

LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y LOS SOPORTES HIPER-MEDIA

Solving-Problems and Hypermedia Systems

Ricardo LÓPEZ FERNÁNDEZ

Prof. Dr. Facultad de Educación. Universidad de Salamanca

RESUMEN: La resolución de problemas como la transferencia constituye dos núcleos, relacionados, esenciales en la investigación cognitiva y en la educación matemática. No es por ello casual que, desde el primer momento, en las investigaciones sobre la aplicación de la informática a la enseñanza de las matemáticas, se desarrollaran modelos cibernéticos que simulaban procesos de resolución de problemas y contextos transferenciales (GPS, 1969) e IDEA (Interactive Decision Envisioning Aid, Pea, Bruner-Cohen, Webster & Mellen, 1987).

El presente artículo analiza las aportaciones que al respecto las nuevas tecnologías hipermedias pueden aportar al desarrollo de aplicaciones que sirvan para implementar procesos de aprendizaje favorecedores del pensamiento heurístico y de la capacidad de «transfer».

Desde nuestra perspectiva y desde la experiencia que hemos desarrollado en este campo, realizar una función de análisis, desde un punto de vista hipermedia, de las teorías sobre la resolución de problemas, requiere que hagamos un ejercicio previo de reinterpretación de los aspectos centrales de las teorías del «solving problem» y «transfer» a partir de las clásicas teorías sobre el procesamiento de la información. En este sentido, tanto la teoría de la memoria dual como la más reciente de J. Anderson (1993) basada en los mecanismos de activación de nodos de información permiten establecer una interpretación sugerente de los mecanismos mentales que operan en los procesos heurísticos.

Sobre dichos análisis, el presente artículo desarrolla una interpretación teórica y sistematizadora de la función de los soportes basados en tecnología hipermedia, avanzando en la definición de un cuerpo teórico necesario, teniendo en cuenta que, por otra parte, la experimentación práctica está permanentemente concluyendo en la eficiencia y eficacia del soporte hipermedia como mecanismo comunicacional en los procesos de aprendizaje heurístico.

Palabras clave: aprendizaje, sistemas hipermedia, resolución de problemas, transferencia.

ABSTRACT: The solving problems like the transfer constitute two nuclei, related, essential in the cognitive investigation and in the mathematical education. No is in and of itself casual that, from the first moment, in the investigations on the application gives the computer science to the teaching the mathematics, cybernetic models were developed that simulated processes problem solving and transfer cotexts (GPS, 1969) and IDEA (Interactive Decision Envisioning Aid, Pea, BrunerCohen, Webster & Mellen, 1987).

The present articulates it analyzes, that can contribute to the development in this respect the new technologies hypermedias, give applications that are good to implement processes of learning the heuristic thought and give the capacity of «transfer».

From our perspective and from the experience that we have developed in this field, to carry out a function gives analysis and the theories on the problem solving, it requires that we exercise a previous of interpretation the central aspects over the theories gives the solving problem and transfer starting from the classic theories on the prosecution of the information. In this sense, so much the theory gives the dual memory as the most recent, J. Anderson (1993) based on the mechanisms activation nodes information they allow to establish an interpretation suggester over the mental mechanism that you/they operate in the heuristic processes.

On this analysis, the present articulates it develops a theoretical interpretation over the function gives the supports based on technology hypermedia advancing in the definition of a necessary theoretical body, having in it counts that on the other hand the practical experimentation is permanent concluding in the efficiency and effectiveness gives the support hypermedia like mechanism of communication in the processes heuristic learning.

Key words: learning, hypermedia system, solving problem, transfer.

1. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

No existe o al menos nosotros no la conocemos, aunque hemos dedicado tiempo y esfuerzo a su búsqueda en diferentes bases de datos, una teoría que unifique –o si se prefiere, interprete– las heurísticas y el modelo de Polya y las teorías de la memoria dual y sobre todo, el mecanismo de la difusión de la activación de J. Anderson. Sin embargo, a nuestro juicio, esta cuestión resulta esencial, como posteriormente estableceremos, para interpretar teóricamente la aportación que los sistemas hipermediales hacen a los procesos de resolución de problemas.

