

Sistemas Tutoriales Inteligentes Centrados en Reparación de Mecanismos. Una Propuesta Metodológica de Diseño

Sierra, E.^{1,2}, García-Martínez, R.^{3,5}, Cataldi, Z.⁴, Britos, P.^{3,5} Hossian, A.^{2,5}

¹ Dto. Electrotecnia. FI. Univ. del Comahue (esierra@uncoma.edu.ar)

² Programa PASI. UAC. Universidad Tec. Nacional (hossi@ciudad.com.ar)

³ Centro de Ing. del Software y del Conocimiento. EPG. ITBA (rgm@itba.edu.ar)

⁴ Laboratorio de Informática Educativa. Univ. de Buenos Aires (liema@fi.uba.ar)

⁵ Laboratorio de Sistemas Inteligentes. Univ. de Buenos Aires (hossi@ciudad.com.ar)

Abstract. El presente artículo propone una metodología para la construcción de sistemas tutoriales inteligentes y la aplica al caso particular de diseño de un sistema para entrenamiento en la operación y mantenimiento de microsátélites, orientado a estudiantes avanzados de ingeniería electrónica. El artículo presenta premisas para el diseño de los módulos de dominio de conocimiento, estudiante y tutor, y describe algunas estrategias de control articuladas como meta-reglas.

1 Estado de la cuestión sobre metodologías de diseño de sistemas tutoriales inteligentes

Los sistemas tutores inteligentes (STI) comenzaron a desarrollarse en los años 80, diseñados con la idea de impartir conocimiento con base en alguna forma de inteligencia para guiar al estudiante en el proceso de aprendizaje [Urretavizcaya, 2001; Sancho, 2002]. Un tutor inteligente, es un sistema de software que utiliza técnicas de inteligencia artificial (IA) para representar el conocimiento e interactúa con los estudiantes para enseñárselo [VanLehn, 1988], a lo que Giraffa [1997] agrega la consideración de los diferentes estilos cognitivos de los alumnos que utilicen el sistema de acuerdo a Cern [2002]. En los 90, con los avances de la psicología cognitiva [Norman 1987; Gardner, 1988], las neurociencias [Gardner, 1987] y los nuevos paradigmas de programación [Pressman, 2002; Pfleeger, 2002; Sommerville, 2002], los STI han evolucionado desde una propuesta instructiva [Cruz Feliú, 1997] hacia entornos de descubrimiento y experimentación del nuevo conocimiento [Bruner, 1991; Perkins, 1995, 2002; Pozo, 1998, 1999] desde una visión constructivista de los procesos de aprendizaje. A pesar de los avances producidos, los STI no han recibido aún una

adopción generalizada debido a la complejidad que implicaba el diseño y la definición de los mismos, que limitaron su aplicación práctica. El desarrollo de los STI se vio frenado por la falta de madurez el área de la cognición humana y por lo tanto imposibilidad de modelarla computacionalmente ya que la complejidad de los modelos que requerían un alto costo de cómputo.

2 Bases para una nueva metodología de diseño de sistemas tutoriales inteligentes centrada en la reparación de mecanismos

2.1 La Estructura del Sistema Tutor Inteligente

Un Sistema Tutor Inteligente para entrenamiento en la operación y mantenimiento de mecanismos consiste básicamente en tres modelos que se comunican e interactúan entre sí [Kearsley, 1987]. Estos modelos representan al dominio de conocimiento (el mecanismo en la metodología que se propone), al estudiante y al tutor (o modelo de la instrucción). El modelo del mecanismo (o dominio) emplea distintos esquemas de representación del conocimiento para simbolizar tanto los aspectos operativos como no-operativos del mecanismo que se pretende modelar.

En un aspecto más general, el mecanismo a operar o reparar representa el dominio de la instrucción. Los modelos del estudiante y del tutor difieren del modelo del mecanismo en lo que éstos intentan modelar. El modelo del estudiante representa lo que el estudiante sabe. Por lo tanto, este conocimiento del estudiante podrá representarse empleando las mismas estrategias que se utilizan en la simbolización del dominio. Sin embargo, se está interesado en modelar no sólo lo que el estudiante sabe acerca del mecanismo, sino lo que el estudiante sabe acerca de resolución de problemas. Son precisamente las acciones del estudiante sobre el mecanismo que el dominio de conocimiento modela, las que pueden describirse mediante una serie de reglas que permiten evaluar la estructura cognitiva del educando. Así como el modelo del estudiante captura acciones sobre el mecanismo, el modelo del tutor examina los cambios en el modelo del estudiante y observa si el estudiante, después de una serie de acciones, se aproxima o no a los objetivos de aprendizaje propuestos en el software educativo. Además, el modelo del tutor proporciona al estudiante asistencia para que pueda operar y reparar el mecanismo objeto de la instrucción.

