por Miguel Pérez Ramírez

## Introducción

Compañías como la Comisión Federal de Electricidad en México (CFE) buscan y adoptan tecnologías que les permitan ser eficientes. Para que una tecnología pueda convertirse en candidata para ser adoptada, ésta debe aportar algún valor a la empresa. Un caso particular es el de la tecnología de Realidad Virtual (RV), que recientemente está teniendo auge en diversos ámbitos que pueden ir desde compañías que requieren complejos simuladores basados en RV, hasta sistemas de entretenimiento (filmes, juegos etc.).

Antes de que CFE empezara a utilizar esta tecnología, se realizó un estudio [1] en el que primero se identificaron las bondades de la RV y después se analizaron los tres grandes procesos (Generación, Transmisión y Distribución) de CFE, para determinar posibles nichos de aplicación, que además cumplieran con la condición mencionada, nichos donde la RV fuera portadora de valor.

Además de esto también se realizó un mapa tecnológico que puede ser utilizado como guía durante las diferentes etapas de adopción de la RV. Este estudio arrojó un diagnóstico positivo, una de cuyas conclusiones es que CFE representa un campo fértil para el uso y la aplicación ventajosa de la RV. Actualmente CFE está usando esta tecnología a través de sistemas basados en RV para entrenamiento en mantenimiento a líneas energizadas de media tensión. Aquí se muestran algunos de los resultados del estudio realizado y el mapa tecnológico de RV para CFE.

## Realidad Virtual

El Grupo de Realidad Virtual (GRV) del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) ha estado colaborando con el sector eléctrico del país desde el año 2003 para la adopción de la Realidad Virtual. A fin de contar con un punto de referencia, el GRV ha adoptado el siguiente concepto.

**RV es la representación completa o parcial de un ambiente real o ficticio, a través del uso de medios electrónicos. Dicha representación puede incluir gráficas en 3D y/o imágenes y puede o no ser inmersiva [1].**

La RV no inmersiva permite la interacción a través de ratón y teclado (Figura 1). Mientras que la RV inmersiva puede demandar elementos tales como guantes, visores, joysticks, etc., a través de los cuales el usuario tiene la sensación de estar inmerso dentro de un ambiente virtual (Figura 2).

## Uso de la RV

El desarrollo de aplicaciones de RV es dominado por Estados Unidos en América, Inglaterra en Europa, y Japón en Asia [2]. También en continentes como Oceanía o en países como Canadá y México encontramos aplicaciones basadas en Realidad Virtual. En lo que respecta al uso de RV en el sector eléctrico, podemos mencionar desde modelos en 3D de cuartos de control y sistemas de monitoreo [3], centrales generadoras [4], hasta simuladores para centrales nucleoelectricas [5], sistemas para capacitación de personal en la operación de subesta-



Figura 1. RV no inmersiva



Figura 2. RV inmersiva

ciones [6, 7], capacitación en mantenimiento a líneas energizadas [8, 9]. Dichos sistemas son desarrollados tanto por empresas dedicadas a la creación de sistemas basados en Realidad Virtual como por universidades en diferentes partes del mundo (Figuras 3 y 4).

En cuanto a las áreas con un mayor número de aplicaciones se presentan las siguientes de acuerdo a un orden de demanda e importancia [2]: 1) Capacitación y entrenamiento. 2) Proyectos de investigación. 3) Manufactura. 4) Servicios de negocio. 5) Entretenimiento.

Recientemente se ha visto un incremento en el número de desarrollos basados en RV, tal es el caso del área de entretenimiento, con populares filmes, video juegos y simuladores tipo arcade, pero lo mismo sucede en todas las áreas mencionadas por Burdea y Coiffet [2].

## Valor de la RV

El GRV ha comprobado que la RV posee cualidades que pueden ser aprovechadas en diferentes aplicaciones. El usuario puede interactuar con los ambientes virtuales percibiendo un comportamiento muy similar al comportamiento que percibiría en un ambiente real. Esto comprende retos que establecen algunos juegos o recorridos virtuales (Figuras 5), hasta acceso a lugares peligrosos o entrenamiento de actividades peligrosas (Figura 6), tales como cirugías en medicina, mantenimiento a equipos e instalaciones e incluso actividades bélicas.

En capacitación, un ambiente virtual puede heredar las facilidades de otros sistemas computarizados, como es el poner a disposición de un mayor número de personas el conocimiento especializado contenido en el sistema, disminuyendo costos por viajes y estancias donde se encuentran las instalaciones reales. Un ambiente virtual también permite simular situaciones de contingencia en forma controlada, que difícilmente podrían ser reproducidas en la realidad. La RV puede usarse para visualizar datos, e.g. geológicos, o diseñar ambientes y visualizarlos antes de construirlos en la realidad (Figura 7). Estos son sólo ejemplos del amplio espectro de aplicación de la RV.

## Ejemplo de análisis de procesos en CFE y aportación de valor

En la búsqueda de nichos de aplicación de la RV en CFE, al analizar una central de generación termoeléctrica, encontramos que en ella se llevan a efecto tres transformaciones de energía [10].

- La primera consiste en transformar la energía química almacenada en el combustible, en energía térmica para producir vapor en la caldera.
- La segunda en convertir la energía térmica del vapor en energía mecánica por medio de la turbina.
- La tercera consiste en transformar esta energía mecánica en energía eléctrica (Figura 8).

Por estas transformaciones los sistemas más importantes de una central termoeléctrica son: 1) Sistema de condensado, 2) Sistema del generador de vapor, 3) Sistema del generador eléctrico.

Sin embargo, una central está compuesta por más de 60 sistemas y subsistemas. Cada sistema involucra diferentes equipos, así como procedimientos asociados tales como procedimientos de operación, paro, mantenimiento, arranque, etc., algunos de los cuales implican ciertos riesgos. Todos estos procedimientos requieren de perso-



Figura 3. Mantenimiento a líneas energizadas

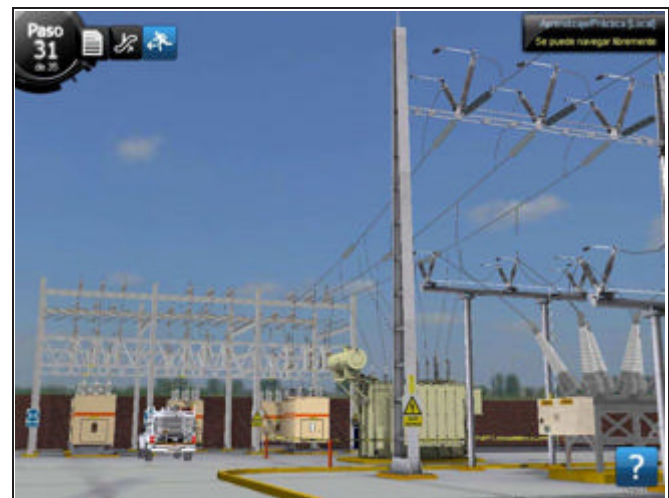


Figura 4. Mantenimiento a subestaciones



Figura 5. Recorrido en una central termoeléctrica



Figura 6. Actividades peligrosas



Figura 7. Arquitectura, ingeniería y diseño [11]

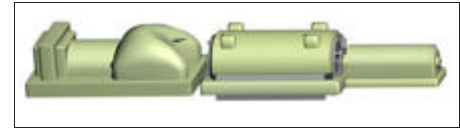


Figura 8. Arreglo: turbina → generador → excitador

nal capacitado para que los equipos operen de manera eficiente, y para evitar accidentes al personal o daños a los equipos. Por otro lado, CFE dedica una gran cantidad de recursos para capacitar a su personal de tal modo que sus procesos sean eficientes y sin accidentes. Así que sólo considerando el proceso de generación y sólo como herramienta de capacitación y entrenamiento, que de acuerdo a Burdea y Coiffet [2] son las áreas de mayor aplicación de la RV, se puede observar el gran potencial de aplicación de la tecnología de RV en CFE.

### Análisis costo beneficio

El análisis costo-beneficio realizado en [1] muestra que el costo de un sistema de RV puede recuperarse a corto plazo sólo considerando ahorros por concepto de estancias y traslados a centros de entrenamiento, conceptos cuyos costos disminuyen con el uso de estos sistemas, ya que el aprendizaje puede iniciar localmente como auto-aprendizaje o en cursos formales.

El análisis se basó en una metodología estándar [12], donde se determinan a) Los costos de desarrollo de un sistema basado en RV. b) Los beneficios económicos que se espera obtener con el uso de sistemas de RV. En este caso específico al enfocar el uso de la RV en capacitación, los beneficios estarán dados por la diferencia entre los costos de capacitación tradicional y los costos de capacitación utilizando RV. c) Finalmente se obtiene la relación costo beneficio dada por la expresión que sigue a continuación. En términos financieros la mejor solución es aquella que provee la relación costo/beneficio más alta.

$$\text{Relación costo beneficio} = \frac{\text{Beneficios}}{\text{Costos}}$$

El beneficio está dado por la disponibilidad del contenido “instruccional” especializado de los sistemas, a tantas personas como se requiera a nivel nacional en la empresa y a través de licencias sin costo. Eso comparado con el reducido número de cursos tradicionales, que serían posibles con el costo de desarrollar estos sistemas.

Los otros procesos, Transmisión y Distribución, son similares en cuanto a las necesidades de capacitación.

Estos procesos involucran equipos y procedimientos de mantenimiento, construcción e instalaciones de equipo, así como personal capacitado. También son áreas de oportunidad para obtener beneficios de aplicar la RV.

La RV también puede ser aplicada con ventajas en diversos campos en CFE, por ejemplo: Diseño de instalaciones antes de construirlas, lo cual permite visualizar alguna instalación o diseño antes de ser construido o instalado (Figura 9). En centrales núcleo eléctrica permitirá simulaciones, recorridos virtuales y entrenamiento de procedimientos sin riesgos.

### Metodología de desarrollo

Conocer el costo de desarrollo de los sistemas de RV es necesario para realizar su análisis costo beneficio. Dicho costo a su vez depende de la metodología de desarrollo. A continuación se describe la metodología utilizada para el desarrollo de los sistemas de RV no inmersivos [10], la cual está basada en las etapas de desarrollo reportadas en la literatura de Ingeniería de Software. Una vez que tenemos la especificación de requerimientos y el diseño del sistema (interfaz de usuario, ya que el diseño del ambiente virtual podría ser guiado por el escenario real), estas son las etapas de desarrollo que se siguen:

1. **Recopilación de información:** Dependiendo del campo de aplicación, primero se determina el número objetos que serán parte del ambiente virtual y su complejidad. La información es filmada en video de modo que las imágenes y dimensiones físicas de los objetos queden a disposición de los desarrolladores. Si se tienen las especificaciones técnicas de los equipos u objetos, su medición física podría no ser necesaria.
2. **Modelado 3D:** Todos los objetos son representados a escala en 3D y texturizados para aumentar su nivel de realismo. Usamos 3DSMax (Figura 10).
3. **Creación de escenas:** Todos los modelos 3D previamente elaborados son integrados en los escenarios o ambientes virtuales (Figura 11).



Figura 9. Bombas de trasiego en una planta generadora

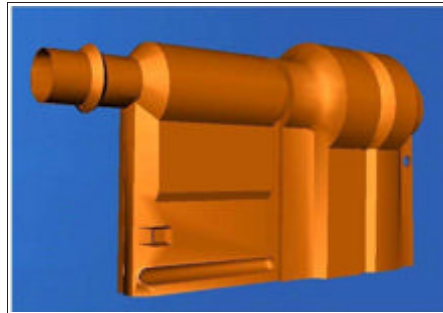


Figura 10. Modelo 3D



Figura 11. Escena virtual

4. **Animación:** Aquí se elaboran las animaciones propias de cada modelo 3D. Por ejemplo, el movimiento de un helicóptero, el girar de las aspas de un ventilador, o el operar de una grúa, etc.
5. **Elaboración de un guión:** Es similar al guión de una película; contiene explicaciones e instrucciones para la interacción usuario-sistema.
6. **Interacción y audio:** Se agrega sonido ambiental a la escena según los objetos incluidos y audios explicativos. También se desarrolla la interacción entre usuario y sistema. Así, de acuerdo a las acciones del usuario, diferentes comportamientos de la escena son elaborados, de tal modo que los usuarios perciban las reacciones del ambiente de acuerdo a su interacción. Para esto hay diferentes herramientas, nosotros hemos utilizado OGRE y Cult3D.
7. **Desarrollo de la interfaz:** La interfaz integra la escena virtual, los menús, las explicaciones y las instrucciones, de tal modo que la interacción de los usuarios es guiada todo el tiempo. Para esto utilizamos C++ y Flash (Figura 3).