Con dicho propósito unificador, a continuación desarrollamos una interpretación que surge de la síntesis entre la teoría de Polya y las teorías de la memoria dual, la teoría de J. Anderson sobre la activación de las redes proposicionales y la teoría de Chan (1993) sobre los enlaces fuertes y débiles en dichas redes como mecanismo básico en la adquisición del conocimiento.

Como es conocido, el enunciado de un problema en primer lugar, nos aporta un conjunto de informaciones que deben ser convertidas en un modelo de memoria, es decir deben ser elaboradas hasta obtener de ellas una representación mental. Internamente quiere decir que la MT incorporará las proposiciones y la representación icónica

en la que hayamos convertido el enunciado del problema una vez que hemos efectuado su lectura comprensiva.

Esta fase de codificación y elaboración –organización de los datos y las incógnitas establecidos por el problema– se corresponde con la llamada fase de comprensión del modelo de Polya.

La siguiente fase del proceso es la puesta en funcionamiento de las llamadas estrategias metacognitivas. Las informaciones memorizadas en la MT activan redes de conocimiento relacional en la MLP. Este proceso, a veces, es inmediato y otras veces no lo es tanto. Desde luego no lo es en el llamado «aprendizaje novato». A nuestro entender, las heurísticas de Polya se constituyen, precisamente en mecanismos de activación de las redes del conocimiento –procedimental, declarativo y condicional– relacionado.

En otras palabras, los mecanismos de indagación en el proceso resolutivo de un problema que fueron desarrollados por Polya, lo que hacen es inducir un proceso asociativo complejo entre la información almacenada en la MT y el conocimiento de la MLP.

Si se prefiere y efectuando un símil con los procesos reactivos en química, las heurísticas juegan el papel de catalizadores del proceso de activación de las redes de proposiciones y conocimientos asociados.

A la luz de esta conjetura, el análisis particular de cada una de las heurísticas de Polya muestra la coherencia del mecanismo interpretativo propuesto.

Es decir, desde esta perspectiva explicativa del significado de las heurísticas en el procesamiento de la información, la comprensión última de la función que desarrolla cada una de las heurísticas de Polya aparece de una manera sumamente sugerente. A continuación las establecemos:

1.1. *Representar gráficamente el problema*

La heurística de la representación gráfica del problema persigue la búsqueda de las redes de proposiciones almacenadas en la MLP que tienen que ver en la resolución del problema, todo ello por medio de la interpretación en términos de representación icónica de lo que está dado en representación semántica.

1.2. *Recordar un problema similar y tratar de resolverlo*

Es la heurística de la analogía, con ella se pretende proyectar sobre la comprensión del problema representado en la MT, la red o redes de conocimiento análogo almacenado en la MLP, para intentar a partir de ahí, definir las asociaciones adecuadas que permitan la activación del conocimiento almacenado en la MLP, que sea necesario para la solución del problema.

Desde otra perspectiva, también especialmente útil para nuestros propósitos, durante la década de los ochenta y principio de los noventa, Keane (1987), elaboró el marco teórico sobre el llamado razonamiento teórico progresivo. Para Keane, la asociación

–o activación, en términos de la teoría ACT*– se consigue en la medida en que la elaboración de la información cumple lo siguiente:

- El papel y función del concepto en el dominio.
- Los solapamientos de atributos entre los conceptos implicados en ambos dominios.
- La caracterización plena de los atributos funcionalmente relevantes.

En las recientes elaboraciones de la teoría sobre la analogía progresiva (Incremental Analogy) de Keane, los procesos de activación se obtienen en la medida en que se encuentren y establezcan correspondencias entre conceptos y relaciones entre el dominio fuente y el dominio objetivo.

