



ENSEÑANZA PROBLÉMICA EN LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

*Pasan las obras de la fuerza,
Permanecen las de la Inteligencia;
Cesan los bienes que produjo el poder,
No se extinguen los del talento.*
Felix Varela

Resumen / Abstract

Los modelos han sido ampliamente aceptados como un medio para el estudio de los fenómenos físicos productivos y otros. Sin embargo, los procesos que conducen a la formulación de los modelos matemáticos poseen carácter no estructurado y en general han sido poco estudiados. En el presente trabajo se plantea el problema del entrenamiento de los estudiantes en la formulación de los modelos matemáticos, se analiza la importancia de resolver los problemas de optimización a partir de los conceptos de la teoría de sistemas.

For many years, models have used as a means for studying phenomena, but the processes involved in the mathematical modeling formulation continue being complex and ill-structured problem. Methodologies used in Operations Research teaching and practice 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 to develop a new method for problem solving based on a hypermedia intelligent tutoring system. The proposed software must help students in problem solving process and stimulate its creativity.

Palabras clave / Key words

Teoría de sistemas, inteligencia artificial, sistemas tutoriales inteligentes, multimedia

Intelligent tutoring systems, systems theory, artificial intelligent

INTRODUCCIÓN

El perfeccionamiento de la calidad del proceso de enseñanza y aprendizaje estimula el desarrollo de nuevos métodos de enseñanza. En el presente trabajo se plantea como objetivo el perfeccionamiento de la enseñanza de la Modelación Matemática. El diseño de uno u otro tipo de modelo depende del carácter específico del objeto a investigar y los métodos disponibles para la investigación. Por ello, debe evitarse, en la ejecución del proceso enseñanza y aprendizaje, la repetición de un problema y la construcción de un modelo como patrón único, pues ello, implicaría afectaciones sobre el desarrollo de las habilidades en la formación de un pensamiento analítico y sintético cada vez mayor que puede expresarse en determinados niveles de creatividad.

En la formulación del modelo se confecciona, primeramente, un enunciado (modelo verbal) del 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. 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. Con razón, el profesor Hickman,¹ argumentaba:

Las metodologías de la modelación matemática tienden a encontrarse en la taxonomía que describe el proceso como un todo y muy pocas hacen referencia a la etapa de formulación del proceso. Estas metodologías incluso pueden llegar a reconocer que la formulación es una etapa compleja, que constituye un "cuello de botella" en el proceso de modelación, sin embargo, se ha realizado muy poco para eliminar este bloqueo.

En relación con ello, el profesor Ackoff,² planteaba:

La calidad de un modelo depende en gran medida de la imaginación y de la creatividad del equipo de investigación. La intuición, la capacidad para comprender la naturaleza interior de un fenómeno y otras operaciones mentales que son esencialmente incontrolables juegan un papel principal en el proceso. No es posible, además, preparar un manual de instrucciones para la proyección de un modelo. Si tal manual se preparara constituiría más bien una restricción que un método para promover la creatividad. A pesar de ello, cuando se analiza la experiencia obtenida en el pasado es factible encontrar determinados patrones en el proceso de modelación.

En segundo lugar, para la mayoría de los estudiantes trabajar con expresiones algebraicas y resolver ecuaciones (por ejemplo, realizar los cálculos utilizando el método simplex) resulta más fácil a medida que incrementa su entrenamiento. Sin embargo, la resolución de problemas de enunciado (*word problems*) constituye la parte más compleja del curso de Modelación Matemática, debido a que los estudiantes deben realizar el tránsito desde el modelo verbal al modelo matemático. Para simplificar, en el presente trabajo se restringe el análisis a los modelos lineales de optimización.

La Programación Lineal es una de las ramas principales de la Modelación Matemática con una amplia utilización en la actualidad. En este trabajo se presenta una aplicación de los métodos de la inteligencia artificial 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. Actualmente, los novatos (estudiantes, ingenieros etc.) en la programación de modelos de optimización son auxiliados por tutores (expertos), en su enfrentamiento con problemas de toma de decisiones complejas. En relación con ello, surgió la idea de proyectar un sistema tutorial inteligente para la enseñanza de la Programación Lineal.

