

Modelos para la representación y procesamiento del conocimiento pedagógico en tutoriales inteligentes

Lourdes D. Melgarejo Pérez¹

RESUMEN

Este artículo constituye el resumen de una investigación cuyo objeto de estudio son las características específicas del conocimiento pedagógico, con el fin de obtener un modelo de representación del conocimiento que permita reflejar con flexibilidad y amplitud los diferentes criterios de los docentes. Para ello, se hace una breve reseña histórica de la Informática Educativa y se destacan las características generales de los tutoriales inteligentes, haciéndose una crítica de ellos; también se hace análisis y crítica de las más importantes tendencias pedagógicas contemporáneas, describiéndose ampliamente la teoría seleccionada (teoría de la formación por etapas de las acciones mentales, basada en el enfoque histórico-cultural). Además, se realiza una breve crítica a las diferentes formas de representación de conocimiento incierto y por último, se explica como se aplicaron los modelos anteriores en el tutorial Salomón diseñado para enseñar a alumnos de ingeniería el trazado de curvas. Se detalla la estructura y funcionamiento del tutorial y la forma en que fue validado, dándose al final una valoración de los resultados obtenidos.

ABSTRACT

This article give a summary of a research whose object of study is the specific characteristics of pedagogical knowledge, with the purpose of obtaining a representation model of knowledge that permits reflection on different criteria of teachers in a flexible and ample way. We start with a brief historical review of Computer Science Education and then we present general characteristics of intelligent tutorials and a critique of these. Also, we make an analysis and a critique of the most important contemporary pedagogical trends, describing amply the chosen theory (theory of formation by stages of mental actions, based on a historical-cultural emphasis). Futhermore, we present a brief critique of different forms of representation of uncertain knowledge. Next, we explain how the previous models have been applied in the Salomón tutorial designed to teach curve tracing to engineering students. We give a detailed explanation of the structure of the tutorial, the way it works and the way in which it was validated. Finally, we give an evaluation of the results that were obtained.

Caracterización general del trabajo

El desarrollo vertiginoso de la computación ha revolucionado todas las ramas del saber, incluyendo desde un principio ambiciosos proyectos de aplicación para el perfeccionamiento del proceso de enseñanza-aprendizaje, como los proyectos Plato, TICCIT, MECC, [Alessi, 1985], [O'Shea, 1989]. El alto costo de estos proyectos y los pocos beneficios económicos que de la aplicación a la educación se obtienen, hicieron que el avance no fuera el esperado y que su aplicación se limitara a los centros educativos más importantes.

Con la aparición de las microcomputadoras y de la disminución de los costos del equipamiento necesario se ha hecho posible la masificación de la aplicación de la computación en el proceso de enseñanza-aprendizaje en todos los niveles y lugares, y que el estudio de técnicas particulares para dicho propósito alcanzara niveles superiores, surgiendo así la Informática Educativa, que incluye, entre otros, el desarrollo de entrenadores y tutoriales.

Los Sistemas Tradicionales de Enseñanza Asistida por Computadora (STEAC) de amplio uso en la enseñanza han evolucionado rápidamente integrando programas de simulación, vídeo, sonido, etc. [Carmona, 1995]. Su calidad, en gran medida, depende de la labor realizada por el preparador del material pedagógico; sin embargo, a pesar de las mejoras conseguidas, estos

¹ Profesora del Instituto Superior Politécnico "José A. Echevarría". Cuba.

sistemas se limitan a realizar un resumen “estadístico” de la actividad del estudiante pero no cuentan con capacidad para razonar sobre el comportamiento de ellos. [Garijo, 1985].

Con el desarrollo de la Inteligencia Artificial, que tiene como uno de sus propósitos realizar e investigar posibles mecanismos que demuestren y expliquen el comportamiento del aprendizaje [Frenzel, 1990], [Frost, 1991], [Nilsson, 1982], la Informática Educativa recibe un gran impacto, que se traduce entre otros, en la creación de Sistemas Inteligentes de Enseñanza Asistida por Computadora (SIEAC), los cuales se diseñan teniendo en cuenta la representación de los conceptos a enseñar, y en qué forma el estudiante puede aprender esos conceptos, de manera que en el proceso de enseñanza se diferencie claramente el conocimiento de la materia, el conocimiento pedagógico y el conocimiento sobre el alumno (conocimientos adquiridos, características del alumno, etc.).

En el desarrollo de los SIEAC existen dos problemas que por su importancia y complejidad siguen siendo objeto de investigación:

- La selección de una adecuada estrategia pedagógica que tome en cuenta el comportamiento individualizado del estudiante.
- La búsqueda de formas de representación del conocimiento pedagógico que reflejen las particularidades de dicho conocimiento.

Si se toma en consideración la sentencia popular “existen tantas teorías pedagógicas como pedagogos” se puede comprender en buena medida la situación existente dentro de las Ciencias Pedagógicas, comparable a la bíblica torre de Babel. Tal situación dificulta sobremanera una amplia aceptación por parte de los docentes, de aquellas herramientas automatizadas para la dirección del aprendizaje, que contengan una base pedagógica “preenlatada” y “rígida”. Si a todo lo anterior se agrega la poca formalización que existe en los criterios pedagógicos relativos a la evaluación, pueden entenderse las dificultades que aún se presentan en este campo.

Luego, estratégicamente los diseñadores de tales herramientas deben permitir que los docentes puedan reflejar fácilmente su punto de vista con respecto a los conocimientos relativos a la estrategia y a la evaluación, y al mismo tiempo garantizar coherencia en la nueva información recibida, mantener la eficiencia, integralidad y minimalidad.

En Cuba, el estado se preocupa por el desarrollo de la Informática Educativa, puesto que el perfeccionamiento de la calidad de la educación está entre sus tareas primordiales. La Revolución, desde sus inicios, ha tenido como una de sus tareas centrales la formación integral de las nuevas generaciones y el fomento de las capacidades y habilidades necesarias para enfrentar el desafío tecnológico de nuestros días. Para lograr este objetivo ha invertido cuantiosos recursos; un ejemplo de esto han sido los laboratorios de computación con que han sido dotados los Centros de Educación Media y Superior, y a pesar de que en estos momentos el país atraviesa por una situación económica muy difícil, continúa mejorando esos laboratorios y creando otros nuevos con la compra de equipos de tecnología de avanzada.

A tenor con lo antes expuesto, en los últimos años en Cuba se han desarrollado un conjunto de tutoriales y entrenadores inteligentes en temas como el Cálculo Diferencial e Integral, Modelación Matemática, Algoritmización y Programación, Física, Química, Electrónica, Operación de Equipos Industriales, además de un Sistema de Producción de Entrenadores y Tutoriales Inteligentes Newton-T y TUTOR una concha (shell) de tutoriales inteligentes [Alvarez, 1988], [Chaljub, 1994], [Guerra, 1992], [Hirigoyen, 1992], [Lauren, 1994], [Morales, 1990], [Morales, 1994], [Peñalver, 1992], [Prieto, 1990], [Rodríguez y Díaz, 1992], [Rodríguez, 1989], [Giró, 1990], [Ruiz de Z., 1992], [Garay, 1992]. La mayoría de estos productos no hacen énfasis en la estrategia pedagógica y presentan bases rígidas de conocimiento pedagógico.

Objeto de investigación

El estudio de las características específicas del conocimiento pedagógico, con el fin de obtener un modelo de representación del conocimiento que permita reflejar con flexibilidad y amplitud los diferentes criterios de los docentes.

Objetivos de la investigación

- Plantear un modelo para la evaluación del aprendizaje que tenga en cuenta el carácter subjetivo e impreciso de éste.
- Proponer un modelo para la estrategia pedagógica basado en una teoría pedagógica que ha sido utilizada con éxito en la enseñanza para ingenieros en el Instituto Superior Politécnico “José A. Echevarría”: La teoría de la formación por etapas de las acciones mentales [Talízina, 1987, 1988, 1995].
- Mostrar la utilidad de los modelos anteriores en la implementación de un tutorial inteligente para el tema de trazado de curvas.
- Hipótesis de trabajo
- Debido a la complejidad de los factores que intervienen en la modelación del conocimiento pedagógico en los tutoriales inteligentes, este aspecto es un tema aún abierto a investigación y no suficientemente tratado, pues la mayoría de los tutoriales desarrollados hacen énfasis en la componente del experto en la materia.
- En el proceso de enseñanza-aprendizaje, la evaluación es considerada un aspecto que ha quedado a la zaga con relación a otros elementos del proceso en los que sí se ha avanzado sustancialmente, esta situación se presenta tanto desde el punto de vista netamente pedagógico, como en el desarrollo de tutoriales inteligentes.
- La selección de una adecuada estrategia pedagógica científicamente probada y su implementación en tutoriales inteligentes debe redundar en una mejoría en la utilización durante el proceso de enseñanza de tales herramientas.
- La obtención de una formalización de los criterios pedagógicos relativos a la evaluación posibilita una implementación eficaz de una estrategia pedagógica.
- La obtención de un modelo para el conocimiento pedagógico que tenga en cuenta las características de dicho conocimiento, debe permitir la creación de aplicaciones adecuadas al objetivo de mejorar la calidad del aprendizaje.
- Tareas principales que se llevaron a cabo en la investigación
- Revisión bibliográfica y estudio de literatura científica acerca de los tutoriales inteligentes existentes en el mundo, con el objetivo de definir el grado de desarrollo alcanzado en el objeto de estudio de la investigación.
- Revisión bibliográfica y estudio acerca de las diferentes formas de representación del conocimiento impreciso existentes, con el fin de poder decidir la más conveniente para el desarrollo del trabajo.
- Revisión bibliográfica y estudio acerca de las diferentes tendencias existentes en la pedagogía contemporánea, con el objetivo de justificar la selección de la más adecuada a los intereses del trabajo.
- Estudiar y analizar las principales componentes del conocimiento pedagógico, con el fin de poder obtener un modelo adecuado del mismo.
- Trabajo exhaustivo de ingeniería del conocimiento con los expertos en la materia como forma de obtener un material pedagógico de calidad, además de todo el conocimiento pedagógico necesario.
- Diseñar e implementar un tutorial inteligente en el tema del trazado de curvas de funciones, que tenga en consideración el modelo del conocimiento pedagógico propuesto.