En los trabajos de Keane (1988), se establece una categorización de los tipos de restricciones que operan en los procesos analógicos. Por su importancia, para el estudio de los sistemas hipermedia, las exponemos a continuación:

- Restricción de la memoria de trabajo –MT–. Limitada siempre y, en particular, durante el proceso del razonamiento analógico.
- Restricción del control. Limitación del flujo de transmisión de procesamiento entre las informaciones de los dos dominios.
- Restricción de la verificación. La transferencia generada por la analogía debe ser verificada permanentemente al objeto de ir evaluando la adecuación de las asociaciones o activaciones engendradas.
- Restricción de la semejanza. Selección de los elementos que manifiesten similitud frente a los disímiles.
- Restricción pragmática. Selección de aquellas partes de la analogía que son consideradas relevantes a efectos de resolución.
- Restricción estructural. Impuesta por el requerimiento del isomorfismo como el modelo de correspondencia que desarrolla de manera más efectiva la analogía y, por ende, la activación de las redes.

1.3. *Descomponer el problema en partes*

La heurística de la descomposición del problema en módulos más simples intenta y permite en muchos casos, activar redes más simples de conocimiento conectado, a partir de una reducción de la información albergada en la MT. En cierta manera, esta heurística focaliza el problema por parte, buscando con esta simplificación el reconocimiento focal de las redes de la MLP asociadas.

1.4. *Considerar el problema resuelto y efectuar el análisis retrospectivo*

Esta heurística es útil en las situaciones en donde «a priori» aparecen muchas posibles vías y métodos de solución del problema.

Por ello, desde el punto de vista de la teoría sobre el procesamiento de la información, esta heurística, al contrario que otras que inducen activaciones de redes de conocimiento asociado, depura y selecciona en un típico proceso de «tuning», de refinamiento, las activaciones de aquellas redes que realmente conducen a la resolución del problema.

- Partir de la falsedad de la tesis y comprobar que eso conduce a la contradicción.
- El mecanismo es, en este caso, el de aceptar unas redes asociadas determinadas contrarias a la solución, para inducir un proceso de reconocimiento de las redes que son válidas.

Si tomamos como base del análisis el modelo de heurísticas de Schoenfeld, u otros de los existentes –Mason, Burton, Bransford... etc.– las conclusiones que se pueden establecer son similares.

En todos los casos podemos efectuar el mismo tipo de análisis correlacional entre los distintos modelos de estrategias heurísticas y los métodos de inducción a la activación de las redes proposicionales. Por ejemplo, si recordamos esquemáticamente, las heurísticas de Schoenfeld:

- Desarrollar un diagrama.
- Ejemplificar el problema.
- Indagar situaciones límites.
- Buscar patrones inductivos.
- Simplificar el problema.
- Búsqueda de problemas equivalentes.
- Reformulación del problema.
- Modificación «débil» del problema.
- Modificación «fuerte» del problema.

Podemos ir desarrollando el estudio de correlación de tal manera que podemos establecer la siguiente correspondencia:

- Desarrollar un diagrama. —————> Activación por representación.
- Ejemplificar el problema. —————> Activación por simplificación semántica.
- Búsqueda de problemas equivalentes. —————> Activación por redes simples análogas.

En la siguiente figura se establece la correspondencia entre estas heurísticas y el mecanismo de activación con el que se correlaciona, clasificando las heurísticas en relación al atributo o atributos inductores de la activación.