A efectos de lograr un adecuado funcionamiento del sistema tutorial inteligente en reparación de mecanismos, los modelos del mecanismo, del estudiante y del tutor deben lograr una adecuada interacción. Existirá, por lo tanto, un conjunto de reglas [García-Martínez y Britos, 2004] que definan cuando y cómo estos modelos son utilizados. Estas reglas constituyen un meta-modelo en el sentido de que controlan los modelos básicos y sus reglas asociadas. El meta-modelo tiene la funcionalidad requerida para activar y desactivar a los modelos básicos. A modo de ejemplo, las reglas que puede esperarse estén contenidas en el meta-modelo tendrán la siguiente forma:

SI	El estudiante ha completado un ítem determinado
Y	El tutor tiene poca confianza en su propia evaluación sobre el conocimiento del estudiante en el ítem determinado

ENTONCES El tutor interrogará exhaustivamente al estudiante sobre ítem determinado

Esta regla constituye una meta-regla, pues controla la operación del tutor en su relación con otros modelos. La misma puede hacer que el módulo tutorial obtenga una lista de ítems a partir del modelo de dominio y luego use el modelo del tutor para formular preguntas acerca del tópico que se esté tratando. Las respuestas a estas preguntas serán analizadas por el modelo del estudiante, el cual a su vez puede provocar la activación de otras meta-reglas.

2.2. El modelo del dominio de conocimiento

Un modelo puede entenderse como una entidad que copia las características de un objeto, proceso o concepto del mundo real. En definitiva, un modelo es una representación abstracta de algún tipo de mecanismo. Es abstracta en el sentido de que no existe realmente, es algo que se crea en la frontera de un programa computacional. Para poder construir un modelo de un mecanismo, debe ser posible descomponer al mecanismo en sus partes constitutivas. Es decir, el mecanismo a ser modelado debe tener partes identificables en las cuales pueda ser descompuesto. De este modo, el comportamiento del mecanismo puede ser descrito a través del comportamiento de sus partes, que incluye desde la forma de funcionamiento intrínseca de cada componente hasta la manera en que un componente dado interactúa con los demás. En este trabajo se emplearán modelos cualitativos más que cuantitativos, es decir que las relaciones entre partes son descritas más en términos de las cualidades de las entidades constitutivas que de expresiones matemáticas que sean representativas del modo de operación de dichas entidades. Esta concepción está más a tono con la manera en que los seres humanos parecen abordar los problemas en sus encuentros cotidianos con el mundo de todos los días. De esta manera, una persona puede saber cuando es seguro cruzar una calle sin necesidad de construir mentalmente un modelo matemático para calcular la trayectoria de los vehículos que se le acercan. La metodología propuesta para modelar el dominio de conocimiento cuando el mismo está referido a un mecanismo consiste en los siguientes pasos:

- Paso 1. Identificar los componentes del mecanismo
- Paso 2. Identificar las relaciones entre los componentes del modelo
- Paso 3. Especificar las reglas de operación del modelo
- Paso 4. Evaluar el modelo

2.3. El modelo del estudiante

El diseño del modelo del estudiante debería centrarse alrededor de las preguntas: ¿Qué es lo que se desea que el estudiante sepa acerca del mecanismo?. ¿Qué tipos de conocimientos debe tener un estudiante para poder resolver un problema de operación o reparación del mecanismo? [Barr y Feigenbaum, 1983]. Es evidente que, de algún modo, el estudiante debe conocer cómo trabaja el mecanismo. A su vez, son las partes componentes del mecanismo las que posibilitan su funcionamiento. De manera que el estudiante deberá tener conocimientos acerca de:

- Los componentes del mecanismo
- La operación de los componentes del mecanismo
- La interrelación entre los componentes del mecanismo
- La operación del mecanismo

Si un estudiante elige examinar un componente en particular, entonces se asume que el estudiante conoce algo acerca del componente. Dado el contexto del problema, la selección de un componente es de algún modo una confirmación o no de que el estudiante comprende lo que el componente hace y cómo se relaciona con otros componentes en la operación del mecanismo. Es decir que cada vez que el estudiante chequea, manipula o examina un componente, indica de algún modo lo que él conoce o desconoce acerca de la operación del mecanismo. Para realizar inferencias acerca de lo que el estudiante conoce, es necesario interpretar o hacer presunciones en base a las acciones del estudiante. Estas interpretaciones constituyen la parte central en el desarrollo del modelo del estudiante en el diseño de un sistema tutorial inteligente.

- Paso 1. Identificar el conocimiento que el estudiante posee respecto de los componentes que integran el mecanismo.
- Paso 2. Identificar el nivel de comprensión que el estudiante posee respecto de la funcionalidad del mecanismo y de cómo sus componentes contribuyen a lograrla..
- Paso 3. Identificar las estrategias empleadas por el estudiante para resolver el problema y abordar adecuadamente los procesos necesarios para llevar a cabo la reparación del mecanismo.

2.4. El modelo del tutor

El modelo instruccional o modelo del tutor [Sierra, 1999; Sierra *et al.*, 2001; Sierra *et al.*, 2003] es una representación de los métodos que se usarán en el tutor inteligente para proveer información al estudiante. Este modelo es complejo pues está pensado para dirigir al estudiante en su proceso de aprendizaje y efectuar automáticamente ajustes en esta dirección a medida que el estudiante progresa.

