

## TUTORES INTELIGENTES EN LA ENSEÑANZA DE LA MATEMÁTICA EN SECUNDARIA

Ismael Morales Garay, Maynor Jiménez Castro  
Universidad Estatal a Distancia, Universidad de Costa Rica  
ismorales@gmail.com, maynorj@gmail.com  
Campo de investigación: Educación a distancia  
Tecnología avanzada

Costa Rica

Nivel: Medio

**Resumen.** *En este artículo se presentan las características de los Sistemas Tutores Inteligentes, su definición, los distintos componentes que lo integran y sus interrelaciones entre sí. Igualmente, se alude a las características y ventajas de este tipo de herramienta para la enseñanza de la matemática a distancia por medio de la Web y al final se presenta el caso de un Tutor Cognitivo, basado en inteligencia artificial, para la enseñanza de la Matemática en secundaria (versión en inglés), el cual se utiliza con gran éxito en los EEUU y presenta características muy importantes que pueden ser ajustadas a las necesidades de un proyecto que se desea implementar en Costa Rica, para la realización del Bachillerato de Matemática en Línea.*

**Palabras clave:** tutores inteligentes, enseñanza de la matemática, tutor cognitivo, aprendizaje en línea, tecnología avanzada

### Introducción

El desarrollo de la tecnología hoy día ha permitido que el proceso enseñanza-aprendizaje se haya diversificado sobre todo en la forma en cómo aprendemos. La incorporación de la tecnología en los procesos de enseñanza asistida, se ha ido incrementando, sobre todo en campos como la medicina, ingeniería, el modelaje matemático entre otros. La historia nos dice que en la década de los 70's los investigadores hicieron sus primeros aportes en modelos de enseñanza asistida, y como fruto de esa investigación surgió la llamada (IAC) Instrucción Asistida por Computador, que presentaba grandes limitaciones en el campo pedagógico, como por ejemplo: incapacidad para aceptar preguntas no anticipadas, falta de comprensión de los errores de los estudiantes, incapacidad de aprendizaje, entre otras. Sin embargo, para la década de los 90's e inicios de la actual década los avances en materia de inteligencia artificial aplicada a la enseñanza ha dado pasos esperanzadores. Básicamente, estas tecnologías se apoyan en estudios profundos y de varias décadas en temas como: *teorías del aprendizaje, agentes inteligentes, interfaces humano-computadora, modelos cognitivos* entre otros grandes tópicos.

Desde el año 2006 hemos venido investigando la temática de los tutores inteligentes con el propósito de formular un proyecto, para crear un sistema tutor inteligente, que ayude a las

poblaciones estudiantiles de secundaria que tienen pendiente la aprobación del examen de bachillerato en Matemática. En Costa Rica, cerca de 33 531 jóvenes han quedado fuera del sistema de educación formal y están a la espera de aprobar el examen de bachillerato en matemática, según los últimos datos del Ministerio de Educación, brindados a finales del año 2008. Aunado a esto, los estudiantes que han logrado aprobar el examen de bachillerato están poco preparados para enfrentar los primeros cursos de matemática en la universidad. Es por ello que en las universidades del Estado, se han adecuado cursos especiales para los estudiantes de primer ingreso, de forma que puedan subsanar la baja preparación matemática y la incursión en los cursos universitarios de matemática no sea tan desalentadora.

Un aspecto notable en el aprendizaje de la matemática, es que los estudiantes en general, no son sólidamente preparados para la resolución de problemas, sino que su preparación se fundamenta en el aprendizaje de procedimientos mecánicos que muchas veces no saben por qué se realizan. Esta situación también ha incidido en el comportamiento del estudiante, el cual prefiere aprender a resolver los exámenes de bachillerato con la ayuda de la calculadora, a base de estrategias de prueba y error y sin conocer y entender el concepto matemático que le es evaluado. Por otro lado, la incorporación de las tecnologías de información y comunicación en la educación costarricense, se ha venido incrementando desde sus inicios en el año 1988. Según el informe UCR (2007), su cobertura en la educación secundaria ronda el 70% de la población estudiantil. Aunado a este proceso, otras universidades y organizaciones públicas han instalado en muchos centros de población, laboratorios de cómputo a disposición de los ciudadanos.

Todo este escenario, nos ha llevado a plantear el uso de un Sistema Tutor Inteligente (STI), como la herramienta que mejor se ajusta a la propuesta que hemos diseñado, puesto que incorpora técnicas de inteligencia artificial y acceso vía web. Estas características propias de los STI permitirán una adecuación del proceso de enseñanza-aprendizaje basado en las debilidades y necesidades detectadas en cada estudiante.