## Ruta Tecnológica de RV

### Ruteo tecnológico

“Ruteo” tecnológico (o *technology roadmapping*) es un proceso de planeación de uso o desarrollo de tecnología guiado por la necesidad de productos, para ayudar a identificar, seleccionar y desarrollar alternativas tecnológicas que satisfagan la demanda de productos [13].

Así, sabiendo qué productos se necesitan, el proceso de *roadmapping* provee una manera de desarrollar, organizar y presentar información sobre los requerimientos críticos de los productos que se necesitan y una línea de tiempo indicando los objetivos parciales que se deben ir cumpliendo. También identifica tecnologías que necesitan ser desarrolladas para cumplir con dichos objetivos

y provee información necesaria para combinar diferentes alternativas tecnológicas. La ventaja principal del *technology roadmapping* es que provee información para tomar mejores decisiones de inversión en tecnología.

Por otra parte el mapa tecnológico (o *technology roadmap*) es un documento generado por el proceso de *roadmapping*. Identifica “caminos” para cumplir con ciertos objetivos de rendimiento. El *roadmap* identifica objetivos precisos y ayuda a enfocar recursos en las tecnologías que son necesarias para lograr los objetivos.

### Mapa tecnológico de RV para sector energético

El mapa tecnológico presentado aquí surge como resultado de seguir los pasos de metodologías conocidas. En este caso la metodología utilizada es descrita en [13], y consta de los siguientes seis pasos (ver Figura 12).

1. **Identificar el producto que será el enfoque del roadmap.** Existen varias opciones de productos a considerar, por ejemplo: a) Capacitación en diferentes procedimientos (e.g. arranque, operación, mantenimiento, paro), asociados a diferentes tipos de equipos. b) Planeación y diseño (e.g. extensiones a la red eléctrica, simulación de inundaciones de presas). c) Simulación (funcionamiento de equipo, de procesos). d) Control remoto (e.g. de equipos, de plantas, subestaciones), etc. Sin embargo, se enfocó la atención en la capacitación, por ser una de las áreas de mayor aplicación de esta tecnología y así maximizar las posibilidades de éxito.
2. **Identificar los requerimientos críticos del producto o proceso y sus objetivos.** Entre otros requerimientos críticos de la capacitación se pueden mencionar: a) Ausencia de riesgos, evitando así accidentes. b) Disminución de costos de capacitación. c) Reducción de tiempo de estancia en los centros de capacitación, donde a mayor tiempo mayor costo. d) Incremento del número de personas capacitadas. e) Disposición del conocimiento



de los expertos para cualquier persona interesada.  
f) Inclusión de ambientes de aprendizaje realistas e interactivos que tengan un comportamiento muy parecido al real. Cabe redundar en que todos estos requerimientos son ventajas de la RV.

3. **Especificar las áreas tecnológicas principales.** a) Áreas relacionadas con la RV en el proceso de capacitación. Existe diversidad de opciones pues las aplicaciones de RV son multidisciplinarias, e.g. tutores y tutores inteligentes, simulación, electrónica y comunicaciones para control remoto de equipos, eléctrica, -el área de CFE-, tecnologías web para capacitación a distancia, y multimedia en la enseñanza. b) Áreas de la misma RV. Subáreas de la RV como: modelado 3D, técnicas de optimización, animación, visión estereoscópica, sonido 3D, dispositivos de entrada, retroalimentación de fuerza y táctil, control remoto, etc.
4. **Especificar los *drivers* de la tecnología y sus objetivos.** Las características deseables en la capacitación, al mismo tiempo constituyen los *drivers* o variables críticas (ver 2 arriba).
5. **Identificar alternativas tecnológicas y sus líneas de tiempo.** Sugerimos tres etapas o generaciones de sistemas de RV en una línea de tiempo.

**1ª generación de sistemas de RV.** Su principal característica es que sean no inmersivos para disminuir los riesgos de la inversión. Estos sistemas estarán en uso a lo más dentro del segundo año a partir del inicio de su desarrollo. Después habrá un periodo de uso y evaluación, acompañado del desarrollo de otros sistemas del mismo tipo (4 años). Esto cubrirá un periodo total de 5 años. Generación de sistemas orientada a la capacitación.

**2ª generación de sistemas de RV.** Su principal característica es que pueden integrar una inmersión visual y permitir la interacción con guantes. Esta generación se dará en los años del 5 al 7. Sin embargo, esto debe ser realizado previo análisis que justifique su conveniencia de acuerdo a aplicaciones específicas, dado que aunque hay ventajas en común (interactividad, recorridos virtuales, animaciones, etc.), tanto la RV inmersiva como la no inmersiva tienen ventajas propias.

**3ª generación de sistemas de RV.** En ella los sistemas de RV diversificarán sus aplicaciones, incursionando en áreas tales como diseño, planeación, simulación, control remoto, retroalimentación táctil y de fuerza, sistemas colaborativos y cualquier otra tecnología con la que el usuario pueda interactuar según las demandas de la aplicación.

6. **Recomendar las alternativas tecnológicas que deban ser tomadas.** Las alternativas tecnológicas están dadas de acuerdo al tipo de generación de los sistemas de RV (ver 5 arriba).

## Conclusiones

El análisis citado [1] confirma que la RV puede ser utilizada primeramente en sistemas de capacitación debido a la gran cantidad de procedimientos involucrados en los tres grandes procesos Generación Transmisión y Distribución (GTD) de CFE. Una vez desarrollado e implantado un sistema dentro del primer año de adopción de la tecnología de RV, su uso y evaluación pueden darse a partir del segundo año. Así, CFE puede aplicar la RV en a lo más dos años a un bajo costo, bajo la recomendación de una primera generación de sistemas de RV no inmersiva. Esto implicaría la adquisición de mucha información para la toma de decisiones. Se podría estimar de manera más acertada el alcance de futuros sistemas, el costo y beneficios derivados de cada sistema y los usuarios finales de CFE empezarían a usar la tecnología de manera cotidiana. La inmersión de la segunda fase es sólo un paso más que sin embargo implicará una mayor inversión. Para el inicio de la tercera generación CFE ya se encontrará en un periodo de madurez en el uso de esta tecnología.

Actualmente CFE-Distribución, siguiendo la primera generación sugerida en el mapa tecnológico, está en proceso de implantación y uso de los siguientes sistemas de RV: sistemas para adiestramiento en mantenimiento a líneas energizadas (ALEn3D) de media y alta tensión; y sistema para capacitación en mantenimiento a líneas subterráneas. Estos caen dentro de la primera generación de sistemas. También se ha terminado la primera fase de un sistema para capacitación en pruebas de puesta a punto y mantenimiento de subestaciones, que incluye 20 pruebas. Este sistema inicia la incursión dentro de la segunda generación de sistemas de RV, ya que utiliza herramientas y técnicas de desarrollo que permitirán migrarlo a un sistema inmersivo, en caso de que CFE así lo requiera.

Los sistemas mencionados están desarrollados y listos para utilizarse. Sin embargo es necesario que su uso sea prescrito de manera formal dentro de los programas de capacitación de CFE. Esto tendrá un impacto en la aplicación, pues los sistemas permitirán a los usuarios iniciar su aprendizaje aún sin instructor o fuera de un curso formal, es decir, sin costo para la empresa, cuyas horas de auto-capacitación no precisamente sean contabilizadas. Además la disponibilidad de conocimiento especializado puede incrementar el número de personal capacitado.☞

---

## INFORMACIÓN ADICIONAL

Para saber más del GRV del Instituto de Investigaciones Eléctricas consultar [vmlb.iie.org.mx/grv/main.asp](http://vmlb.iie.org.mx/grv/main.asp)

---

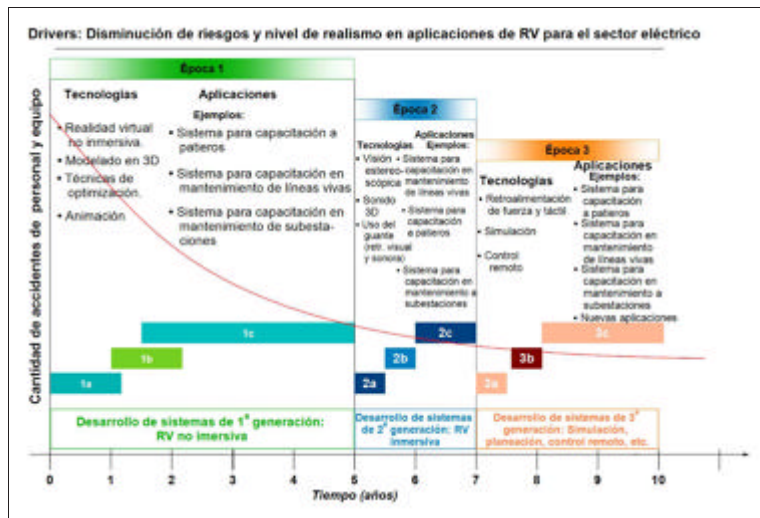


Figura 12. Mapa tecnológico de RV para CFE

REFERENCIAS

- Pérez M., Zabre E., Islas E. (2004) "Realidad Virtual: Un Panorama General". Boletín IIE. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Vol. 28, No. 2. [www.iie.org.mx/sitioIIE/sitio/control/03/boletin.php?ie=9&volumen=2&sa.x=47&sa.y=9](http://www.iie.org.mx/sitioIIE/sitio/control/03/boletin.php?ie=9&volumen=2&sa.x=47&sa.y=9).
- Burdea G.C., Coiffet P. (2003) "Virtual Reality Technology", 2ª Edición, Wiley-Interscience.
- Encorp, 2004, Virtual Maintenance Monitor - TraderMark - TechDataSheet. [www.encorp.com/VMM-TechDataSheet.pdf](http://www.encorp.com/VMM-TechDataSheet.pdf). Disponible en 8/2008.
- Aliaga D., Cohen J., Wilson A., Baker E., Zhang H., Erikson C., Hoff K., Hudson T., Stürzlinger W., Bastos R., Whitton M., Brooks F., Manocha D. (1999) "MMR: An Integrated Massive Model Rendering System Using Geometric and Image-Based Acceleration". *The Walkthru Project*, [www.cs.unc.edu/~walk/](http://www.cs.unc.edu/~walk/)
- Lee D.J., Salve R., de Antonio A., Herrero P., Perez J.M., Vermeersch F., Dalton G. (2001). "Virtual Reality for Inspection, Maintenance, Operation & Repair of Nuclear Power Plant". FISA-2001, EU Research in Reactor Safety, Lux.
- Arroyo E., Los Arcos J.L. (1999) "SRV: A Virtual Reality Application to Electrical Substations Operation Training", *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS'99)*, Vol. 1, pp. 9835.
- Romero G., Maroto J., Felez J., Cabanellas J.M., Martínez M.L., Carretero A. (2008) "Virtual reality applied to a full simulator of electrical sub-stations". *Electric Power Systems Research*, Vol. 78, No. 3, pp. 409-417.
- Pérez Ramírez M., Ontiveros Hernández N.J. (2009) "Virtual Reality as a Comprehensive Training Tool". *Workshop on Intelligent Learning Environments, MICAI*. Gto., Mex.
- Galvan I., Ayala A., Muñoz J., Salgado M., Rodríguez E., Pérez M. (2010) "Virtual Reality System for Training of Operators of Power Live Lines". *Proc. of the World Congress on Eng. and Computer Science 2010 (WCECS 2010)*, Vol. 1. San Francisco CA, USA.
- Cervantes-Espinal M., Pérez-Ramírez M., Serna-Carmona E. (2007) "Análisis y diagnóstico de viabilidad de aplicación de sistemas de Realidad Virtual (RV) en los sistemas de una central de generación". *IEEE 5º Congreso Int. en Innovación y Desarrollo Tecnológico*, Cuernavaca, Mor., México.
- Lpioe. SkyscraperCity, Club Forums, Creative Corner, "Your Own Stadium Design". [www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=330977&page=53](http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=330977&page=53). Disponible 3/2011.
- Sociedad Latinoamericana para la Calidad, "Análisis Costo/Beneficio", [www.gestionescolar.cl/UserFiles/P0001%5CFile%5CArticles-101189\\_recurso.1.pdf](http://www.gestionescolar.cl/UserFiles/P0001%5CFile%5CArticles-101189_recurso.1.pdf). Visitado en 2008.
- García H.B. (1997) "Fundamentals of Technology Road-mapping", Sandia National Laboratories, Report SAND97-0665. Albuquerque, NM 87185-1378.

