

# Inteligencia Artificial y Resolución de Problemas

## A manera de introducción

Se considera que se vive en una época en la cual es impostergable la implementación de la computadora en la Educación. Pero antes de invertir todos los esfuerzos en esa actividad y antes de retomar lo que países más desarrollados ya han hecho, conviene meditar en el tipo de escuela que se necesita, y en la teoría de enseñanza que da fundamento a la acción; observar si esta teoría merece ser sostenida o si es el momento de hacer cambios en ella e implantarlos con un recurso tan dinámico como lo es el *computador*.

La escuela estuvo inmersa por algunos años dentro de las teorías de Transmisión Cultural, y tuvo entre sus principales exponentes a Locke, Pavlov y Skinner (Brito, 1984). La mayor cantidad de aplicaciones que ha tenido el computador en la escuela ha quedado dentro de esta teoría. Muchos de los proyectos de instrucción asistida por computador quedan dentro de esta teoría, con el clásico funcionamiento de *ESTIMULO-RESPUESTA*.

Ahora que la escuela está más orientada a las teorías del tipo cognoscitivista (teniendo entre sus exponentes a Dewey y Piaget), tiene que orientarse a la utilización del computador dentro de esa metodología, con una epistemología funcional, una evaluación de carácter formativo y nunca punitivo. Este tipo de transformación es lo que se pretende con las aplicaciones inteligentes de instrucción asistida por computador, y cada día aumentan las investigaciones que en ese sentido se desarrollan.

En la presente investigación, se propone un modelo para aprender a resolver problemas, el cual se encuentra dentro de la teoría cognoscitivista. En dicho modelo se construye un **SISTEMA EXPERTO** que representa la habilidad de una persona que tiene éxito en la resolución de problemas de enunciado.

A continuación se describirán las partes del Sistema Experto y algunos procesos utilizados en el modelo de resolución de problemas.

## 1 SISTEMA EXPERTO

En pocas palabras, un Sistema Experto es una copia de un especialista. Y a través de un programa, utilizando técnicas de Inteligencia Artificial, reproduce la acción del especialista.

El objetivo es trasladar para el computador todo el conocimiento del especialista (un atleta, un artista, un profesor, un profesional, etc.), y sus reglas de decisión. Hoy se utilizan sistemas expertos en muy diversos campos de la actividad humana. Se originaron con sistemas aplicados al diagnóstico médico. Se espera que los beneficios obtenidos en esos campos de aplicación sean semejantes en educación, o sea,

**Leonel Morales Aldana**

FISSIC, Universidad Francisco Marroquín  
Guatemala, Guatemala

que se pueda utilizar la sabiduría y experiencia de excelentes educadores y compartirla con un gran número de estudiantes, incluso de diferentes épocas.

Un Sistema Experto está formado por: a) una base de datos estática, donde se colocan reglas de decisión, listas, tablas, etc., y b) una base de datos dinámica, compuesta por datos que entran en el sistema y que servirán en la decisión a tomar.

En educación se han utilizado los Sistemas Expertos: a) como tutores, a manera de enseñar al alumno de la forma que él lo necesite, b) como herramienta en el sentido de que el alumno puede hacer cálculos, dar información y hacer gráficas, y c) como Tutelado, es decir, que también el computador aprenda del alumno.

### 1.1 Sistema creado

Se utiliza la metodología propuesta por Leonel Morales autor del presente artículo, en su tesis doctoral (feb. 1990, UNICAMP), para conducir al alumno en el aprendizaje de resolución de problemas. El sistema cuenta con una base de Datos Estática, donde se encuentran las reglas de decisión (esto no es otra cosa que el MICROPROCESO descrito más adelante), tiene una base de problemas resueltos y una base de conocimientos matemáticos. Primero el alumno decide qué problema quiere resolver. Luego la máquina le da el enunciado y en seguida le conduce por el MICROPROCESO. En algunas etapas le da la oportunidad de comparar sus resultados parciales con la base de datos, brindándole la oportunidad de rectificar o afirmar algunos procedimientos.