- Verificación, mediante experimentos con el tutorial diseñado, de la validez de los postulados planteados.
- Validación con los expertos del modelo de evaluación propuesto.
- Métodos científicos utilizados
 - Método histórico-lógico y de análisis y síntesis con el objetivo de poder realizar un análisis crítico de los tutoriales inteligentes existentes y poder determinar qué componente ha sido menos tratado, en qué forma y cuáles han sido sus limitaciones.
 - Método de inducción-deducción en la formulación de criterios para la obtención de un modelo del conocimiento pedagógico.
 - Método empírico-experimental con el tutorial diseñado con el fin de poder establecer la validez del modelo propuesto.
 - Trabajo con expertos utilizando métodos de consenso.
 - Método sistémico para abordar la solución del problema a partir del objeto de estudio planteado.

Resultados esperados

- Obtención de un modelo para la estrategia pedagógica en un tutorial inteligente.
- Obtención de un modelo para la evaluación del aprendizaje en un tutorial inteligente.
- Aplicación de los postulados de la tesis en la implementación de un tutorial inteligente para el trazado de curvas.

Novedad científica, actualidad y significación práctica

El objeto de estudio planteado en este trabajo ha sido abordado desde un ángulo diferente al reportado en el ámbito nacional e internacional; aunque existen precedentes en trabajos nacionales, donde se ha utilizado parcialmente la teoría pedagógica seleccionada en la presente tesis. De esta forma es posible plantear que los aportes científicos del trabajo son:

- Modelación en un tutorial inteligente de una estrategia pedagógica basada íntegramente, de principio a fin, en una teoría pedagógica que ha sido utilizada con éxito en la Educación Superior Cubana.
- Obtención de una formalización de la evaluación del aprendizaje mediante un modelo flexible y modificable según los criterios pedagógicos de cada docente.
- La actualidad del trabajo que se presenta está sustentada en el interés del Estado Cubano y de su Ministerio de Educación Superior, debido a la importancia que se le concede a las investigaciones que se realizan en torno al desarrollo de herramientas computacionales eficaces en ayuda a la enseñanza.
- El valor práctico de carácter general de esta investigación viene dado en las conclusiones que se derivan de la modelación del conocimiento pedagógico, que son aplicables en tutoriales a los cuales, para resolver un problema sea posible contar con un conjunto dado de pasos, por ejemplo en temas de Matemática, Física, Química, y otras disciplinas de ingeniería con características similares. Además posee la utilidad práctica específica derivada de la utilización del tutorial para el trazado de curvas, el cual fue diseñado como un ejemplo práctico de las principales tesis planteadas en el trabajo.

Estructura y contenido del trabajo de investigación

Análisis de la situación actual de los tutoriales inteligentes desarrollados

En esta primera parte se presentan los resultados de la revisión bibliográfica sobre algunos aspectos necesarios para el desarrollo del trabajo, además de hacerse el

planteamiento del problema.

De la breve reseña histórica que se hizo de la Informática Educativa se puede concluir que desde el surgimiento de la computación ha existido un gran interés por su aplicación en la educación, mejorándose la calidad de los productos diseñados a medida que se desarrolló el hardware. Desde sus inicios los diseñadores de tales productos se preocuparon en incorporarles estrategias pedagógicas (algunas muy primitivas) que pudiesen guiar al estudiante, además de tratar de lograr un mayor grado de individualización y un uso más amplio de la retroalimentación.

Un Sistema Inteligente de Enseñanza Asistida por Computadora (SIEAC) posee tres componentes fundamentales: el experto en el tema que se trate, el modelo del alumno, y la estrategia pedagógica, que incluye los aspectos: qué se aprende, quién aprende y cómo aprende [O'Shea,1989]. En su gran mayoría los tutoriales diseñados hasta nuestros días, centran su atención en un mayor desarrollo de una o dos de estas componentes, fundamentalmente en el experto en la materia objeto de estudio [Self,1988], [Nicolson,1988], [Cuevas,1996], [Alvarez,1990], [García Z.,1993].

Si se desean elaborar un SIEAC que individualicen la enseñanza, se debe poner a disposición de la computadora el conocimiento necesario y profundizar en las componentes pedagógicas, momento en el que toma un papel fundamental la representación del conocimiento. Lo anterior constituye una parte importante del contenido de investigación de la Inteligencia Artificial, intentando desarrollar sistemas que posean cada vez mayor capacidad de razonamiento y aprendizaje [Brena,1994], [Minsky,1992]. A medida que se desarrollaron tutoriales más poderosos estos han requerido representaciones de conocimiento más complejas, además de una interacción con expertos para entender las leyes del dominio a representar. El desarrollo de un tutorial inteligente es una de las tareas de más alta complejidad, puesto que se necesita representar el conocimiento pedagógico, conocimiento extremadamente mal formalizado, para poder guiar al estudiante durante el uso del sistema y monitorear su comportamiento. Otro aspecto a tener en cuenta, por el importante papel que juega en el logro de los objetivos instruccionales, es la comunicación entre el tutorial y el estudiante, la cual debe garantizar un nivel de interactividad adecuado que permita un desarrollo eficaz del aprendizaje del alumno.

El modelo del estudiante es una componente esencial dentro del conocimiento pedagógico, porque contiene el conocimiento que tiene el sistema acerca del estudiante, y debe actualizarse dinámicamente cuando el sistema se esté ejecutando. Por otra parte la selección de una adecuada estrategia pedagógica que tome en cuenta el comportamiento individualizado del alumno, sigue siendo hoy en día motivo de investigación [Ridway,1988], [Barker,1995], [Lynam,1996].

Un tutorial inteligente debe brindarle al estudiante material pedagógico sobre el tema a enseñar, monitoreándolo a través del aprendizaje y de la resolución de ejercicios, construyendo paralelamente el modelo del estudiante y utilizando además una estrategia pedagógica que rebase el marco de la mera intuición docente.

De los tutoriales que fueron estudiados en el transcurso del trabajo se puede decir, que las estrategias pedagógicas utilizadas se basan en las respuestas de los estudiantes y en ningún caso se ha modelado integralmente una estrategia pedagógica concreta, además no se tiene suficientemente en cuenta la importancia que tiene la evaluación en el proceso de enseñanza-aprendizaje y las características especiales que reviste el conocimiento involucrado en éste.

En un tutorial inteligente el conocimiento pedagógico tiene entre sus principales componentes (claramente diferenciables), el conocimiento relativo al proceso de evaluación y el relativo a la estrategia pedagógica.

La evaluación se puede definir como el proceso mediante el cual se emite un

juicio de valor acerca del atributo en consideración o como el proceso que recaba información para tomar decisiones [González M.,1994]. Aplicado a la educación, dicho proceso también se propone obtener información que fundamente juicios de valor para la toma de decisiones y recibe el nombre de evaluación educativa [Peña,1989], [Villareal,1990].

Es de destacar el hecho de que en el proceso de enseñanza-aprendizaje la evaluación es una de las componentes más rezagadas con relación a los otros elementos . Esto es debido a los problemas que se presentan en su formalización como son [González M.,1994], [Peña,1989]: deficiencias en los indicadores para evaluar, ya que no es realizada por los docentes sobre las mismas bases (esto está muy ligado a la dificultad existente en la conceptualización), deficiencia en los instrumentos de evaluación con los adecuados requisitos de validez y confiabilidad (puesto que la información requerida comúnmente contiene inconsistencias y es proclive a ser redundante), no se toma en cuenta el carácter educativo de la evaluación, existe una concepción conductista, con énfasis en los resultados y no en el proceso de enseñanza-aprendizaje, existe una desarticulación entre la evaluación y los objetivos a lograr, existen discrepancias en cuanto a la participación del alumno en la evaluación; no está bien entendida la diferencia entre medición y evaluación (estos son dos conceptos diferentes) donde la evaluación tiene un carácter más amplio, no está bien entendida la evaluación como un proceso de toma de decisiones; el conocimiento involucrado en la evaluación tiene un carácter dinámico.

La evaluación tiene entre sus principales funciones el constatar el nivel de partida para conocer el nivel inicial de la actividad cognoscitiva de los estudiantes, el de retroalimentación no sólo para el profesor, sino también para el estudiante como ente activo de su aprendizaje (es una de las funciones más importantes pues permite realizar los ajustes y correcciones en el proceso de aprendizaje), el de motivación, el de ayuda y el de comprobación.