SOBRE EL AUTOR



**Miguel Pérez Ramírez** es licenciado en Computación por la Escuela de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Autónoma de Puebla. Realizó maestría en Ciencias de la Computación con especialidad en Ingeniería de Software en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico; y obtuvo su doctorado en Ciencias Computacionales con especialidad en Inteligencia Artificial de la Universidad de Essex, Inglaterra. Desde 1992 trabaja en el IIE como investigador de la gerencia de Tecnologías de las Información, y líder del Grupo de Realidad Virtual. También se ha desempeñado como catedrático de maestría e ISC en el ITESM Campus Cuernavaca. Ha publicado diversos artículos en congresos nacionales e internacionales.

## ARTÍCULO INVITADO

# Navegación inteligente para obtener ambientes e-Learning flexibles basados en objetos de aprendizaje

por **Liliana Argotte Ramos**, **Julieta Noguez Monroy** y **Gustavo Arroyo Figueroa**

## Introducción

Un ambiente e-Learning se refiere al uso de tecnologías de Internet que proporciona una amplia gama de soluciones para adquirir conocimiento [1]. Los sistemas e-Learning facilitan el aprendizaje sin restricciones de tiempo ni espacio; características que impactan en cualquier organización al extender la opción de aprendizaje a un mayor número de trabajadores e incursionar en nuevos modelos de capacitación. Por otra parte, los objetos de aprendizaje (OAs), basados en el concepto del paradigma orientado a objetos, surgen como un esfuerzo para crear componentes educativos o módulos que puedan ser reutilizables en diferentes contextos de aprendizaje.

El Modelo de Referencia de Objetos de Contenido Compartible (*Sharable Content Object Reference Model*, SCORM) es el estándar de e-Learning más utilizado a nivel mundial para la elaboración de cursos conformados por unidades independientes de información (OAs) que residen en un repositorio y que pueden ser vistos en muchas plataformas de administración de contenidos de aprendizaje (*Learning Content Management Systems*, LCMS) que también cumplan con dicho estándar [2]. Aunque SCORM también tiene un modelo de secuencia y navegación para la presentación dinámica de los contenidos de aprendizaje basándose en las necesidades del estudiante [3], éste debe ser pre-configurado por cada instructor, con la limitante que responde de igual manera para cada participante o estudiante, conforme va realizando las actividades de aprendizaje.

En este trabajo se presenta la creación de modelos de secuencia SCORM flexibles, que aprovechando los avances que ofrece el campo de la inteligencia artificial, permitan al tutor o instructor agregar complejidad a sus modelos de secuencia o trayectorias diversas de recursos de aprendizaje en un menor tiempo, logrando que el ambiente se adapte al ritmo de avance de cada participante y promoviendo mejoras en su aprendizaje.

## Los objetos de aprendizaje (OAs)

Aunque han sido definidos de varias maneras, actualmente se reconoce como un objeto de aprendizaje a una entidad digital, auto-contenida y reutilizable, con un claro propósito educativo, constituido por al menos tres componentes internos editables: contenidos, actividades de aprendizaje, y elementos de contextualización. A ma-

nera de complemento, los objetos de aprendizaje han de tener una estructura (externa) de información que facilite su identificación, almacenamiento y recuperación: los metadatos [4]. En forma esquemática un OA se podría representar como se ilustra en la Figura 1.

Sin embargo, para que los OAs puedan ser realmente intercambiables, modificables o reutilizables se requiere que estén basados en estándares.

## Modelo SCORM

El Modelo SCORM es un modelo que refiere a un sistema de estándares, especificaciones y lineamientos técnicos correlacionados, diseñados para cumplir con los requisitos de alto nivel del contenido y sistemas de aprendizaje (OAs). SCORM contiene un modelo de agregación de contenidos y un ambiente de ejecución para que los objetos de aprendizaje sean compatibles con la enseñanza adaptable basada en los objetivos, preferencias, desempeño y otros factores de la experiencia del aprendiz (como las técnicas educativas). SCORM también tiene un modelo de secuencia y navegación para la presentación dinámica de los contenidos de aprendizaje basándose en las necesidades del aprendiz [3].

El uso de una especificación de OAs como SCORM estandariza la creación y utilización de los mismos, pues permite a cualquier Sistema de Administración de contenidos de aprendizaje (LCMS) o ambiente e-Learning basado en este estándar, buscar, importar, compartir, reutilizar y exportar contenido de aprendizaje en forma normalizada.

La secuenciación de SCORM ofrece a los desarrolladores de cursos e-Learning herramientas para crear diseños que puedan adaptarse a las necesidades de aprendizaje de los estudiantes, aplicando en forma consistente las capacidades de secuenciación.

SCORM no aborda, pero tampoco excluye, la secuenciación basada en inteligencia artificial. El modelo de navegación de SCORM proporciona flexibilidad a los desarrolladores de contenido para disponer de los controles de navegación y determinar si el estudiante tendrá opción o no de navegar libremente en el contenido del curso. Sin embargo, esta puede ser también una desventaja al no quedar claras las reglas de navegación SCORM para los diseñadores de contenido.



Figura 1. Representación de un OA

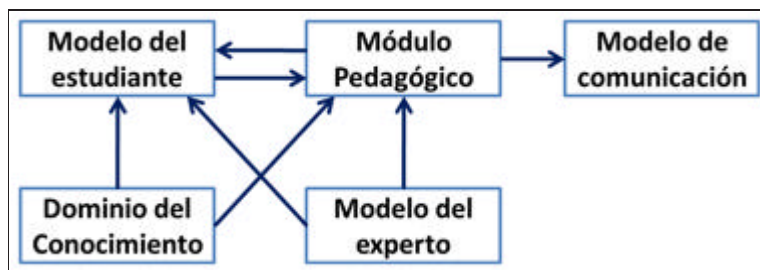


Figura 2. Componentes de un STI

## Sistemas tutores inteligentes

Los Sistemas Tutoriales Inteligentes (STI) son ambientes interactivos de aprendizaje que tienen la habilidad de adaptarse a la situación específica de un estudiante durante el proceso de enseñanza [5]. Un STI es un sistema que tiene como objetivo principal reproducir el comportamiento de un tutor humano que puede adaptarse al ritmo de aprendizaje del estudiante [6].

Así mismo los STI's buscan imitar tanto métodos como el diálogo natural de los profesores, generar interacciones educacionales en tiempo real y en demanda, según los requisitos individuales de los estudiantes [7].

La funcionalidad de un STI trata de incluir lo que un profesor humano hace: seleccionar (o generar) el material apropiado, crear ejercicios, monitorear la actividad del estudiante, dar orientación durante los ejercicios y retroalimentación inmediata, entender por qué los estudiantes incurren en equivocaciones, modificar el estilo de la presentación según el estilo del estudiante, hacer y responder a las preguntas.

Para Woolf [8] los cuatro componentes principales de un STI son el modelo del estudiante, el modelo pedagógico, el modelo de dominio del conocimiento y el módulo de comunicación. Otros autores [9] habían propuesto como quinto componente el modelo del experto, que actualmente se considera dentro del modelo del dominio del conocimiento (algunos STI ya no lo consideran). En la Figura 2 se observan las interacciones entre los cinco componentes de un STI.

La mayoría de los STI's emplean para construir el modelo del estudiante diversas técnicas de Inteligencia Artificial. Las más utilizadas por su simplicidad y eficacia son las redes bayesianas y las redes de decisión. Estas redes forman parte de los Modelos Gráficos Probabilistas (MGP's). Los MGP's modelan la incertidumbre con variables probabilistas relacionadas mediante dependencias y son expresadas en forma de grafos acíclicos [10].

Como se mencionó anteriormente, en SCORM la secuencia de despliegue de los OAs es un modelo basado en reglas, donde el instructor juega un papel fundamental para establecer previamente los diferentes caminos de aprendizaje que puede tener un estudiante. Debido a que

con ello no se garantiza la efectividad del aprendizaje al no tener todas las trayectorias posibles de aprendizaje, ni la adaptación a las necesidades específicas de aprendizaje de cada estudiante, se propuso en este trabajo de investigación utilizar herramientas de los MGPs, en particular las redes de decisión, que pudieran ser usados para añadir inteligencia y adaptación al modelo de secuencia SCORM existente.

## Redes de decisión

Una red de decisión (*Decision Network*, DN) es una representación matemática y gráfica de una situación que involucra situaciones con decisiones. También recibe el nombre de diagrama de influencia. Es una generalización de una red Bayesiana, en la cual se puede modelar y resolver problemas de toma de decisiones e inferencia probabilística, siguiendo un criterio de máxima utilidad esperada [11]. La utilidad expresa qué tan deseable es el resultado de cada posible acción. Este tipo de problemas normalmente presenta incertidumbre.

Un diagrama DN es un grafo acíclico con tres tipos de nodos: de incertidumbre (aleatorios y de evidencia) representados por óvalos; de decisión, representados por rectángulos; y de utilidad, representados por hexágonos o diamantes. La Figura 3 ilustra estos diagramas.

## Redes de decisión y OAs

Debido a las ventajas de las redes de decisión se propone aplicarlas en el problema de secuencia de los OAs, donde el resultado de la propagación de las evidencias en la red proporcione la mejor acción pedagógica a seguir por el estudiante, en otras palabras la secuencia de OAs indicada para ese estudiante. Al ser también la red de decisión una extensión de las redes bayesianas se sigue infiriendo y diagnosticando el estado actual cognitivo del estudiante, por lo que es posible la secuencia y navegación flexible. Sin embargo, para lograr realmente un aprendizaje flexible se debe considerar el conocimiento previo del alumno en un OA y propagar esa evidencia junto con el estado cognitivo actual. Esto se puede lograr considerando el tiempo para crear una red de decisión dinámica como se muestra en la Figura 4.

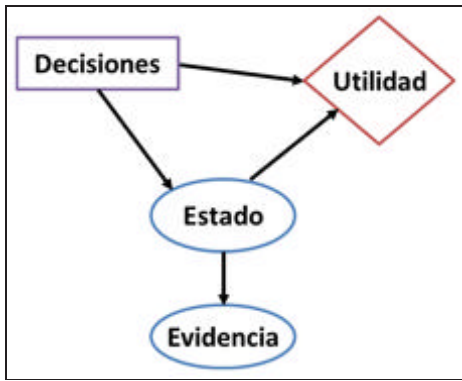


Figura 3. Componentes de una red de decisión

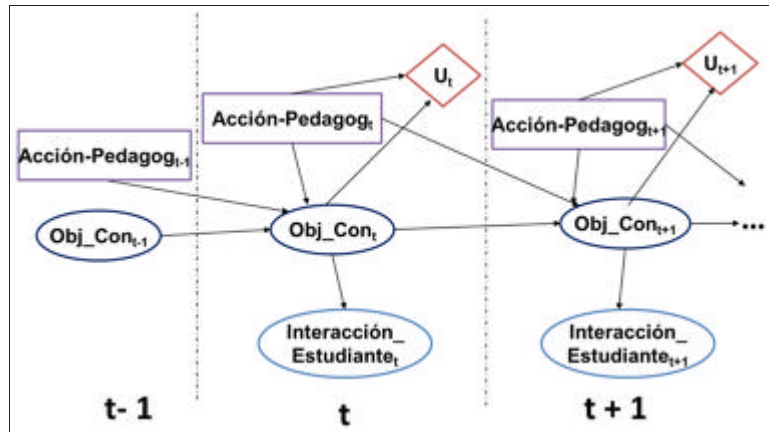


Figura 4. Red de decisión dinámica

### Secuencia y navegación inteligente

El modelo propuesto en este trabajo se denomina Sistema Inteligente Aprende o SI-APRENDE. El sistema contempla el modelo Tutor de un STI para establecer una secuencia y navegación flexible de OAs. Se utilizaron redes de decisión dinámicas para seleccionar la acción pedagógica que mejor se adapte a la situación de aprendizaje de cada estudiante, pues una de las principales ventajas de las redes de decisión es justo la combinación de las teorías de probabilidad, utilidad y decisión.

La red de decisión usada en el sistema SI-APRENDE permite manejar la incertidumbre asociada al estado de conocimiento del estudiante sobre un OA mediante las probabilidades condicionales que el experto inicialmente proporciona. La capacidad de inferencia de una red de decisión es otra de sus ventajas, pues cuenta con variables observables dada la interacción del estudiante con el sistema, como el progreso de la actividad o la satisfacción del objetivo, y realiza también predicciones basadas en la evidencia del conocimiento del OA. La función de utilidad establecida por el experto del dominio de aplicación asegura que el modelo tutor tome la mejor decisión.