MODELO VERBAL

El tránsito desde la comprensión de la situación de toma de decisiones dada, al modelo verbal constituye uno de los aspectos esenciales del proceso de modelación. A este proceso se le denomina proceso de idealización. El proceso de idealización requiere que el estudiante sea capaz de hacer abstracciones a partir de las situaciones o fenómenos reales, y llegue a definir las variantes principales y las variables triviales. Al respecto Descartes³ señala: "Si nosotros comprendemos perfectamente una cuestión, es preciso abstraerla de todo concepto superfluo reducirla a su mayor simplicidad y dividirla en partes tan menudas como sea posible, enumerándolas", y luego sigue:

En primer lugar, en toda cuestión tiene que haber algo desconocido necesariamente, ya que, de lo contrario, su búsqueda sería vana; en segundo lugar, este algo desconocido debe ser designado de alguna manera, ya que, de lo contrario no estaríamos determinados a buscarlo con preferencia a cualquier objeto; en tercer lugar, esto supuesto, no puede ser designado ese algo más que por medio de cualquier otra cosa que sea conocida, esto se encuentra asimismo en las cuestiones imperfectas, como ocurre cuando uno busca cuál es la naturaleza de la piedra imán.³

Este problema se presenta con frecuencia en la ciencia y la tecnología, sin embargo, resulta significativamente complejo desarrollar en los estudios las habilidades necesarias para que sean capaces de realizar este proceso de forma adecuada. Para ello puede resultar de utilidad la exposición de la historia de la aparición y desarrollo de descubrimientos científicos. Por ejemplo, explicar como S. Carnot, al estudiar la máquina de vapor delimitó los elementos esenciales y superfluos y logró diseñar la máquina de vapor ideal. De la Luz y Caballero⁴ orientaba a respecto:

Si Galileo no hubiera detenido el movimiento de los graves en el plano inclinado, no habría dado tan pronto con la ley de descenso vertical, según los números impares; de forma que la naturaleza es menester rodearla para vencerla. Si nos empeñamos directamente queriendo adivinar en vez de observar, se nos escapa completamente, y si queremos limitarnos a la simple observación sin todos los cotejos y confrontas imaginables, nunca llegaremos a penetrar ciertas

leyes que siempre se presentan complicadas con otras muchas: ella misma nos está clamando: *Divide et Impera*.

Y más tarde, señala: "... pues abstracto significa precisamente lo extraído, aquello que se separa de las cosas, que son unos conjuntos para nuestras concepciones, si bien unidades para la naturaleza, antes podría asentarse con mejor fundamento que lo abstracto se halla encerrado en lo concreto".⁴

No resulta difícil comprender la complejidad de esta etapa en la resolución de problemas de toma de decisiones. Se requiere ejecutar el tránsito de un nivel de la contemplación viva al pensamiento abstracto significa la aparición de un nivel cualitativamente nuevo del conocimiento. Resulta vital en la enseñanza operar el tránsito de la percepción viva al pensamiento abstracto y de este a la práctica, tal es el único existente para el conocimiento de la verdad, para el conocimiento de la realidad objetiva.

Sin embargo, este tránsito de la contemplación viva al pensamiento abstracto implica cierta separación del objeto real, debido a que se ejecuta una abstracción, una idealización del objeto o sistema real. En otras palabras, se construye un objeto idealizado o un modelo del sistema objeto de estudio, proceso este que no está exento de posibles errores diseñados deben ser objeto de verificación práctica. Ello da inicio a una cadena de procesos analíticos y sintéticos, que caracterizan la aplicación del enfoque sistémico en la resolución de los problemas de la modelación matemática.¹

De esta forma, se puede considerar que el movimiento del pensamiento de la contemplación viva al pensamiento abstracto es, al mismo tiempo, el movimiento del fenómeno del objeto a su esencia. Saber aislar el sistema, constituye otro aspecto importante en el proceso de idealización. Ello presenta extraordinario valor pedagógico. Según De la luz y Caballero:

No pudiendo el hombre comprender cuando declara la naturaleza simultáneamente muchas de sus leyes, es forzoso que amoldemos artificialmente ciertos casos, o aprovechemos los que se nos presentan, en donde veamos Aislado un fenómeno obligado por decirlo así a dar una sencilla respuesta a una sencilla pregunta.⁴