La evaluación en un tutorial debe cumplir con las funciones antes descritas, permitiendo un conocimiento preciso del desarrollo de la actividad educativa y en qué medida se alcanzan los objetivos propuestos, ayudando constantemente al alumno mediante sugerencias y vías para superar las deficiencias detectadas. Ahora bien, es conocido que del conjunto de actividades mentales que es capaz de desarrollar el ser humano, la evaluación es, sin dudas, una en que la subjetividad juega un papel sumamente importante, alcanzando este hecho dimensiones dramáticas en la esfera docente, donde el objeto de evaluación es un ser humano que a la vez es objeto y sujeto donde los criterios de evaluación dependen de las individualidades de los docentes, a los que resulta extremadamente difícil explicar su proceder .

Las técnicas clásicas para la representación del conocimiento (reglas de producción, marcos, escenarios, redes semánticas, etc.) han sido diseñadas para representar conocimiento de naturaleza estática, modificables posiblemente a través de aprendizaje automatizado. Luego, los requerimientos que se necesitan para poder representar y manipular el conocimiento relativo a la evaluación, sólo pueden ser cumplidos a tenor del desarrollo o la utilización creativa de extensiones a tales técnicas, cuya implementación generalmente no es inmediata. Por otra parte, si bien es cierto que en sus inicios los diseñadores de tutoriales hacían mayor énfasis en las formas de representación del conocimiento del experto en la materia, con el tiempo la implementación de estrategias pedagógicas ha tomado cada vez más importancia, y para esto los investigadores de Inteligencia Artificial han trabajado relacionados con los psicólogos, los cuales también estudian procesos mentales.

Como se planteó anteriormente, las teorías desarrolladas por Skinner (behaviorismo), [Rojas,1991] y Piaget (teoría cognoscitiva (pedagogía operatoria)), [Sanz,1991] en su momento tuvieron amplia aceptación entre los investigadores, sin embargo, las críticas que les han hecho han motivado la búsqueda de nuevas estrategias, más acordes a nuestros tiempos. Así surge la teoría cognoscitiva contemporánea [Corral,1991], de amplia aceptación en occidente como se refleja en la literatura más reciente sobre el tema [Dubinsky,1996], pues aspectos de esta teoría están siendo utilizados con frecuencia en los tutoriales (se han propuesto

modelos acerca de la manera en que se crean las estructuras cognitivas [Anderson,1996]). Debido a la naturaleza misma de estas teorías, su aplicación no se efectúa a través de todo el tutorial, sino en partes específicas, como por ejemplo, en la resolución de problemas. Por ello se requería la búsqueda de una teoría cuya aplicación fuera posible en forma integral.

Teniendo en consideración todo lo expuesto anteriormente se puede plantear que los problemas fundamentales que se presentaron en el transcurso del desarrollo de este trabajo con respecto a la representación y procesamiento del conocimiento pedagógico fueron:

- La selección de una forma de representación y procesamiento del conocimiento relativo a la evaluación que tuviese en cuenta el carácter subjetivo e impreciso del mismo, con el objetivo de obtener una formalización de este conocimiento a partir de su modelación.
- La selección de una adecuada teoría pedagógica científicamente probada, que tuviese en cuenta el comportamiento individualizado del estudiante y a partir de ella obtener un modelo de la estrategia pedagógica.

Representación y procesamiento del conocimiento pedagógico en un tutorial inteligente

En este capítulo se hace una crítica a las tendencias pedagógicas contemporáneas más usadas, que justifican la selección de la utilizada en el trabajo. Estas fueron: la pedagogía tradicional, la escuela nueva, la tecnología educativa, la pedagogía no directiva y la teoría cognoscitiva. Como principales críticas a estas tendencias se pueden plantear: la pedagogía tradicional es muy criticada debido al papel pasivo y secundario que se le asigna al estudiante, otras como la escuela nueva y la pedagogía operatoria requieren de cambios sustanciales en la forma de pensar de los docentes y condiciones muy especiales tanto psicológicas como materiales para el logro de los objetivos propuestos, la tecnología educativa y la perspectiva cognoscitiva constituyen dos de las tendencias más utilizadas por la comunidad de informática educativa; sin embargo, la tecnología educativa no tiene en cuenta las diferentes etapas del proceso de asimilación, lo cual resulta una desventaja si se desea modelar automáticamente el desarrollo mental del alumno y en el caso de la perspectiva cognoscitiva aunque se plantea que el desarrollo intelectual del individuo pasa por diferentes etapas, no hace una diferenciación de etapas en el proceso de asimilación del estudiante independientemente de la etapa de su vida en que se encuentre. Por todo lo antes expuesto no fueron seleccionadas estas tendencias como fundamento pedagógico de este trabajo, puesto que se buscaba una tendencia que tuviese entre sus principales características el reconocimiento del carácter activo de los procesos psíquicos y de las diferentes etapas del proceso de asimilación que hiciese posible su modelación eficaz en un tutorial inteligente. Estos requisitos los cumple la teoría de la formación por etapas de las acciones mentales, basada en el enfoque histórico-cultural. El creador de esta escuela es L.S.Vigotski [González O.,1991], [Talizina,1990]. Este enfoque centra su interés en el desarrollo integral de la personalidad, cuyo desarrollo sólo es posible si se dirige la atención a la unidad de fenómenos diversos en cuyo interior está la personalidad, en un espacio-tiempo en el cual interactúan los hombres con una formación histórico y cultural creada por la propia actividad de producción y transformación de su realidad.

Dentro de este enfoque se enmarca la teoría de la formación por etapas de las acciones mentales, desarrollada por P. Ya Galperin [González O.,1989], [Talizina,1988] la cual, además, se apoya en la teoría de la actividad de Leontiev, que plantea como eslabón central la acción como unidad de la actividad del estudio, y como unidad de cualquier actividad humana. El cumplimiento de la acción por el sujeto presupone la existencia de determinado objetivo, que se alcanza sobre la base de cierto motivo; la acción siempre está dirigida al objeto material o ideal; toda acción incluye un determinado conjunto de operaciones que se ejecutan en un orden determinado. Además, en toda acción hay tres partes, la orientadora, la ejecutora y la de control. De acuerdo con esta teoría el proceso de asimilación transita por las siguientes etapas: etapa *motivacional*, etapa de *elaboración del esquema de la base orientadora de la acción* (BOA), etapa *material de la formación de la acción*, etapa *verbal de la formación de la acción* y etapa

mental de la formación de la acción. A continuación se detallan las características esenciales de cada etapa: en la primera etapa, llamada motivacional, se debe lograr interesar a los alumnos por el nuevo contenido a estudiar, en la segunda etapa el alumno recibe o construye todas las condiciones en que se apoya para ejecutar la acción; es la etapa de la elaboración del esquema de la base orientadora de la acción (BOA), que es el sistema de condiciones en el que realmente se apoya el hombre al cumplir la acción [Talizina,1990], en esta etapa el profesor exterioriza sus acciones mentales y las describe a los alumnos en forma materializada. En la tercera etapa (de la formación de la acción en forma material), los alumnos ejecutan la acción, en forma material con el despliegue de todas las operaciones que forman parte de ella. En esta etapa no debe haber un gran número de tareas de un solo tipo, ya que en este caso la acción se reduciría y automatizaría y eso no debe ocurrir en ese momento. El control no debe hacerse sólo por resultados finales sino por operaciones, para que sea posible detectar en qué paso, se equivocó el estudiante. En la cuarta etapa (de la formación de la acción en forma verbal), la acción pasa por la generalización, pero aún sigue siendo no automatizada ni reducida; en sus inicios debe ser desplegada y solo en el estadio final se comienzan a omitir algunas operaciones. En esta etapa es fundamental el trabajo en grupos que propicien la discusión y el tránsito hacia la próxima etapa. En la quinta etapa (mental) la acción adquiere muy rápidamente un desarrollo automático, puesto que es la etapa en que la acción se transforma en lenguaje interno; en esta etapa el control se efectúa al resultado final. En la teoría explicada anteriormente, es esencial el análisis que se hace del tránsito del estudiante por las diferentes etapas del proceso de asimilación y la forma en que está concebida y formalizada por parte de los creadores, permite al aplicarla, ir pasando a través de ellas mediante un sistema de tareas bien elaborado, ésta es una diferencia fundamental con las otras teorías y es a su vez una ventaja para su utilización en tutoriales inteligentes que tengan como característica el que, para resolver un problema sea posible contar con un conjunto dado de pasos, pues en éstos la aplicación de la teoría es particularmente exitosa, como lo corroboran los trabajos realizados en el Instituto Superior Politécnico “José A. Echevarría”, en la asignatura de Cálculo I, donde se aplicó en forma no automatizada [Calderón,1991,1994], [Martínez,1994].

La modelación de la estrategia y de la evaluación del aprendizaje involucran conocimiento incierto y subjetivo, en un proceso de toma de decisiones. Es por ello que se hace necesario hacer una breve crítica a las diferentes formas de representación del conocimiento incierto e impreciso existentes, que justifiquen el por qué de la teoría seleccionada. Estas formas de representación son: *métodos de ranura y relleno, redes neuronales y sistemas de producción*, estos últimos incluyen para el tratamiento de la incertidumbre, la teoría de la evidencia, de las probabilidades, de certidumbre y otras. Las formas de representación del conocimiento incierto mencionadas anteriormente presentan las siguientes limitaciones: representan conocimiento de naturaleza estática (aunque es posible su modificación a través del aprendizaje automatizado), en todos los casos se requiere de información adicional (por ejemplo factor de certidumbre, probabilidad a priori y otros) para que se puedan aplicar y no formalizan el procesamiento del conocimiento incierto integrado con el de toma de decisiones [Frost,1990], [Salmerón,1990].