### 1.2 Base de conocimientos

El alumno puede acceder la base de conocimientos, con su LENGUAJE NATURAL, es decir, no hay necesidad de

un conocimiento previo de la máquina para poder preguntar. Se considera que cada estudiante tiene su forma propia de preguntar y es por esto que en esta etapa experimental, se hace un banco de preguntas para que la salida de la máquina, en el futuro, sea "más inteligente". La base de conocimientos también es dinámica, en el sentido que el estudiante pueda hacer crecer la información; en forma de Definiciones, Teoremas, Propiedades y Ecuaciones. La máquina automáticamente actualiza sus representantes canónicos en el archivo de sinónimos, para que la búsqueda sea efectiva.

El lenguaje natural se desarrolla con la técnica de pareamiento de palabras claves, utilizando programación lógica y el PROLOG como lenguaje de programación.

### 1.3 Base de problemas

La base de problemas está construida con varios archivos, entre todos ellos se encuentra la siguiente información: a) Enunciado del problema; b) Respuestas a las preguntas insustituibles (cuáles son los datos, cuál es la condición y cuál es la incógnita); c) Estrategias de solución, d) Respuesta, e) Un esquema de la Resolución del problema, f) posibles modificaciones del problema (para llegar a una generalización) y g) Problemas relacionados (cuando quiere resolver algún problema semejante).

Esta información se maneja desde el Sistema Experto o desde el menú principal. También existe una base de problemas RESUELTOS por el alumno (para que cada alumno tenga su propia base). Además, se tiene planificado agregarle una base de conocimientos de Historia de la Matemática, que también sea accesada en lenguaje natural.

Los problemas son seleccionados y clasificados, según lo indica el proceso de BANCO DE PROBLEMAS descrito más adelante.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Este modelo tiene dos grandes etapas o procesos. El primero llamado *macro-proceso*, enmarca las actividades del profesor y las actividades que el mismo debe realizar para dirigir el aprendizaje en la resolución de problemas. La segunda etapa, llamada *micro-proceso*, describe un sistema para que el alumno resuelva problemas, dada su experiencia y su interacción con sus colegas y su profesor. Se definen todos los términos a ser utilizados, se diseñan los procesos propuestos. Se utiliza un enfoque sistémico y una estructura algorítmica en la búsqueda de la solución de los problemas y en el modelo propuesto. La idea de la construcción de la base de conocimientos dinámica e inteligente hace que la etapa llamada intercambio de experiencias (periodos en los cuales discutirán las proposiciones que ingresarán en la base de conocimientos) tenga una importancia capital en el modelo propuesto.

Dos principios son básicos en este modelo, el primero es piagetiano e in-

dica que "El conocimiento resulta de interacciones entre sujeto y objeto" (Piaget, 1975, pág. 87), y el segundo es un principio de uso común que dice "La mejor forma de aprender es enseñando", y este enseñar se desarrolla cuando se trabaja en parejas y cada miembro es interrogado por su compañero en cada actividad que realiza, y también en el momento en que tienen que alimentar su propia base de conocimientos y son llamados a exponer sus estrategias y soluciones en los intercambios de experiencias.

### 2.1 Macro-proceso

Este proceso es dirigido por el profesor desde su inicio. Su objetivo es que los alumnos aprendan a resolver problemas de enunciado. El profesor, de antemano, escoge el tópico de los problemas, y después selecciona los tipos a utilizar. Organiza a los alumnos en parejas, por afinidad o niveles de habilidad para resolver problemas. Después de esto, el profesor se convierte en un proveedor de problemas y en facilitador del aprendizaje. Se considera que ésta es su actividad principal en el aula y ésta debe estar de acuerdo con el tipo de problema y con el nivel de habilidad de cada pareja de alumnos. De la labor y de la intención del profesor depende el éxito del modelo, de tal forma que ayude a los alumnos, sin interferir en las operaciones de pensamiento de ellos.

La selección de los problemas y la organización de los alumnos en grupos corresponde a los primeros dos módulos de este proceso, sigue (Fig. 1), un bloque de repetición, que se ejecutará siempre que existan más problemas a resolver, y en esos casos ejecutará los módulos de Micro-proceso y de Intercambio de experiencia.

