

ENFOQUE SISTÉMICO EN LOS SISTEMAS TUTORIALES INTELIGENTES MULTIMEDIA PARA LA ENSEÑANZA DE LA MODELACIÓN MATEMÁTICA

Resumen / Abstract

Desde tiempos remotos, el hombre ha utilizado modelos como un medio para el estudio de los fenómenos físicos, productivos y otros. La modelación constituye un importante método de conocimiento científico. Sin embargo, los procesos y los mecanismos que dirigen al hombre hacia la formulación de los modelos matemáticos siguen teniendo carácter no estructurado y en general han sido poco estudiados. En el presente trabajo se plantea el problema del perfeccionamiento de proceso de entrenamiento de los estudiantes en la formulación de modelos matemáticos, se analiza la importancia de resolver los problemas a partir de los conceptos de la multimedia e hipermedia internet, enseñanza problémica, de la cibernética y de la teoría de sistemas, y finalmente, se propone un novedoso método de solución basado en las ideas de los sistemas tutoriales inteligentes multimedia para el entrenamiento de estudiantes en la identificación de problemas y del método de solución más racional. El sistema actúa como un tutor inteligente que auxilia al estudiante en la identificación de los problemas y métodos de solución.

Since ancient times, models have become widely accepted as a means for studying phenomena but the processes involved in the mathematical modeling formulation continue being complex and ill-structured problem. For many years methodologies of mathematical modeling have tended to concentrate the effort on taxonomies more than to the formulation stage of the modeling process. At the present paper, the analysis and formulation modeling stage are discussed. In this relation, a new method for problem solving based on a hypermedia intelligent tutoring system is proposed. The system acts like a tutor helping students to model and solve optimization problems under complex decisional situations. In this connection, the systems theory and its methods for the HITS design are implemented. The system was implemented in C++ and Delphi on microcomputer.

Palabras claves / Key words

Informática en la educación, sistemas tutoriales inteligentes multimedia, teoría de sistemas

Informatic education, hypermedia intelligent tutoring system, systems theory

Miguel A. Garay Garcell, Ingeniero Industrial, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Estudios de Ingeniería de Sistemas (CEIS), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), Ciudad de La Habana
e-mail: garay@ceis.ispjae.edu.cu

INTRODUCCIÓN

El perfeccionamiento de la calidad del proceso de enseñanza y aprendizaje estimula el desarrollo de nuevos métodos de enseñanza. En el trabajo se plantea como objetivo, el perfeccionamiento de la enseñanza mediante el uso de sistemas tutoriales inteligentes multimedias. Una de las tareas principales de la modelación matemática es la metodología para la proyección (elaboración) de los modelos. En la formulación del modelo se elabora, primeramente, un enunciado (modelo verbal) de sistema real y se va refinando paulatinamente hasta que se pueda transformar en símbolos matemáticos. Sin embargo, el problema real del tránsito desde el modelo verbal al modelo matemático

surge cuando el modelo verbal inicial no suministra una descripción adecuada del sistema real y sus deficiencias se ponen de manifiesto en el intento de transformar las palabras en símbolos matemáticos.¹⁻⁶ De lo anterior se deducen los dos problemas principales de la Modelación Matemática:

1. El establecimiento de relaciones adecuadas entre el sistema real y su descripción (modelo verbal), o sea, el tránsito del fenómeno real al modelo verbal, lo que caracteriza al proceso de idealización.