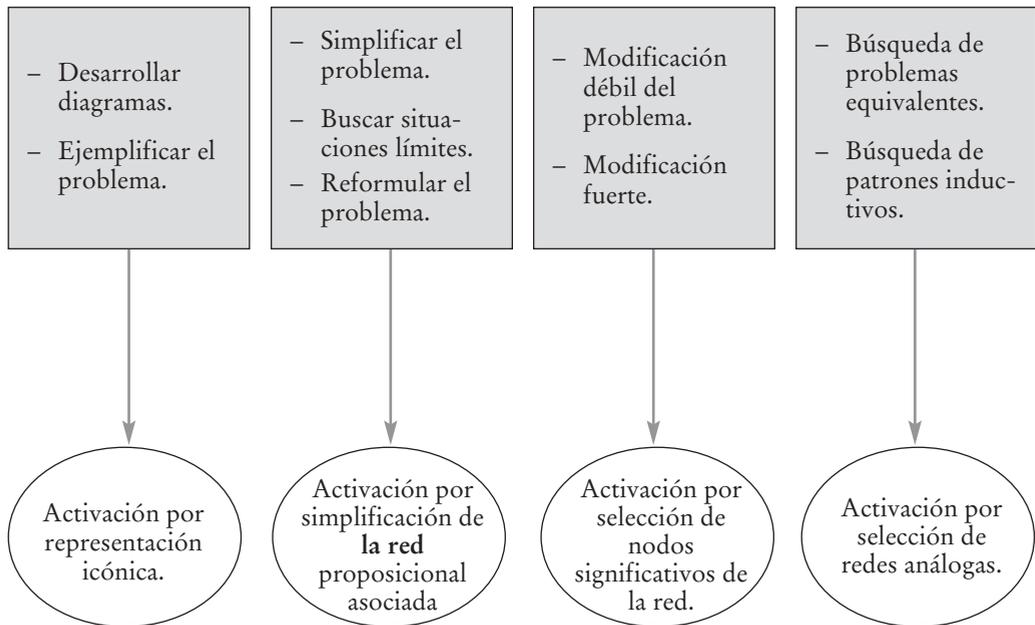


Figura 1

La teoría de Anderson sobre estados activados es un buen ejemplo, que de hecho ha fundamentado trabajos de simulación por ordenador también en este campo (Briars & Larkin, 1984) y (Riley, Greeno & Heller, 1988). La consecuente interacción entre los estudios empíricos y los trabajos computacionales han sido especialmente productivos y beneficiosos en ambas direcciones.

La base esencial de las simulaciones implementadas por Riley, basadas en los trabajos de la década anterior de Nevell y Simon en 1983, es que el solucionador competente de este tipo de problemas, primero construye una cadena de representación de las cantidades y clasifica las relaciones semánticas de los conceptos del texto, en términos de esquemas de cambio, combinación o comparación. Basándose en la información aportada por esta representación, el proceso resolutor opera sobre un conjunto imaginario de partes contables del conjunto de objetos implicados en el problema. El modelo computacional coincide esencialmente con las aportaciones realizadas desde el ámbito de los estudios empíricos.

La teoría sobre el procesamiento de la información también nos aporta un cierto grado de conocimiento sobre cómo operan las diferencias entre la capacidad para resolver problemas por parte del experto y la capacidad del denominado principiante. Entendemos por experto aquel que tiene un nivel de competencia elevado, y por lo tanto, manifiesta un grado avanzado de eficiencia en la resolución de problemas. El principiante o novato tiene conocimiento sobre el tema, que sin embargo no transfiere con

eficacia a la resolución de problemas. Por ello muestra una notable ineficiencia en los procesos de resolución.

Mayer (1992) analizó como los expertos no activan mucha información relacionada, sino que caracterizan y diferencian plenamente la información sustantiva de la que no lo es, activando sólo aquellas que constituyen las claves de la resolución. Parece por ello que los expertos realizan una utilización muy eficiente de la MT, por cuanto seleccionan los datos más relevantes, los retienen, descartan los accidentales y activan el conocimiento necesario y suficiente para abordar la resolución. Éste es el resultado de una buena organización jerárquica del conocimiento y por ello de una buena organización del almacén de su memoria. En general parece ser que los expertos son muy eficientes en aplicar una metodología de trabajo que es prospectiva, en la medida en que previamente identifican el tipo de problema y seleccionan la estrategia de acercamiento que más convenga (Mayer,1992 y Bruning,1995). Por el contrario, los principiantes abordan el análisis del problema de una manera menos sistemática. Esto es consecuencia de una estructuración mal organizada de su conocimiento, lo cual genera de manera automática una mala organización de la memoria. Así, el principiante confunde los datos esenciales y sustantivos del problema con aquella otra información más accidental. Abordan muchas veces los problemas mediante el sistema ensayo - error o por el método retrospectivo que, al no tener claros los fines y objetivos perseguidos, abunda en la confusión.