En la Figura 5 se presenta el modelo de red de decisión propuesto para la base de conocimiento. Esta red de decisión se compone de las siguientes variables aleatorias: conocimiento del OA, satisfacción del objetivo, progreso del objetivo, progreso de la actividad, calificación, evaluación, proyecto, tarea y práctica, aunque estas podrían variar dependiendo del contexto de aplicación. Como se puede observar en dicha figura, las relaciones entre los nodos son causales. El nodo aleatorio Conocimiento OA tiene cuatro valores que son los siguientes: MB (Muy Bien), B (Bien), S (Suficiente) y NA (No Acreditado).

El nodo de decisión considera las acciones pedagógicas que serán evaluadas de acuerdo con la función de utilidad para seleccionar la mejor de ellas. Sin embar-

go, se han definido cuatro posibles acciones pedagógicas que son las siguientes: OA reto, siguiente OA, repetición refinada, y repetición del OA.

La utilidad es tomada de acuerdo al valor más alto de una función que por el momento fue definida *a priori*, con un rango de valores entre -5 y 5. Para los nodos aleatorios se propone inferir y propagar si se tiene o no el conocimiento de acuerdo a las tablas de probabilidad condicional establecidas en el MGP. La calibración de la red de decisión fue dada por el experto en el dominio. Se aplicó el esquema de red de decisión dinámica similar al mostrado en la Figura 4.

El sistema e-Learning llamado SI-Aprende se desarrolló con una arquitectura orientada a servicios de tres capas: presentación, lógica, y de datos, en el ambiente de programación .net. La figura 6 muestra la interfaz.

### Caso de estudio

Como caso de estudio se aplicaron los modelos a cursos de nivel licenciatura, Matemáticas II, Electricidad y Magnetismo, e Introducción a la Física. Los instructores diseñaron cuatro OAs de un tema específico para cada curso, los cuales fueron integrados bajo la técnica SCORM en el sistema SI-APRENDE. Se planeó que todos los alumnos partieran del mismo OA de su respectivo curso. Se diseñaron las siguientes acciones pedagógicas para lograr la adaptación a las necesidades de aprendizaje de cada estudiante: OA reto o de mayor nivel de dificultad, Siguiente OA con el mismo nivel de dificultad del OA previo, Repetición refinada del OA o con menor nivel de dificultad, y Repetición del OA.

Este conjunto de acciones pedagógicas basadas sólo en la calificación fue definido inicialmente por los instructores. Sin embargo, la navegación flexible en un ambiente SCORM es más compleja, por lo que la acción pedagógica que toma el sistema SI-APRENDE resulta de la pro-



Figura 5. Red de decisión SI-Aprende



Figura 6. Sistema SI-Aprende

Tabla 1. Población total participante

Curso	Número de alumnos	
	Grupo Foco	Grupo Control
Matemáticas II	15	15
Electricidad y Magnetismo	9	9
Física	5	5
	$N_{Foco}$ 29	$N_{Control}$ 29

pagación de la red de decisión dinámica mencionada anteriormente, que además de la calificación del OA, recibe otras variables como el progreso del objetivo y de la actividad de aprendizaje, así como la satisfacción del objetivo de aprendizaje para cada estudiante.

### Proceso de evaluación

El proceso de evaluación se llevó a cabo en tres grupos de nivel Licenciatura/Ingeniería en los cursos de Matemáticas II, Electricidad y Magnetismo, y Física del Tecnológico de Monterrey, campus Ciudad de México, impartidos por tres instructores con amplia experiencia tanto en docencia como en el área de estudio. Se contó con una población total de 58 alumnos ( $N = 58$ ) distribuidos como se muestra en la Tabla 1.

La población total de cada grupo fue dividida por los instructores en forma aleatoria para conformar dos grupos: Foco y Control. El grupo Foco estuvo conformado por los estudiantes que utilizaron el Sistema SI-APRENDE durante un periodo de tiempo específico, mientras que el grupo Control no tuvo acceso al sistema y utilizó los recursos indicados por el instructor desde la plataforma Blackboard (con la misma cantidad de recursos de aprendizaje que en el SI-APRENDE). Los tres grupos Foco fueron heterogéneos en el nivel de conocimiento de la materia, habilidades e incluso intereses, ya que estuvieron conformados por estudiantes de diversas disciplinas o carreras profesionales.

Se aplicó un *pre-Test* de un tema a todos los alumnos del curso, calificándolo en una escala de 0 a 100. El objetivo de aprendizaje fue el mismo para ambos grupos, foco y de control, no así la forma de llegar a ese objetivo, ya que en el caso del grupo foco se utilizaron los OAs inmersos en el sistema SI-APRENDE, mientras que en el grupo de control se tenían las actividades en papel, en Blackboard o de acuerdo a la planeación tradicional del curso impartido de forma presencial. Después de dos semanas de uso del sistema SI-APRENDE los instructores aplicaron una evaluación final o *post-Test* tanto al grupo foco como al grupo de control sobre el mismo tema del *pre-Test*. Para saber si había ganancias de aprendizaje se aplicó la metodología propuesta por Hake [12]. En la Figura 7 se comparan las ganancias relativas de aprendizaje obtenidas en cada grupo respecto al promedio del grupo obtenido en el *pre-Test*, siendo los grupos foco los que presentan mayor ganancia de aprendizaje.

Todos los grupos foco obtuvieron mayores ganancias de aprendizaje respecto a los grupos de control. Se observa mayor ganancia de aprendizaje en el grupo de Física, después en el de Matemáticas y por último en el de Electricidad y Magnetismo. El sistema SI-APRENDE permitió a cada estudiante llevar su propio proceso de aprendizaje, en distinto tiempo y con diferente secuencia de OAs dependiendo del conocimiento previo y del progreso obtenido, evaluado por el tutor de este sistema.

### Conclusiones y trabajo futuro

La contribución en este trabajo fue lograr la convergencia entre dos herramientas existentes para la secuencia y navegación de material de aprendizaje: SCORM y los STIs, incorporando inteligencia mediante el uso de herramientas MGPs. La aplicación de redes de decisión y redes de decisión dinámicas logró un ambiente e-Learning flexible para el aprendizaje de cada estudiante.

A futuro se propone vincular el modelo inteligente SI-APRENDE a una aplicación SCORM del sector eléctrico nacional sobre una plataforma e-Learning, que proporcione un ambiente de capacitación dinámico, interactivo y flexible, donde el personal experimente la adquisición y transferencia de habilidades y conocimientos.

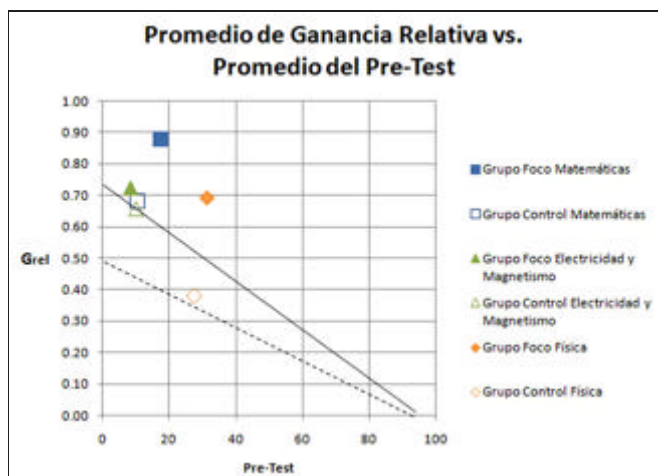


Figura 7. Promedios de ganancias

## INFORMACIÓN ADICIONAL

Se agradece a los profesores Dr. Luis J. Neri Vitela, Dr. Gerardo Aguilar y MC. Víctor Robledo, miembros del grupo de investigación en e-Learning del Tecnológico de Monterrey, campus Cd. de México, por su valiosa participación en la evaluación de este trabajo.

## REFERENCIAS

1. Rosenberg M.J. (2001). E-Learning. Strategies for delivering knowledge in the digital age. Mc Graw-Hill, p. 28.

2. ADL-Overview SCORM 2004 4<sup>th</sup> Ed. Overview Version 1.0. Washington, Advanced Distributed Learning.
3. ADL-SN SCORM 2004 4<sup>th</sup> Ed. Sequencing and navigation (SN) Version 1.0. Washington, DC, Advanced Distributed Learning.
4. Chiappe A., Segovia Y., Rincon H.Y. (2007) "Toward an instructional design model based on learning objects". *Educational Tech. Research and Development*, 55, pp. 671-681.
5. Peachey D.R., McCalla G. I. (1986) "Using planning techniques in intelligent tutoring systems". *International Journal Man-Machines Studies*, pp. 77-98.
6. Frasson C., Mengelle T., Aimeur E., Gouarderes G. (1996) "An actor-based architecture for intelligent tutoring systems". *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS'96)*, pp. 57-65. Springer.
7. ADL. Advanced Distributed Learning. Recuperado el 24/2/2009 en [www.adlnet.gov](http://www.adlnet.gov).
8. Woolf B. P. (2008) *Building Intelligent Interactive Tutors: Student-centered Strategies for Revolutionizing E-learning*. Morgan Kaufmann.
9. Beck J., Stern M., Haugsjaa E. (1996) "Applications of AI in Education". *ACM Crossroads*, 3 (1), pp. 11-15, USA.
10. Koller D., Friedman N. (2009) *Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques*, MIT Press.
11. Jensen F. V., Nielsen T. D. (2007) *Bayesian Networks and Decision Graphs*, 2<sup>a</sup> edición, Springer.
12. Hake R.R. (1998) *Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanic test data for introductory physics courses*, Am. J. Phys. 66 (1), pp 64-74.

## SOBRE LOS AUTORES



**Lilita Paz Argotte Ramos** es Licenciada en Informática, con maestría en Ciencias de la Computación por el Tecnológico de Monterrey (ITESM). Desde 1999 es investigadora del Instituto de Investigaciones Eléctricas en la Gerencia de Tecnologías de la Información. Sus áreas de interés son ambientes inteligentes de aprendizaje así como los sistemas de generación de conocimiento y capital humano.



**Julieta Noguez Monroy** recibió el grado de Doctora en Ciencias de la Computación por el Tecnológico de Monterrey. Es profesora-investigadora del Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México, desde 1995 y desde 2005 es responsable de la Cátedra de investigación en e-Learning. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel 1; de la SMIA, de la IEEE, Computer Society y de la IEEE Education Society. Sus áreas de interés son IA en Educación, Sistemas Tutores Inteligentes, Laboratorios Virtuales, e-Learning, M-Learning y Técnicas Didácticas Colaborativas.



**Gustavo Arroyo Figueroa** recibió el grado de doctor en Ciencias Computacionales por el Tecnológico de Monterrey. Ingresó al Instituto de Investigaciones Eléctricas en 1991 y desde 1999 es Gerente de Tecnologías de la Información. Miembro de la IEEE, IEEE Computer Society, Advisor AG02 CIGRE Study Committee Information Systems and Telecommunications, SMCC, SMIA, y del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT.

## ARTÍCULO INVITADO

# La omniestructura

por **Ramón Brena Pinero**

En el transcurso de este siglo XXI, diversas tendencias relacionadas con las tecnologías de la información, tales como la convergencia digital, el cómputo móvil, los servicios basados en localización, las redes sociales y el cómputo ubicuo van a acentuarse gradualmente e integrarse en una gran tendencia que discutiremos aquí.

Nosotros pensamos que no se trata de fenómenos aislados. Por ejemplo, el cómputo móvil propicia los servicios basados en localización geográfica, porque muchos celulares tienen electrónica para la geolocalización, como el GPS [1]. Otro ejemplo es la convergencia digital, que se refiere a la digitalización de imágenes, música, video, y que es ofrecida por celulares con funciones de cámara, MP3, además de su función básica de telefonía.

Todas estas tendencias se apoyan en la existencia de una infraestructura electrónica “embebida” o inmersa en nuestro entorno, y para la cual proponemos un término nuevo: la “omniestructura”. No queremos proponer un nombre sólo por inventarlo, lo que pasa es que actualmente la omniestructura no está casi desarrollada, pero lo estará dentro de no muchos años. Vienen en los años próximos transformaciones tecnológicas muy profundas, que presuponen la existencia de la “omniestructura” que explicaremos en el presente artículo.