### 2.2 Banco de problemas a resolver

El profesor forma un banco de problemas, toma en cuenta para esto las ca-

## MACROPROCESO

Inicio

BANCO DE PROBLEMAS A RESOLVER

ALUMNOS ORGANIZADOS EN GRUPOS

Mientras

existan problemas a resolver

Haga

MICROPROCESO

PUESTA EN COMÚN

Fin del mientras

SELECCIONAR OTRO TÓPICO

Fin

Figura 1

racterísticas de la materia, las características del grupo de alumnos y los distintos tipos de problemas. Debe clasificarlos por estrategias de solución para que pueda presentar estrategias de cada tipo. Debe cuidar que los tipos de estrategias utilizadas no lleguen a cansar a los alumnos. El profesor debe resolver los problemas con el propósito de estimar el tiempo necesario en cada etapa del modelo y también para clasificarlos por el grado de dificultad.

En el caso de que los problemas satisfagan las expectativas del profesor, éstos pasarán a formar el banco de problemas, que debe tener, entre otros, los siguientes campos: Enunciado del problema, estrategias de solución, respuesta, resolución (un pequeño esquema), tipo de problema, grado de dificultad, problemas semejantes y posibles variantes del problema (Fig. 2). Se experimentó con problemas de MÁXIMOS Y MÍNIMOS, formando un banco de 150 problemas. También se experimentó con problemas de ECUACIONES ALGEBRAICAS, construyéndose un banco de 75 problemas, de 2000 problemas seleccionados.

### 2.3 Alumnos organizados en grupos

Se definen 4 niveles de habilidad de los alumnos: Nivel 1: Poco o ningún co-

nocimiento de cómo resolver problemas. Nivel 2: Sugiere estrategias de solución, pero aún no presenta seguridad en el trabajo. Nivel 3: Sugiere estrategias diferentes para resolver un mismo problema. Nivel 4: Tiene éxito la mayoría de las veces.

El propósito de este módulo es, precisamente, organizar a los alumnos en estos niveles (Fig. 3) y luego proceder a formar las parejas de alumnos.

### 2.4 Intercambio de experiencia

Este módulo es vital; aquí es donde se reafirma el aprendizaje, ya que cada par de alumnos explicará cómo resolvió su problema, y escuchará y comparará las formas de resolución de las otras parejas.

En este momento cada pareja de alumnos realimenta los bancos de datos, identifica los aspectos teóricos utilizados, el tipo de problema, las estrategias de solución, la solución, un esquema de la resolución y los problemas con los cuales está relacionado. Además, cada par se autoevalúa al comparar su trabajo con el de los otros y tiene oportunidad de regresar a la resolución del problema (Fig. 4).

Como corolario de este módulo se tiene que los alumnos adquieren entusias-

## BANCO DE PROBLEMAS A RESOLVER

### Inicio

*Recopilar problemas del tópico a estudiar*  
*Clasificarlos por tipo*  
*Subclasificarlos por estrategias de solución*  
*Resolverlos y estimar tiempo en cada etapa*  
*Clasificarlos por grado de dificultad*

*Si*      *satisfacen las expectativas*  
           *entonces*  
           *incorporarlos al archivo*  
*Si no*  
           *desecharlos*

*Fin del si*

*Fin*

Figura 2

## ALUMNOS ORGANIZADOS EN GRUPOS

Si es primera vez que trabaja con ellos  
 entonces  
 determine el nivel de habilidad de cada uno  
 Si no  
 solamente reclasifíquelos  
 Fin del si

Figura 3

## PUESTA EN COMÚN

Inicio  
 Reunir a todo el grupo para escuchar y analizar el trabajo de cada pareja  
 Repita  
 Exponer el procedimiento  
 Plantear las dudas y  
 responder preguntas  
 Si todo lo aportado es correcto  
 entonces  
 actualizar bancos de conocimientos,  
 de estrategias y de problemas resueltos  
 Si no  
 camine para atrás buscando las diferencias  
 Fin del si  
 Hasta esponga última pareja  
 Fin

**MICROPROCESO**

Figura 4

mo por las soluciones más elegantes; aquí son motivados a las generalizaciones de soluciones y generalizaciones de problemas. Es importante que todas las informaciones agregadas a los bancos de datos, sean verídicas, pues de ellas depende el buen resultado de los futuros trabajos.