En general, el principiante, también al contrario que el experto que desarrolla un trabajo eficiente y limitado con su MT, intenta almacenar demasiada información en la MT, generando una gestión sobreabundante de la MT y una gestión mínima de la MLP. El experto sin embargo, sobre una MLP en donde ha almacenado un conocimiento bien estructurado, efectúa una aplicación continua y eficaz de esta.

Desde el punto de vista de la activación de redes, las consecuencias de los análisis anteriores son inmediatas:

- El experto selecciona y activa con mayor eficiencia las redes del conocimiento asociado y requerido para la solución del problema.
- El principiante activa de una manera ineficiente las redes asociadas del conocimiento almacenado en la MLP. Ineficiencia en cuanto a mínima activación sobre un conjunto de nodos sobreabundante.

En las investigaciones desarrolladas por Silver (1981) y Mayer (1982) sobre distintos tipos de problemas algebraicos y el comportamiento de expertos y novatos, las conclusiones también apuntaron en la misma dirección. Los expertos tendían a clasificar los problemas algebraicos por criterios acordes con los procesos necesarios para su resolución. Los principiantes los clasificaban sobre la base de atributos irrelevantes, a efectos de su resolución, por ejemplo, por semejanzas en contenidos.

Según Chi (1988), lo que diferencia el nivel de experto, del nivel de novato no es tanto el conocimiento específico de determinados conceptos y procedimientos, sino la

organización relacional de este conocimiento con el conocimiento base, la estructuración dinámica de aquel dentro de éste y, por ello, la capacidad para acceder a él de una manera más eficiente y flexible.

En 1995, Hegarty, Mayer y Monk analizaron sobre grupos de alumnos expertos y principiantes, la estrategias de comprensión de los problemas de álgebra. Los expertos manifestaron en general que se acercaban a la comprensión eficiente del problema mediante un mecanismo de modelización. Creaban un problema modelo y trasladaban el problema en cuestión al problema modelo. El problema modelo estaba alojado en la MT y era el mecanismo para desarrollar un proceso de activación del conocimiento alojado en la MLP.

Los inexpertos se guiaban por características superficiales –si en el enunciado se incluía una suma, ésta se consideraba clave–, que no conducían al hallazgo de ningún tipo de estrategia solvente de resolución.

Todo ello nos conduce a afirmar la siguiente conclusión:

La diferencia esencial entre el experto y el principiante es que, mientras el primero desarrolla procesos comprensivos que le permiten aplicar estrategias activadoras del conocimiento necesario para la resolución, el segundo es incapaz de activar el conocimiento declarativo –procedimental necesario y suficiente para alcanzar dicho objetivo.

2. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y SOPORTE DE LA INFORMACIÓN

Apuntaba Greeno (1987), que las simulaciones por ordenador de los procesos resolutivos de problemas tienen la virtualidad de realizar descripciones explícitas del conocimiento y de sus procesos asociados que, en otras situaciones se manifiestan implícitos o incluso especialmente vagos y difusos.

En este contexto y en relación a los análisis anteriores, reflexionamos a continuación sobre la incidencia que el soporte hipermedia tiene a la hora de simular y realizar aplicaciones de resolución de problemas.

Si analizamos la naturaleza de las funciones metacognitivas asociadas al sistema ejecutivo/heurístico, observaremos que éstas tienen que ver con procesos de control, selección, tutorización y monitorización y evaluación. Todas ellas desarrolladas con el objetivo de modificar, en su caso, la estructura dinámica del sistema de producción asociado a la resolución del problema. Dicha modificación de la estructura del sistema de producción, se produce por el ejercicio de la retroalimentación del propio proceso y se contextualiza en el marco de una interacción constante entre el problema y sus condiciones y quien lo resuelve.