El llamado “cómputo ubicuo”, término propuesto por Mark Weiser en 1988, también llamado “pervasivo” [2], es una tendencia tecnológica en que los dispositivos

computacionales, en vez de presentarse como los vemos ahora, con sus teclados, ratón, pantalla, cables, etc., van a estar integrados a los objetos comunes y cuya interacción con el usuario se da por medio de los gestos de la vida diaria, tales como abrir y cerrar puertas, muchas veces sin estar consciente de accionar un dispositivo computacional. En otras palabras, los dispositivos computacionales “desaparecen” al integrarse a un entorno de servicios a los usuarios, y se vuelven parte de una infraestructura. Aunque la cantidad de procesadores aumentará a miles de millones, ellos serán menos visibles que las computadoras de hoy.

El término “Inteligencia Ambiental” (AmI, por sus siglas en inglés [3]) se refiere al uso coordinado de sensores, procesadores y controles, comunicados entre ellos y apoyados por el correspondiente software, para proveer a los usuarios servicios oportunos. Presupone un escenario similar al cómputo ubicuo, pero añadiendo el aspecto de la coordinación inteligente de los múltiples dispositivos que rodean al usuario.

La AmI hace intervenir los siguientes elementos, que explicaremos adelante: Geolocalización, Sensores “embebidos”, Comunicación e Interoperabilidad, Convergencia digital, Cómputo móvil, “Internet de las cosas”, *Crowdsourcing*, y Agentes inteligentes.

## Geolocalización

La localización geográfica [1], al permitir saber dónde se encuentra



*Le chemin du ciel*, René Magritte, 1957

un usuario, permite enfocar los servicios ofrecidos de mucho mejor manera. Por ejemplo, muchos celulares permiten consultar el estado y pronóstico del clima utilizando el GPS [1] para identificar el lugar del que se quiere consultar el tiempo. Hay también servicios de búsqueda de información local, orientada sobre todo a celulares. Empresas como FourSquare se apoyan directamente en la localización del usuario para proveer sus servicios. Hay varios métodos de localización geográfica del usuario que incluyen, además del GPS, la triangulación de antenas de transmisión para celulares [4], y hasta la detección de redes inalámbricas (WiFi) [5]. No vamos a detallar esos métodos aquí, y el lector interesado puede consultar las referencias.



## Sensores “embebidos”

Los sensores “embebidos” en los objetos son otros elementos de la AmI. En efecto, el abaratamiento de la microelectrónica hace económicamente factible incluir sensores en cada vez más objetos. Por ejemplo, los sensores RFID [6] cuestan al mayoreo unos cuantos centavos de dólar cada uno, lo que permite manejarlos como reemplazo de los códigos de barras en algunas aplicaciones, como el manejo de bodegas. En Brasil se usan los sensores de RFID para etiquetar al ganado [7], reduciendo los problemas de identificación y transporte de animales. Más allá de las etiquetas RFID, en un futuro cercano será posible poner en muchos lugares sensores de monitoreo ambiental, o de detección de situaciones de riesgo tales como incendios forestales, que actualmente no son detectados hasta que un humano se apercebe.

## Comunicación e interoperabilidad

Pero los sensores servirían de poco si no tuvieran la capacidad de comunicar su información, y por ello se han desarrollado tecnologías y estándares de comunicación electrónica entre sensores y procesadores. Ejemplos de estas tecnologías son Z-Wave [8] y Zigbee [9]. Todo ellos enfatizan el bajo consumo eléctrico para aprovechar mejor las baterías integradas a los sensores. Zigbee permite a sus nodos auto-organizarse para crear redes heterárquicas, que pueden extenderse casi arbitrariamente.

Hay varios problemas en la comunicación que aún no han sido resueltos satisfactoriamente. Uno de ellos es el de la interoperabilidad entre los distintos estándares, que hoy en día compiten más que complementarse. Otro problema es la falta de estándares para el software que maneja la comunicación de alto nivel, entre los sensores, por una parte, y por la otra entre las computadoras que explotan la información proveniente de aquellos. Este tipo de software, que ha sido llamado “middleware” [10], es como el pegamento que permitiría hacer aplicaciones computacionales en donde no sería necesario conocer los detalles de implementación de la red sensorial.

## Convergencia digital

Otro elemento fundamental para el cómputo ubicuo es la convergencia digital [11], que como mencionamos anteriormente, se refiere a la digitalización de toda clase de informaciones, desde la palabra, la música, la escritura, hasta el video. Prácticamente no hay una información que no haya sido ya digitalizada. La digitalización es muy importante porque el hecho de que todo se encuentre codificado digitalmente propicia el intercambio, transporte y hasta copia de la información (esto último para desgracia de los defensores de los derechos de autor).

## Cómputo móvil

Uno de los elementos actuales más visibles de las tendencias que estamos comentando es el cómputo móvil. Los “celulares” originalmente destinados conversar únicamente, han ido agregando gradualmente más funciones, sobre todo relacionadas con sensores. Por ejemplo, un equipo iPhone® 4 tiene: acelerómetros, que permiten detectar la posición del dispositivo, así como las aceleraciones a que es sometido; giróscopo, para registrar los movimientos de rotación; brújula, que identifica la orientación; GPS, para la localización geográfica [1]; además de sensores de proximidad, de luminosidad, y la cámara y el micrófono, que son desde luego también sensores. Todos estos sensores pueden usarse en combinación para coleccionar mucha información acerca del entorno que rodea al usuario en cada momento. Y dado que el número de celulares se acerca a los 5 mil millones (de acuerdo con la agencia de telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas), ellos constituyen una fuente ubicua de información siempre cercana al usuario. Realmente es un elemento de cómputo ubicuo.

## “Internet de las cosas”

Otro elemento de gran importancia para AmI es el Internet. Tras una veintena de años de tener el Internet, nos hemos acostumbrado a la cantidad astronómica de información que contiene (unos 40,000 millones de páginas), y nos cuesta trabajo imaginar para qué aumentar esa cantidad. Por el contrario, nos inunda la información al grado de que se hace difícil encontrar lo que es valioso, por encontrarse “enterrado” debajo de montañas de basura de información.

Sin embargo, la cantidad de objetos accesibles por Internet podría explotar en los próximos años, volviéndose varios órdenes de magnitud más grandes que el Internet actual, pues en un futuro cercano serán accesibles por Internet no solamente los documentos usuales, sino también las “cosas”, tales como el agua contenida en una presa, el consumo eléctrico de la ciudad en este momento, y así en adelante. A esta tendencia hacia poder consultar el estado de los objetos materiales se le ha llamado “Internet de las cosas” (*Internet of things*) [12], que es parte de la tendencia de cómputo ubicuo.

Claro que es válido preguntarse “¿y cuál es la dirección de Internet del agua contenida en la presa de La Boca?”, y de hecho actualmente no hay aún una forma general para hacerlo, pero esto no cuestiona ni la necesidad ni la factibilidad de interrogar el estado de los objetos físicos. Simplemente se trata de retos técnicos que hay que resolver.

---

## La omniestructura lo ve todo, lo sabe todo. Lo recuerda todo. Cada puerta que es o ha sido abierta, cada paso de cada usuario frente a cada sensor, todo en principio puede ser registrado.

---

Tomando en cuenta que cada persona está rodeada por algunos miles de objetos, el “Internet de las cosas” podría tener varios millones de millones de objetos, lo que es mucho más que los 40,000 millones del Internet actual. De hecho, el “Internet de las cosas” y el de los documentos deben estar perfectamente integrados y no ser dos espacios aislados.

### *Crowdsourcing*

Una tendencia que se originó en el llamado Web 2.0 [13] es el *crowdsourcing* [14], que se refiere a la participación de múltiples individuos, a quienes se delega una tarea. El nombre evoca la “tercerización” o *outsourcing*, pero en muchos casos no se trata de ninguna forma de trato comercial. El ejemplo paradigmático del *crowdsourcing* es la Wikipedia, enciclopedia formada a partir del trabajo anónimo y gratuito de varios miles de personas.

Desde luego, el *crowdsourcing* ha sido posible gracias al Internet. A su vez, el Internet fue posible por el desarrollo de las redes de computadoras interoperables. De este modo, los distintos elementos tecnológicos se apoyan unos a otros.

El *crowdsourcing* complementa la disponibilidad de información que caracteriza al “Internet de las cosas”, y reemplaza en muchas instancias la necesidad de un sensor. Por otra parte, hay muchas informaciones que no pueden ser provistas por un sensor, por ejemplo el sabor de cierto platillo que sirven en un restaurante dado. De esta forma, la información provista por millones de personas se complementa con la proveniente de los sensores.

La tendencia del *crowdsourcing* se relaciona fuertemente con el cómputo móvil, pues las personas armadas con celulares inteligentes pueden fácilmente proveer información oportuna, la cual además es contextualizada por la ubicación geográfica detectada por el GPS.

### Agentes inteligentes

Aunque menos conocida por el público, otra tecnología que tendrá una gran influencia en la integración de todas las tendencias que hemos comentado, es la de los agentes inteligentes [15].

Los agentes inteligentes son procesos computacionales autónomos, que en vez de integrarse con otros procesos por medios rígidos tales como los llamados a procedimientos, lo hacen por medios flexibles, tales como la negociación. A diferencia de los “objetos” de las tecno-

logías orientadas a objetos que se popularizaron en los años 90, los agentes tienen larga vida y siguen sus propias metas, en vez de obedecer mecánicamente órdenes.

Los agentes inteligentes se comunican entre sí por mensajes en los que intercambian ya no comandos sino intenciones, peticiones, deseos, por lo que establecen lo que se ha llamado comunicación “intencional” [16], esto es, basada en estados mentales e intenciones. La comunicación a nivel intencional está tan alejada de la computación actual, que a un programador tradicional le debe parecer aún más extraña que a un lego. Sin embargo, las ventajas de estas formas de interacción intencional son varias:

- Por una parte, es similar a la forma en que los humanos se comunican, lo que favorece la interacción de los humanos con los agentes computacionales.
- Por otra parte, vuelve flexible la interacción entre los programas computacionales, la cual hoy en día es demasiado rígida, con respecto a los retos que se presentan en el futuro próximo.

Shoham [17] mostró cómo es posible con un lenguaje intencional, basado en estados mentales y compromisos, llegar a resultados y hacer cálculos específicos, y el lenguaje e implementación que propuso, hoy considerado obsoleto, es una prueba de concepto de la comunicación intencional.

La autonomía es otra característica de los agentes que los aleja de la computación tradicional. Imaginemos por ejemplo que queremos programar como agente inteligente a un cajero automático de un banco. Para empezar, la autonomía del agente implica que no puede recibir órdenes propiamente dichas, ni del banco ni del cliente, sino que maximiza sus metas, entre las que se encuentran desde luego la satisfacción del cliente y el beneficio del banco. Sin embargo, si usted pregunta a un gerente de informática de un banco si pondrían un agente autónomo a cumplir esta función, la negativa que recibirá no podría ser más rotunda. Y mayor rechazo aún tendría la idea de que el cajero se comunique con el banco y con los clientes por medio de mensajes sobre sus intenciones y estados mentales, en vez de recibir comandos. Y sin embargo, los cajeros humanos, que han funcionado en principio bien por cientos de años, son agentes autónomos cuya interfaz con el banco y con los clientes se da por medio de la comunicación intencional.

Ahora bien, en los escenarios de cómputo ubicuo que hemos descrito, es demasiado difícil programar los distintos componentes por medios tradicionales, y se requiere dividir la programación en pequeños “pedazos”, cada uno de ellos con cierta autonomía, para que el sistema pueda reaccionar a cambios con flexibilidad y robustez. Se requiere hacer funcionar muchísimos objetos con sensores y procesadores para que trabajen en forma coordinada y flexible. También es necesario considerar que los distintos componentes no necesariamente han sido elaborados por un mismo fabricante, y que por ello deben responder a un lenguaje común, siendo su funcionamiento interno oculto o privado. En estas condiciones, la comunicación intencional es un requisito para que los componentes, i.e. los agentes, no se apoyen en detalles internos de la implementación, sino en las metas y compromisos a que llegan con sus pares. Esto es, ni más ni menos, la comunicación intencional entre agentes.

Los métodos de coordinación entre agentes, por su misma autonomía y heterogeneidad, no pueden reposar en detalles de implementación, sino que tienen que suponer una racionalidad por parte de sus compañeros, y esto requiere apoyarse en modelos de interacción entre entidades racionales, como es el caso de la Teoría de Juegos [15]. Muchos de los métodos de coordinación entre agentes están finalmente basados en la teoría de juegos, como es el caso de la negociación, de la formación de coaliciones, etc. En estos marcos de referencia se considera a cada agente como un maximizador de utilidades, y a este tipo de agentes se les ha llamado “egoístas”, para contrastarlos con los agentes que cooperan por diseño. Sin embargo, si suponemos que los agentes de un escenario tecnológico de cómputo ubicuo pueden ser heterogéneos, el uso de agentes egoístas es realmente una necesidad.