El macro-proceso comprende los tres módulos que se han descrito (Fig. 1) y también el micro-proceso, que se pasa a describir.

### 2.5 Micro-proceso

Describe las actividades que cada pareja de alumnos tiene que realizar para resolver problemas, está compuesto de cuatro módulos, que conducen al estudiante desde la comprensión del problema, la construcción y resolución del algoritmo, y la escritura de su procedimiento, hasta el análisis de la respuesta obtenida.

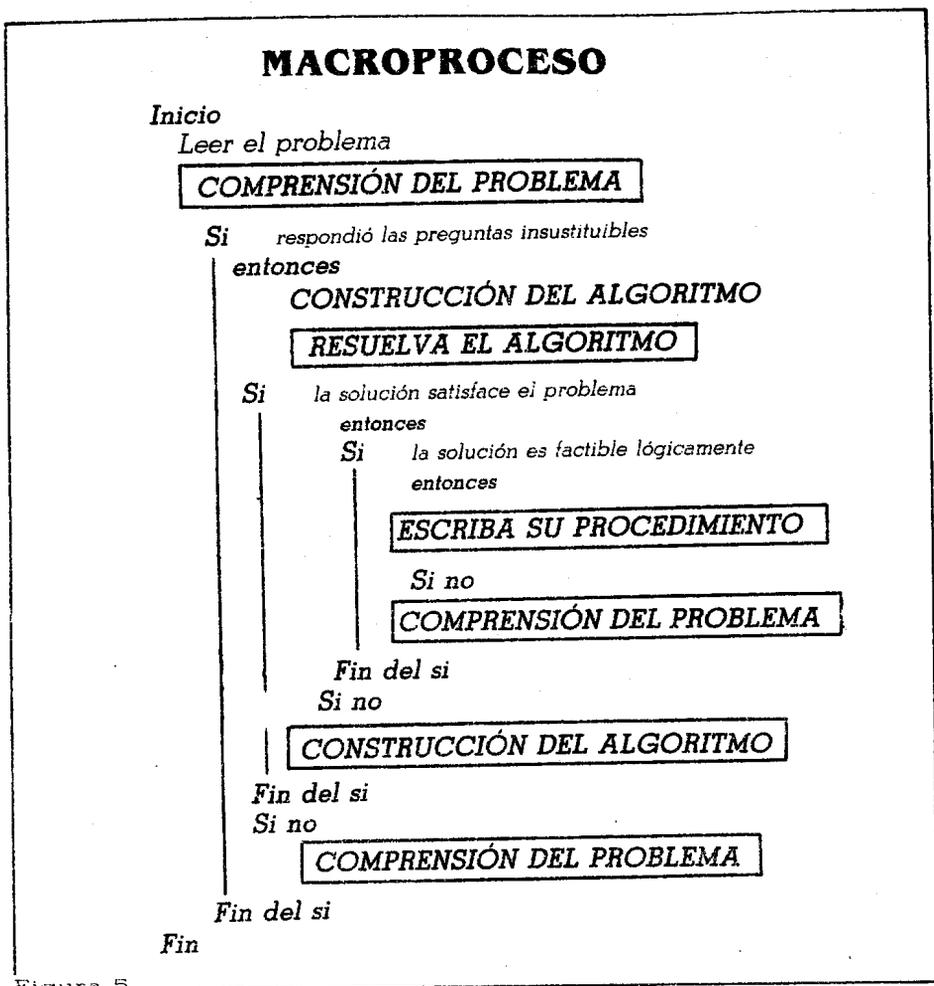


Figura 5

Se inicia con la comprensión del problema, que es algo más que simplemente leerlo (Fig. 5), al responder a las preguntas insustituibles; se pasa a la construcción del algoritmo y luego a la resolución del algoritmo planteado. En este momento se hace un análisis de la solución.