En un sentido práctico, se tiene el siguiente problema a resolver cuando se construye el módulo tutorial de un sistema de instrucción inteligente. El estudiante está manipulando el modelo del dominio o mecanismo y el modelo de estudiante está realizando inferencias en base a estas manipulaciones. El tutor debe entonces hacer uso de esta información a efectos de proveer al estudiante con información que sea útil para éste. En su forma más general, a efectos de poder definir correctamente la operación del módulo tutorial, debe ser posible responder a las siguientes preguntas: ¿ Cuándo es necesario instruir ? ¿ Qué tipo de instrucción debe darse?.

Los pasos metodológicos propuestos para el diseño del modelo del tutor son los siguientes:

- Paso 1. Analizar del modelo del estudiante a efectos de definir claramente cuáles son las acciones que este puede llevar a cabo.
- Paso 2. Interpretar adecuadamente las acciones definidas en el Paso 1 en función del tipo de conocimiento que el estudiante debería poseer para llevar a cabo dichas acciones en forma correcta.
- Paso 3. En base a los diferentes tipos de conocimiento identificados en el paso 2, determinar las estrategias de instrucción mas apropiadas a fin que el estudiante incorpore significativamente estos conocimientos a su estructura cognitiva.

3 Un ejemplo en el dominio de operación y mantenimiento de microsátélites

3.1. El modelo del dominio de conocimiento

3.1.1. Identificación de los componentes del microsátélite (Paso 1)

El presente caso de estudio abordará al microsátélite NanoPEHUENSAT-1 [Quiroga *et al.*, 2000], que se tomará como base para ilustrar el proceso de construcción de modelos. Estos componentes son:

- a. Microcontrolador Maestro (MM)
- b. Microcontrolador Esclavo (ME)
- c. Microcontrolador Telemetría (MT)
- d. Trasmisor de UHF (TX)
- e. Baterías (BB)
- f. Antena (A)

3.1.2. Identificación de las relaciones entre componentes del microsatélite

A continuación se procede a identificar las relaciones entre los componentes del modelo. Cuando existe algún tipo de relación entre componentes del modelo, esta relación puede ser una relación de conexión, porque los componentes están físicamente conectados, o una relación de control, porque la operación de un componente afecta a otro. En la matriz que se muestra a continuación en la Tabla I se especifican estas relaciones mediante una letra “c” que indica que existe una relación entre los componentes que se vinculan mediante su intersección en una celda de la Tabla I. Del mismo modo, si dos componentes no están relacionados, entonces la celda de su intersección en la mencionada Tabla I permanecerá vacía.

	MM	ME	MT	TX	BB	A
Microcontrolador Maestro (MM)		c	c		c	
Microcontrolador Esclavo (ME)	c		c	c	c	
Microcontrolador Telemetría (MT)	c	c		c	c	
Trasmisor UHF (TX)		c	c		c	c
Baterías (BB)	c	c	c	c	c	
Antena (A)				c		

Tabla I: Tabla de Relaciones entre componentes.

3.1.3. Especificación de las reglas de operación del microsatélite

Una vez establecidas las relaciones entre los componentes del modelo, es posible explorar las reglas que describen la operación del mismo. Para ello es necesario primero analizar las características de los componentes. Estas características constituyen variables que representan el estado de los componentes del microsatélite y en su conjunto describen el estado de operación del dispositivo. La Tabla II muestra las características de los componentes del mecanismo modelado.

Componente	Característica	Valores
Microcontrolador Maestro	Operatividad	Operativo / No Operativo
Microcontrolador Esclavo	Tipo Función	Maestro / Esclavo / No Operativo
Microcontrolador Telemetría	Operatividad	Operativo / No Operativo
Trasmisor UHF	Tipo Operación	Trasmitiendo / No Trasmitiendo / No Operativo
Baterías	Nivel Operación	Normal / Bajo / Nulo
Antena	Tipo Operación	Trasmitiendo / No Trasmitiendo / No Operativo

Tabla II: Tabla de Características de Componentes

A continuación, y a efectos de definir las reglas de operación del microsatélite, se examinarán cada una de las relaciones y se formularán reglas en función de los esta-

dos potencialmente presentes según las características de los componentes. A modo de ejemplo, se enuncian las siguientes reglas que formarán parte del dominio de conocimiento descriptivo del modelo.

Relación: El microcontrolador maestro está conectado al microcontrolador esclavo

- R1. Si el microcontrolador maestro está operativo, entonces el microcontrolador esclavo funciona como esclavo.
- R2. Si el microcontrolador maestro está no operativo, entonces el microcontrolador esclavo funciona como maestro.

3.1.4. Evaluación del modelo del microsátélite

A efectos de evaluar el funcionamiento del modelo, es necesario partir de los posibles estados de los componentes y analizar cómo serán afectados por las reglas que serán invocadas cuando el modelo se ponga a funcionar. Para ello se construirá una tabla conteniendo cinco columnas, la Tabla III del presente artículo. La primera columna contiene el nombre del componente. La segunda y tercera columna contienen una característica del componente y su posible valor actual. La cuarta columna contiene el nombre de la regla aplicada a la configuración indicada en la primera, segunda y tercera columna. La quinta columna contiene el efecto del cambio en el valor de la característica como consecuencia de aplicación de la regla.