Por ejemplo, supongamos que queremos coordinar las horas a las que van a funcionar los distintos electrodomésticos de una casa, cada uno de los cuales es representado por un agente. El problema de asignar en tiempo real bloques de tiempo al uso de consumidores de electricidad puede resolverse por varios métodos de coordinación de agentes, tales como el Contract Net [18], las subastas, las votaciones, entre otros [15].

## La omniestructura

Hemos visto varios elementos de la omniestructura, pero ¿qué es en sí?

---

**En términos muy generales, la omniestructura es una extensa infraestructura electrónica basada en dispositivos de sensado y cómputo integrados al ambiente físico en una red compleja de comunicación, que provee servicios oportunos en prácticamente cualquier lugar y momento.**

---



*Le faux miroir*, René Magritte, 1957

La omniestructura se apoya en las capacidades del ambiente, lo que disminuye los requisitos de complejidad de los individuos y aparatos que se desenvuelven en dicho ambiente. Vamos a ilustrar esta idea con un ejemplo.

Casi desde el inicio de la aviación, la velocidad de los aviones se ha medido mediante un pequeño tubo que sobresale del fuselaje, llamado tubo Pitot, el cual registra la variación en la presión atmosférica al modificarse la velocidad con que el avión surca el aire. Sin embargo, el tubo Pitot tiene a veces problemas, por ejemplo en condiciones de congelamiento. Por ello, en los aviones comerciales se pusieron varios tubos Pitot, y además se pusieron resistencias eléctricas para descongelarlos cuando eso se requiriera. Y aún así han ocurrido catástrofes aéreas debidas a la obstrucción de tubos Pitot.

La medición de la velocidad por tubos Pitot muestra cómo cuando un aparato se enfrenta de forma aislada a la naturaleza, su diseño puede complicarse al ver desbordadas sus capacidades por la misma naturaleza. Ahora bien, en años recientes, la velocidad de los aviones se mide también a través de GPS, el cual, al detectar la posición, permite detectar los desplazamientos y la velocidad. Este método requiere que haya una infraestructura que rodea al espacio del avión en todo momento, que es la disponibilidad de señales GPS, lo cual en la actualidad se puede dar por hecho. Lo interesante es que el GPS no es un equipo costoso para el que lo usa, pero sí para el que lo provee, pues requiere poner en órbita satélites que circunden la tierra.

Al comparar la medición de velocidad de aviones por GPS y por tubos Pitot, vemos que la primera solución enfatiza la infraestructura y abarata los requisitos del usuario final, mientras que la segunda hace lo contrario.

## Semillas de omniestructura

En la actualidad la omniestructura es muy incipiente, pero gradualmente va a ir instalándose en nuestro medio ambiente, sobre todo en las ciudades.

Un elemento fundamental de la omniestructura que ya existe es el GPS, pero actualmente tiene limitaciones. Su precisión es del orden de metros en el mejor caso, y a veces de centenares de metros. Además, en interiores se pierde su recepción. Por ello, varios gobiernos, que son los únicos que pueden costear estas inversiones multimillonarias, hacen esfuerzos por proveer mejores servicios de localización. Entre ellos, el sistema Galileo de la Unión Europea promete una precisión del orden de un metro o menos.

Un ejemplo del uso de infraestructura, aunque algo marginal, es la implantación de tarjetas RFID bajo las banquetas de todo el poblado de Laveno Mombello, Italia [19], para que los invidentes, equipados con unos bastones especiales, puedan guiarse en cualquier calle por la que anden. Esto integra características de la omniestructura: sensores “embebidos” en objetos físicos, énfasis en el medio ambiente más que en el objeto que navega en él, ambiente preparado para proveer servicios al individuo.

Otro ejemplo muy interesante es el del “pavimento inteligente”, proyecto de la empresa española Via Inteligente [20], que es una cubierta para la superficie de las calles, pero que incluye servicios digitales integrados, para aplicaciones tales como comprar entradas, control del medio ambiente, aplicaciones de seguridad ciudadana, servicios a adultos mayores, e incluso monitoreo del tráfico de vehículos. Comparado con el pavimento tradicional, que únicamente provee una superficie de soporte, este pavimento se sitúa completamente en la perspectiva de la omniestructura, porque además el pavimento está distribuido por todas partes en la ciudad.

## Ejemplos de escenarios futuros

La existencia de una omniestructura que incluya el “Internet de las cosas”, sensores “embebidos”, cómputo móvil y localización, entre otros servicios integrados de AmI, favorecerá el uso eficiente de recursos. Por ejemplo, no iremos más a tienda sólo para encontrarla cerrada al llegar, una vez que sus horas de apertura y cierre de todas puedan consultarse, sino por los horarios servicio publicados, al menos por el estado de los sensores de las puertas en la tienda, los cuales podrían consultarse en el “Internet de las cosas”.

Otro ejemplo interesante de escenario de AmI es el siguiente. Supongamos que trabajamos en un edificio de 50 pisos con elevadores, en donde la llegada al *lobby* de los elevadores para encontrarse con que un elevador acaba de irse de nuestro piso, además de ser muy molesto, provoca innumerables pérdidas de tiempo. Pues bien, lo que haremos en adelante será dirigir nuestro celular hacia un código impreso junto a los elevadores (al estilo de los códigos QR [21]), el cual, al registrarse, permitirá que el celular se “suscriba” a la información en cuestión en el “Internet de las cosas”, para así obtener informes sobre en qué piso va cada elevador. Eso va a permitir que en un

*widget* del celular el usuario pueda, de ahora en adelante, consultar desde cualquier lugar donde se encuentre, los pisos en que se halla cada uno de los elevadores del edificio, y tenga elementos para acercarse a ellos en momentos más oportunos. Más aún, el registro del usuario le permitiría influir en las decisiones de coordinación de los elevadores, pues los sensores del celular (y del edificio) detectarán que el usuario se aproxima a la zona de elevadores. Con base en la información colectada por los elevadores sobre los pisos de origen y destino habituales de ese usuario en particular, podrán incorporar dicha información a su toma de decisiones, por ejemplo esperando un par de segundos más para dar tiempo a que el usuario ingrese al elevador, si eso fuera necesario.

Los elevadores “inteligentes”, operados por agentes, que han sido descritos previamente, tratan de minimizar el tiempo de espera de sus usuarios, pero también tratan de economizar electricidad. El grado en que satisfacen cada una de estas metas puede variar al modificarse el precio de la electricidad, y esto es difícil de incorporar en un software tradicional de manejo de elevadores, pero podría hacerse en el software basado en agentes.

## Privacidad con la omniestructura

La privacidad de que disfrutaban nuestros abuelos provenía sobre todo de la falta de información. Todo mundo paseaba por las calles de manera anónima, a menos que se toparan con alguien conocido. Pues bien, en el mundo de la omniestructura, que empieza a perfilarse desde nuestros días, la privacidad ya no va a disfrutarse por la falta de información, sino que será necesario tomar acciones explícitas para su protección.

Por ejemplo, en fechas recientes investigadores del área de seguridad computacional, de apellidos Allan y Warden, descubrieron la existencia de un archivo oculto en el iPhone®, donde a intervalos regulares se graba la información de dónde ha estado uno (tomada a partir del GPS del celular), así como el momento en que uno estuvo ahí.

En efecto, cada iPhone® 4 ha estado grabando su ubicación con tiempos, todos los días, varias veces por día. Además, hay un programa en donde usted puede ver la ubicación registrada y todos sus desplazamientos desde que tiene el sistema operativo iOS4 (estrictamente no se requiere un iPhone 4, se puede usar en un iPhone® 3GS actualizado al iOS4). En el iOS4 hay un archivo oculto llamado *consolidated.db*, donde se almacena toda la información que estamos comentando. Desde luego al descubrirse no solamente la existencia del archivo *consolidated.db*, sino el hecho de que esta información no está encriptada, muchos partidarios de la privacidad en Estados Unidos y en Inglaterra mostraron su indignación y preocupación por el rastreo inadvertido de que han sido objeto los usuarios de celulares inteligentes por más de un año.

Y este caso del iPhone® no es nada comparado con las posibilidades de intrusión de la omniestructura electrónica. La omniestructura lo ve todo, lo sabe todo. Lo recuerda todo. Cada puerta que es o ha sido abierta, cada paso de cada usuario frente a cada sensor, todo en principio puede ser registrado.

La privacidad frente a la omniestructura requiere un cuidadoso diseño en que los datos que deben ser anonimizados [22] pierdan la información de la identidad de la persona, los datos que deben ser olvidados sean efectivamente destruidos, y que los datos que deban ser recordados lo sean para el beneficio social dentro del respeto al individuo. Todo esto no va a ser dado automáticamente por la omniestructura, sino que requiere ser introducido a ella en forma explícita.

Sólo en condiciones de respeto al individuo la omniestructura será el apoyo que potenciará mayores logros de la humanidad, y no el calvario de vidas regidas por el *Big Brother* [23].

## REFERENCIAS

1. Kaplan E., Hegarty C. (2006) *Understanding GPS: Principles and applications*, 2ª edición, Artech House.
2. Weiser M. (1993) "Ubiquitous computing", *Computer*, pp. 71-72.
3. Aarts E., Harwig R., Schuurmans M. (2004) *Ambient intelligence*, Springer-Verlag.
4. Savoie P.A.R., Boulay A.E. (1999) *Vehicle tracking system using cellular network*, US Patent 5,895,436.
5. Krumm J., Horvitz E. (2004) "Locadio: Inferring motion and location from wi-fi signal strengths", *First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous 2004)*, pp. 4-13.
6. Finkenzeller K., Muller D. (2010) *RFID Handbook: Fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication*, Wiley.
7. Ribeiro P.C.C., Scavarda A.J., Batalha M.O. (2010) "RFID in the international cattle supply chain: context, consumer privacy and legislation", *International Journal of Services and Operations Management*, pp. 149-164.
8. Galeev M.T. (2006) "Catching the Z-Wave", *Embedded Systems Design*, Vol. 19 No. 10, pp. 28.
9. Kinney P. (2003) "Zigbee technology: Wireless control that simply works", *Communications design conference*, Vol. 2. San Jose, CA.
10. Ranganathan A., Campbell R.H. (2003) "A middleware for context-aware agents in ubiquitous computing environments", *Proceedings of the ACM/IFIP/USENIX 2003 International Conference on Middleware*, pp. 143-161, Springer-Verlag.
11. Yoffie D.B. (1997) *Competing in the age of digital convergence*, Harvard Business Press.
12. Gershenfeld, N. and Krikorian, R. and Cohen, D., The Internet of Things, *Scientific American* 291-4, pp76-81, 2004.
13. O'Reilly T. (2007) "What is Web 2.0: Design patterns and business models for the next generation of software", *Communications and Strategies*, Vol. 65, No. 17.
14. Howe J. (2006) "The rise of crowdsourcing", *Wired magazine*, Vol. 14, No. 6, pp. 1-4.
15. Shoham Y., Leyton-Brown K. (2009) *Multiagent systems: Algorithmic, game-theoretic, and logical foundations*, Cambridge Univ Press.
16. Simonyi C. (1995) "The death of computer languages, the birth of intentional programming", *NATO Science Committee Conference*.
17. Shoham Y. (1992) "AGENT0: A simple agent language and its interpreter", *Proceedings of the Ninth National Conference on Artificial Intelligence*, Vol. 2, pp. 704-709.
18. Smith R.G. (1980) "The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver", *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 100, No. 12, pp. 1104-1113.
19. Wessel R. (2008) "Tags Lead the Way for Blind in EU-Funded Pilot", *RFID Journal*, [www.rfidjournal.com/article/print/3888](http://www.rfidjournal.com/article/print/3888).
20. Vía inteligente, [www.viainteligente.com](http://www.viainteligente.com)
21. Nakashima H., Aghajani A., Augusto J.C. (2010) *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*, Springer.
22. Gedik B., Liu L. (2005) "Location privacy in mobile systems: A personalized anonymization model", *Proceedings of the 25th International Conference on Distributed Computing Systems ICDCS 2005*, pp. 620-629.
23. Orwell G. (1949) *1984*, Harvill Secker.

