

## Arquitectura para un Sistema Tutor Inteligente basado en Competencias (STI-C). Evaluación empírica simulada

Badaracco Miguel<sup>1</sup>, Martínez Luís<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Administración Economía y Negocios-Universidad Nacional de Formosa.  
Formosa, Rep. Argentina. Av. Gutnisky 3200. e-mail: itfor@arnet.com.ar, Tel.: 54 03717  
451702.

<sup>2</sup> Universidad de Jaén. Jaén España. Dep. Ciencias de la Computación. Campus Las Lagunillas,  
s/n. e-mail: martin@ujaen.es. Web: <http://www.di.ujaen.es/~martin>  
Tel.: 34 953 211902.

**Resumen.** Un Sistema Tutor Inteligente (STI) es una aplicación cuyo objetivo se centra en la enseñanza personalizada y su principal característica es la adaptación dinámica de la instrucción de acuerdo al perfil y actividad del alumno, para lo cual incorpora técnicas de inteligencia artificial (IA). La arquitectura general de un STI define sus componentes, la manera en que se estructuran e interaccionan dichos componentes depende en gran medida del modelo pedagógico de referencia utilizado por el diseñador.

En STI de dominios genéricos ésta estructuración y el modelo pedagógico elegido puede ocasionar problemas de comprensión del modelo y problemas de implementación. Nuestro trabajo intenta solventar estos problemas proponiendo una arquitectura STI derivada del modelo pedagógico Enseñanza Basada en Competencia (EBC). Planteamos innovaciones en la representación del modelo de dominio, modelo del alumno y el proceso de diagnóstico acorde con la EBC.

**Palabras claves:** Sistema Tutor Inteligente, Educación Basada en Competencias, Simulación de la arquitectura STI.

**Abstract.** An Intelligent Tutor Systems (ITS) is an application which is aimed to a personalized tuition and its main characteristic is the dynamic adaptation of the instruction according to the student's activity and profile, therefore it adds techniques of artificial intelligence (AI). The general architecture of the ITS defines its components. The way that they structure and interact those components depend mainly on the pedagogic model of reference used by the designer.

On ITS of generics domains this structuration and the chosen pedagogic model may cause understanding troubles of the model and implement.

Our task tries to settle these troubles suggesting an architecture ITS derived from the pedagogic model Competency-Based Education (CBE).

We set out innovations on the model representation of domain, model of the student and the diagnostics process according with CBE.

**Keywords:** Intelligent Tutor Systems, Competency-Based Education, Simulation of ITS architecture.

## 1 Introducción

Un STI utiliza técnicas basadas en la inteligencia artificial (IA), principalmente para representar el conocimiento, y dirigir una estrategia de enseñanza capaz de comportarse como un experto, tanto en el dominio de conocimiento que enseña como en el dominio pedagógico, donde puede diagnosticar la situación en la que se encuentra el estudiante. De esta forma puede ofrecer una acción o solución que le permita progresar en su aprendizaje [1].

Un STI conjuga una propuesta formativa sobre un determinado dominio de conocimiento que podrá ser una asignatura, curso, perfil profesional, etc., junto con unos criterios pedagógicos [2].

Los STI pueden desarrollarse en un dominio específico o en uno genérico. En el primer caso el sistema asume criterios pedagógicos adecuados al dominio y que utilizará en los modelos y procesos educativos que cubren las necesidades formativas. Estos STI tienen un uso limitado a un único dominio. Sin embargo, los STI genéricos debido a su visión multi-dominio deben ser capaces de adaptar sus componentes a las especificaciones generales para abordar varios dominios de estudio y facilitar la adquisición de conocimiento y su uso al alumno.

Vemos que los STI genéricos aunque más flexibles son más complejos, lo que origina la aparición de problemas, tales como:

a) Comprensión del modelo: es difícil construir un sistema que integre distintos marcos teóricos, sentido y criterios de evaluación, representación del conocimiento, heurísticas ad hoc.

b) Implementación: la interpretación de parámetros, configuración de modelo no es simple.