Componente	Característica	Valor	Regla Aplicada	Nuevo Valor
Microcontrolador Maestro	Operatividad	Operativo	R1	
Microcontrolador Maestro	Operatividad	No Operativo	R1	
Microcontrolador Esclavo	<i>Tipo Función</i>	<i>Maestro</i>	<i>R1</i>	<i>Esclavo</i>
Microcontrolador Esclavo	Tipo Función	Esclavo	R1	
Microcontrolador Esclavo	Tipo Función	No Operativo	R1	
Microcontrolador Telemetría	Operatividad	Operativo	R1	
Microcontrolador Telemetría	Operatividad	Operativo	R1	

Tabla III: Tabla Ilustrativa de los Cambios de Estado por Aplicación de Reglas

Para un estado dado del modelo, se activa una regla determinada y se analiza su efecto en los estados de los componentes a través de las reglas disparadas por esos nuevos estados. La aplicación de cada una de las reglas a todas las posibles configuraciones de estados llevará a un nuevo estado, como ilustra la Tabla III. La Tabla se ha reducido para tres componentes, pero la técnica es suficientemente explícita. La evaluación consiste en analizar la consistencia de cada uno de los nuevos estados activados por la aplicación de las reglas que gobiernan la operación del modelo. Para el caso particular de la configuración descrita en la Tabla III, el nuevo estado es el esperado en función de la operación deseada para el mecanismo.

3.2. El modelo del estudiante

En base a las consideraciones efectuadas en el análisis teórico respecto de lo que debiera ser el modelo del estudiante y de los pasos propuestos, se definen las siguientes reglas acerca de cómo pueden modelarse sus acciones:

3.2.1. Evaluación de lo que el estudiante comprende acerca del mecanismo por análisis de una única acción del educando

El estudiante realiza una acción x sobre un componente y . Se dice que una relación propuesta por un estudiante (propuesta por la acción del estudiante sobre el modelo) incluye un conjunto de relaciones del modelo si puede encontrarse un camino entre la acción del educando y la falla buscada por éste. A la causa del problema se le denomina el *objetivo*, que es lo que el estudiante necesita encontrar en el problema de diagnóstico. Lo que el estudiante examina se referirá como la *fuentes*. Entre la fuente y el modelo habrá componentes conectándolos, a los que se denominará elementos *del camino fuente-objetivo*. Para que un elemento sea elemento del camino, debe haber una relación entre los elementos del camino en dirección de la fuente hacia el objetivo y cada elemento del camino debe estar conectado con otro elemento de ese mismo camino. En cambio, si la relación planteada desde la fuente hacia el objetivo no incluye un camino fuente-objetivo, se considera que no hay evidencia para suponer conocimiento por parte del alumno acerca de la relación fuente-objetivo. En consecuencia, puede formularse formalmente la siguiente regla:

SI	Si el camino inferido desde la fuente x (el punto de examen o manipulación) al objetivo y (el punto de ocurrencia de la falla) incluye una secuencia de elementos de camino desde la fuente x hasta el objetivo y
ENTONCES	se asume que hay evidencia suficiente para afirmar que el estudiante conoce el camino de inferencia citado.

3.2.2. Evaluación de la comprensión que el estudiante tiene del mecanismo a través de una serie de acciones

A medida que el estudiante continúa con la manipulación del microsatélite y sus componentes, pueden hacerse evaluaciones adicionales acerca del conocimiento del educando. Al respecto, puede considerarse que el estudiante ha examinado inicialmente un componente dado. Si bien el estudiante puede elegir cualquier componente, supóngase a modo de ejemplo que el estudiante elige un componente que pertenezca al camino fuente-objetivo. Esto agrega evidencia a favor del estudiante en cuanto a su comprensión del mecanismo. A continuación, el estudiante elige otro componente. En términos de la distancia física al objetivo, el nuevo componente elegido puede estar más cercano al objetivo, pero no pertenecer a un camino fuente-objetivo dentro del modelo del mecanismo, lo cual agrega evidencia negativa respecto del conocimiento del estudiante. Por lo tanto, puede formularse las siguientes reglas:

SI	Una acción del estudiante examina a un componente que está más cerca del objetivo en términos de distancia física y evidencia
ENTONCES	Hay evidencia positiva de que el estudiante tiene conocimiento acerca del mecanismo
SI	Una acción del estudiante examina a un componente que está más alejado del objetivo en términos de distancia física y evidencia
ENTONCES	Hay evidencia negativa de que el estudiante tiene conocimiento acerca del mecanismo