### 2.6 Comprensión del problema

Se conduce al estudiante a tomar en cuenta algunos preliminares, como: a) Utilice adecuadamente la información, b) no introduzca restricciones innecesarias, c) dé una visión general al pro-

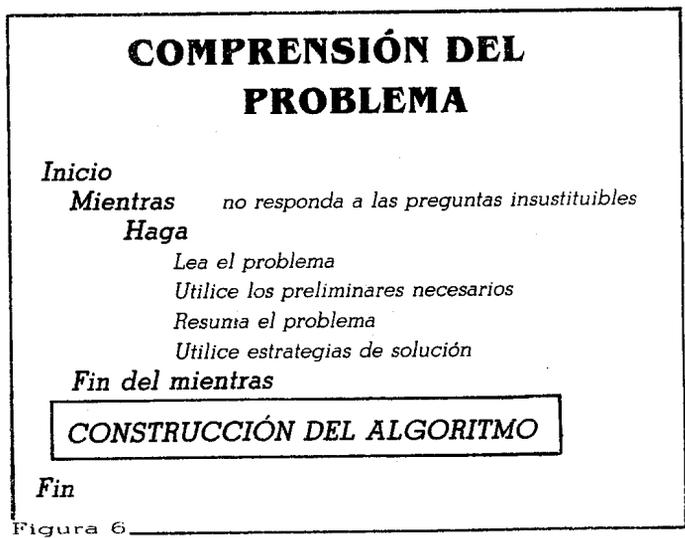


Figura 6

blema, y *d*) pregunte por la verdadera pregunta. Luego se le pide resumir el problema, ya que sólo puede resumirse aquello que se comprende. Se les indica qué deben de responder a las preguntas insustituibles (¿Cuáles son los datos? ¿cuál es la incógnita? y ¿cuál es la condición?) utilizando, en la medida que requieran, las estrategias de solución.

Entre otras, se recomiendan como estrategias de solución: *a*) Hacer un diseño, *b*) hacer una lista, *c*) hacer una tabla, *d*) ir de la respuesta hacia los datos, *e*) construir un modelo, *f*) resolver un problema más simple, *g*) buscar y

revisar, *h*) dar lugar a la duda, *i*) explorar alternativas y *k* hablar acerca del problema.

## 2.7 Construcción del algoritmo

Se pide al estudiante que divida la gran tarea que tiene para resolver, en dos o más procesos más simples, y continuar la división de cada proceso hasta que casi sea indivisible.

La construcción de un diagrama de árbol, será un auxiliar muy importante en esta actividad. Luego se escribe la sucesión de los procesos y de esta ma-

# CONSTRUCCIÓN DEL ALGORITMO

## Inicio

*Divida el proceso principal en dos o más procesos*

**Si** *los procesos se pueden dividir más*

**entonces**

*divida cada proceso en dos o más procesos*

**Si no**

*Escriba secuencialmente todos los procesos*

**Si** *obtuvo el algoritmo*

**entonces**

**Si** *considera necesario construir otro algoritmo*

**entonces**

## CONSTRUCCIÓN DEL ALGORITMO

**Si no**

## RESUELVA EL ALGORITMO

**Fin del si**

**Si no**

*Busque un problema semejante que haya resuelto*

**Si** *existe ese problema*

**entonces**

*ajuste ese algoritmo a su problema*

**Si no**

*elimine algunas variables*

## COMPRESIÓN DEL PROBLEMA

**Fin del si**

**Fin del si**

**Fin del si**

**Fin**

nera se obtiene el algoritmo. Cuando el alumno ya construyó el algoritmo, se le pregunta si desea construir otro (especialmente a los estudiantes que buscan soluciones más elegantes). Se presentan algunas alternativas para los casos en que no se pueda llegar al algoritmo; incluso puede volverse al módulo anterior si se considera necesario.

Se quiere dejar bien claro que no se pretende que todos los algoritmos sean contruidos de la misma forma. Es más, tampoco se afirma que todos los problemas se puedan expresar de forma algorítmica.