En este trabajo se propone una nueva arquitectura de STI cuyo modelo pedagógico está basado en la Enseñanza Basada en Competencias (EBC). Nos centramos en la representación del modelo de dominio y del modelo del alumno, así como en el proceso de diagnóstico acorde con la EBC. Una arquitectura de este tipo proveerá al docente de una plataforma que facilite la implementación de una propuesta formativa más transparente desde la EBC al Sistema Tutor Inteligente Basado en Competencias (STI-C).

El trabajo se organiza como sigue, en la sección 2 caracterizamos la arquitectura de los STI. En la sección 3 abordamos los principios de la enseñanza basada en competencias (EBC). En la sección 4 presentamos el modelo de STI para el desarrollo de competencias (STI-C). En la Sección 5 exponemos el proceso de diagnóstico. En la sección 6 se presenta un estudio evaluativo de la propuesta. Finalmente exponemos conclusiones y futuras líneas de trabajo de la propuesta realizada.

## 2 Caracterización de un STI

Un STI es un sistema adaptativo y dinámico para la enseñanza personalizada en función de las características y comportamiento del alumno. En esta sección nos centramos en la arquitectura de componentes de un STI para la representación del conocimiento y cómo se estructura dicho conocimiento en el sistema.

## 2.1 Arquitectura de un STI

La arquitectura general de un STI está estructurada en cuatro componentes [3], [4]: a) modelo de dominio, b) modelo del alumno, c) modelo instruccional y d) modelo de interfaz. Cada uno de estos componentes asume distintas funciones interactuando entre sí. Basados en [5] describimos los componentes de interés para nuestra investigación:

- *Modelo del dominio*: Corresponde a la respuesta sobre el *qué se enseña*. Contiene el conocimiento sobre la materia que debe ser aprendida. El primer paso en la implementación de un STI, es la representación explícita por parte del experto del conocimiento existente sobre el dominio. Un modelo del dominio será más potente cuanto más conocimiento tenga [6].

- *Modelo del alumno*: Representa el *a quién se enseña*, lo que el alumno conoce y lo que no conoce del dominio. Un gran número de STI infieren este modelo a partir de los conocimientos y carencias del alumno sobre el modelo del dominio, y a partir de esta información, que generalmente es imprecisa [7] adaptan el proceso de instrucción a sus necesidades. La estructura que almacena el estado de conocimiento del alumno es propiamente *su modelo*, mientras que el proceso de razonamiento que actualiza este modelo se denomina *diagnóstico del alumno*.

- *Modelo de instrucción*: Corresponde al *cómo se enseña*. Constituye por tanto, las estrategias de enseñanza o estrategias tutoriales.

- *Interfaz*: A través de ella se lleva a cabo la interacción hombre-máquina.

Un STI conjuga una propuesta formativa orientada por unos criterios pedagógicos. Estos criterios condicionan el modo de representación del conocimiento en el modelo de dominio, modelo del alumno y su proceso de actualización.

La mayoría de STI representan el conocimiento como una red de estructura jerárquica en donde los nodos son conceptos y los conceptos relacionados están unidos mediante arcos. Genéricamente, esta estructura puede asumir la forma de red semántica, mapa conceptual o red bayesiana, la relación entre los nodos pueden ser de diversa naturaleza, de agregación, parte-de, etc. [8].

## 3 EBC - Enseñanza Basada en Competencias

La EBC es un modelo curricular emergente que busca dar respuesta a las demandas del contexto, implica articular tales demandas con el desarrollo de competencias, que posibilite al alumno desenvolverse en un mundo complejo y en permanente transformación [9]. Las competencias constituyen un saber y saber hacer complejo que integran conocimientos conceptuales, procedimentales y actitudinales.

El Diseño Curricular Basado en Competencias (DCBC) es el proceso que permite cristalizar la EBC en una propuesta formativa en función de normas de competencias. La norma de competencia contiene una serie de descriptores que reflejan las buenas prácticas profesionales, que orientarán las capacidades que desarrollará el alumno.

### 3.1 Descriptores del DCBC

*Unidad de competencia (uc)*: función que describe el conjunto de las actividades diferenciadas que serán cumplidas desde el rol o perfil seleccionado.