En otras palabras, uno de los principios fundamentales que se pondrán en práctica consiste en desarrollar ejemplos y casos, en los que el estudiante tenga necesidad de aislar subsistemas constantemente para obtener una clara comprensión del fenómeno analizado, obteniendo como resultado que asimile este método de investigación científica para sí. Por lo tanto, se trata de exponer en las conferencias casos donde se ejemplifiquen los métodos de composición (enfoque genético de sistemas) y de descomposición (división en subsistemas y sus correspondientes submodelos), con lo que se crean condiciones adecuadas para ejercitar estas ideas en clases prácticas. Se ha podido demostrar que los estudiantes eficientes son capaces de dividir un problema en subproblemas y concentrarse en la resolución de cada una de sus partes para luego resolver el problema complejo que se les ha planteado. Por el contrario, los estudiantes ineficientes tratan de

resolver el problema en su conjunto desde el comienzo. Esto también ha sido una práctica incorrecta en la historia de la Modelación Matemática y resulta frecuente encontrar fracasos en el proceso de diseño, debido a que se ha tratado de desarrollar desde el comienzo un modelo de alta complejidad, cuando lo adecuado y racional es que el primer modelo sea sencillo y fácil de manejar.

Una de las premisas de este trabajo, por lo tanto, es desarrollar el software con esta concepción de trabajo, o sea, será una premisa del software desarrollar el tránsito de lo general a lo particular y de lo simple a lo complejo, tal y como orientó Comenius (1657), el padre de la Didáctica. Ello implica que los problemas propuestos a los estudiantes se clasificarán por niveles de generalidad y complejidad, de forma tal que se representen situaciones productivas generales y sencillas en las primeras sesiones y paulatinamente se incrementa el nivel de detalle y complejidad en función de los resultados obtenidos por el estudiante en cada etapa de la resolución de problemas.

Solamente, mediante el continuo y sistemático entrenamiento de los estudiantes en el desarrollo de su pensamiento lógico, mediante su entrenamiento en las técnicas y métodos de la composición de sistemas, aprendiendo y experimentando por sí mismos el movimiento de lo particular a lo general (aprendizaje por inducción - F. Bacon), así como de su contrario la deducción, que estimula a transitar de lo general a lo particular. En relación con ello, el estudiante será estimulado a dominar el concepto de aislamiento, de saber aislar y saber componer, de representar jerárquicamente un sistema complejo y se irá entrenando en la resolución de problemas de alta complejidad mediante la composición y descomposición del problema. Así, irá consolidando su concepción del problema, las relaciones fundamentales entre sus parámetros, así como su estructura. Como resultado de este proceso dialéctico el estudiante llegará a dominar el problema como un todo único.

En general, ni los cursos de optimización, ni los textos existentes poseen este enfoque en la resolución de problemas. Por otra parte, constituye una práctica frecuente en la enseñanza de la Investigación de Operaciones consiste en definir con precisión las tareas o problemas a resolver por los estudiantes. En general, se entregan listas de enunciados de problemas de optimización para que cada estudiante seleccione el suyo en particular. Sin embargo, casi nunca se plantea al estudiante como tarea principal que él redacte el enunciado de una situación o fenómeno dado. Por ejemplo: Plantee un modelo de un ingenio azucarero, de una refinería de petróleo, o de una acería. De esta forma, se puede lograr un mejor aprovechamiento del estudiante en el tránsito entre la situación real y el modelo matemático.

Este enfoque permite al estudiante comprender el proceso de idealización de una forma más diáfana, debido a que se le hace partícipe del proceso de idealización en sí. Al entregárseles a los estudiantes un enunciado de una situación dada, se les transmite una información preparada por otra persona (el profesor, o el autor del texto), se les entrega un resultado de un proceso

cognitivo que él no ha experimentado nunca, porque no lo ha ejecutado jamás. Si por el contrario, se otorga al estudiante la posibilidad de participar activamente en el proceso de conceptualización y dirección del proceso de idealización, entonces él tiene libertad para establecer:

- La definición de diferentes objetivos.
- La realización de cambios en las restricciones.
- El estudio de la naturaleza de las diferentes variables,
- La dirección del proceso de parametrización de las variables.
- El análisis de diferentes alternativas de solución.
- El estudio sistémico de las relaciones entre las diferentes variables.