2. La transición del modelo verbal (enunciado, *word problem*) al modelo matemático.

Primeramente se debe destacar que la adquisición de habilidades en la idealización de los fenómenos físicos (económicos, sociales, militares, etc.) por los estudiantes constituye un lento y complejo proceso de aprendizaje.^{7,8} En segundo lugar, para la mayoría de los estudiantes trabajar con expresiones algebraicas y resolver ecuaciones resulta más fácil a medida que incrementan su entrenamiento. Sin embargo, la resolución de problemas de enunciado constituye la parte más compleja de la modelación matemática. En relación con ello, se presenta una aplicación de los métodos de la inteligencia artificial, la multimedia, la enseñanza problémica y la teoría de sistemas con el objetivo de perfeccionar el proceso enseñanza y aprendizaje haciéndolo más racional e interesante a los estudiantes. La experiencia acumulada en la enseñanza de la Modelación Matemática muestra que frecuentemente los estudiantes presentan dificultades en la determinación del modelo más adecuado para una situación de toma de decisiones dada. Por ejemplo, al tratar de resolver cierto problema de toma de decisiones puede que no sea evidente la determinación del método de optimización (programación lineal, programación dinámica, simulación u otros), más eficiente en la solución del problema planteado. En relación con ello, surgió la idea de proyectar un sistema tutorial inteligente multimedia para la enseñanza de la Modelación Matemática en primer lugar y luego surgió la posibilidad práctica de generalizar este método de solución a disciplinas de diferentes tipos, tales como: Física, Química, Biología, y Matemática.

SOFTWARE

El desarrollo de aplicaciones docentes apoyadas en la ciencia de la computación y la inteligencia artificial posibilitan contar con una base material que permita al estudiante profundizar en la modelación matemática de manera creadora, fundamentalmente, durante su estudio individual. Con esto, incrementará su productividad, mejorando la calidad de sus decisiones o simplemente resolviendo los problemas cuando el profesor no esté presente.

Asimismo, el uso de este tipo de aplicaciones posibilita la personalización de la tarea del aprendizaje, acoplado al alumno al ritmo, nivel y estilo que le sea más adecuado. En este sentido resulta de gran importancia vincular las técnicas del hipertexto y

los multimedia a este tipo de aplicación ya que su uso ofrece un material más atractivo que el clásico, agradable y fácil de recordar, reforzando el aprendizaje y dando más flexibilidad al alumno, dotándole de mayor control individual sobre la materia de estudio, navegando por ella al ritmo, profundidad y momento por él escogido. Debido a lo anterior, y tomando como base la concepción teórica fundamentada en la primera parte del trabajo, se decidió crear un conjunto de aplicaciones con características análogas que vinculen armónicamente la experiencia acumulada en la enseñanza asistida por computadoras, los sistemas tutoriales inteligentes y las modernas técnicas de la multimedia. Como resultado se diseñó y programó un sistema tutor inteligente para la enseñanza de la Modelación Matemática con tecnología multimedia, denominado Optima.

DISEÑO

Un sistema tutorial inteligente multimedia tiene por objetivo fundamental perfeccionar el proceso de enseñanza y aprendizaje en determinada área del conocimiento. Para lograr este objetivo, el software permite y estimula, mediante diversos medios, una relación activa entre el estudiante y la máquina computadora. Esa relación tiene por objetivo desarrollar las capacidades intelectuales del estudiante mediante el enriquecimiento y acercamiento de las situaciones problémicas planteadas a la realidad. Uno de los aspectos más relevantes es haber logrado expresar los enunciados de los problemas como enunciados hipermedia. El sistema es capaz de detectar el nivel de conocimientos del estudiante mediante un conjunto de preguntas sobre las características de la situación problémica planteada. Así, se precisa la habilidad del estudiante para enfrentarse a la resolución del problema y en caso de tener diferentes lagunas o errores en el conocimiento el sistema lo ayuda en su superación mediante diferentes tipos de consejos elaborados al respecto.⁹⁻¹¹

En su estructura interna (figura 1), Optima está formado por módulos que interactúan entre sí y que poseen posibilidades de trabajo independiente, se puede decir que cada uno de los módulos de Optima constituyen herramientas de software, algunos de ellos con capacidad de inferencia y otros no. De la efectividad del acoplamiento de los módulos, la definición correcta de las políticas a seguir por el sistema y la implantación de una interfaz efectiva depende en gran medida el éxito en el cumplimiento del objetivo propuesto. Por todo ello, su diseño es una tarea de gran complejidad.