*Elemento de competencia (ec)*: desagregación de la función principal que pretende especificar algunas de las actividades claves o la actividad crítica de la función. Una función (*uc*), según su complejidad o su variedad, puede especificarse en uno o en varios elementos de competencia (*ec*).

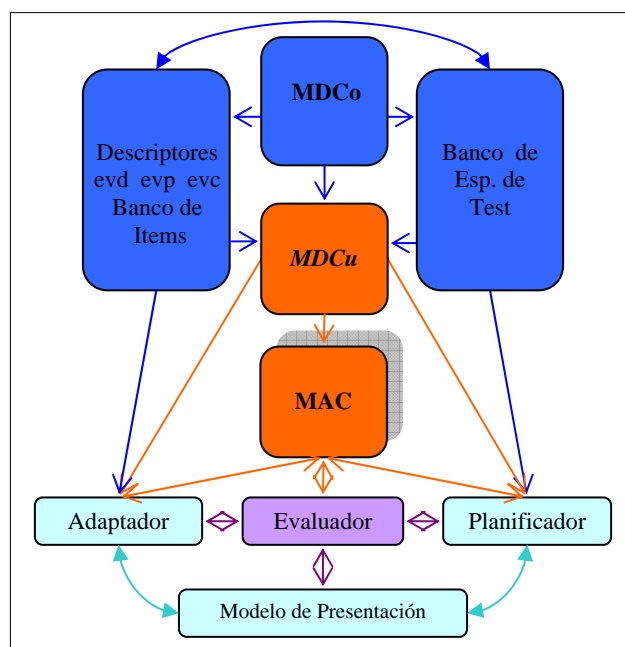
*Evidencias de desempeño (evd)*: descriptor de los signos que sirven para controlar que un determinado proceso está siendo realizado de acuerdo a "buenas prácticas".

*Evidencias de producto (evp)*: descriptor de los signos de evidencia tangibles en el nivel de los resultados o del producto, cuando se ha actuado a partir de consagrar las "buenas prácticas".

*Evidencias de conocimiento (evc)*: descriptor del conocimiento científico - tecnológico que permite al ejecutor comprender, reflexionar y justificar los desempeños competentes.

## 4 Una Arquitectura para un STI-C

En esta sección presentamos la estructura del Sistema Tutor Inteligente basado en Competencias (STI-C). Nos centramos en la representación del conocimiento (competencias en nuestra propuesta) del modelo de dominio y del modelo del alumno, así como en el proceso de diagnóstico que lo actualiza. En la figura 2 se esquematiza la arquitectura general propuesta.



**Fig. 2.** Arquitectura STI-C

De forma general describimos los componentes de la arquitectura STI-C como sigue:

- *El modelo de dominio*: Contiene el perfil de competencias definidos en un dominio de conocimiento. Se compone de cuatro componentes:

a) Un modelo de dominio de competencia (MDCo), derivado del mapa funcional de las normas de competencias, se representa mediante una red semántica que incluye unidades de competencia, elementos de competencia (*ec*), descriptores y las relaciones entre estos. b) Un modelo de dominio curricular (MDCu) organizado en módulos didácticos  $M_i$  que elabora el profesor en base al DCBC sobre el MDCo. c) Un conjunto de descriptores que incluyen las *evp*, *evd* y *evc*, cada uno tiene asociado un banco de ítems. d) Un banco de especificaciones de test asociados a los  $ec_i$ , definidos por el docente.

- *El modelo del alumno*, en nuestro caso *modelo del alumno de competencia* (MAC): Se encarga de almacenar la información referente al alumno y su representación dentro del modelo de diagnóstico.

A continuación describimos en mayor detalle los elementos más importantes de los modelos anteriores.

#### **4.1 Modelo de dominio**

Una novedad fundamental de nuestra propuesta de arquitectura STI-C consiste en cómo se estructura el modelo de dominio, a saber: el MDCu reorganiza el MDCo siguiendo la lógica de los procesos de enseñanza y aprendizaje.