Los elementos antes mencionados presentan singular importancia para lograr la formación de un estudiante que ha de vivir, desarrollarse y triunfar en un mundo dinámico y cambiante, con un alto nivel tecnológico en el que resulta necesaria la preparación psicológica para el cambio. En otras palabras, se propone el tránsito de enunciados estáticos al análisis integral de una situación problemática, de la que pueden surgir varios modelos, o sea, una familia de modelos para representar el comportamiento del sistema objeto de estudio.^{5,6} A pesar de que el proceso de idealización es fundamental en la modelación matemática, en general, los problemas inherentes a su ejecución no son tratados en los textos de modelación matemática. Frecuentemente, estos textos se limitan a exponer los métodos de solución (algoritmos). Por ello, los planteamientos anteriores proponen cambios radicales en la elaboración de los programas de estudio y de los textos de modelación matemática con el objetivo de hacer hincapié en las ventajas que presenta la utilización del enfoque sistémico en la resolución de problemas (*problem solving*), y estimular la ejercitación de los estudiantes en los procesos de análisis - síntesis y de idealización. En general, se acepta que la resolución de problemas es un medio para el desarrollo del pensamiento lógico de los estudiantes.

En la enseñanza, la resolución de problemas demanda un razonamiento productivo que permite al estudiante organizar su pensamiento para generar soluciones potenciales. El razonamiento productivo implica una acción intelectual agresiva, en la que él piensa pueda construir o redefinir lo que él conoce para ajustar las estructuras a la situación dada. El razonamiento reproductivo acumula la aplicación continua de un principio o formula la solución de un problema tipo. Este resulta legítimo para ayudar a fijar una relación, o cuando el propósito es practicar. Una vez que la actividad se reduzca a la mera introducción de datos de forma rutinaria, esta actividad pierde brillo y deja de ser una resolución de problemas. En otras palabras, el estudiante debe sentir que tiene posibilidades reales de resolver el problema planteado. Si solo se le plantean problemas que exijan de él un razonamiento reproductivo el interés disminuye. Por lo tanto, debe existir siempre un reto, un desafío a su inteligencia, debe sentir el riesgo y la indeterminación. El estudiante debe ser capaz de aportar algo, de agregar algo a la situación para obtener éxito. Por esta razón, el tipo de preguntas que se realice al estudiante debe ser muy bien meditado, de forma tal, que se puedan adaptar

al tipo de estudiante: eficiente, ineficiente, preparado, mal preparado, etc. Por lo que se propone que las estrategias de enseñanza sean una función del tipo de estudiante. Este es otro de los aspectos fundamentales que debe tener el software : desarrollar.

DEL ENUNCIADO DEL PROBLEMA AL MODELO MATEMÁTICO

El segundo problema que se presenta en la enseñanza de la modelación consiste en el tránsito del modelo verbal (enunciado) al modelo matemático. Este problema ha sido un poco más estudiado que el primero. Según Wagner:⁷

Sorprendentemente, es difícil escribir (redactar) una descripción de un problema de investigación de operaciones que no contenga ambigüedad alguna. Más de un estudiante inteligente (despierto) ha descubierto expresiones (términos ambiguos en problemas que anteriormente han sido asignados a otros grupos de estudiantes y en los que no se han detectado dificultades de comprensión para la obtención de las soluciones adecuadas.

Un número significativo de estudiantes presenta dificultades al resolver problemas de enunciado. El método de ataque que estos estudiantes proponen es memorístico. Varela y De la Luz y Caballero:^{4,8} lucharon ardientemente contra esta forma de enseñanza. Al respecto, De la Luz y Caballero nos indicaba en 1831: "... desterrar para siempre el estudio puramente de memoria de todos los ramos de la Instrucción Publica..." y luego exponía

Nosotros sabemos por experiencia qué sucede con la memoria respecto de la reflexión, lo que sucede a un sentido respecto de otro, a saber, que nunca gana el uno sino a expensas de su vecino. El que usa más de la reflexión que de la memoria relatará sin duda menos historias, pero se habrá penetrado mejor del espíritu de ellas...

Y en esencia consiste en lo siguiente:

1. Efectuar una rápida lectura del enunciado del problema propuesto.
2. Buscar en su memoria, o en el libro de texto, un problema análogo que consideren relacionado con el problema propuesto
3. Una vez encontrado un problema parecido, proceder a sustituir mecánicamente los parámetros del problema propuesto en el modelo matemático.

Para los estudiantes que usan el método anterior, la resolución de problemas, resulta una adivinanza. Una forma más racional de resolver los problemas de enunciado requiere uso de la metodología siguiente:

1. Análisis del problema.
2. Formulación del problema.
3. Proyección del modelo matemático.
4. Determinación de la solución.
5. Implantación.
6. Perfeccionamiento.