ESTRUCTURA DEL SISTEMA

El sistema propuesto posee una estructura formada por un conjunto de módulos relacionados entre sí. Estos son: Tutor, Experto, Estudiante, Generador y clasificador de problemas hipermedia y Solucionador de problemas.

Tutor

El módulo del tutor se caracteriza por controlar el sistema. Es el encargado de determinar qué hacer utilizando conocimientos, tanto pedagógicos, como del dominio de la aplicación. El tutor

contiene las estrategias y procesos que gobiernan la comunicación entre el sistema y el estudiante. Por ejemplo, la estrategia de selección de los problemas, el proceso de solución, tomar las decisión de detener el trabajo del estudiante, o de estimularlo con alguna recomendación conveniente en alguna parte del proceso de resolución del problema objeto de análisis, etcétera.

Generador y clasificador de problemas

La selección de los problemas propuestos basados en la eficiencia demostrada por el estudiante constituye una de las cualidades fundamentales de los STIM. En relación con ello, el archivo o banco de problemas fue diseñado de forma tal, que está dividido en clases o niveles de complejidad en función del tiempo. Las clases se organizan de acuerdo con el nivel de complejidad de los problemas a resolver y de acuerdo con el nivel de desarrollo alcanzado por el estudiante.

Con este objetivo fue desarrollada una herramienta denominada Clasifica que tiene por objetivo en primer lugar determinar los niveles de complejidad más adecuados para cada uno de los elementos del universo de problemas acumulados en el archivo o banco de problemas y por otra, determinar la habilidades del estudiante en la resolución de problemas.

La experiencia pedagógica basada en las ideas de Descartes Comenius y De la Luz en la resolución de problemas ha demostrado que cuando el individuo se enfrenta a un problema de alta complejidad, una de las vías fundamentales consiste en dividir el problema en subproblemas mas sencillos y tratar de resolverlos. Se ha demostrado que este método incrementa la eficiencia en el proceso de resolución de problemas. Por ello una de las cualidades más importantes del software desarrollado consiste precisamente en la posibilidad de dividir cada situación problemática propuesta en subproblemas (divide y vencerás). ¿Qué descomponer? Es fácil plantear que un problema se descomponen en subproblemas o en un conjunto de subproblemas, pero cuál es el sentido de la descomposición en la enseñanza. ¿Cómo descomponer? Cualquier descomposición de un problema siempre es arbitraria y depende del punto de vista del que divide y de la estructura del problema (conjunto de relaciones entre sus elementos - concepto de estructura). La descomposición siempre se basa en la premisa (supuesto) de que cada subproblema se puede resolver independientemente de otros subproblemas. Sin embargo, esta premisa (supuesto) es una idealización por cuanto en la realidad siempre existen intersecciones o zonas de solapamiento en la definición de subproblemas.