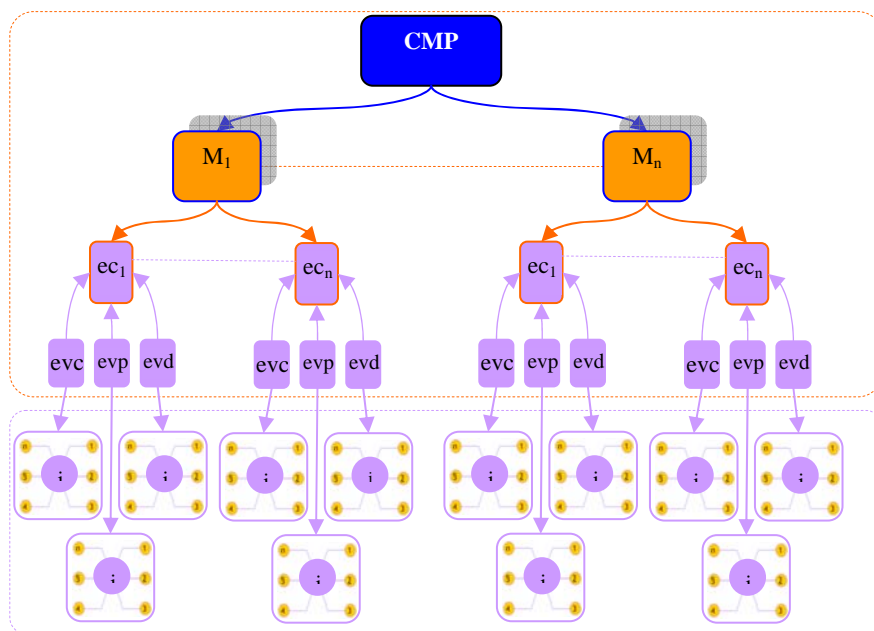
El proceso formativo apunta al desarrollo de las capacidades que permitan desempeños competentes del perfil en diversidad de situaciones. Cada capacidad a desarrollar se infiere del análisis del mapa funcional y agrega (siguiendo la lógica del proceso formativo) uno o más elementos de competencias (*ec*).

El MDCu tendrá una estructura modular, donde cada módulo didáctico ( $M_i$ ) es la unidad que permite estructurar los objetivos, los contenidos y las actividades en torno a un problema de la práctica profesional y de las capacidades que se pretenden desarrollar, las cuales, son inferidas a partir de los elementos de competencia *ec*. En la figura 3 se esquematiza el MDCu.

El MDCu se puede construir en forma simple y casi transparente desde el DCBC de una propuesta formativa a implementar, lo cual simplifica la comprensión por parte del profesor al momento de su implementación.

#### **4.2 Modelo del alumno basado en competencias - MAC**

El MAC almacena la información referente al alumno, para ello utiliza un modelo de superposición sobre el MDCu, esto permite acreditar las competencias asociadas al módulo didáctico.



**Fig. 3.** Estructura del módulo didáctico. *CMP*: Perfil de competencias, *ec<sub>i</sub>*: Elemento de competencia *i*ésimo, *M<sub>i</sub>*: Módulo *i*ésimo, *i*: Banco de ítems asociado a las *evc*, *evp* y *evd*.

Cada nodo de la red MAC relativos a las *evc*, *evp* y *evd* almacena una distribución de probabilidades discreta  $P(\theta_i | \vec{u}_i)$  correspondiente al nivel de conocimiento técnico-científico ( $\theta$ ) del alumno sobre el descriptor dado un patrón de respuesta ( $\vec{u}_i$ ), la cual se infiere de las respuestas a los ítems que el alumno resuelve y componen un test  $T_s$ . Tal como se indicó anteriormente en el momento de definir los componentes del MDCu, se determinan los elementos intervinientes en el diagnóstico, a saber: a) el banco de ítems asociado a *evc*, *evp* y *evd* de cada *ec*, b) los Test asociados a los *ec*, c) especificaciones de Test donde se determinan los métodos para selección de ítem, criterios de finalización, etc.