Como consecuencia de estas limitaciones, fue necesario la búsqueda de una forma de representación del conocimiento que las superase, estos requerimientos los cumple la teoría seleccionada, de la cual se dará una breve reseña a continuación.

La Teoría de los Conjuntos de Frontera Imprecisa (*Rough Sets*) se propone como una herramienta eficaz en el tratamiento de la incertidumbre y la imprecisión en los datos, y toma cada vez más importancia en las investigaciones de la Inteligencia Artificial y de la Ciencia del Conocimiento [Slowinsky,1995], [Pomerol,1995] puesto que ofrece un punto de vista diferente en el análisis, representación y manipulación del conocimiento.

El creador fue Pawlak [Pawlak,1991,1993] y el punto de partida de esta teoría es la imposibilidad de distinguir objetos en base al conocimiento impreciso que se posee. El conocimiento es entendido como la habilidad de clasificar objetos en un

universo dado y se identifica con una familia de patrones de clasificación (relaciones de equivalencia), donde los objetos que pertenecen a la misma clase son indiscernibles con el conocimiento que se tiene. Todo conjunto de objetos indiscernibles (similares) es llamado conjunto elemental. Estos conjuntos elementales conforman los gránulos básicos (átomos) del conocimiento sobre el universo dado. Todo conjunto que pueda ser obtenido como la unión de algunos de estos conjuntos elementales se denomina “preciso”, de otro modo se dice que es “impreciso” (*rough*). En consecuencia los conjuntos de frontera imprecisa contienen objetos que no pueden ser clasificados como miembros del conjunto o de su complemento (objetos que están en la frontera). La suposición de que los objetos pueden ser clasificados teniendo en cuenta la información que sobre ellos se tiene, conduce a reconocer la granularidad del conocimiento, que causa que algunos objetos no puedan ser diferenciados y parezcan similares, por tanto los conceptos vagos no pueden ser caracterizados con el conocimiento de sus elementos, a diferencia de los conceptos precisos. En la aproximación que se propone con los conjuntos de frontera imprecisa, se asume que cualquier conjunto impreciso puede ser caracterizado con la ayuda de dos conjuntos precisos llamados aproximación por defecto y aproximación por exceso del conjunto impreciso; donde la aproximación por defecto es el conjunto de todos los objetos que con certeza pueden ser clasificados pertenecientes al conjunto y la aproximación por exceso es el conjunto de todos los objetos que posiblemente pertenecen al conjunto, la diferencia entre ambos conjuntos aproximados es llamada la región frontera del conjunto impreciso. Estos conjuntos aproximados son conceptos básicos en la teoría de los conjuntos de frontera imprecisa y a través de ellos es posible definir una medida de la precisión y la calidad de la aproximación, con un número en el intervalo $[0,1]$ que expresa con exactitud cómo se puede describir el conjunto examinado de objetos usando la información que se posee.

Cuando un conjunto de objetos es clasificado teniendo en cuenta la opinión subjetiva de expertos se presentan dos problemas a resolver: ¿cómo reducir el conjunto de atributos (cualitativos y cuantitativos) a un subconjunto que asegure una aproximación de la clasificación tan buena como la original? y ¿cómo obtener reglas de decisión que expliquen el comportamiento seguido por el experto? Estos dos problemas son resueltos por la teoría de los conjuntos de frontera imprecisa. Para una explicación más detallada de la teoría ver [Pawlak,1991] .

Se define un sistema de información o sistema de representación de conocimiento como una tabla finita cuyas filas son objetos, las columnas atributos y las entradas de la tabla los valores de los atributos. Así un sistema de información puede verse como una colección de objetos descritos mediante los valores de los atributos. Formalmente se entiende por sistema de información a un 4 - tuple $S=\langle U, Q, V, f \rangle$ donde:

U : es un conjunto finito de objetos.

Q : es un conjunto finito de atributos.

$V = \cup_{q \in Q} V_q$; V_q es el dominio del atributo q .

$f: U \times Q \rightarrow V$ es una función total tal que $f(x, q) \in V_q$ para todo $q \in Q, x \in U$, llamada función de información.

Si en un sistema de información se distinguen los atributos en: atributos de condición (C) y atributos de decisión (D), entonces se le denomina tabla de decisión. Tomando en consideración que la utilización práctica de esta teoría es a través de las tablas de decisión, es que antes de concluir esta breve reseña se darán algunas definiciones asociadas a ellas.

Se dice que el conjunto de atributos $D \subseteq Q$ depende del conjunto de atributos $C \subseteq Q$, y se denota como $C \rightarrow D$ (C implica D), si cada clase equivalente de la relación de equivalencia generada por C está incluida en alguna clase equivalente generada por D .

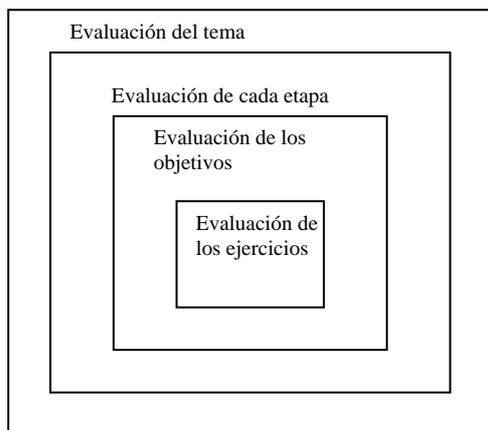
Se dice que una tabla de decisión, con atributos de condición C y de decisión D , es

determinística (consistente) si y solo si $C \rightarrow D$, de lo contrario se dice que es no determinística (inconsistente). Cualquier fila en la tabla de decisión es llamada regla de decisión y cualquier regla de decisión correspondiente al objeto (fila) x , puede ser visto como una implicación $\phi \rightarrow \psi$, donde ϕ es la descripción de x en término de los atributos de condición C y ψ es la descripción de x en términos de los atributos de decisión D . Se dice que una regla de decisión $\phi \rightarrow \psi$ es determinística si en la tabla no existe una regla de la forma $\phi \rightarrow \psi'$, $\psi \neq \psi'$, o sea no existe una regla con los mismos atributos de condición pero diferentes atributos de decisión, de lo contrario se dice que la regla es no determinística. Una tabla de decisión es determinística si y solo si todas sus reglas de decisión son determinísticas. Una regla de decisión está reducida si sus atributos de condición están reducidos. La obtención de reglas de decisión minimales a partir de la tabla de decisión es una de las principales tareas de la teoría de los conjuntos de frontera imprecisa. Los procedimientos para resolver estos problemas pueden verse en [Pawlak, 1993], [Slowinsky, 1993], [Ziarvo, 1987]. Esta teoría presenta las siguientes bondades en el tratamiento y manipulación del conocimiento incierto, que se pueden resumir en: no requiere de información adicional, analiza sólo hechos ocultos en los datos, posibilita la evaluación de la importancia de los atributos, encuentra una representación del conocimiento minimal, ya que reduce todos los objetos y atributos redundantes y superfluos mediante la obtención de los subconjuntos minimales de atributos (reductos), los cuales aseguran una aproximación con la misma calidad que la original, representa las relaciones entre los objetos (descritos por un reducto) y las decisiones en forma de un conjunto de reglas de decisión (IF...THEN...) llamado algoritmo de decisión que explica la política seguida por el experto, el algoritmo de decisión representa el conocimiento obtenido por el experto en base a todo el conjunto de objetos, esta representación es libre de redundancias, es una teoría conceptualmente simple y que utiliza algoritmos muy simples, es una teoría que integra armónicamente el tratamiento de la información con incertidumbre y el problema de la toma de decisiones. Todas las bondades planteadas anteriormente justifican la selección de esta teoría en la modelación de dos componentes fundamentales del conocimiento pedagógico: la estrategia pedagógica y la evaluación, teniendo en cuenta que en ambas hay involucrado conocimiento incierto y subjetivo en procesos donde, además, se requieren tomas de decisiones. Conviene destacar, que en la literatura especializada sobre esta teoría no se reporta su aplicación a la tarea resuelta en la presente tesis.

Los modelos para la evaluación del aprendizaje y la estrategia pedagógica propuestos en este trabajo están basados en la teoría pedagógica de la formación por etapas de las acciones mentales y en la teoría matemática de los conjuntos de frontera imprecisa [Melgarejo, 1996]. El tránsito por las etapas se realiza a través de la evaluación de los objetivos asociados a cada etapa. En la etapa inicial es necesario conocer si el estudiante posee los requisitos mínimos indispensables para comenzar el estudio del nuevo tema, para ello el estudiante resuelve un examen inicial, cuya evaluación determina el nivel de conocimientos que posee. Inmediatamente después el estudiante pasa a la etapa motivacional, en la cual se le presentan problemas de interés, que lo pueden motivar en el estudio del nuevo tema (en el modelo propuesto no está concebido evaluar el tránsito entre esta etapa y la siguiente, de modo que en esta etapa él solo recibe información, sin retroalimentación). La próxima etapa es la de la formación de la BOA, en la que el estudiante recibe los nuevos contenidos, métodos de trabajo, sugerencias (entre otros); si el estudiante cumple con los requisitos de esta etapa (respondiendo correctamente a las preguntas de comprobación) pasa a las etapas: material, verbal y mental en las cuales toma un papel más activo. En el modelo propuesto la etapa verbal se efectuará en el aula (no automatizadamente), mediante un seminario que garantice la verbalización de la acción, es el profesor quien decide si el estudiante puede transitar a la etapa mental. El tránsito del estudiante por las etapas material, verbal y mental ocurre si se cumple con los requisitos de cada etapa, que son medidos a través de la ejercitación. Si el estudiante transita satisfactoriamente por todas las etapas hasta llegar a la mental, se considera que ha asimilado con efectividad los nuevos contenidos estudiados.