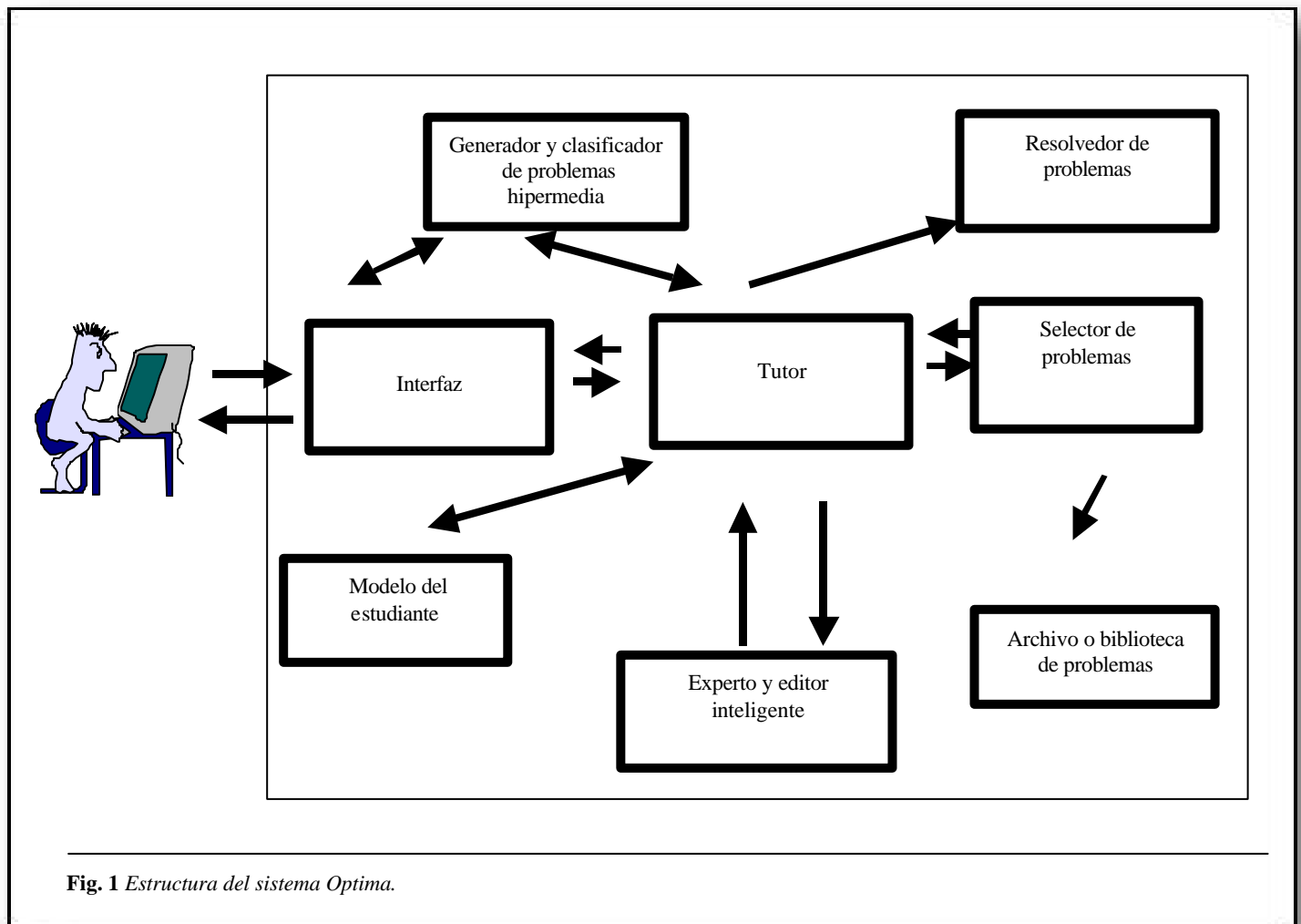


Fig. 1 Estructura del sistema Optima.

Por ello, se sigue como regla que los subproblemas definidos son independientes, o sea, la intersección es nula. En general, este supuesto es más fácil de plantear que de lograr. Sin embargo, esta forma de proceder ha resultado exitosa en la resolución de problemas complejos (figura 2).

Recomposición

La descomposición de un problema complejo lleva implícito el germen de la recomposición. El hecho de que la recomposición esté implícita indica que el proceso de recomposición no resulta evidente. Lo ideal es que al unir los subproblemas el problema sea resuelto en su conjunto. Sin embargo, en la práctica no ocurre así, debido a que el supuesto de independencia relativa entre los subproblemas es solo una idealización de la realidad. En general, al realizar el proceso de unificación de los subproblemas para resolver el problema complejo en su conjunto es necesario tomar en consideración las interacciones entre los subproblemas.