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

En esta etapa no se utilizan términos matemáticos. En ella el estudiante debe comprender las características del problema planteado. Para ello, se recomienda la elaboración de gráficos, tablas y otros medios que ayuden a una mejor comprensión del enunciado. Se recomienda una lectura cuidadosa y lenta del texto (se parte, ahora del supuesto de que el estudiante no elaboró el enunciado del problema, o sea, lo extrae de un libro o se lo propone el profesor). En este caso, la lectura tiene como objetivo comprender de qué problema se trata, y se recomienda no preocuparse de detalles superfluos. En esta etapa se pueden formular las preguntas siguientes:

- ¿Qué tipo de problema es este?
- ¿Qué clase de variables existen en el problema?
- ¿Qué datos se conocen y cuáles no?

Una vez comprendida la naturaleza del problema propuesto se puede pasar a la etapa de formulación del problema.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Una de las claves principales de la aplicación del enfoque sistémico en la resolución de problemas, consiste en comenzar por el final. En el caso específico de la Programación Lineal comenzar por el final está relacionado directamente con el establecimiento de la función objetivo a establecer. Ello es decisivo para la resolución de un problema de Programación Lineal. En otras palabras, se necesita precisar a dónde voy, o sea, qué objetivo se plantea lograr. De lo bien o mal que resuelva el problema de la definición de los objetivos dependerá el éxito o el fracaso de la resolución del problema. En esta segunda etapa el estudiante debe identificar las preguntas a responder, determinar qué clase de respuesta debe dar y si es posible estimar (pronosticar) la solución del problema planteado. De esta forma, el estudiante puede determinar la naturaleza de los factores que intervienen en la solución y la esencia del problema mismo.

Como se conoce, uno de los principios fundamentales de la investigación de operaciones plantea la necesidad de obtener el óptimo del sistema, lo que no lleva implícito que el óptimo del sistema sea el óptimo de cada una de las partes que intervienen en el problema. Se debe estimular el desarrollo de habilidades en el proceso de modelación mediante el planteamiento de problemas complejos en los que se siga el método de descomposición-composición durante su solución (aplicación del análisis y síntesis), de forma tal, que resolviendo subproblemas sencillos, el estudiante pueda llegar a formular el problema general, o sea: "Hasta descomponiendo llego a componer, o ver la cosa en el todo y sus partes, que es lo que llamamos ciencia".⁴ Se propone el planteamiento de situaciones problémicas multimedia, situaciones en los que los elementos fundamentales del modelo estén sujetos a cambios, en lugar de enunciados fijos e inmutables (que es lo tradicional).

PROYECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

En la tercera etapa de resolución de problemas, los estudiantes deben efectuar el tránsito desde el modelo verbal al modelo matemático. Los modelos matemáticos tienen muchas ventajas sobre los modelos verbales. En primer lugar, los modelos matemáticos son más concisos y hacen más clara y comprensible la estructura general del problema. Ellos ayudan a revelar la esencia de las relaciones de causa y efecto. Un modelo matemático es una idealización de un problema. Por ello, la presente etapa es una etapa esencialmente de síntesis. Se puede destacar que esta etapa depende en buena medida del trabajo realizado en las etapas anteriores, por lo que se establece una relación en uno u otro sentido. Pensando sobre este particular De la Luz y Caballero señalaba: "... tengan Uds. entendido que para comprender siquiera un adarme de esas leyes de la humanidad que en los fenómenos aparecen complicados en gran número, es menester buscar métodos de abstracción, de separación que es *coditio sine quoniam* de nuestro débil entendimiento. Para bien sintetizar, primero analizar..."⁴

Para construir el modelo, los estudiantes deben traducir las palabras del enunciado (modelo verbal) en términos matemáticos. Deben transformar, frase a frase y palabra a palabra, en restricciones, ecuaciones y funciones. En el caso específico de la Programación Lineal, el estudiante debe definir con precisión la función objetivo, las variables de decisión y la función objetivo. Este constituye uno de los aspectos donde más dificultades presentan los estudiantes.

DETERMINACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En la presente etapa los estudiantes deben seleccionar el algoritmo (método de cálculo) más adecuado a las condiciones concretas del enunciado. La formulación de un problema dado, raramente conduce directamente (de forma inmediata) a la selección del método matemático más adecuado, por ejemplo: programación lineal general, transportación, asignación o redes. Los estudiantes deben seleccionar cuidadosamente el método de solución. Ellos deben analizar paso a paso las características del problema, comparar las ventajas y desventajas de cada clase de algoritmos y seleccionar finalmente el método más eficiente para resolver la situación de toma de decisiones dada. En relación con ello, surgió la idea de desarrollar un sistema experto para ejercitar a los estudiantes en este proceso de selección.