### **Proyecto Bachillerato en Línea**

Bajo este paradigma, se ha propuesto una alternativa para facilitar los procesos de enseñanza - aprendizaje a distancia en un tema que ha sido controversial en los cinco últimos años de la

educación costarricense: la *enseñanza de la matemática* y específicamente los *procesos implementados para la consecución del bachillerato en secundaria*. Se propone así, la utilización de técnicas de inteligencia artificial para desarrollar una herramienta capaz de dar seguimiento e instrucción individual a cada estudiante, utilizando para ello un Sistema Tutor Inteligente (STI) y *Agentes Inteligentes*. Este es un proyecto que se ha retomado desde mediados del año 2008 dentro de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Estatal a Distancia y que tiene por objetivo la investigación y desarrollo de una aplicación informática que permita mejorar la atención, seguimiento y retroalimentación de los estudiantes que tienen pendiente la aprobación del examen de bachillerato en el área de matemática. Además esta aplicación se utilizaría con aquellos estudiantes de primer ingreso en la Universidad que tengan un rendimiento bajo en matemática o como requisito de ingreso.

Con el desarrollo del proyecto, no solo se propone una mejora en el rendimiento académico de las y los estudiantes, sino que se busca una transformación global en la dinámica de vida de los núcleos familiares, pues las posibilidades de mejores condiciones laborales se determinan en gran medida por las facilidades en el acceso a la educación y la conclusión de los estudios secundarios.

El proyecto permitiría en una etapa madura, que el estudiante se presente a centros especializados donde podría realizar su prueba oficial de bachillerato. Sin embargo, en primera instancia se pretende que el *tutor inteligente* sea la herramienta que coadyuve al estudiante a tener éxito en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Es importante indicar que se pretende construir una herramienta que sea complemento del trabajo del educador; no es el propósito sustituir al docente en su labor, ni concentrar al 100% la actividad del estudiante en un ambiente virtual de aprendizaje.

La investigación se centra en este momento, en la observancia de las experiencias a nivel internacional en herramientas de este tipo, e indagar qué tan significativo ha sido el uso en el ambiente educativo, especialmente en el proceso de enseñanza-aprendizaje en matemática. Bajo esta concepción, y tomando en cuenta que el eje central de la investigación se centra en un STI se describen los elementos fundamentales que los caracterizan.

### Modelo de un sistema Tutor Inteligente

Los STI tienen como objetivo emular la función de un tutor humano por lo que este tipo de sistemas tienen características particulares que le permiten realizar el proceso pedagógico de forma más “natural” que los antiguos sistemas desarrollados bajo el paradigma de la Instrucción Asistida por Computadora Aguilar y De Antonio, (2003).

La arquitectura tradicional que presentan los STI está integrada por cuatro módulos: el *módulo experto* o del dominio, el *módulo o modelo del estudiante*, el *módulo de tutoría* o pedagógico, y el *módulo de comunicación* o interface (ver Figura No.1).

Además de los módulos mencionados, según Sklar y Richards (2006), los STI requieren del componente “Docente” (persona física) para que los sistemas se puedan clasificar en lo que se denomina un *Sistema de Aprendizaje Interactivo*.

### Módulo dominio o experto

En estos sistemas de comunicación del conocimiento, el módulo experto contiene la representación del conocimiento por ser comunicado. En muchos casos, esta representación de la materia no solo es una descripción de conceptos y habilidades que el estudiante debe adquirir como parte de un currículo, sino que además, el modelo actual puede generarse en el dominio, dando así una forma dinámica de experticia al sistema.

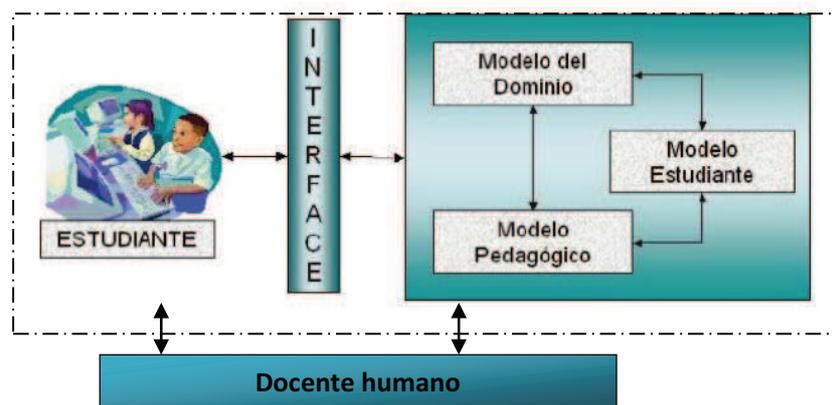


Figura 1: Modelo Interactivo de un STI en proceso E-A

### Módulo estudiante

Lo ideal es que este módulo agrupe todos los aspectos del comportamiento y del conocimiento del estudiante que tiene repercusiones en su desempeño y aprendizaje. Cognitivamente hablando, se modela al estudiante para brindarle una situación de aprendizaje que le resulte más productiva. Sin embargo, la tarea de la construcción de tal modelo, no es una tarea sencilla de llevar a un computador. Afortunadamente, un modelo perfectamente preciso del estudiante en todas dimensiones no es condición esencial para decisiones pedagógicas razonables.