Los problemas que se agrupan en una clase dada son seleccionados de acuerdo con su similitud o analogía. Para ello, se utilizan criterios de expertos y profesores. En cada caso analizado, la tarea del estudiante consiste en diagnosticar o descubrir, qué clase de problema se le ha planteado y determinar el modelo de optimización más eficiente o adecuado para la situación de toma de decisiones dada. El estudiante debe decidir de acuerdo con las características esenciales dadas en el enunciado si el modelo que más se adecua es de transportación, asignación, mezcla u otro cualquiera. En relación con ello, el software desarrollado toma como base las concepciones y métodos de la teoría de sistemas jerárquicos multiniveles. La figura 3 muestra la representación jerárquica multiniveles de una empresa azucarera. Por todo ello, el objetivo pedagógico consiste en enseñar y entrenar a los estudiantes en la utilización del método del enfoque sistémico en la resolución de problemas de optimización. En otras palabras, para cada situación problemática

el estudiante es orientado a descomponer y componer diferentes sistemas.

Solo mediante el aprendizaje de los conceptos de aislar, descomponer y componer, así como de la representación de sistemas el estudiante será capaz de obtener una idea clara del proceso de resolución de problemas. En relación con ello, De la Luz y Caballero argumentaba:

Es necesario rodear la naturaleza para dominarla. Si nos concentramos en adivinar más que en la observación, la esencia del fenómeno se nos escapa y si queremos limitar nuestro análisis la simple observación sin tomar en consideración todos los elementos, comparaciones y evaluaciones, posibles nunca alcanzaremos a comprender la esencia del fenómeno y nunca podríamos llegar a entender las leyes de la complejidad: la naturaleza nos invita a: *Divide et Impera*. También refiriéndose al tema planteaba: "para bien sintetizar, primero analizar".⁷

Experto y editor inteligente

El módulo experto contiene el conocimiento acerca del área de estudio: optimización, aunque puede ser cualquier otra, tal como, cinemática, genética, química, etc. Manipulando este conocimiento el sistema debe ser capaz de responder las preguntas del estudiante y proporcionarle una guía. La adquisición del conocimiento ocurre mediante la interacción entre el experto y el estudiante durante la solución de distintos tipos de problemas. El desarrollo exitoso del sistema propuesto requiere encontrar una solución racional a los problemas siguientes: ¿cómo los estudiantes pueden seleccionar el algoritmo mas eficiente?; ¿cómo pueden desarrollar habilidades de modelación. Las soluciones que requieren los dos problemas planteados anteriormente determinan las características del software a desarrollar. El primer problema es más sencillo de explicar. Sobre esta base, se puede definir un sistema experto. La base del conocimiento se ha construido de acuerdo con los criterios de