La modelación de la estrategia pedagógica requiere de una estructuración del

contenido a estudiar en temas, existiendo una relación bien definida entre cada tema y las etapas del proceso de asimilación, de manera que un tema se considera que ha sido asimilado satisfactoriamente por un estudiante si ha transitado por todas las etapas: etapa inicial, etapa motivacional, etapa de formación de la BOA, etapa material, etapa verbal y etapa mental. Para cada etapa del proceso es posible definir objetivos relacionados con sus particularidades y para cada objetivo se definen ejercicios, de manera que dependiendo de como el estudiante resuelve los ejercicios sea posible decidir si el objetivo asociado es cumplido o no. Así, en dependencia de cómo resolvió los ejercicios asociados a un objetivo, se decide el cumplimiento del objetivo, del cumplimiento de los objetivos se decide el cumplimiento de la etapa y si es posible el



tránsito a la siguiente, para por último decidir el cumplimiento del tema.

La figura, muestra como se efectúa el monitoreo del aprendizaje (a través de la evaluación) teniendo en cuenta la teoría de la formación por etapas de las acciones mentales. Primero es necesario evaluar los ejercicios, para después evaluar cada uno de los objetivos (cada objetivo tiene asociado una cantidad de ejercicios), a continuación se evalúa cada etapa (que tiene asociados diferentes objetivos) para por último evaluar el tema (que está asociado a todas las etapas) o sea el monitoreo va de adentro hacia afuera, para ir pasando por los diferentes niveles de ejercicios-objetivos-etapas-tema.

Las tablas de decisión que se proponen como formalización del modelo de la evaluación del aprendizaje y de la estrategia pedagógica son las siguientes:

Tabla de decisión para los objetivos $O = \langle U, C, D, V, f \rangle$,

Tabla de decisión para las etapas $E = \langle U, C, D, V, f \rangle$,

Tabla de decisión para los temas $T = \langle U, C, D, V, f \rangle$,

Tabla de decisión para los estados en que se encuentra el estudiante después de resolver un ejercicio $R = \langle U, C, D, V, f \rangle$,

Tabla de decisión para evaluar ejercicios $J = \langle U, C, D, V, f \rangle$ donde:

U : representa el conjunto de objetos que será clasificado,

C : conjunto de atributos de condición,

D : conjunto de atributos de decisión diferentes,

V : representa los diferentes valores que pueden tomar los atributos de condición (V_C) y de decisión (V_D)

f : una función total definida por $U \times (C \cup D) \rightarrow V$.

La tabla (1) muestra las características específicas de cada uno de estos elementos. Las letras E, B, R, M en dicha tabla significan respectivamente, excelente, bien, regular y mal.

La tabla de decisión para evaluar ejercicios presenta la diferencia fundamental de que no brinda sugerencias pedagógicas. Esta tabla modela únicamente la evaluación, en ella, la decisión de cuáles atributos de condición seleccionar de todos los indicadores del modelo

del estudiante, representa un problema de toma de decisiones adicional que se resuelve con la aplicación de los conjuntos de frontera imprecisa.

Tabla (1) Características específicas de las tablas de decisión.

Conjunto objetos (U)	Atributos condición (C)	Atributos decisión (D)	Valores atributos condición (Vc)	Valores atributos decisión (V _D)
Objetivos	Ejercicios asociados	1)Evaluación objetivo. 2)Sugerencias	E,B,R,M	1)E,B,R,M 2)Sugerencias con y sin seguimiento
Etapas	Objetivos asociados	1)Cumplimiento etapa 2)Sugerencia	E,B,R,M	1)E,B,R,M 2)Sugerencia con y sin seguimiento y para profesor
Temas	Etapas asociadas	1)Evaluación tema 2)Sugerencias	E,B,R,M	1)E,B,R,M 2)Sugerencia con y sin seguimiento
Estados del estudiante	1)Evaluación ejercicio 2)Atributos del modelo del estudiante	Sugerencias	1)E,B,R,M 2)Depende de atributo seleccionado	Sugerencia con o sin seguimiento
Ejercicios	Atributos del modelo del estudiante	Evaluación del ejercicio	Depende de atributos seleccionados	E, B, R, M

El modelo del estudiante que se propone tendrá en cuenta los siguientes indicadores:

- Indicadores que reflejen el grado de independencia del estudiante al realizar la acción.
- Indicadores que permitan:
 - evaluar con certeza el ejercicio
 - determinar si una acción es automatizada o no
 - poder saber si el estudiante siguió las sugerencias dadas por el tutorial
 - determinar el grado de despliegue de la acción
 - saber la forma en que se realiza la acción
 - determinar el grado de solidez de la acción.

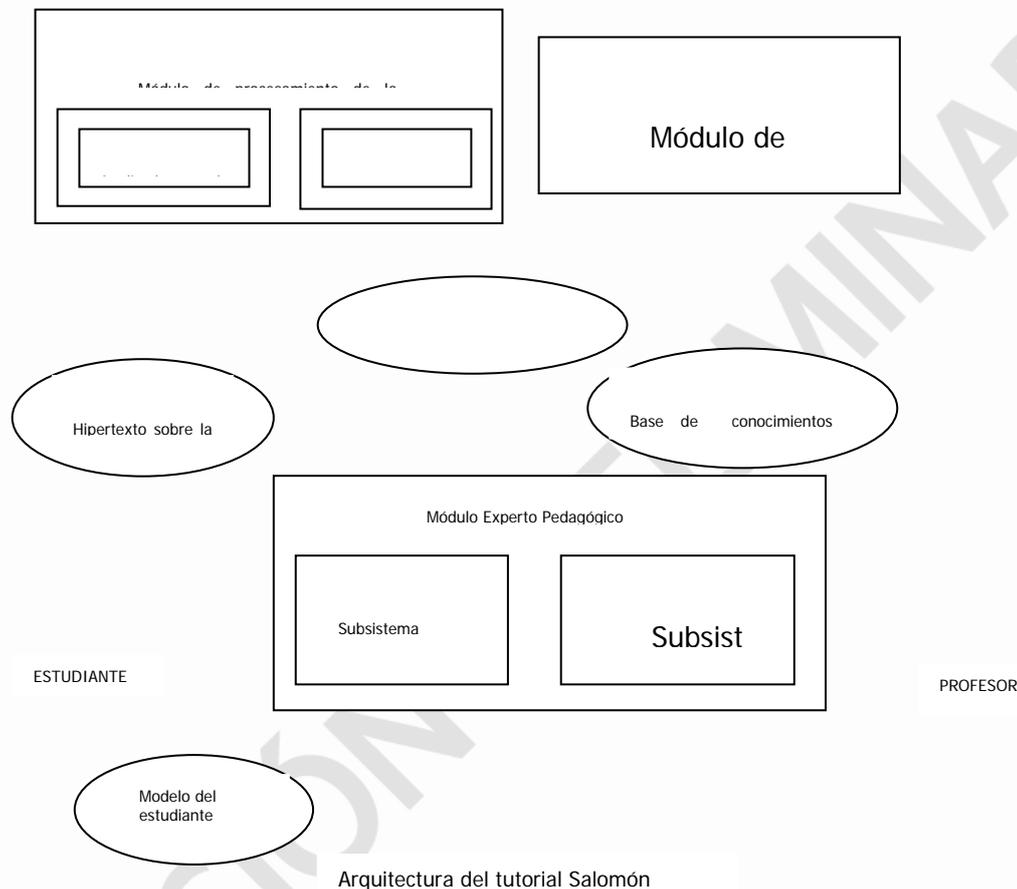
Estos indicadores en el modelo del estudiante permiten evaluar la calidad de la actividad de asimilación y de las acciones ejercitadas, puesto que incluyen las principales características que debe tener la acción.

Salomón: Tutorial inteligente basado en la teoría de la formación por etapas de las acciones mentales

En esta sección se explica la estructura y funcionamiento del tutorial Salomón, el cual es un ejemplo práctico de los modelos propuestos en la tesis, además se hace una explicación de cómo fue validado y los resultados obtenidos.

Se decidió la realización de un tutorial inteligente para enseñar a los estudiantes de ingeniería el trazado de curvas, teniendo en cuenta que en este tema se resume una parte importante de los conocimientos que se imparten en el cálculo diferencial. El tutorial Salomón es inteligente sólo en la componente pedagógica y no en la parte relativa a la materia. Se tomó esta decisión en aras de centrar la atención en el objeto de investigación de esta tesis: el estudio y profundización en las formas de procesar y modelar el conocimiento pedagógico. La implementación del

tutorial requirió un arduo trabajo con expertos en la materia, cinco profesores de probada maestría pedagógica, quienes colaboraron en la elaboración del contenido, ejercicios, sugerencias; y que aportaron todo el conocimiento pedagógico y sobre la materia, que después fue formalizado. El tutorial presenta una arquitectura que se muestra en la figura siguiente.