Cada nodo *ec* almacena una distribución de probabilidades correspondiente al conocimiento técnico-científico  $P(\theta | \vec{evu}_i)$  del alumno sobre el mismo y estará en función de los  $evc_i$ ,  $evp_i$  y  $evd_i$  que agrega, este valor se obtendrá promediando los valores de las distribuciones de sus agregados.

Por cada ítem respondido el algoritmo actualizará las  $P(\theta_i | \vec{u}_i)$  de  $evc_i$ ,  $evp_i$  y  $evd_i$  y verificará si se cumple el criterio de finalización, en caso afirmativo se calculará y actualizará la distribución  $P(\theta | \vec{evu}_i)$  del  $ec_i$ , de no cumplirse el criterio

de finalización, se seleccionará el siguiente ítem (en base al criterio de selección de ítems establecido en las especificaciones de test) para mostrar en el test, repitiéndose el proceso hasta alcanzar el criterio de finalización.

Los nodos de módulos didácticos  $M_i$  almacenan una distribución de probabilidades correspondiente al nivel de competencias del alumno sobre las capacidades abordadas en el módulo, esta se infiere promediando las distribuciones de probabilidades de los elementos clave en la evaluación, los  $ec$  asociados al  $M_i$ .

El proceso de diagnóstico se expone en mayor detalle en la sección siguiente.

## 5 Proceso de Diagnóstico

Para el proceso del diagnóstico en el STI-C utilizamos una adaptación del Test Adaptativo Informatizado (TAI cognitivo) [5], esta propuesta utiliza un modelo de respuesta basado en la Teoría de Respuesta al Ítem (TRI) que tiene las siguientes características: discreto, no paramétrico y es capaz de evaluar ítems con múltiples respuestas.

En este modelo de respuesta cada ítem tiene asociado una Curva Característica de Opción (CCO) de las cuáles se infieren sus Curvas Características de Respuesta (CCR) y Curvas Características de Ítem (CCI). Las CCO se determinan mediante un proceso de calibración basado en el algoritmo de Ramsay [12].

Durante la administración de un test, el conocimiento del alumno se estima cada vez que éste responde a un determinado ítem. La actualización de la distribución del conocimiento del alumno se lleva a cabo utilizando una adaptación del método bayesiano propuesto por Owen [13].

Nos interesa fundamentalmente la evaluación del tipo agregada que actualiza las distribuciones de conocimiento sobre  $evc$ ,  $evp$  o  $evd$  de la siguiente manera:

$$P(\theta_t | u_1, \dots, u_i) = \begin{cases} \left\| P(\theta_t | u_1, \dots, u_{i-1}) P_{\vec{u}_i}(u_i | \theta_t) \right\| & \text{si } Q_i \text{ evalúa } evc_i, evp_i \text{ o } evd_i \\ P(\theta_t | u_1, \dots, u_{i-1}) & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (1)$$

Donde  $P(\theta_t | u_1, \dots, u_{i-1})$  es la estimación de conocimiento a priori del alumno en  $ev_i$ ;

y  $P_{\vec{u}_i}(u_i | \theta_t)$  la CCO para la opción del patrón de respuesta.

Una vez actualizadas las distribuciones en los nodos  $evc$ ,  $evp$  y  $evd$  del alumno, se puede estimar su nivel empleando las dos formas utilizadas en los TAI; esto es:

- Esperanza a posterior (EAP), donde el valor correspondiente al nivel de conocimiento es la media (o valor esperado) de la distribución de probabilidades. Formalmente:

$$EAP(P(\theta_t | u_n)) = \sum_{k=0}^{k-1} kP(\theta_t = k | u_n) \quad (2)$$

- Máximo a posterior (MAP), donde el valor correspondiente al nivel de conocimiento es aquél con mayor probabilidad asignada, esto es, la moda de la distribución. Formalmente:

$$MAP(P(\theta_t | u_n)) = \underset{0 \leq k \leq K}{\text{máx}} P(\theta_t = k | u_n) \quad (3)$$

## 6 Estudio evaluativo del modelo

En el presente trabajo nos centramos en la evaluación simulada de la arquitectura (McMillan y Schumacher [12], Guzmán [5], Millán [8]).