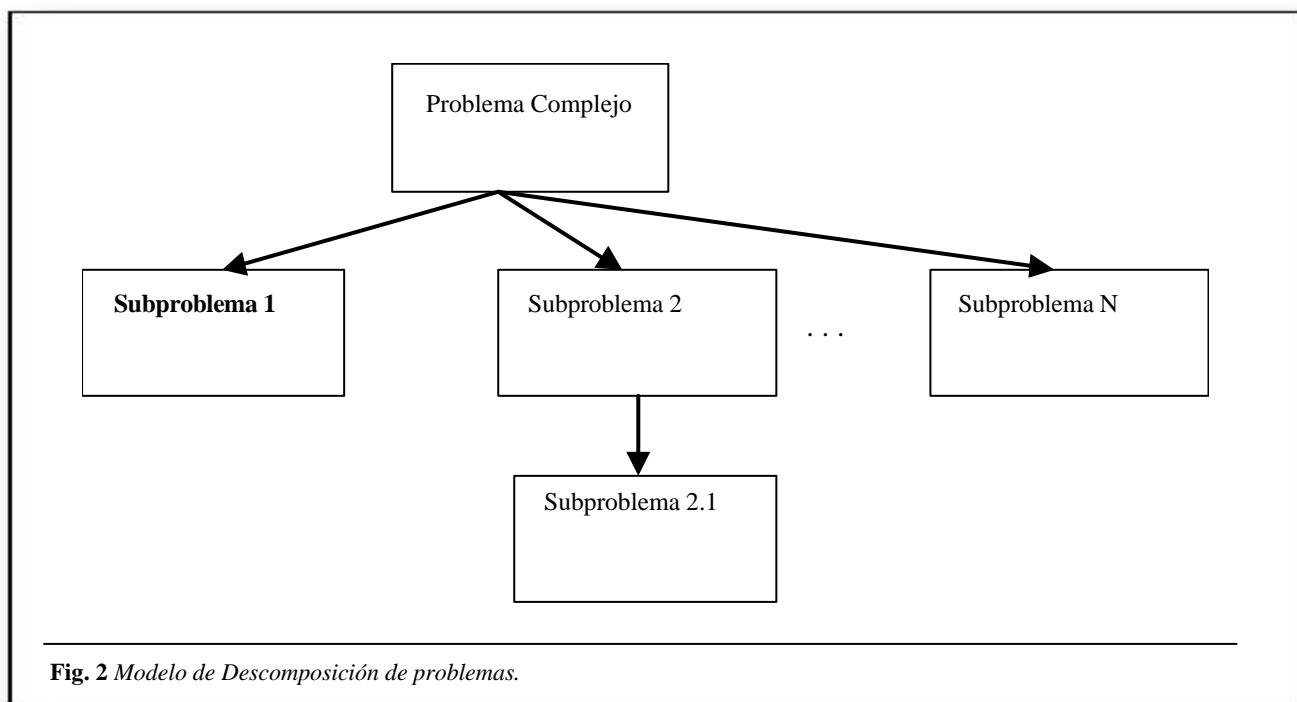


Fig. 2 Modelo de Descomposición de problemas.

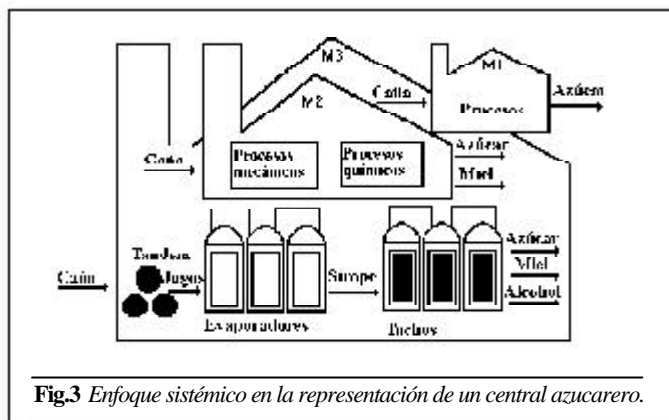


Fig.3 Enfoque sistémico en la representación de un central azucarero.

diferentes profesores de Modelación Matemática. Este cuerpo del conocimiento se representa como una colección de **reglas de producción**. Las reglas de producción suministran una representación flexible y de fácil comprensión de los hechos y relaciones. Se desarrolló una máquina de inferencias basada en un algoritmo de encadenamiento hacia adelante (*forward chaining*). Esta máquina responde a las características del proceso de identificación de problemas de optimización, así como de selección del algoritmo más eficiente ante la situación problemática planteada. El método propuesto suministra preguntas acerca de modelos de programación lineal y recomienda la solución más racional dadas las condiciones existentes partiendo de preguntas más generales a preguntas más particulares.

El experto usa un modelo *overlay* durante la interacción con el estudiante. Una vez definido el tipo de problema a resolver se pasa al editor inteligente. Este es capaz de determinar el modelo matemático. El editor entabla un diálogo con el estudiante y le va dando los elementos fundamentales para que sea capaz de formular adecuadamente el modelo en cuestión. El método utilizado es el denominado modelo *overlay* o **superpuesto**. Se dota de determinadas libertades al estudiante para el planteamiento del problema y se va corrigiendo su actividad hasta que se logra la formulación completa.