Las funciones de cada módulo son las siguientes: El hipertexto sobre la materia constituye, en el tutorial, un módulo independiente a través del cual el estudiante recibe la orientación (BOA), que es concreta, completa y se da preparada. El hipertexto diseñado está dividido en dos hipertextos de acceso independiente, pues, debido a que en el modelo propuesto no se automatiza la etapa verbal, cuando el alumno pasa a trabajar con el tutorial en la etapa mental es posible que aún se encuentre en tránsito entre estas dos etapas, ya que éste no está modelado informáticamente y es el profesor quien decide que el alumno pase a trabajar con el tutorial en la etapa mental, es por esto que en este caso el tutorial brinda la posibilidad de que acceda a un hipertexto reducido. El alumno interactúa con el hipertexto a través del módulo experto pedagógico .

El módulo de adquisición del conocimiento pedagógico y datos de la materia es el encargado de crear y actualizar la base de conocimientos pedagógicos y de datos sobre la materia. Este módulo adquiere las tablas de decisión aportadas por los expertos y les aplica mecanismos de inferencia con el objetivo de transformar la información aportada por los expertos en conocimiento, mediante la reducción de las tablas originales en tablas minimales consistentes. Las tablas de decisión que se definen son: tabla de decisión de los temas, tabla de decisión de los objetivos, tabla de decisión del estado del estudiante después de resuelto un ejercicio y tabla de decisión para la evaluación de los ejercicios. Este módulo contiene, además, las bases de datos que relacionan los objetivos por tema, las sugerencias pedagógicas con

y sin seguimiento, el tema con los ejercicios, el modo de resolución de los ejercicios, el objetivo asociado al ejercicio y la etapa asociada. El tutorial Salomón implementa los modelos propuestos en la tesis pero ofrece una mayor flexibilidad para el uso de los docentes, debido a que brinda la posibilidad al profesor de implementar una estrategia pedagógica diferente a la de la formación por etapas de las acciones mentales y en ese caso se definen los temas, los ejercicios asociados a éstos, el grado de dificultad de los ejercicios y la forma de evaluar los ejercicios y el tema sin tener en cuenta etapas ni objetivos. El módulo es de uso exclusivo del profesor, quien define las tablas de decisión, los datos sobre los ejercicios, objetivos, temas y otros.

En la base de datos sobre la materia (creada y actualizada en el módulo anterior) se definen para cada tema la estrategia (si es por objetivos, siguiendo la teoría pedagógica implementada en el tutorial o si no es por objetivos), los ejercicios del tema y las variables del tema. La base de datos de ejercicios contiene la siguiente información por ejercicio: modo de resolución del ejercicio (existen cuatro modos que se diferencian en el grado de información que recibe el alumno y en el grado de despliegue de la acción), variables del ejercicio (a cada paso le corresponde una variable) y tiempo límite de resolución del ejercicio (se utiliza en la etapa mental cuando se desea lograr la automatización de la acción).

Las variables pueden ser de entrada múltiple, selección única, selección múltiple o entrada simple. El tipo de la variable puede ser dato, variable auxiliar (si el conocimiento que involucra corresponde a contenido ya estudiado) o resultado (si el conocimiento que involucra corresponde al nuevo contenido). Las variables se definen con un peso (importancia) definido por el experto, y con un orden (que es el orden de los pasos en el algoritmo), a cada variable se le asocia un procedimiento (el cual resuelve el paso correctamente) y por último es posible dar una explicación de cada paso. Toda esta información contenida en esta base de datos es utilizada después por el módulo experto pedagógico.

La base de conocimientos pedagógicos contiene toda la información pedagógica, incluyendo las tablas de decisión minimales que fueron procesadas por el módulo de adquisición del conocimiento pedagógico. Esta información es utilizada por el módulo experto pedagógico.

El módulo para el procesamiento de la materia del dominio que se desea enseñar, está estructurado en forma de conocimiento procedural numérico y simbólico. Está compuesto por el subsistema analizador de funciones y el subsistema editor de curvas. El editor de curvas tiene como principal objetivo el trazar el gráfico de una función, a partir de las características esenciales de una función o de su expresión analítica, además evalúa el paso del trazado de la curva en los ejercicios correspondientes al trazado de curvas. El subsistema analizador de funciones tiene la función de obtener cada una de las características más relevantes de una función desde la óptica del cálculo diferencial. Estos dos subsistemas interactúan entre sí. El módulo de procesamiento de la materia interactúa con el módulo experto pedagógico brindándole las características esenciales de la función que el experto pedagógico le pida y la calificación obtenida por el estudiante en el paso del trazado de la curva.

El modelo del estudiante contiene toda la información necesaria para poder guiar al estudiante dependiendo de su comportamiento individualizado, esta información es utilizada a través de todo el proceso tutorial y es por esto que el modelo del estudiante interactúa muy estrechamente con el *Módulo Experto Pedagógico*. El modelo del estudiante que se propone en Salomón contiene indicadores de los tipos propuestos en la sección de representación y procesamiento del conocimiento pedagógico en un tutorial inteligente.

El *Módulo Experto Pedagógico* es el módulo rector pues tiene la responsabilidad de dirigir el aprendizaje. Está conformado por el subsistema entrenador-evaluador y el subsistema de diagnóstico pedagógico. El subsistema entrenador-evaluador es el encargado de evaluar los ejercicios, los objetivos y el tema, además, en cada caso brinda al estudiante

las sugerencias pedagógicas con o sin seguimiento, interactúa con el analizador de funciones para poder comparar por pasos la respuesta del estudiante y la respuesta correcta (esta última se obtiene de la ejecución del procedimiento asociado al paso) y decidir la evaluación de cada paso antes de evaluar el ejercicio en su totalidad, interactúa con el editor de curvas, con la base de conocimientos pedagógicos y con la base de datos de la materia, además actualiza el modelo del estudiante. El subsistema de diagnóstico pedagógico interactúa directamente con el profesor, pues es el encargado de suministrarle las indicaciones pedagógicas que solo él recibe.

El funcionamiento del tutorial es posible explicarlo teniendo en cuenta la estructuración que se hace en los siguientes temas: examen inicial, preguntas de comprobación, dominio, simetría, extremos, concavidad-convexidad, asíntotas, monotonía y trazado de curvas.

En cada tema el estudiante debe transitar por cada una de las etapas: inicial, de formación de la BOA, material, verbal y mental. En la etapa inicial, el estudiante realiza un examen con el cual se evalúa la etapa. La tabla de decisión que se forma, tiene como atributos de condición cada uno de los ejercicios (con los valores de atributo, de aprobado o suspenso) y un atributo que indica cuantas veces hizo el examen (puede ser 1, 2 o 3) pues es posible examinarse con diferente examen hasta tres veces. Como atributos de decisión aparece la evaluación del examen (aprobado o suspenso) y sugerencias pedagógicas que son tres posibles: primera, puede pasar a trabajar con el tutorial, segunda, tiene dificultades; debe pasar a ejercitarse y volver a examinarse y tercera, necesita ayuda adicional (pues ha suspendido el examen tres veces). Después de pasar el examen inicial, el estudiante tiene la oportunidad de recibir el contenido del nuevo tema a estudiar en el hipertexto (etapa de formación de la BOA) y al final de la etapa puede responder las preguntas de comprobación. Estas preguntas no se evalúan con tablas de decisión, sino que si tiene la más de la mitad de las preguntas aprobadas se le dice que no tiene problemas, de lo contrario se le sugiere que vuelva a ver el contenido. A continuación el estudiante pasa a la etapa material, mediante ejercitación. En esta etapa, como en la mental, la tabla de decisión para evaluar un ejercicio $J=\langle U, C, D, V, f \rangle$ contiene: atributos de condición que se obtuvieron del modelo del estudiante y fueron: Pasos C (pasos totales correctos), Pasos CV (pasos totales correctos con variable auxiliar) y SolFinal (solución final correcta) y un único atributo de decisión, la evaluación del ejercicio que toma los valores de Excelente (E), Bien (B), Regular (R) o Mal (M).

Para poder decidir que atributos del modelo del estudiante se tomarían como atributos de condición, fue necesario formar una tabla de decisión con todos los atributos del modelo del estudiante y realizar un análisis de consenso, dando como resultado que los atributos considerados indispensables por los expertos para poder evaluar con calidad un ejercicio fueron solo los tres señalados anteriormente. Después de evaluado el ejercicio, la tabla de decisión que define el estado del estudiante $R=\langle U, C, D, f \rangle$ decide la estrategia a seguir, esta tabla contiene: atributos de condición que son los indicadores del modelo del estudiante: *EvalEjer* (que dice la evaluación del ejercicio), *ModoRes* (modo de resolución que utilizó el estudiante), *ModoSug* (modo de resolución sugerido), *PasosOrd* (si el estudiante ordenó bien los pasos), *Reintentos* (veces que reintentó por pasos), *EjerAprobado* (cantidad de ejercicios asociados a un objetivo que estén aprobados) y *Conten* (cantidad de veces que vio el contenido). Los atributos de decisión son sugerencias pedagógicas de dos tipos: sin seguimiento y con seguimiento. En la forma como está implementado en el tutorial, a la etapa material le corresponde un objetivo, el cumplimiento del cual es medible a través de los ejercicios asociados. Así al evaluar el objetivo se evalúa la etapa, con una tabla de decisión que contiene: atributos de condición, que son los ejercicios asociados al objetivo (etapa), cuyos valores son E, B, R o M y atributos de decisión que son tres: atributo que mide el cumplimiento del objetivo en E, B, R o M, atributo que define si el estudiante está en la etapa o está saliendo de la etapa (esta información sólo la recibe el profesor) y sugerencias pedagógicas brindadas al estudiante.