## SOBRE EL AUTOR



**Ramón Brena** es profesor titular en el Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey, desde 1990, donde dirige la cátedra de investigación "Inteligencia de Contexto". El Dr. Brena obtuvo un doctorado del INPG, Grenoble, Francia. Ha publicado trabajos en las áreas de Agentes Inteligentes y Sistemas Multiagente, representación y distribución del Conocimiento, Web Semántico, e Inteligencia Artificial en general. El Dr. Brena es miembro de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, la AAAI, la ACM, y es miembro nivel I del Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT.

## COLUMNAS

## IA &amp; Educación

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

## ¿Por qué estudiar Inteligencia Artificial en México?

Los avances recientes han mejorado el entendimiento de las bases teóricas de la inteligencia y esto ha permitido mejoras en la optimización de los sistemas computacionales y de tecnologías de la información. La inteligencia artificial sintetiza y automatiza tareas intelectuales y por ello podría aplicarse a cualquier ámbito de la actividad intelectual humana [1]. Las diversas áreas de la inteligencia artificial se han integrado cada vez más a otras disciplinas, entre las que destacan la medicina, economía, finanzas, computación y educación entre otras.

El especializarse en Inteligencia Artificial a través de una maestría o doctorado no sólo es tener la oportunidad de entender cómo pensamos, es también tener la oportunidad de construir entidades inteligentes y desarrollar soluciones que ayuden a optimizar procesos y mejorar la toma de decisiones en diversos ámbitos.

## La enseñanza de la IA en México

En México se tienen importantes recursos humanos formados tanto en el país como en el extranjero, y que colaboran en diversas instituciones de educación e investigación, públicas y privadas, participando en la formación de recursos humanos. Aunque por espacio no podemos ser exhaustivos, resumimos en las Tablas 1 y 2 información de los programas educativos más relevantes, reconocidos por su excelencia educativa en el Programa Nacional de Posgrado de Calidad por el CONACYT [2], relacionados con la enseñanza de la inteligencia artificial en México.

Estudiar un posgrado en Inteligencia Artificial te brindará importantes oportunidades de desarrollo. “El vertiginoso desarrollo de las ciencias computacionales y las tecnologías de la información ha demandado la creciente incorporación de la inteligencia artificial a todo tipo de procesos y dispositivos: desde algoritmos inteligentes que auxilian en la selección de personal en una empresa o en la asignación de horarios y salones en una escuela, hasta los dispositivos computacionales integrados a los autos y lavadoras de modelo reciente, pasando por una gama de programas inteligentes incorporados a las computadoras personales y aquellos integrados en la operación de la Web” [3].

Tabla 1. Instituciones Públicas

<p>Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas y Sistemas; Universidad Nacional Autónoma de México</p> <p><b>Maestría y Doctorado en Ciencia e Ingeniería de la Computación</b></p> <p><a href="http://www.iimas.unam.mx/index.php/pages/posgrado-ciencia_ingenieria">www.iimas.unam.mx/index.php/pages/posgrado-ciencia_ingenieria</a></p> <p>Maestría orientada a: ■ Mejorar la práctica de la ciencia e ingeniería de la computación en el ámbito productivo ■ Capacitar a maestros de nivel técnico, licenciatura y maestría ■ Iniciar estudiantes en la investigación.</p> <p>El doctorado tiene como objetivos: ■ Preparar al alumno para realizar investigación original, de frontera y competitiva en el ámbito internacional ■ Generar desarrollo tecnológico de alta calidad en ciencia e ingeniería de la computación.</p> <p>Entre sus campos de conocimiento está la IA.</p>
<p>Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica</p> <p><b>Maestría y Doctorado en Ciencias en la especialidad en Ciencias Computacionales</b></p> <p><a href="http://yolotli.inaoep.mx/computacion">yolotli.inaoep.mx/computacion</a></p> <p>La maestría y el doctorado tienen como objetivos: ■ Preparar investigadores capaces de identificar y resolver problemas científicos fundamentales en Ciencias Computacionales, con capacidad de liderazgo y acción independiente ■ Formar recursos humanos de alto nivel con capacidad para participar en la generación de conocimientos científicos básicos y contribuir al desarrollo de nuevos campos en investigación.</p> <p>Entre sus líneas de investigación relacionadas con la IA están aprendizaje automático y reconocimiento de patrones, percepción por computadora, y procesamiento de lenguaje natural.</p>
<p>Universidad Veracruzana</p> <p><b>Maestría en Inteligencia Artificial</b></p> <p><a href="http://www.uv.mx/mia/bienvenida">www.uv.mx/mia/bienvenida</a></p> <p>Sus objetivos son: ■ Proporcionar herramientas y conocimientos básicos, para el desarrollo de sistemas basados en técnicas de Inteligencia Artificial y áreas afines ■ Formar profesionales de alto nivel, capaces de proponer y desarrollar soluciones prácticas a problemas complejos de la esfera productiva, que incorporen distintas tecnologías de frontera.</p>

## Continuación de la Tabla 1

<p>Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional</p> <p><b>Maestría y Doctorado en Ciencias en Computación</b></p> <p><a href="http://www.cinvestav.mx/Posgrado.aspx">www.cinvestav.mx/Posgrado.aspx</a></p> <p>Tiene como objetivo: ■ Preparar especialistas con un conocimiento profundo y amplio de la disciplina computacional y con la capacidad de generar conocimiento en la misma.</p> <p>Tiene asociada la línea de investigación Fundamentos de la Computación e Inteligencia Artificial.</p>
<p>Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico</p> <p><b>Maestría y Doctorado en Ciencias Computacionales</b></p> <p><a href="http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-dcc/laboratorios/intartificial">www.cenidet.edu.mx/subaca/web-dcc/laboratorios/intartificial</a></p> <p>Aunque en su portal web no se describen los objetivos de los programas, se menciona que su cuerpo académico está desarrollando temas de investigación centrados principalmente en la visión artificial y el reconocimiento de patrones, apoyado en diversas técnicas de Inteligencia Artificial.</p>

## Tabla 2. Instituciones Privadas

<p>Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Ciudad de México</p> <p><b>Maestría en Ciencias Computacionales con especialidad en Sistemas Inteligentes</b></p> <p><a href="http://www.ccm.itesm.mx/egia/mcc.html">www.ccm.itesm.mx/egia/mcc.html</a></p> <p>El objetivo es: ■ Formar especialistas en la aplicación del método científico a la solución de problemas relacionados con la Inteligencia Artificial, mediante el uso adecuado de las diferentes disciplinas de las ciencias computacionales y podrá aplicar conceptos generales de sistemas inteligentes a la solución específica de problemas.</p>
<p>Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey</p> <p><b>Maestría en Sistemas Inteligentes</b></p> <p><a href="http://www.itesm.edu/wps/wcm/connect/itesm/tecnologico+de+monterrey/maestrias+y+doctorados/maestrias/programas/tecnologias+de+informacion+y+electronica/mit">www.itesm.edu/wps/wcm/connect/itesm/tecnologico+de+monterrey/maestrias+y+doctorados/maestrias/programas/tecnologias+de+informacion+y+electronica/mit</a></p> <p>Su objetivo es: ■ Formar graduados exitosos en sistemas inteligentes capaces de contribuir en la solución problemas del entorno productivo y/o de la investigación, innovadores y emprendedores capaces de generar patentes, productos y empresas de base tecnológica y capaces de adaptarse a los cambios tecnológicos y metodológicos de las ciencias computacionales.</p>

## Continuación de la Tabla 2

<p>Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Ciudad de México, Estado de México y Cuernavaca</p> <p><b>Doctorado en Ciencias Computacionales con especialidad en Sistemas Inteligentes</b></p> <p><a href="http://www.ccm.itesm.mx/egia/dcc.html">www.ccm.itesm.mx/egia/dcc.html</a></p> <p>Su objetivo es: ■ Formar graduados capaces de desarrollar sistemas computacionales inteligentes que podrán ser aplicados a la solución de problemas diversos como: optimización de procesos industriales, búsqueda de información inteligente, desarrollo de sistemas de diagnóstico y supervisión.</p>
<p>Laboratorio Nacional de Informática Avanzada, A.C.</p> <p><b>Maestría en Computación Aplicada</b></p> <p><a href="http://www.lania.edu.mx">www.lania.edu.mx</a></p> <p>Su objetivo es: ■ Formar profesionistas de alto nivel en Computación Aplicada, con conocimientos avanzados en tecnologías emergentes en las áreas de Ingeniería de Software, Sistemas Distribuidos, Bases de Datos y Cómputo Inteligente, capaces de generar soluciones novedosas para resolver problemas complejos que se encuentran en los diferentes sectores productivos utilizando técnicas avanzadas de computación.</p>
<p>Universidad de las Américas Puebla</p> <p><b>Maestría y Doctorado en Ciencias de la Computación</b></p> <p><a href="http://posgradoscem.udlap.mx">posgradoscem.udlap.mx</a></p> <p>Algunos de sus objetivos son: ■ Apoyar el desarrollo de recursos humanos de calidad en las líneas de investigación de relevancia para México, a nivel doctorado, promoviendo el desarrollo de nuevas tecnologías tanto en la industria como en otros centros de investigación e instituciones académicas. ■ Proporcionar un medio académico que propicie la investigación en informática y automatización, así como el desarrollo de recursos humanos en estas áreas.</p>

## REFERENCIAS

1. Russell S., Norvig P., (2004) Inteligencia Artificial. Un enfoque moderno. Pearson Prentice Hall. Segunda Edición. Reimpresión en español. México.
2. CONACYT, Padrón Nacional de Posgrado PNP. [www.conacyt.gob.mx/Becas/Calidad/Paginas/Becas\\_ProgramasPosgradosNacionalesCalidad\\_SolicitantesPNP.aspx](http://www.conacyt.gob.mx/Becas/Calidad/Paginas/Becas_ProgramasPosgradosNacionalesCalidad_SolicitantesPNP.aspx). Fecha de consulta: Febrero 2011.
3. Martínez M.M. ¿Qué esperar de la inteligencia artificial? La Jornada Veracruz. Noviembre 11, 2010. [www.jornadaveracruz.com.mx/Noticia.aspx?ID=101111\\_125000\\_899](http://www.jornadaveracruz.com.mx/Noticia.aspx?ID=101111_125000_899). Fecha consulta: Febrero 2011.

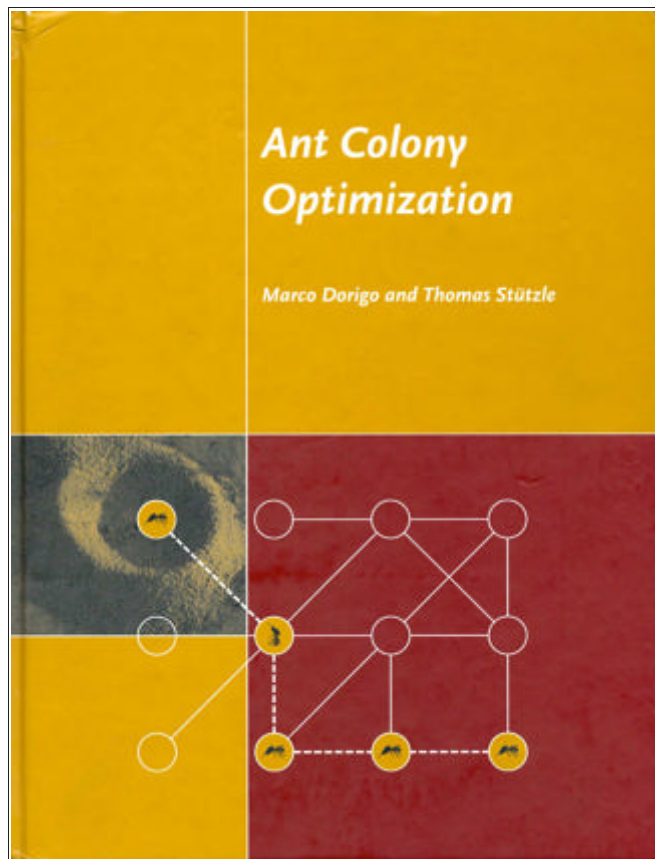
## COLUMNAS

# Deskubriendo Konocimiento

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

## *Ant Colony Optimization* de Marco Dorigo y Thomas Stützle

por **Marco Antonio de Luna Llamas**



Portada del libro, MIT Press.