## 2.8 Resuelva el algoritmo

La técnica utilizada en la resolución de ecuaciones algebraicas es la que se emplea en este módulo. Se aplican transformaciones regulares a las condiciones del problema para que se puedan transformar en condiciones equivalentes, y más simples con solución conocida, y así obtener el conjunto solución del problema. Aquí se realiza la primera verificación de la solución (Fig. 8); o sea, se verifica si satisface las condiciones del problema. Si tal es el caso, entonces se vuelve al micro-pro-

ceso, para otro *test* del conjunto solución (Fig. 5). Ahora, si el conjunto solución no satisface las condiciones del problema, entonces se tienen que revisar los cálculos y las transformaciones regulares y volver al cálculo del conjunto solución.

## 2.9 Escriba su procedimiento

En este módulo se reafirma el aprendizaje derivado de la solución del problema, ya que cada par de estudiantes tiene que explicar y ordenar que escribió y calculó, o simplemente pensó. Se debe escribir un resumen del problema, las respuestas a las preguntas insustituibles, escribir las estrategias de solución utilizadas, el algoritmo construido y el conjunto solución. Después se invita a los estudiantes a establecer una generalización del problema. En el caso de no ser ésta su intención, se concluirá con el micro-proceso y se regresará al macro-proceso (Figs. 5 y 1).

Estamos seguros (y la investigación de campo lo apoya) de que el modelo contribuye en el aprendizaje de resolución de problemas, en forma meta-cognitiva, ya que el alumno aprende

# RESUELVA EL ALGORITMO

*Inicio*

**Mientras**    *las transformaciones sean equivalentes*  
**Haga**        *transformar sus condiciones en otras más simples*  
                   *utilizando transformaciones regulares*

**Fin del mientras**

**Si**            *la solución satisface las condiciones*  
                   **entonces**

**MICROPROCESO**

**Si no**  
                   *Revise los cálculos*  
                   *Revise las transformaciones*

**CONSTRUCCIÓN DEL ALGORITMO**

**Fin del si**  
**Fin**

Figura 8.

## ESCRIBA SU PROCEDIMIENTO

*Inicio*

*Mientras* existan resoluciones distintas

*Haga*

*Escriba: el resumen del problema*

*las respuestas a las preguntas insustituibles*

*lista de las estrategias utilizadas*

*algoritmo*

*conjunto solución*

*Fin del mientras*

*Si* puede generalizar el problema

*entonces*

*haga la generalización*

### COMPRESIÓN DEL PROBLEMA

*Si no*

### MICROPROCESO

*Fin del si*

*Fin*

Figura 9

a resolver problemas; es decir, *aprende una forma de aprender*. La base de problemas que los alumnos formaron en la computadora tuvo un valor muy importante, ya que podían volver en

forma rápida a los problemas resueltos. La base de conocimientos matemáticos fue construida para su uso con lenguaje natural, y crece conforme la investigación se desarrolla.

## BIBLIOGRAFÍA

**BODEN, M.**, *Artificial Intelligence and Natural Man*, U.S.A., The Harvester Press, 1977

**CHARLES, R. & F. LESTER**, *Teaching Problem Solving*, Palo Alto California, Dale Seymour Pub., 1982.

**CHARLES, R., F. LESTER & P. O'DAFFER**, *How to Evaluate Progress in Problem Solving*, U.S.A. Editado por National Council of Teachers of Mathematics, 1989.

**CLOCKSIN, W.F. & C. S. MELLISH**, *Programming in Prolog*, Germany, Springer-Verlag, 1984.

**DAHL, V.**, "Logic Programming as a representation of knowledge" in *Computer IEEE Transactions on software Engineering*, U.S.A., pág. 106-111, Oct. 1983.

**DALLEDONNE DE B., JORGE P. & U. D'AMBROSIO**, *Computadores, Escola e Sociedade*, São Paulo, Editora Scipione, 1987.

**DIPOLITTO, C.**, "Desenvolvimento do Software educacional: Arte exclusiva de informatas ou ao alcance do educador?", in: *Tecnología Educativa*, Associação Brasileira de Tecnologia Educacional, año XVI No. 77, pág. 40-43, jul-ago 1987.

**DOYLE, J.**, "Expert systems and the 'myth' of symbolic Reasoning", in: *IEEE Transaction on Software Engineering*, Vol. 11, USA, Nov. 1985.