### 6.1 Evaluación simulada de la arquitectuta propuesta

Para esta evaluación hemos realizado las siguientes simulaciones:

a) Generación del MDCu: en base a una secuencia de dos números naturales como parámetros de entrada se organiza la estructura del MDCu. Así, si recibiera la secuencia  $a, b$ , se interpreta que el perfil de competencias tiene  $a$  módulos  $M_i$ , cada  $M_i$  tiene asociado  $b$  elementos de competencias ( $ec$ ) y estos sus respectivos  $evc$ ,  $evp$  y  $evd$ . De esta manera se construye la representación de la red semántica de competencias cuyo número de nodos sería igual a  $a+a*b+a*b*3+1$ . Conforme se crean los nodos se etiquetan con la siguiente codificación: 0 se le asigna al nodo raíz, a los  $M_i$  se le asignan consecutivamente valores de 1 hasta  $a$ , a cada  $M_i$  se le relacionan  $b$  elementos de competencias  $ec$ , cada  $ec$  se identifica con un código consistente en el número de  $M_i$  concatenado al número correspondiente de  $ec$ . Finalmente cada  $ec$  tiene asociado 3 nodos hojas codificados del 1 al 3 que corresponden a los  $evc$ ,  $evp$  y  $ev$ .

b) Banco de Ítems: una vez construido el MDCu, se genera el banco de ítems, cuyo número se define mediante un parámetro de entrada. En esta investigación hemos incorporado ítems de opción múltiple de 5 opciones, cada ítem generado se asigna consecutivamente (de forma balanceada) a uno de los nodos  $evc$ ,  $evp$  o  $evd$ .

A fin de realizar las simulaciones de test heurísticos para el proceso de calibración, por cada opción de los ítem se genera un puntaje parcial en forma pseudoaleatoria, este puntaje se utilizara durante la simulación de la calibración.

Las CCO de los ítems se obtienen mediante la simulación del proceso de calibración.

c) Simulación de Test Heurísticos: los test heurísticos simulados se utilizan en el proceso de calibración, el número de test a generar y los  $ec_i$  del  $M_i$  que serán evaluados por los test, se determina mediante parámetros de entrada.

Para la generación de los test, por cada test se procede de la siguiente manera:

- Por cada ítem del test se genera la opción seleccionada.



- Los patrones de respuestas de los ítems asociados a los *evc*, *evp* y *evd* del *ec* evaluado se generan de manera pseudoaleatoria.
  - Se puntúa según patrón de respuesta.
  - Se evalúa el test utilizando un criterio heurístico por puntos.
- d) Simulación de la Calibración de las CCO: obtenidos los resultados de los test heurísticos como se explica en el paso anterior, se procede a la calibración de las CCO de las opciones de los ítems que componen el test. El algoritmo de calibración es una adaptación del propuesto por Guzmán (2005) en base a Ramsay (2000).
- e) Alumnos Simulados: los alumnos simulados se generan en un número igual al parámetro de entrada correspondiente. A cada uno se le asigna un identificador numérico consecutivo a partir de uno. El comportamiento posterior de cada alumno en el test va a venir determinado por su modelo cognitivo real. Se trata de un modelo de superposición sobre los nodos evaluados en el test. El nivel de competencia inicial sobre los nodos *evc*, *evp* y *evd* lo determina el simulador a priori mediante una función pseudoaleatoria que sigue una distribución normal, los valores permitidos son aquellos que pertenecen al rango uno y el número de niveles de competencia definidos. Para calcular el nivel de competencia real del alumno, se lo somete a un test en el que se le administran todos los ítems (uno detrás de otro) que evalúan los *evc*, *evp* y *evd*. En este test se utilizan las CCO reales de los ítems, y el criterio de evaluación aplicado en este caso puede MAP o EAP. De esta forma, se obtiene como resultado el nivel de competencia real en el elemento de competencia *ec* que agrega los nodos *evc*, *evp* y *evd* correspondientes. Para el resto de los *ec* se aplica el mismo procedimiento de forma análoga.
- f) Administración simulada del TAI: tras determinar el modelo cognitivo real de cada alumno simulado, se procede a administrar el test bajo las condiciones indicadas en la simulación. El modo en el que el alumno simulado selecciona el patrón de respuesta para cada ítem se basa en la propuesta de Guzmán (2005). Una vez determinado el patrón de respuesta, se procede a inferir el nivel de conocimiento. Seguidamente, se vuelve a elegir el siguiente ítem, según el criterio de selección configurado en el test. Este proceso se repetirá hasta cumplir la condición de finalización del test. Finalmente, en función del propósito de la simulación y en base a los parámetros de entrada, se presenta diversa información que permite estudiar y analizar los resultados. En el contexto del trabajo las simulaciones se han repetidos un elevado número de veces y los resultados presentados son promedios de valores obtenidos. En la tabla 1 se exponen los parámetros utilizados en la simulaciones, el porcentaje de aciertos surge del número de veces que se ha inferido de forma correcta el nivel de competencia de los alumnos reales (modelo cognitivo real).