### Módulo tutor o de instrucción

Henry Halff describe cómo el módulo instruccional y curricular da forma y significado a la investigación de STI's y los desarrolla como sistemas instruccionales. Un STI debe tener tres características de tutor:

1. Control sobre la representación del conocimiento instruccional por selección y secuencia de los temas del dominio.
2. Capacidad para responder las preguntas de los estudiantes sobre los objetivos y contenidos instruccionales.
3. Establecer estrategias para determinar cuando un estudiante necesita ayuda.

El objetivo del módulo instruccional es circunscribir la forma de ser del docente e implementarlo como una solución al problema de comunicación en la enseñanza.

### Interfaces humano-computador

Los estudiantes que trabajan con STI's, generalmente tienen dos problemas:

1. El estudiante debe aprender conceptos de la materia que podrían no entender.
2. El aprendiz debe usar la tecnología para aprender y no es un experto en ella.

Si la interacción humano-computador está pobremente diseñada, la sesión de entrenamiento será, probablemente, ineficiente. Si el estudiante debe gastar enormes cantidades de energía en el

manejo de la computadora, tendrá poca energía emocional e intelectual para aprender. El objetivo del diseño de interfaces, es hacer la interfaz transparente para el usuario.

Adicional a los componentes de los STI descritos con anterioridad, hoy en día los STI están siendo apoyados por otros elementos de software, que han venido a darle mayor potencial y capacidad, como los son los *Agentes Inteligentes*.

### **Agentes Inteligentes**

Estos son programas que aplican un cierto grado de inteligencia y que son capaces de llevar a cabo tareas de forma independiente, sin ningún tipo de supervisión. La inteligencia necesaria puede ser trivial, pero se requiere un grado de aprendizaje de las experiencias pasadas. Por ejemplo, según Rakesh Agarwal y Deo Amrita (2004), un agente que hace las búsquedas por Internet, puede decidir por el usuario en cuestión, si el material es útil o no y de esta manera ser entrenados para futuras búsquedas.

Una de las características que diferencia a los agentes inteligentes del software tradicional, es su capacidad de ser autónomos; o sea que el agente va más allá de un simple software donde se considera su funcionalidad y grado de control sobre sus acciones; el agente no tiene que esperar órdenes ya que puede tomar decisiones en forma independiente. Dentro de las características más sobresalientes de los agentes están: persistencia, reactividad, proactividad, personalización y el comportamiento social.

Existen tres tipos de agentes especializados en medios de aprendizaje para seres humanos. El primero es el *agente pedagógico*, el *agente de aprendizaje* y el *agente demostrativo*. Para profundizar en esto, puede leer Sklar y Richards (2006).

Las caracterizaciones anteriores son importantes, y aunque no son exhaustivas, pueden dejar claro al lector el alcance y futuro de estas tecnologías de información aplicadas al campo educativo. En este sentido y dado nuestro trabajo de investigación en el área de la inteligencia artificial y su aplicación al campo educativo, queremos compartir la descripción de una herramienta que corresponde a un tipo de STI y que se ha venido desarrollando por muchos años en la Universidad Carnegie Mellon y el Carnegie Learning : el Tutor Cognitivo (TC).

### Tutor cognitivo

Esta herramienta está siendo utilizada en los Estados Unidos en cerca de 2 500 escuelas con aproximadamente, 500 000 estudiantes. Según estudios realizados por Carnegie Learning y la información del Departamento de Educación de los Estados Unidos, se ha reconocido una gran efectividad del sistema comparado con otros enfoques de instrucción matemática. Los resultados han sido muy satisfactorios y se ha logrado incrementar el rendimiento académico en más de un 85%. De acuerdo con Ritter, S y John R, Anderson (2007), dos grupos de estudiantes fueron evaluados en pruebas estandarizadas y pruebas basadas en resolución de problemas, un grupo utilizaba el TC y otro no. Los resultados indicaron que en las pruebas estandarizadas los estudiantes que utilizaron el TC sobrepasaron a los estudiantes sin TC en aproximadamente 0.3 desviaciones estándar. La diferencia en el rendimiento en pruebas de resolución de problemas y representación múltiples, indicó una marcada diferencia de entre 0.7 y 1.2 desviaciones estándar. El TC se basa en el enfoque de resolución de problemas como recurso principal en la enseñanza-aprendizaje de la matemática. Este paradigma permite que el estudiante pueda reconocer en su medio, aplicaciones de la matemática que le sean más familiares y por ende su aprendizaje le resulta más efectivo.