Estudiante

Para conocer y controlar la actuación del estudiante durante el entrenamiento, el sistema almacena un grupo de datos que son analizados por el módulo tutor para decidir la estrategia a seguir. El tutor crea para cada estudiante un fichero a partir de los datos que lo identifican. Durante la ejercitación registra y almacena los resultados de la interacción del estudiante con Optima. Basado en esta información el sistema determina el aprendizaje del estudiante en función de las habilidades adquiridas durante las sesiones de trabajo.

Base de problemas hipermedia

Una de las premisas de la presente investigación es desarrollar una concepción de trabajo de lo general a lo particular y de lo simple a lo complejo. Ello implica que los problemas propuestos a los estudiantes se clasificarán por niveles de generalidad y complejidad.

Solucionador de problemas

El Solucionador de problemas es el módulo encargado de obtener la solución cuantitativa y gráfica de los problemas y el análisis paramétrico de algunos tipos de problemas.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han descrito algunos de los problemas pedagógicos vinculados a la enseñanza de la Modelación Matemática y se han delineado las vías fundamentales para su perfeccionamiento. Se ha propuesto la introducción de los métodos de la inteligencia artificial y el desarrollo de sistemas tutoriales y entrenadores inteligentes multimedia para la enseñanza de diferentes disciplinas académicas. La aplicación de la multimedia e hipermedia, con el objetivo de hacer más reales las situaciones problemáticas planteadas a los estudiantes constituye un aporte novedoso en el campo de la informática educativa. El grupo de investigación ha desarrollado una herramienta de software propia que ha motivado el interés de varias universidades y empresas extranjeras por su adquisición. [1]

REFERENCIAS

1. HICKMAN, FRANK: "Application of AI Techniques to Formulation in Mathematical Modelling", *The Fifth International Conference on Mathematical Modelling in Science and Technology*, Berkeley, California, USA, July, 1985
2. SMITH, GERALD F.: "Towards a Heuristic Theory of Problem Structuring", *Management Science*, Vol. 14, No. 12, USA, 1988
3. GARAY GARCELL, MIGUEL A.: *Iskusvennyi Intellet Modelirovanie*, Escuela Internacional de Computación, Varna Bulgaria, junio, 1989.
4. ———: "Artificial Intelligence and Mathematical Modelling" Seminar of Artificial Intelligence, Helsinki Technical University Finland, October, 1990.
5. WAGNER, H. M.: *Fundamentals of Operations Research* Addison-Wesley, New York, 1968.
6. ACKOFF, R.L.: *Scientific Method. Optimizing Applied Research Decisions*, Chapter 4, Models. Operation. Research Group. Case Institute of Technology. John Wiley & Sons, Inc. New York, London, Sydney. 1962.
7. LUZ Y CABALLERO, JOSÉ DE LA: *Notas filosóficas de José de la Luz y Caballero. Impugnación a las doctrinas filosóficas de Victor Cousin*, pp. 67-71, Editorial Universidac de La Habana, 1948.
8. DESCARTES, R.: "Rules for the Domain of Intelligence" (*Regulae ad directionem ingenii*), pp. 55, Ed. Aguilar, Buenos Aires, 1966.
9. PINHEIRO SANDI, M. AND M. A. GARAY GARCELL: "A Software Tool for Classification of Objects and Word Problems in Hypermedia Intelligent Tutoring Systems", *Journal of Computer Applications on Engineering Education*, Vol. 8 No. 3/4, 2000.
10. GARAY GARCELL, M. A. AND M. SANDI PINHEIRO: "Clustering Methods in Hypermedia Intelligent Tutoring Systems", *Proceedings of Conference, The 2001 International Conference on Internet Computing*. Las Vegas, Nevada, USA June 25-29, 2001.
11. ———: "On Classification Problems in Hypermedia Intelligent Tutoring Systems", Pre-prints SIT' 2001, Keynote Speaker. Symposia in Informatics and Telecommunication, University of La Coruña, Campus Elviña, Faculty of Informatics, A Coruña, September, 12-14th, Spain.