**Tabla 1.** Valores resultantes del proceso de validación simulada de la arquitectura STI-C.

Alumnos simulados	$M_i$	<i>ec</i>	Tests	Ítems	% Aciertos
50	1	5	50	30	96
	5			50	97
100	1	5	100	30	98
	5			50	97
200	1	5	150	30	97
	5			50	98

## 7 Conclusiones y trabajos futuros

Los resultados obtenidos en las simulaciones muestran que la arquitectura propuesta para el modelo de dominio curricular MDCu, modelo del alumno MAC y su diagnóstico basado en TAI, pueden constituirse en una opción coherente que conjuga una arquitectura STI basada en los criterios pedagógicos de la EBC.

En esta misma línea de trabajo hemos sometido el modelo de arquitectura STI-C a criterios de expertos obteniendo resultados alentadores.

Un estudio evaluativo complementario de nuestra propuesta orienta la siguiente línea futura de investigación:

-Implementación piloto, validación y evaluación formativa y sumativa del modelo.

## 8 Bibliografía

1. Wenger, E. (1987). Artificial intelligence and tutoring systems. Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
2. Badaracco, M. (2008). Enfoque para el Desarrollo de un Sistema Tutor Inteligente Basado en Competencias. DEA Doctorado en Ingeniería de Sistemas y Computación, no publicado. Universidad de Málaga. España.
3. Sleeman, D. y Brown, J. S. (1982). Intelligent tutoring systems. Academic Press, Inc.
4. Polson, M. C., & Richardson, J. J. (1988). Foundations of Intelligent Tutoring Systems. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
5. Guzmán de los Riscos, E. (2005). Un modelo de evaluación cognitiva basado en TAI para el diagnóstico en STI. Tesis Doctoral no publicada, Universidad de Málaga.
6. Anderson, J. R. (1988). The Expert Module. En M. C. Polson & J. J. Richardson (eds.), Foundations of Intelligent Tutoring Systems. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
7. Murray, T. (1993). Formative qualitative evaluation for 'exploratory' its research. International Journal of Artificial Intelligence in Education: Special Issue on Evaluation, 4 (2/3), 179-207.
8. Millán E. (2000). Sistema Bayesiano para Modelado del alumno. Tesis doctoral. Universidad de Málaga. España.
9. Zalba, E y Gutierrez,N (2006) . Una aproximación a la educación basada en competencias- Universidad Nacional de Cuyo.
10. Perrenoud, Ph. (1999) Construir las Competencias desde la Escuela. Dolmen Ediciones.
11. Ramsay, J. O. (1991). Kernel smoothing approaches to nonparametric item characteristic curve estimation. Psychometrika, 56, 611-630.
12. Mcmillan, J., Schumacher, S. (2005). Investigación Educativa. Una Introducción Conceptual. Ed. Pearson, Alhambra.
13. Owen, R. J. (1975). A bayesian sequential procedure for quantal response in the context of adaptive mental testing. Journal of the American Statistical Association, 70 (350), pp. 351-371.