Existen problemas de optimización en diversas áreas del conocimiento, en particular en problemas de combinatoria (problemas con mezcla de variables de decisión continuas y discretas), en los cuales no es posible obtener una solución óptima mediante un modelo matemático específico, u obtenerla mediante la aplicación de un algoritmo exacto requiere gran cantidad de recursos computacionales. Para este tipo de problemas, el uso y desarrollo de métodos heurísticos ha permitido obtener eficientemente soluciones óptimas o soluciones muy cercanas al óptimo. Algoritmos heurísticos han sido desarrollados, entre otras áreas de aplicación, para resolver problemas de asignación, problemas de transporte, pro-

blemas de programación (*scheduling*) y para el diseño de sistemas de producción [1-3].

Algunos de los algoritmos heurísticos requieren de otros métodos aún más generales para la creación y evaluación de alternativas (instancias) de solución, los cuales, a partir de establecer un conjunto de reglas, suelen discriminar entre “soluciones buenas” y “soluciones malas”. Estos últimos son denominados métodos metaheurísticos [4-7].

Los métodos metaheurísticos hacen uso de procesos iterativos en los cuales, a partir de la determinación de un espacio de búsqueda de solución y de la aplicación de reglas generales abstractas (algunas de ellas basadas en aspectos de la naturaleza), converge a un conjunto de soluciones, entre las que se puede encontrar la solución óptima. Quizás algunos de los métodos metaheurísticos más utilizados son los algoritmos de estrategia evolutiva (entre los que destacan los algoritmos genéticos -*genetic algorithms*-), los algoritmos voraces o glotones (*greedy algorithms*), búsqueda tabú, recocido simulado (*simulated annealing*) y aquellos basados en el comportamiento y/o inteligencia de enjambres, entre los que destaca el método de optimización por colonias de hormigas (*ant colony optimization*) y el de parvadas.

Marco Dorigo es el creador del método metaheurístico de optimización llamado *Ant Colony Optimization* (ACO). En el libro que lleva el mismo nombre que el método desarrollado, Dorigo y Stützle narran cómo a partir de la observación del comportamiento de las colonias de hormigas desarrollaron un método computacional para encontrar soluciones a optimización combinatoria. La idea parece sencilla, si las hormigas son capaces de encontrar siempre, a pesar de los obstáculos, el camino más corto desde su hormiguero hasta la comida, entonces identificando el algoritmo de “trabajo” de las hormigas, identificando cómo ellas desarrollan la inteligencia grupal, se podrían utilizar para resolver problemas “humanos” de optimización.

A pesar de la simpleza de la observación del comportamiento de la naturaleza, llevar la idea a la práctica no es sencillo, ¿cómo se puede “recrear” o “modelar”



computacionalmente las formas de comunicación existentes entre las hormigas que les permiten identificar y eliminar caminos poco eficientes, encontrando la solución óptima a su problema de alimentación y transporte?

La respuesta a la pregunta se presenta en un texto dividido en siete bien organizados capítulos. En los dos primeros capítulos, Dorigo y Stützle presentan de manera clara, para neófitos y expertos en problemas de optimización, una introducción a los problemas de combinatoria e introducen el método de optimización por colonias de hormigas; explican de manera general y con un lenguaje sencillo los resultados de estudios de observación del comportamiento de las colonias de hormigas que inspiraron el metaheurístico desarrollado.

En el capítulo 1 los autores muestran las características principales del metaheurístico ACO. La idea principal de ACO es que los principios de auto-organización que crean un comportamiento altamente coordinado en las colonias de hormigas reales, pueden ser utilizados para coordinar poblaciones de agentes artificiales que colaboran para resolver un problema computacional. Después de explicar con detalle superficial el ACO como una herramienta para resolver problemas de minimización de costo, el capítulo cierra explicando algunos experimentos que permiten entender con claridad la importancia de algunos aspectos del ACO: evaporación, número de hormigas, y actualización del tipo de feromona.

Un punto a destacar del libro es que al final de cada capítulo, los autores presentan cuatro secciones: una sección de discusión, otra de comentarios de referencias bibliográficas invitando al lector a profundizar en el tema, una tercera sección de puntos de gran importancia de cada capítulo, es decir, aquellos puntos que se debería comprender antes de iniciar el siguiente capítulo y por último, un conjunto de ejercicios y problemas.

En el capítulo 2 los autores introducen una clasificación de problemas complejos y una comparación del ACO con otros métodos metaheurísticos. La comparación es realizada desde un punto de vista conceptual y no desde el enfoque del análisis del desempeño para encontrar las “respuestas óptimas” (por ejemplo, uso de recursos computacionales) o de la eficacia de cada uno de los métodos comparados. Esto es un punto que algunos lectores habrían deseado que se incluyera; sin embargo, la comparación conceptual realizada es clara.

Como es de esperarse, los autores concluyen que el método propuesto presenta varias características que lo hacen único: utiliza una población (colonia) de hormigas para construir soluciones explorando una forma de memoria indirecta denominada feromonas artificiales. Recalcan que la solución óptima será aquella con mayor concentración de feromonas, dado que las feromonas de aquellas soluciones no óptimas sufren un proceso de evaporación, convirtiéndose en soluciones “olvidadas”.

En esta sección del libro los autores presentan con su-

ficiente detalle la descripción y pseudocódigos de varios metaheurísticos, lo que permite, a partir de la comparación, crear una idea clara del funcionamiento de ACO y de las diferencias existentes con otros metaheurísticos. Además, los autores identifican y explican en qué tipo de problemas se puede aplicar el metaheurístico desarrollado. Los problemas señalados son: “ruteo”, planeación, programación (*scheduling*), asignación y *ordering*.

En el capítulo 3, utilizando el problema clásico del agente viajero, Dorigo y Stützle profundizan en la descripción del ACO. Los ejemplos o “instancias” utilizados para la realización de los experimentos de la familia de ACO son ejemplos que han sido utilizados en una cantidad importante de estudios. Esto le da seriedad a la investigación, convirtiéndose este capítulo en la parte esencial del libro. Se presenta con suficiente detalle las guías, reglas y pseudocódigo con la implementación de la familia de metaheurísticos bioinspirados en cuestión, así como resultados del desempeño del ACO.

Es interesante y/o sorprendente descubrir que a partir de una respuesta inicial aleatoria se puede encontrar soluciones óptimas a problemas complejos. Aunque en el capítulo 3 se aborda el problema del agente viajero, se ha demostrado que el ACO es útil para resolver problemas de optimización de naturaleza distinta al problema de la ruta más corta.

La explicación de los autores es clara y concisa, quizás un lector pudiera esperar la aplicación de ACO a otros problemas de optimización explicados en el capítulo 2, y no centrarse exclusivamente en el problema del agente viajero. Sin embargo, este capítulo debe considerarse como referencia esencial para aquellos interesados en problemas de optimización y en particular de los problemas de optimización que involucran combinatoria.

El libro está editado en 2004, y en el capítulo 4 se presentan resultados de investigaciones teóricas del ACO. Las referencias utilizadas son de trabajos publicados como máximo en 2002. Por ello, este capítulo debe observarse con cierta cautela. Aquellos interesados en aspectos teóricos del ACO deberían tomar como base este capítulo y completar su investigación bibliográfica en fuentes más recientes. Sin embargo, los resultados presentados son interesantes al comparar el desempeño del ACO con otros métodos.

El capítulo 5 está dedicado a demostrar y explicar cómo el ACO puede ser adaptado para encontrar soluciones óptimas en algunos problemas NP-Hard, en particular problemas de combinatorias del tipo: “ruteo”, asignación, planeación y programación (*scheduling*). El entendimiento del material puede llegar a ser difícil para aquellos que no están familiarizados con el tipo de problemas explicados y con la simbología utilizada, además se vuelve complejo por la cantidad de algoritmos y trabajos a los cuales se hace referencia. El capítulo 5 es el capítulo más extenso y el más difícil de digerir, aunque sí queda

claro que existen un conjunto de principios y guías que permiten al ACO ser una alternativa importante a tomar en cuenta para resolver problemas de optimización.

En el capítulo 6 los autores presentan otra aplicación del ACO, el AntNet. Después de leer el capítulo 5 queda la impresión que el capítulo 6 está de más, al ser un problema extensión de ACO y de los problemas abordados en los capítulos 1 y 3. Sin embargo es interesante ver cómo metodológicamente los autores abordaron el problema de optimización de “ruteo” en redes de telecomunicación.

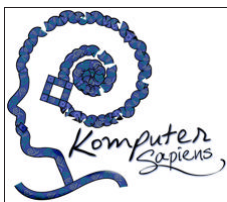
Finalmente, el capítulo 7 está dedicado a establecer conclusiones, avances en una década del ACO y delinear trabajos futuros. Este capítulo puede ser de interés a inves-

tigadores y estudiantes de posgrado, ya que se identifican otros modelos bioinspirados, líneas o direcciones de investigación, así como áreas de exploración de aplicación de ACO, por ejemplo la paralelización del ACO y la aplicación del ACO para resolver problemas dinámicos y problemas multiobjetivo. En la literatura ya existen trabajos de tal naturaleza, demostrando con ello que ACO sigue vigente y que es útil en un buen número de problemas, principalmente de optimización combinatoria.

En conclusión, el libro de *Ant Colony Optimization* es un libro que investigadores, académicos e interesados en métodos metaheurísticos y problemas de combinatoria debería tener como fuente de referencia y estudio. 🌟

## REFERENCIAS

1. Laporte G., Gendreau M., Potvin J.-Y., Semet, F. (2000) “Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem”, *International Transactions in Operational Research*, 7, pp. 285–300.
2. Framinan J.M., Gupta J.N.D., Leisten R (2004) “A review and classification of heuristics for permutation flowshop scheduling with makespan objective”, *Journal of the Operational Research Society*, 55, pp. 1243–1255.
3. Ruiz R., Maroto C. (2005) “A comprehensive review and evaluation of permutation flowshop heuristics”, *European Journal of Operational Research*, 165 (2), pp. 479-494.
4. González, T.F. -editor- (2006) *Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics*, Chapman & Hall/CRC Computer & Information Science Series.
5. Singh S., Sharma R. (2006) “A review of different approaches to the facility layout problems”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30(5), pp. 425-433.
6. Vallada E., Ruiz R., Minella G. (2008) “Minimising total tardiness in the m-machine flowshop problem: A review and evaluation of heuristics and metaheuristics”, *Computers and Operations Research*, 35 (4), pp. 1350-1373.
7. Guner Goren H., Tunali S., Jans R. (2010) “A review of applications of genetic algorithms in lot sizing”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 21(4), pp. 575-590.



## ¡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. **Volumen especial en preparación sobre Aprendizaje Computacional.**

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





Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, A.C.  
[www.smia.org.mx](http://www.smia.org.mx)

---

*10th Mexican International Conference on Artificial Intelligence  
MICA I 2011*

November 26 - December 4, Puebla City (near Mexico City), Mexico

[www.micai.org/2011](http://www.micai.org/2011)

Submission: June 10, 2011 (abstract), June 17, 2011 (full paper)



**General Information**

Topics: all areas of Artificial Intelligence, research or applications.

Workshops and tutorials ■ Travel grants for student authors ■ Best papers awards.

**Proceedings**

Springer LNAI & special issues of journals anticipated; blind reviewing ■ Poster session: IEEE CPS anticipated.

**Venue & Tours**

Puebla City: near Mexico City (1,5 hours). Regular buses are available ■ Tours: Great Pyramid of Cholula and Cacaxtla. More tours anticipated. While passing through Mexico City, you can visit Ancient pyramids of Teotihuacan – one of the most important archaeological sites in the Americas.

---

**UCAmI 2011**

**V International Symposium on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence**

December 5-9, 2011 - Riviera Maya, Mexico

[mami.uclm.es/ucami2011](http://mami.uclm.es/ucami2011)

Ambient Intelligence (AmI) environments are integrated by several autonomous computational devices of modern life ranging from consumer electronics to mobile phones. Ideally, people in an AmI environment will not notice these devices, but they will benefit from the services they provide them. Such devices are aware of the people present in those environments by reacting to their gestures, actions and context. Recently the interest in Ambient Intelligence Environments has grown considerably due to new challenges posed by society, demanding highly innovative services such as vehicular ad hoc networks, Ambient Assisted Living, e-Health, Internet of Things and Home Automation among others.

The main goal of this conference is to provide a discussion forum where researchers and practitioners on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence can meet, disseminate and exchange ideas and problems, identify some of the key issues related to these topics, and explore together possible solutions and future works.

---

**AAMAS 2012**

**11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems**

June 4-8 2012 - Universitat Politècnica de València; Valencia, Spain

[aamas2012.webs.upv.es](http://aamas2012.webs.upv.es)

Abstracts: 7 October 2011 ■ Full papers: 12 October 2011 ■ Notification: 21 December 2011.