**ERNST, G. W. & A. NEWELL**, *GPS: A Case Study in Generality and Problem Solving*, New York, Academic Press, 1969.

- GENARO, S.**, *Sistemas Especialistas o Conhecimento Artificial*, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, S. A., 1986.
- GUIMARÃES, A. DE M. & N. A. DE C. LAGES**, *Algoritmos e Estruturas de Dados*, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1985.
- HARMON, P. D. KING**, *Sistemas Especialistas a Inteligência Artificial chega ao Mercado*, Rio de Janeiro, Campus, 1988.
- JACKSON, P.C.**, *Introduction to Artificial Intelligence*, U.S.A. Dover, 1985.
- KANTOWSKI, M. G.**, "Some thoughts on teaching for problem solving", in: S. Krulik (editor), *Problem solving in school mathematics*, Virginia. National Council of Teachers of Mathematics, 1980.
- KRULIK, S.**, *Problem Solving in School Mathematics*. Year book 1980, Virginia, National Council of Teachers of Mathematics, 1980.
- LESTER, F. K.**, "Problem solving: is it a problem?", in: Mary Montgomery Lindquist (editor) *Selected Issues in Mathematics Education*, Berkeley, California, McCutchan Publishing Corp., 1980.
- LEVINE, R. I., D. E. DRANG & B. EDELSON**, *Inteligência artificial e sistemas especialistas Aplicações e exemplos práticos*, São Paulo, McGraw-Hill, 1988.
- LIPPERT, R. C.**, "Expert systems: Tutor, Tools and Tutees", in *Journal of Computer Based Instruction*, Washington, 16 (1), pág. 11-19 (winter 1989).
- MALONE, J. A., G. A. DOUGLAS, B. V. KISSANE & E. S. MORTLOCK**, "Measuring problem-solving ability", in: S. Krulik (editor), *Problem solving in school mathematics*, Virginia. National Council of Teachers of Mathematics, 1980, 1975, pág. 81-97.
- MORALES, A. L.**, *Um Modelo Computacional para a Resolução de Problemas*, Campinas Brasil. (Tesis de Doctorado), Universidade Estadual de Campinas, 1990.
- NUTHAL, G. & I. SNOOK**, "Contemporary models of teaching", in: R. Travers (editor) *Second Handbook of Research on Teaching*, second printing, U.S.A., Copyright by the American Educational Research Association, 1973.
- PIAGET, J.**, "A teoria de Piaget", in: P.H. Mussen (organizador), *Psicologia da Criança*, S. Paulo, E.P.U., 1975, vol. 4 Desenvolvimento Cognitivo I.
- POLYA, G.**, *Cómo plantear y resolver problemas* (5a. reimpresión en español), México, Trillas, 1975.
- RATHS, L. E., A. JONAS, A. M. ROTHSTEINS & S. WASSERMANN**, *Ensinar a pensar. Teoria e aplicação*, S. Paulo, E.P.U., 1972.
- RIBEIRO, H. DA C. & S.**, *Introdução aos Sistemas Especialistas*, S. Paulo, Livros Tecnicos e Científicos editora, 1987.
- RICH, E.**, *Inteligência artificial*, São Paulo, McGraw-Hill, 1988.
- ROBINSON, P. R.**, *Turbo Prolog. Guia do usuário*, São Paulo, McGraw-Hill, 1988.
- ROLSTON, D. W.**, *Principios de Inteligência Artificial y Sistemas Expertos*, Bogotá, McGraw-Hill, 1990.
- RUBINSTEIN, M. F.**, *Patterns of problem solving*, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1975.
- SCHOENFELD, A. H.**, *Mathematical problem solving*, Orlando, Academic Press, 1985.
- TROLLIP, S. R. & R. C. LIPPERT**, "Constructing Knowledge Bases: A Promising Instructional Tool", *Journal of Computer-Based Instruction*, Washington, 14 (2), pág. 44-48 (spring 1987).
- VICCARI, R. & P. TRIGO**, "Tutor-Prolog: Interface", *II Encontro de Informática no Ensino*, Lisboa, 1988.