Se propone que la etapa verbal se efectúe en el aula, siendo el objetivo fundamental que el estudiante sepa explicar la línea de razonamiento seguida para resolver los

ejercicios y problemas En esta etapa es esencial el trabajo en grupos, es por esto que el modelo propuesto consideró que el seminario era la forma idónea de organización del proceso docente y es el profesor quien decide si el estudiante debe pasar a trabajar con el tutorial en la etapa mental.

En la etapa mental los estudiantes resuelven una cantidad mayor de ejercicios. Estos ejercicios se evalúan con la misma tabla de decisión que en la etapa material y a continuación se aplica la tabla de decisión para determinar el estado del estudiante que en este caso contiene atributos de condición: ModoSug, ModoRes, EvalEjer, Reintentos, TiempoReal (tiempo en que realizó el ejercicio) y atributos de decisión que son sugerencias pedagógicas con o sin seguimiento.

A la etapa mental (al igual que en la material) se le asoció un objetivo, el cual es medible a través de los ejercicios, la evaluación de la etapa se efectúa mediante una tabla de decisión de iguales características, sólo se diferencia en que la cantidad de ejercicios a tener en cuenta es mayor y en que en el atributo de decisión que define si el estudiante está en la etapa, no se define que esté saliendo (pues la mental es la última), sino que está o no en la etapa.

Por último, para evaluar el tema en su totalidad, se consideran las etapas material, verbal y mental, y se define la tabla de decisión que tiene como atributos de condición los objetivos asociados a cada etapa, con valores de E, B, R o M y atributos de decisión de dos tipos: el que evalúa el tema en E, B, R o M y el que brinda sugerencias pedagógicas como: usted ha vencido el tema, usted ha vencido el tema pero presenta algunas dificultades, usted no ha vencido el tema.

El estudiante puede seguir la estrategia modelada en el tutorial si así lo desea; sin embargo, no se le obliga a seguir las sugerencias y por tanto a seguir la estrategia. Por último se debe destacar que Salomón ha sido diseñado para ser ejecutado sobre un ambiente WINDOWS, usando el lenguaje de programación Borland Delphi.

Para la validación didáctica del tutorial, se diseñó un experimento con dos variantes, una utilizando el sistema como tutorial de forma tal que los alumnos no recibieron las clases en el aula, sino en la computadora y otra utilizándolo como consulta, en este último caso, los alumnos recibieron la clase en el aula, sustituyéndose el modo de hacer consultas, pues en lugar de darla el profesor ellos asistieron al laboratorio. Se deseaba establecer si existía diferencia en el aprovechamiento de alumnos que recibiesen clases tradicionales y aquellos que utilizaran la computadora como material de consulta o como tutorial. Por eso se utilizó una prueba estadística para la comparación de dos muestras, contrastando el grupo que utilizó el sistema, con el que no lo utilizó. El experimento se realizó para la variante del tutorial con un grupo de Ingeniería Informática y para la variante de la consulta con un grupo de Ingeniería Informática y otro de Ingeniería Civil. Para el diseño de los experimentos se seleccionaron parejas que fueron escogidas de un grupo muestra y uno testigo, en la asignatura de Cálculo I. Para ello se tuvieron en cuenta una serie de factores como: procedencia, resultado de prueba propedéutica entre otros y se seleccionaron parejas de alumnos categorizados de bien, de regular y de mal. Después del experimento se realizó una prueba parcial cuyos resultados se tomaron en cuenta en el análisis final. Se seleccionó la prueba de los signos para establecer la diferencia entre ambos métodos. La hipótesis de nulidad es que $p(X_a > X_b) = p(X_a < X_b) = 1/2$, donde X_a es el juicio o puntaje para el que utilizó el tutorial y X_b es el juicio o puntaje para el que no lo utilizó. La prueba escogida es de dos colas pues no se puede predecir que signo ocurrirá más frecuentemente, utilizando dos niveles de significación: 0,05 y 0,01. Se utilizó el programa Statgraphics versión 5.0 sobre DOS, el cual arrojó como resultado que en todas las variantes del experimento los valores de las probabilidades están fuera de la región de rechazo para los dos niveles de significación con los que se hizo el análisis, por tanto la hipótesis de nulidad es aceptada y puede concluirse que no existe diferencia en el aprovechamiento de alumnos que reciben clases tradicionales y aquellos que utilicen la computadora como material de consulta o como tutorial.

Además de esta prueba, se aplicó también la de análisis de varianza de una clasificación por rangos de Kruskal-Wallis con respecto a la clasificación que se hizo de la muestra en parejas de bien, regular y mal, en este caso todos los puntajes son sustituidos por rangos.

La hipótesis de nulidad es que no hay diferencia entre las tres categorías al aplicársele el experimento con los niveles de significación de 0,01 y de 0,05. Como resultado de esta prueba, se obtuvo que en el experimento del tutorial el uso del sistema es más significativo para los alumnos dentro de la categoría de bien y de regular, sin embargo, en el caso del grupo testigo la hipótesis nula no se rechaza en ningún caso, lo cual indica que con el método usado no hay diferencias entre los grupos de categorías. Aplicando la misma prueba para el experimento de la consulta en Informática y Civil, se obtuvo como resultado que tanto en los grupos muestras como en los testigos no se rechaza la hipótesis de nulidad para los dos niveles de significancia, lo cual indica que en este caso no hay diferencias significativas entre los tres grupos cuando se usa el tutorial como consulta.

Concluyendo se puede decir que el uso del tutorial resulta efectivo en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los alumnos, además de que brinda más ventajas con los alumnos buenos y regulares cuando es usado como tutorial.

La validación con tres de los expertos pedagogos, representativos del grupo de expertos, que aportaron todo el conocimiento pedagógico y de la materia utilizada en el tutorial, se realizó con el objetivo de determinar si la formalización hecha del conocimiento pedagógico fue la adecuada. Se confeccionó un cuestionario que permitía emitir criterios sobre si la evaluación y las sugerencias dadas por el tutorial en un ejercicio, objetivo (etapa), tema o examen inicial coincidía con la que hubiesen dado los expertos en una situación similar. Los resultados de la aplicación del cuestionario muestran que sólo en muy contadas ocasiones (en tales casos difiere un experto que plantea que a veces está de acuerdo) no coinciden los expertos con las evaluaciones o sugerencias dadas por el tutorial. Por tanto, es posible concluir, que los resultados del cuestionario efectuado a los expertos muestran que el conocimiento pedagógico que ellos aportaron y la formalización que de éste se hizo es la adecuada.

Conclusiones

1. El trabajo fundamenta la importancia de la búsqueda de formas idóneas de representación y procesamiento del conocimiento pedagógico en tutoriales inteligentes, haciendo especial hincapié en dos de sus componentes fundamentales: la estrategia pedagógica y la evaluación del aprendizaje.
2. Se decidió la utilización de la teoría de la formación por etapas de las acciones mentales, teniendo en cuenta su carácter científico y las facilidades de automatización que brinda en tutoriales en los cuales la resolución de ejercicios implique una secuencia lógica de pasos.
3. Tomando en consideración que el proceso de evaluación del aprendizaje involucra conocimiento subjetivo e impreciso, además de toma de decisiones, se decidió utilizar la teoría de los conjuntos de frontera imprecisa para modelar el proceso, con lo cual se logró una representación minimal del conocimiento pedagógico.
4. El trabajo propone modelos para la estrategia y para la evaluación del aprendizaje basados en las teorías especificadas anteriormente.
5. Se elaboró un tutorial inteligente que permitiese corroborar de forma práctica los postulados de la tesis.
6. El tutorial implementado es un instrumento flexible en las manos del docente, quien puede implementar su propia estrategia, lo que amplía sus posibilidades de uso.
7. Se efectuaron experimentos pedagógicos con los alumnos que verificaron la validez del tutorial.
8. Se efectuó un cuestionario a los expertos que corroboró que la formalización que se hizo del conocimiento pedagógico fue la adecuada.

Recomendaciones

1. En relación con el desarrollo de la teoría de los conjuntos de frontera imprecisa como forma de representación del conocimiento pedagógico, se propone utilizar las posibilidades que brinda para: investigar dependencia entre atributos de condición, determinar importancia de los atributos y usar técnicas de enseñanza inductiva para la generación de reglas partiendo de un sistema de información existente.
2. Estudiar la posibilidad de utilización de la teoría de los conjuntos de frontera imprecisa en otras componentes del conocimiento pedagógico como el diseño curricular y la planificación docente, teniendo en cuenta que el conocimiento involucrado es impreciso y conlleva a un proceso de toma de decisiones.
3. Analizar la posibilidad de automatizar la etapa verbal, mediante una selección rigurosa de los tipos de ejercicios y problemas que debe resolver el estudiante, como por ejemplo, demostraciones, de forma tal que se logre un grado aceptable en la verbalización de la acción.
4. Con relación al tutorial Salomón se recomienda:
 - Incluir la utilización de la teoría de los conjuntos de frontera imprecisa, en la evaluación de las preguntas de comprobación y de los ejercicios de apoyo que realiza el estudiante que suspende el examen inicial.
 - Continuar experimentando con el tutorial, para enriquecer con la práctica el conocimiento pedagógico, con la inclusión de nuevas reglas, sugerencias y acciones.
 - Se recomienda en un trabajo futuro mejorar el tutorial Salomón, utilizando técnicas de Inteligencia Artificial para la representación del conocimiento sobre la materia.
 - La utilización del hipertexto y del editor de curvas como material didáctico independiente del tutorial.