3.2.3. Evaluación del Proceso de Resolución de Problemas que aplica el estudiante: Dividir para reinar

Las reglas precedentes se utilizan para evaluar si el estudiante posee conocimiento acerca del mecanismo. Ahora se considerará otro tipo de conocimiento, el conocimiento que el estudiante usa para diagnosticar o resolver el problema existente en el mecanismo. Suponer que el modelo del mecanismo puede ser fácilmente dividido en tres partes basadas en caminos diferentes identificados en el mecanismo. Si el estudiante examina un componente de cada camino del mecanismo, puede afirmarse de que hay evidencia de que el estudiante está empleando una estrategia de eliminación, que puede denominarse “*divide y reinarás*”, para resolver el problema en el que se encuentra trabajando. La estrategia de divide y reinarás es apropiada para mecanismos cuyos modelos pueden ser particionados. La regla puede sintetizarse del siguiente modo:

SI	Hay evidencia de que un estudiante está empleando una estrategia de “divide y reinarás” para resolver un problema
ENTONCES	Hay mayor probabilidad de que el estudiante tenga cierta comprensión de alguna metodología de resolución de problemas

Para poder saber si un estudiante está efectivamente empleando una metodología de “divide y reinarás”, deben examinarse una secuencia de acciones por parte del educando. A fin de minimizar el grado de presunción, se estudiará la secuencia de acciones del estudiante sólo después de que el número de acciones de éste iguale a la cantidad de caminos identificados en el modelo del mecanismo. En el caso de que el número de caminos diferentes sea tres, se analiza su secuencia para ver si los componentes examinados pertenecen cada uno a un camino diferente en el modelo del mecanismo. Se ha establecido entonces el criterio para determinar cuándo puede aplicarse la regla anteriormente enunciada. Para determinar cuándo esta regla ya no es más aplicable, se debe estar en una situación donde se ha determinado que el estudiante sigue otra estrategia para la resolución de problemas. Por ejemplo, la siguiente regla determina bajo que circunstancias es razonable suponer que un estudiante está siguiendo una estrategia secuencial. Una estrategia secuencial podrá usarse después de una estrategia de “divide y reinarás”, o puede ser utilizada desde el comienzo mismo del proceso de resolución de problemas. Es decir, si se emplea una estrategia alternativa de resolución de problemas, no puede considerarse que se está empleando una estrategia de dividir para conquistar. Dado que esta estrategia de abordaje del pro-

blema debería emplearse al comienzo de su resolución, es válido analizar si el estudiante la está aplicando después de la tercera acción, para el caso del modelo de los tres caminos, pero no después en acciones posteriores, dado que la probabilidad de que el estudiante utilice una estrategia de este tipo en el medio del proceso de resolución del problema se considera despreciable.

3.2.4. Evaluación del Proceso de Resolución de Problemas que aplica el estudiante: Análisis Secuencial

Una estrategia secuencial puede ser útil para diagnosticar un problema cuando el número de componentes en el mecanismo es limitado. En otros casos, una metodología de dividir para conquistar puede ser más efectiva, dado que tomar menos tiempo la resolución de un problema. Pueden identificarse distintos patrones de búsqueda secuenciales. Lógicamente, el componente de comienzo dependerá del conocimiento que el estudiante tenga del mecanismo. La siguiente regla se define en términos de los caminos posibles en las figuras:

- SI La secuencia de acciones de un estudiante sigue un camino de exploración de los componentes del mecanismo en el orden en se encuentran conectados en el modelo según una trayectoria que puede ser a lo largo, a lo ancho o en espiral
- ENTONCES Puede afirmarse que el estudiante está empleando una estrategia secuencial para diagnosticar un problema

3.2.5. Evaluación del conocimiento que el estudiante tiene de los componentes

Es importante que el estudiante sepa acerca de los componentes que constituyen el microsatélite. Lo importante no son los componentes en sí examinados por el estudiante, sino en la secuencia en que son examinados. Para comprender esto puede analizarse el modelo del mecanismo en términos de *fuentes* y *sumideros*. Un componente es fuente para otros componentes si los activa, alimenta, provee de algún elemento. Un componente es sumidero de otros si recibe de éstos información o datos o algún tipo de comunicación necesaria para su funcionamiento. Esto se debe a que si el estudiante sospecha que un componente en particular es la causa del problema, entonces tendría sentido mirar los elementos que alimentan al componente en cuestión como así también a los componentes que son alimentados por éste. Por lo tanto, mediante un análisis de los elementos que estén conectados por relaciones fuente-sumidero, es posible inferir si el estudiante tiene cierto conocimiento acerca de la operación de mecanismos. En consecuencia, la regla podrá enunciarse del siguiente modo:

- SI Un estudiante examina un componente x
- Y A continuación examina las fuentes del componente x (x_{fuente})
- Y A continuación examina los sumideros del componente x ($x_{sumidero}$)
- ENTONCES Es razonable suponer que el estudiante tiene cierta comprensión

acerca del funcionamiento del componente x en su relación con otros componentes

3.2.6. Evaluación que hace el estudiante de la guía de reparación

A medida que el estudiante aprende más acerca del microsatélite y del modo en que éste trabaja, se esperaría que disminuya el uso de la ayuda por parte del educando. Es decir, debería esperarse que el estudiante se vuelva menos dependiente de información específica sobre el microsatélite y más dependiente de su habilidad general para resolver problemas. La evaluación del uso que hace el estudiante de la guía de reparación sucede a lo largo del tiempo y de sesión en sesión. La evaluación se lleva a cabo examinando la cantidad de veces que el estudiante recurre a la guía de reparación de sesión tutorial a sesión tutorial. Como un porcentaje del número total de acciones, el número de veces que se emplea la guía de reparación debe seguir una tendencia descendente en el tiempo. Por lo tanto la regla respectiva podrá enunciarse del siguiente modo:

- SI El número de veces que el estudiante usa la guía de reparación sigue una tendencia descendente a lo largo del tiempo
- ENTONCES hay evidencia de que el conocimiento acerca de la resolución del problema que tiene el estudiante se está incrementando con el transcurso del tiempo

3.2.7. Evaluación de las Acciones Repetitivas de un estudiante

El modelo del estudiante registra las acciones llevadas a cabo por éste, a fin de determinar si en las mismas hay algún patrón de repetición. El sistema tutorial registra cada acción llevada a cabo por el estudiante. Además del registro, se lleva una cuenta de cada acción en particular. Para que la acción sea repetitiva, la cantidad de veces que un estudiante lleva a cabo una acción debe superar un determinado umbral, que para el caso de este sistema tutorial se ha establecido en 7, considerando el umbral de elementos de información que el cerebro puede retener, de acuerdo con la psicología cognitiva [C&TG, 1990; Sternberg, 1997 y de Vega, 1998]. Pero, otros diseños de sistemas tutoriales inteligentes podrían emplear otro número como umbral. Otra acción repetitiva que debe identificarse es cuando el estudiante repite una secuencia de pasos. En estas circunstancias, el estudiante llevará a cabo una serie de acciones y posteriormente comenzará con la primera acción de la secuencia y la repetirá. En base al registro de acciones deberá determinarse si el educando ha repetido una acción o una secuencia de acciones. Luego, fundándose en las consideraciones anteriores puede enunciarse la siguiente regla:

- SI La cuenta asociada con la performance de cualquier acción está por encima de un umbral especificado
- O Una secuencia de acciones contiene un patrón identificable de acciones que se repite

ENTONCES Hay evidencia de que el estudiante está repitiendo acciones

3.3. El modelo del tutor

El análisis del modelo del estudiante a efectos de definir claramente cuáles son las acciones que éste puede llevar a cabo y los tipos de conocimientos requeridos para realizar dichas acciones en forma correcta, de acuerdo a lo establecido en los pasos metodológicos propuestos en las secciones precedentes, está reflejado en las reglas que se explicitan en la Tabla IV.

Regla	Descripción	Clasificación
R1	Inferir acerca de conocimiento sobre el mecanismo en base a una sola acción del educando	Conocimiento sobre el mecanismo
R2	Inferir acerca de conocimiento sobre el mecanismo en base a una serie de acciones del educando	Conocimiento sobre el mecanismo
R3	¿Está el estudiante utilizando una secuencia de dividir para conquistar en la resolución del problema?	Conocimiento sobre resolución de problemas
R4	¿Está el estudiante utilizando una secuencial en la resolución del problema?	Conocimiento sobre resolución de problemas
R5	¿Comprende el estudiante la operación de los componentes?	Conocimiento sobre componentes
R6	¿Está usando el estudiante la guía de resolución de problemas?	Conocimiento sobre resolución de problemas
R7	¿Está llevando a cabo el estudiante acciones repetitivas?	Conocimiento sobre el mecanismo / Conocimiento sobre resolución de problemas

Tabla IV: Clasificación de las Reglas del Modelo del Estudiante

La aplicación del tercer paso de la metodología propuesta conduce a la partición de las reglas del modelo del estudiante en tres categorías. Esto permite que el modelo del tutor maneje tres tipos distintos de conocimiento y por lo tanto, asiste a los estudiantes en la adquisición de estos tipos de conocimiento a medida que el estudiante interactúa con el sistema tutor inteligente.

Las estrategias tutoriales o instruccionales pueden organizarse alrededor de la clasificación propuesta en la tabla V. Esta organización de las reglas del modelo del educando y su relación con la instrucción asume que estos tres tipos de conocimiento son importantes en el diagnóstico y reparación de microsátélites. Evidentemente que otros tipos de conocimiento pueden ser útiles para otros tipos de dominios y problemas. Los datos producidos por el modelo del estudiante son solamente indicativos de lo que un estudiante debe conocer acerca de las tres áreas que se han definido. Por ejemplo, a partir de información provista por el modelo del estudiante, puede indicar que un educando tiene poco o ningún conocimiento acerca de los componentes en el microsátélite. Basándose en la idea de que la información del modelo del estudiante

es una indicación de la posibilidad de un problema particular, pueden formularse las siguientes reglas que modelarán el funcionamiento del módulo instruccional.