Uno de los problemas que surgen en esta etapa, está referido al análisis de los datos obtenidos. En este sentido se debe entrenar al estudiante para que desarrolle habilidades en el sentido de conocer el intervalo en qué se deben mover las soluciones y en qué se deben mover las soluciones y en qué condiciones las soluciones dadas resultan eficientes o no, o sea, si se producen variaciones en los datos de entrada, cambios en los coeficientes de la función objetivo (costos, ganancias etc.), las capacidades, las necesidades, los coeficientes insumo-producto y otros.

Lo expuesto anteriormente, constituye otro aspecto en el que no se hace hincapié en los cursos tradicionales de modelación matemática, en otras palabras, no se ejercita la comparación entre los diferentes modelos, aspecto este, considerado de gran importancia para el futuro profesional. Su inclusión en los cursos debe ser paulatina y seguramente requerirá alguna actividad final de síntesis. A ello puede contribuir el desarrollo de un sistema experto para la selección de los modelos de optimización.

IMPLANTACIÓN

La esencia de esta etapa consiste en llevar a la práctica los resultados obtenidos. En este sentido se pueden organizar visitas a fábricas o unidades de servicio, en los que sea factible probar algunos de los modelos desarrollados. Esta etapa reúne especial interés desde el punto de vista organizativo. En la implantación del modelo resulta más fácil comprender sus restricciones, ventajas y desventajas.

PERFECCIONAMIENTO

En la etapa de perfeccionamiento se debe inculcar al estudiante que todo modelo puede ser objeto de perfeccionamiento.

La tendencia general de los novatos es tratar de elaborar modelos con alto nivel de complejidad en las etapas iniciales de la modelación, lo que implica caer en errores. Se debe orientar que el modelo inicial debe ser sencillo y manejable. Ello se debe tomar en consideración en el método de resolución, de forma tal, que el estudiante lo ejecute con habilidad posteriormente, y efectúe el tránsito de lo simple a lo complejo y de lo general, a lo particular por sí solo, que esto se convierta en un método de trabajo científico en la resolución de problemas, con los que estamos protegiendo posibles errores.

CONCLUSIONES

Se analizan los problemas vinculados con la enseñanza de la Investigación de Operaciones y a partir de un enfoque jerárquico, multiniveles se proponen nuevas vías y métodos con el objetivo de transformarla. □

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. **ACKOFF, RUSSELL L.:** *Scientific Method. Optimizing Applied Research Decisions*, Case Institute of Technology, John Wiley & Sons, Inc. NY, London, Sydney. 1962.
3. **DESCARTES, RENÉ:** *Reglas para la direccion del pensamiento*, Biblioteca Nacional, Cuba, s/f.

4. **LUZ Y CABALLERO, JOSÉ DE LA:** *Obras Completas Escritos Educativos*. t. I y II, pp.12 y 13, 1831.
5. **GARAY GARCELL, M. A. Y M. A. SANTAMARINA:** "La teoría de sistemas en la enseñanza de la Modelación Matemática", *Revista Internacional de Sistemas*, Órgano de la Sociedad Española de Sistemas Generales (SESGE), Vol. 4 No. 1-3, pp. 31- 58, enero-diciembre, 1992.
6. **GARAY GARCELL, M. A. ; D. M. GARCÍA DE LA VEGA L. A. CHIANG CARBONELL AND NGUYEN QUANG THOUNG:** "OPTIMA: A Hypermedia Intelligent Tutoring System for Mathematical Modelling Teaching", *Proceeding: del Educational Multimedia and Hypermedia*, p. 755, EDMEDIA'95, Graz, Austria, 1995.
7. Wagner: *Fundamentals of OR*, USA, 1968.
8. **VARELA, FELIX:** "Elogio del Excmo. e Illmo. Señor Don José P. Valiente y Bravo", Pronunciado en la Cátedra de La Habana por Don Felix Varela. Imprenta de Aroza y Soler, La Habana 1818.

II SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INGENIERIA INDUSTRIAL

*La Ingeniería Industrial en el
nuevo siglo*



CUJAE
La Habana, Cuba

Del 18 al 22 de Noviembre de 2002