Bibliografía

Alvarez, Gil, R., y Lamar Meneses, R. (1988). "SERDER: Sistema evaluador- repasador de derivación de funciones elementales". *Resúmenes de Informática 88*. La Habana, febrero.

Alvarez, Gil, R., y Lamar Meneses, R. (1990). "TEXIN: Sistema Tutorial inteligente para integración indefinida". *Resúmenes de Informática 90*. La Habana, febrero.

Alessi, S., y Trollip, S. (1985). "Computer -based Instruction". En Prentice- Hall, Inc.

Anderson, J. (1996). "Algebra Tutor". National Science Foundation. University of Central Florida. Institute of Simulation and Training. pp. 230-238.

Barker, Ph. (1995). "Evaluating a Model Of Learning Design". *Proceeding of DE-Media'95 Conference*. AACE. Austria. pp. 87-92.

Brena, R. (1994). "La Inteligencia Artificial: enfoques, herramientas, aplicaciones". *Soluciones Avanzadas*. Septiembre. 13, pp. 15-24.

Calderón, A. R., y Martínez, R.F. (1991). "Perfeccionamiento de la enseñanza de la asignatura Cálculo Diferencial". *Revista Cubana de Educación Superior*. 2(1).

Calderón, A. R. (1994). "Sistema Didáctico para la enseñanza del Cálculo Integral en Ingeniería Mecánica". *Primer Taller sobre la enseñanza de la Matemática para Ingeniería y Arquitectura I.S.P.J.A.E.* La Habana.

Carmona, J. (1995). "Projection Systems help educators bring more information to light". *Technological Horizons in Education*. 22(9), pp. 8-12.

Corral, R. (1991). "La perspectiva cognoscitiva" Colectivo de Autores. "Tendencias Pedagógicas Contemporáneas". UH, CEPES, pp. 65-73.

Cuevas, C.A. (1996). "Sistema tutorial inteligente LIREC ". *Memorias de la Décima Reunión Centroamericana y del Caribe sobre Formación de Profesores e Investigación en Matemática Educativa*. Puerto Rico. Agosto. pp. 369-374.

Chaljub, D. J. A. (1994). "Investigación y elaboración de recursos para la enseñanza de la electrónica analógica asistida por computadora". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV.

Dubinsky, E. (1996) "El constructivismo de Piaget y el aprendizaje de los conceptos abstractos de la matemática avanzada". *Memorias de la Décima Reunión Centroamericana y del Caribe sobre Formación de Profesores e Investigación en Matemática Educativa*. Puerto Rico.

Frenzel, L. E. (1991). "Crash course in Artificial Intelligence and Expert Systems". SAMS. Editado en el ISPJAE, Empresa Nacional de Producción del Ministerio de Educación Superior, 1990.

Frost. (1991) "Bases de datos y Sistemas Expertos". La Habana.

Garay, G. M. (1992). "Sistema Tutorial Inteligente para la enseñanza de la modelación matemática". *Resúmenes de Congreso Internacional de Informática en la Educación*. La Habana, febrero.

García, V. Z. (1993). " Investigación y elaboración de sistemas de enseñanza inteligentes ". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV.

Garijo, F.G. (1985). "Sistemas inteligentes de Enseñanza Asistida por Computador". *Mundo Electrónico*. 154, pp. 77-82.

Giró, R., y otros. (1990). "SIRIS.un sistema instructor para la resolución de integrales simbólicas". *Resúmenes del Congreso Internacional de Informática en la Educación*. La Habana, febrero

González, M. (1994). "La evaluación del aprendizaje de los estudiantes". *Conferencias en el CEPES*.

González, O. (1989). "Aplicación del enfoque de la actividad al perfeccionamiento de la Educación Superior". La Habana, CEPES.

González, O. (1991). "El enfoque histórico-cultural como fundamento de una concepción pedagógica". *Colectivo de Autores. "Tendencias Pedagógicas Contemporáneas"*. UH, CEPES., pp. 92-112.

Guerra, P.T. (1992). " Entrenadores Inteligentes para temas de Química General". *Resúmenes del Congreso Internacional de Informática en la Educación*. La Habana, febrero.

Hirigoyen, G. E. y otros. (1992). "Sistema de ayuda para la ejercitación en introducción a la programación (EXIP versión 2.0)". *Resúmenes del Congreso Internacional de Informática en la Educación*. La Habana, febrero.

Lauren, L. et. al. (1994). "Diseño de un sistema tutorial inteligente para enseñanza del funcionamiento y operación de equipos industriales". *Resúmenes de la 8va Conferencia Científica de Ingeniería y Arquitectura*. I.S.P.J.A.E., La Habana.

Lynam, L. (1996) "Intelligent Computerized systems help students learn and industry troubleshooters solve problems". *The McMaster Courier*. February 26. pp. 8-9.

Martínez, R. F. (1994). "*Una variante de sistema didáctico para la enseñanza del cálculo diferencial*". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Pedagógicas. Universidad de la Habana, CEPES.

Minsky, M. (1992). "The near future of Artificial Intelligence". *Proceedings International Symposium on Artificial Intelligence*. México, pp. 4-5.

Morales, A. F. (1990). "Riemann: Un entrenador inteligente para el cálculo integral". *Resúmenes del Congreso de Informática Educativa, Informática 90*. La Habana.

Morales, A. F. (1994). "Sistemas tutoriales inteligentes basados en casos: una propuesta de trabajo". *Resúmenes de 4to Congreso Internacional de Informática en la Educación*. La Habana.

Nicolson, R. (1988). "SCALD-towards an intelligent authoring system". *Artificial Intelligence and human learning*. Chapman and Hall Ltd, pp. 237-254.

Nilsson, J. (1982). "*Principles of Artificial Intelligence*". Springer-Verlang.

O'Shea, T. y Self, J. (1989). "*Enseñanza y aprendizaje con ordenadores*". *Inteligencia Artificial en Educación*. Editorial Científico Técnica. La Habana.

Pawlak, Z. (1991). "*Rough Sets: Theoretical Aspects of Reasoning about Data*". Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Pawlak, Z. (1993a). Anatomy of conflicts. *Bulletin of Europe Association for Theoretical Computer Science*, 50.

Pawlak, Z. (1993b). "Rough Sets. Present state and the Future". *Foundations of Computing and Decision Science*. 18 (3-4).

Peña, E. (1989). "Crítica a la fundamentación epistemológica de la medición del aprendizaje". *Perfiles Educativos*. pp. 45-46.

Peñalver, C. y, García de la Vega, D. (1992). "Sistema Tutor Inteligente para la enseñanza de la modelación matemática aplicada al problema del transporte en programación lineal". *Congreso Internacional de Informática en la Educación*. La Habana.

Pomerol, J. Ch. (1995). "Artificial Intelligence and Human decision making". *14th European Conference on Operational Research*. Jerusalem, Israel. pp. 169-196.

Prieto, M. Loret de Mola, G, y Balboa, R. (1990). "Sistema entrenador inteligente para el cálculo diferencial". *Resúmenes Informática Educativa, Informática 90*. La Habana.

Ridway, J. (1988). "Of course ICAI is impossible, worse though it might be seditious". *Artificial Intelligence and human learning*. Chapman and Hall Ltd, pp. 29-48.

Rodríguez, L. R. y Díaz, P. F. (1992). "Algor: Sistema basado en conocimiento para la enseñanza de la algoritmización". *Resúmenes de Congreso Internacional de*

Informática en la Educación. La Habana.

Rodríguez, R. A y Falcó, T. H. (1989). "Un tutorial para la enseñanza de la teoría de la polarización de la luz". *Resúmenes de la 6ta Conferencia Científica de Ingeniería y Arquitectura, ISPJAE*. La Habana.

Rojas, R. (1991). "La tecnología Educativa". *Colectivo de Autores."Tendencias Pedagógicas Contemporáneas"*. CEPES, UH, pp. 15-22.

Ruiz, de Z, S. (1992). "Física:Tutoriales y ejercitadores". *Resúmenes de Congreso Internacional de Informática en la Educación*. La Habana.

Salmerón, C. (1990). *La representación del conocimiento en Inteligencia Artificial*. Editado en el Instituto Politécnico de Madrid, España.

Sanz, T. y Corral, R. (1991). "Jean Piaget y la pedagogía operatoria". *Colectivo de Autores. Tendencias Pedagógicas Contemporáneas"*. pp. 73-78. CEPES, UH.

Self, J. (1988) "*Artificial Intelligence and human learning*". Chapman and Hall Ltd.

Slowinski, R. (1993). "Rough Set Learning of Preferential Attitude in Multi-Criteria Decision Making". *Methodologies for Intelligent Systems,7th International Symposium, ISMIS'93*. Trondheim, Norway, 1993. Proceedings. Springer-Verlag, Berlin.

Slowinski, R. (1995). "OR: Towards Intelligent Decision Support". 14th European Conference on Operational Research Jerusalem. Israel.

Talízina, N. (1998). "*Psicología de la Enseñanza*". Editorial Progreso. Moscú.

Talízina, N. (1995). "*Conferencias sobre los fundamentos de la enseñanza en la Educación Superior*". U. H. Cepes

Talízina, N. (1987). "*La formación de la actividad cognoscitiva de los escolares*". U.H., CEPES.

Villareal, I. J. (1990). "Algunas sugerencias prácticas". *Evaluación Educativa*.

Ziarvo, W. "On reduction of knowledge representation". *Proceeding of the 2nd International Symposium on methodologies for Intelligent Systems*. Charlotte, ORNL. pp. 99-113.