Reglas	Clasificación	Instrucción
R5	Conocimiento sobre componentes	Proveer al estudiante con instrucción acerca del funcionamiento de un conocimiento específico
R1, R2	Conocimiento sobre el mecanismo	Proveer al estudiante con instrucción acerca de cómo trabaja el mecanismo y acerca de la relación entre sus componentes
R3, R4, R6, R7	Conocimiento sobre resolución de problemas	Proveer al estudiante con instrucción acerca de métodos de resolución de problemas que le serán útiles

Tabla V: Estrategias Instruccionales basadas en las reglas del modelo estudiantil

Reglas Referidas al *Conocimiento de Componentes*

SI	El modelo del estudiante indica que hay una posibilidad de que éste tenga un déficit de conocimiento acerca de los componentes
Y	Esta evaluación está por encima de un cierto umbral especificado
ENTONCES	Se deberá proveer un primer nivel de instrucción acerca de componentes relevantes
SI	La evaluación da un resultado por encima de un segundo umbral especificado
ENTONCES	Se proveerá un segundo nivel de instrucción acerca de componentes relevantes

Reglas Referidas al *Conocimiento del Mecanismo*

SI	El modelo del estudiante indica que hay una posibilidad de que éste tenga un déficit de conocimiento acerca del mecanismo
Y	Esta evaluación está por encima de un cierto umbral especificado
ENTONCES	Se deberá proveer un primer nivel de instrucción acerca de como trabaja el mecanismo y de la relación entre sus componentes
SI	La evaluación da un resultado por encima de un segundo umbral especificado
ENTONCES	Se proveerá un segundo nivel de acerca de como trabaja el mecanismo y de la relación entre sus componentes

Reglas referidas al *Conocimiento sobre Resolución de Problemas*

SI	El modelo del estudiante indica que el educando está resolviendo problemas empleando una estrategia secuencial
Y	Esta evaluación está por encima de un umbral especificado
ENTONCES	Deberá proveerse al estudiante una instrucción acerca de métodos alternativos de abordaje de problemas
SI	El modelo del estudiante indica que existe la posibilidad de que el estudiante esté resolviendo problemas consultando permanentemente

	la guía de reparación
Y	Esta evaluación está por encima de un umbral especificado
ENTONCES	Se deberá instruir al estudiante acerca de cómo abordar problemas haciendo un menor uso de la guía de reparación
SI	El modelo del estudiante indica que existe la posibilidad de que el estudiante esté llevando a cabo acciones repetitivas
Y	Esta evaluación está por encima de un umbral especificado
ENTONCES	Deberá proveerse al educando una instrucción acerca de cómo intentar diferentes acciones para evitar repetir siempre las mismas

El concepto de evaluación en las reglas precedentes que constituyen el modelo instruccional es un modo de vincular el modelo del estudiante y el modelo de la instrucción y es un modo también de llevar un control sobre la retroalimentación que se le da al estudiante. Variando los niveles de umbral individuales, puede justamente variarse el momento en que el modelo tutorial proveerá la instrucción.

A medida que el modelo de instrucción se ejecuta, registra evidencias a favor o en contra de los tipos de conocimiento y habilidades que el estudiante debe exhibir cuando utiliza el tutor inteligente. A efectos de estructurar este proceso de registro, se almacena una tabla con puntajes donde se acumula la evidencia para conocimientos o habilidades particulares. Un puntaje negativo indicará falta de evidencia de que el estudiante posee un conocimiento en particular. Mientras más negativo, mayor es esa posibilidad. Un puntaje positivo indica evidencia de que el estudiante posee conocimiento acerca de un determinado componente o tiene cierta habilidad. A medida que este puntaje positivo aumenta, se incrementan las posibilidades de que el estudiante tenga conocimiento sobre un componente o una competencia determinada.

Los puntajes de evaluación se calculan considerando el resultado de la aplicación de cada regla del modelo del estudiante. Si una regla del modelo del estudiante indica que un educando posee un cierto conocimiento o habilidad, entonces el correspondiente puntaje de evaluación se incrementará en uno. De otro modo, si una regla relevante del modelo del educando no indica conocimiento de una habilidad o componente relacionado, entonces el puntaje de evaluación se decrementará en uno.

Como se mencionara previamente, los valores de umbral para la provisión de estrategias instruccionales se usan para ajustar el tutor de modo que la realimentación se de en los tiempos adecuados. Estos valores pueden ajustarse según las necesidades.

Otro aspecto a considerar en este artículo es el tipo de realimentación que el tutor inteligente proporcionará. Dado que se han clasificado las respuestas en dos tipos en función de los umbrales definidos, se establecerán dos tipos de realimentación.

Conceptualmente, toda realimentación en el primer umbral será simple, una frase o dos, tratando de proveer al estudiante con información útil. Las respuestas dadas en el segundo nivel son más detalladas que en el primer nivel. Cuando el estudiante alcanza el segundo umbral, se le suministra información específica acerca de un componente, habilidad o acción determinada, más que un comentario general.