El TC se basa en una teoría cognitiva desarrollada por John Robert Anderson de la Universidad Carnegie Mellon, llamada ACT-R (Adaptive Control of Thought—Rational) en español *Control Adaptativo de Pensamiento Racional*. ACT-R es una arquitectura que analiza la cognición en partes mínimas o atómicas que luego integra para modelar los procesos más complejos.

En términos sencillos el TC se basa en la frase de *divide y vencerás*, ya que cada problema presentado en el tutor está debidamente subdividido en pequeñas tareas que permiten ser evaluadas dentro del tutor. En el momento en que estas pequeñas tareas son dominadas, con base en ese conocimiento atómico, se puede construir la solución del problema en cuestión. Sin embargo, no es suficiente conocer los componentes de conocimiento sino que se necesita saber de los métodos que utilizan los estudiantes para completar una tarea. Este conocimiento fáctico está debidamente estudiado por los creadores del TC a través de un sinnúmero de registros y estadísticas recogidas en muchas instituciones educativas donde se trabaja con el TC.

El TC no solo es un Sistema Tutor Inteligente que se aplica en algunas instituciones del EEUU; es un paradigma integral de aprendizaje, en donde el 60% del tiempo se trabaja en el salón de clases con materiales escritos y dirigidos por el profesor, mientras que el 40% del tiempo, se dedica al trabajo e interacción con el TC versión electrónica.

### Conclusiones

Los STI por su naturaleza, constituyen un medio importante de enseñanza asistida que permite no solo la atención personalizada, sino la colaboración real para solventar las deficiencias encontradas en el estudiante sobre todo en el área de la matemática.

En el caso particular del TC desarrollado por Carnegie Learning, ha quedado demostrado su efectividad en el mejoramiento del aprendizaje de la matemática y ha incrementado el índice de rendimiento académico en matemática, lo cual constituye un importante resultado para sectores educativos en cuenta con la infraestructura tecnológica adecuada para su implementación.

La propuesta de desarrollo del Bachillerato en Línea, puede ofrecer una novedosa oportunidad de aprendizaje en entornos virtuales bimodales, a todas las personas que por razones socioeconómicas, geográficas o de algún tipo de discapacidad, no han logrado concluir con su bachillerato en secundaria, siendo la educación a distancia, por sus características, un escenario fundamental para implementar y llevar a cabo una innovación educativa, en donde la aplicación de un STI pueda estar a disposición de una población muy necesitada de medios y recursos para superarse académica y socialmente.

### Referencias bibliográficas

Aguilar, R y De Antonio, A (2003). *Agentes Pedagógicos Virtuales Inteligentes*. Universidad Autónoma de Yucatán. Universidad Politécnica de Madrid.

Baylor, A. (2003). *The Impact of Three Pedagogical Agent Roles*, Consultado en julio de 2008 en [http://mailer.fsu.edu/~abaylor/PDF/baylor\\_aamas.pdf](http://mailer.fsu.edu/~abaylor/PDF/baylor_aamas.pdf)

CIA World Factbook. (Mayo, 2008). *Costa Rica Tasa de alfabetización*. (Publicación del 16 de mayo del 2008). Revisado el 08 de octubre del 2009 en

[http://www.indexmundi.com/es/costa\\_rica/tasa\\_de\\_alfabetizacion.html](http://www.indexmundi.com/es/costa_rica/tasa_de_alfabetizacion.html)

Duffy, T. y Jonassen, D (1992). *Constructivism and the Technology of Instruction*. Hillsdale, New Jersey: Laurence Erlbaum Associates.

Rakesn A. y Deo A. (2004). Intelligent Agents in E-learning. *Software Engineering Notes*, 29 (2), 1-3.

Ritter, S y Anderson, J. (2007). Cognitive Tutor: Applied research in mathematics education. *Psychonomic Bulletin & Review* 14(2), 249-255.

Sklar, E. & Richards, D. (2006). *The use of Agents in Human Learning System*. Brooklyn College, New York, USA.

UCR. (2007). *E-Educación en Costa Rica*. Informe Prosic. Revisado el 07 de Octubre del 2009 en

[http://www.prosic.ucr.ac.cr/images/pdf/informe\\_2007/cap6.pdf](http://www.prosic.ucr.ac.cr/images/pdf/informe_2007/cap6.pdf).