4 Conclusiones

El principal aporte de la presente comunicación puede verse en los lineamientos que se dan para la construcción de sistemas inteligentes para instruir y entrenar a estudiantes en la operación, funcionamiento y reparación de mecanismos. El alcance del artículo va más allá de las metodologías sugeridas en la bibliografía para la construcción de tutores automatizados, adentrándose en los detalles de la implementación efectiva de sistemas de estas características. El diseño de un tutor aplicable a la instrucción para operación y mantenimiento de microsátélites como caso de estudio y su correcto funcionamiento ponen de manifiesto la factibilidad del enfoque metodológico adoptado y su viabilidad en los aspectos prácticos de implementación. Está comprobado el efecto motivador de la tecnología cuando es correctamente aplicada a la generación de experiencias relevantes de aprendizaje. Además, el uso de simulaciones y sobre todo en lo referente a la operación y mantenimiento de mecanismos, permitirá que estudiantes entrenados con estas tecnologías desarrollen adecuados modelos mentales con elevadas posibilidades de transferencia a contextos y situaciones reales. Sin embargo, es altamente recomendable que se apliquen las técnicas propias de la investigación educativa para evaluar los alcances y la efectividad de la herramienta propuesta, lo cual justifica plenamente la formalización de posteriores estudios en este sentido.

5 Referencias

- Barr, A. y Feigenbaum, E. (1983) *Handbook of Artificial Intelligence*, Morgan Kaufmann.
- Bruner, J. (1991) *Actos de significado. Más allá de la revolución cognitiva*. Madrid: Alianza.
- C&TG, (1990) Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1990, August - September). *Anchored instruction and its relationship to situated cognition*. Educational Researcher. pp 2-10.
- Cern, S. (Ed.) (2002) *Intelligent tutoring systems*. Springer Verlag Pub.
- Cruz Feliú, J. (1997) *Teorías del aprendizaje y tecnología de la enseñanza*. Trillas. México.
- De Vega, M. (1998) *Introducción a la psicología cognitiva*. Madrid: Alianza.
- Gardner, H. (1988) *La nueva ciencia de la mente: Historia de la psicología cognitiva*. Paidós. Barcelona.
- Giraffa, L.M.M.; Nunes, M. A.; Viccari, R.M. (1997) *Multi-Ecological: an Learning Environment using Multi-Agent architecture*. MASTA'97: Multi-Agent System: Theory and Applications. Proceedings.. Coimbra: DE-Universidade de Coimbra.
- García-Martínez, R. y Britos, P. (2004) *Ingeniería de Sistema Inteligentes*. Nueva Librería. Bs. As.
- Kearsley, G. (1987) *Artificial Intelligence and Instruction*, Reading, MA: Addison Wesley.
- Norman, D. (1987) *Perspectiva de la ciencia cognitiva*. Paidós. Barcelona.

- Perkins, D. (1995) *La escuela inteligente*. Gedisa. Barcelona.
- Perkins, D. (2002) King's Arthur round table. How collaborative conversations create smart organizations. John Wiley & Sons.
- Pfleeger, S. (2002) *Ingeniería de software*. Teoría y práctica. Prentice Hall.
- Pozo, J. I. (1998). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Morata. Madrid.
- Pozo Muncio, I. (1999). *Aprendices y Maestros*. Alianza.
- Pressman, R. (2002). *Ingeniería del software. Un enfoque práctico*. 5 Ed., México: McGraw Hill.
- Quiroga, J., Fernández, R., Keil, R., Jurassics, A. y Sierra, E. (2000) *Small Satellite Pehuensat Program* 51st International Astronautical Congress. Rio de Janeiro, Brasil.
- Sancho, L. (2002). *Sistemas Tutores Inteligentes: Una alternativa para el uso de computadoras en educación*. Education Net. Red Global de educación a distancia. (DistEdNet) universidad Estatal a Distancia. Consultado el 10/07/04. www.uned.ac.cr/servicios/global/ensenanza/instruccion/articulos/sistemas.html
- Sierra, E. A. (1999). *A Cognitivist Instructional Approach applied to the design of intelligent tutoring systems*, Proceedings of the Argentine Symposium on Artificial Intelligence, 221-232.
- Sierra, E., Hossian, A. y García Martínez, R. (2001). *Selección de Estrategias Instruccionales. Abordaje desde la Teoría del Conocimiento*. Revista del Instituto Tecnológico de Buenos Aires. Volumen 25. Páginas 24-36.
- Sierra, E.; Hossian, A. y García-Martínez, R. (2003). *Sistemas Expertos que recomiendan estrategias de instrucción. Un Modelo para su Desarrollo*. Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa. Volumen 1 N° 1. Páginas 19-30. Facultad de Educación. Universidad de Extremadura. ISSN: 1695-288X.
- Sommerville, I. (2002). *Ingeniería de software*. Addison Wesley.
- Sternberg, R. (1997). *Las capacidades humanas*. Vols. I, II, III. Paidós. Barcelona.
- Urretavizcaya, M. (2001). *Sistemas inteligentes en el ámbito de la educación*. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. N° 12, pp. 5-12. ISSN 1137-3601.
- VanLehn, K (1988). *Student Modelling*. M. Polson. *Foundations of Intelligent Tutoring systems*. Hillsdale. N.J. Lawrence Erlbaum Associates, 55-78.