Por todo ello, podemos afirmar que el proceso de resolución de problemas y el ejercicio de las funciones ejecutivo/heurísticas requiere, para poder ser simulado, un soporte que tenga las siguientes características:

- Capacidad para almacenar redes proposicionales y sistemas de producción reticulares en su estructura.
- Una estructuración adaptativa y dinámica.
- Interactividad y capacidad de control y regulación del sistema.

De tal manera que los «output» que resulten de la interacción se conviertan en «inputs» para el ejercicio de retroalimentación y reestructuración del sistema de producción asociado. Por último, y en estrecha relación con las características anteriores,

- La multi-representación y la capacidad para la transformación entre diferentes sistemas notacionales.

Estas cuatro características, como es conocido, son específicamente singulares en los sistemas hipermedia. Tanto es así que, siguiendo a J. Kapput, podemos indicar que la tecnología hipermedia se caracteriza en contraposición a otro tipos de soporte por los siguiente:

- *Medio dinámico versus medio estático.*
- *Medio interactivo versus medio inerte.*
- *Medio instrumental de apoyo externo que desarrolla funciones cognitivas y metacognitivas versus la memoria y la cognición humana.*

Por ello, dicho soporte constituye un medio instrumental idóneo para simular los procesos cognitivos y metacognitivos que operan en los procesos de resolución.

En suma, podemos decir que hasta el nacimiento de los sistemas hipermedia, no contábamos con un soporte que nos permitiera simular con rigor los mecanismos de planificación cognitiva, en especial los heurísticos, que operan en nuestro cerebro cuando nos enfrentamos a la resolución de un problema.

Por ello, Johanssen (1990), indica la capacidad para dar respuesta a los procesos de resolución de problemas como una característica singular de los sistemas hipermedia. Asociando esta especificidad del soporte a su capacidad para producir hiperredes, reestructurar la información e integrarla.

Anteriormente hemos realizado un análisis detallado de las diferentes heurísticas y de su interpretación funcional a la luz de las teorías sobre el procesamiento de la información. En el contexto de las reflexiones y análisis entonces efectuados y en la intersección entre dichos análisis y las características de los sistemas hipermedia, ahora podemos aportar como conclusión la siguiente:

- El soporte y la tecnología hipermedia tienen la versatilidad y flexibilidad adecuadas para representar y simular cada uno de los procesos heurísticos descritos y, por lo tanto, para activar procesos funcionales de tratamiento de la información eficientes para la resolución de problemas.

En apoyo de esta conclusión, la siguiente figura describe la correlación entre las heurísticas y las características hipermediales referidas:

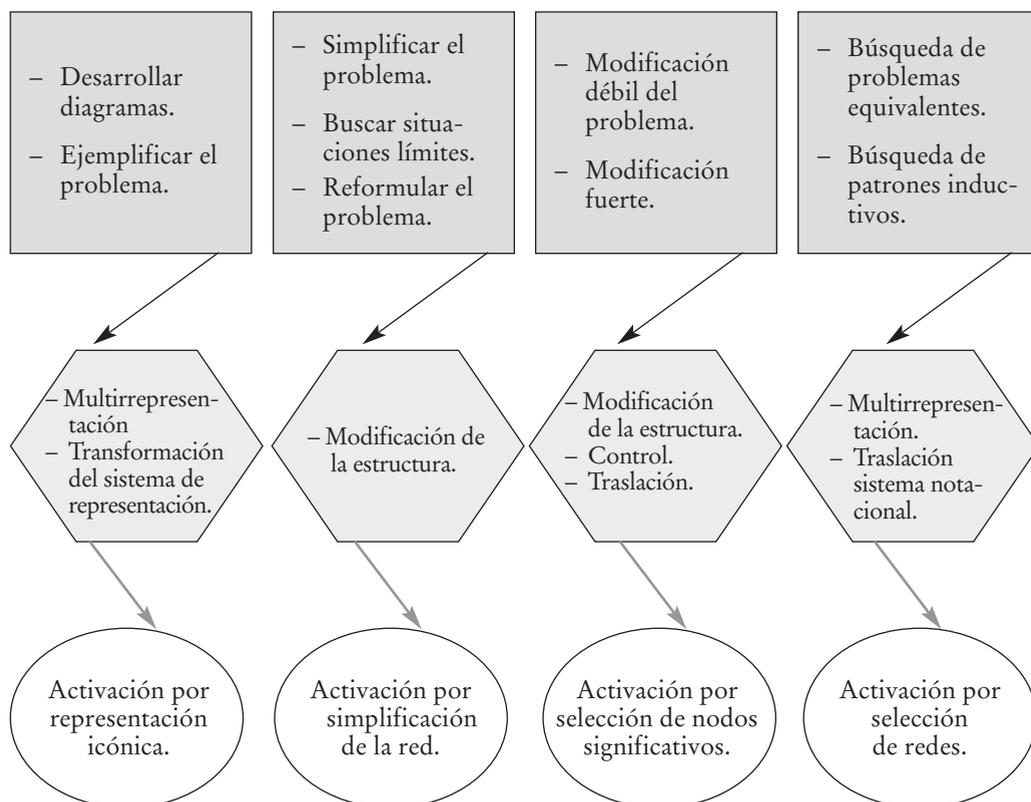


FIGURA 2

Otra de las heurísticas importante, citada tanto por Polya como por Schoenfeld, es la asociada a procesos analógicos. Con ella se consigue, tal y como vimos en el análisis de las heurísticas desde la perspectiva del tratamiento procesual de la información, minimizar y optimizar las funciones cognitivas asociadas al procesamiento, teniendo en cuenta los propios límites de nuestro sistema. Es decir, en cierta manera, la heurística de la analogía consiste en la puesta en práctica de un mecanismo de aplicación eficiente –mínimo procesamiento para la consecución de máximos objetivos- de nuestras propias capacidades.

Para ello, lo que hacemos en realidad es efectuar un amplio trabajo de restricción, en particular, como vimos y analizamos:

- Restricción de la memoria de trabajo –MT–.
- Restricción del control.
- Restricción de la verificación.

- Restricción de la semejanza.
- Restricción pragmática.
- Restricción estructural.

Probablemente este ejercicio heurístico, orientado a la restricción del espacio de procesamiento, lo realizamos porque no hemos tenido nunca un instrumento o soporte que nos permitiera ampliar nuestras posibilidades de control, de verificación, de análisis de semejanza, de ejemplificación, de modificación estructural.

Desde luego el libro de texto nunca ha sido un soporte que haya permitido efectuar estos mecanismos de control y/o modificación, dada su característica de medio inerte. Con los sistemas hipermedia hemos conseguido dotarnos de un instrumento de primer orden para trabajar la analogía, ampliando a la vez nuestras capacidades metacognitivas.

Como es bien sabido, las destrezas en la resolución de problemas, el nivel experto, se consigue realizando problemas. Nunca leyendo su resolución en un libro.

Probablemente, y esto es una conjetura, la ineficiencia del libro como vehículo para la adquisición de destrezas y habilidades en la resolución de problemas tenga que ver con la ineficiencia heurística del soporte.

3. SIMULACIONES ALGORÍTMICAS DEL PENSAMIENTO HEURÍSTICO

Históricamente, la reciente evolución de las aplicaciones informáticas orientadas a la resolución de problemas ha estado marcada por la capacidad de representación y procesamiento algorítmico que era capaz de soportar el ordenador.

Desde luego, la teoría sobre el diseño de la instrucción matemática basada en soportes informáticos, desde el primer momento, se planteó la cuestión de la representación de los procesos resolutivos en modelizaciones computarizables, como hemos visto. Y desde el primer momento la metodología de acercamiento a las tareas de diseño asociadas tuvieron como núcleo esencial, la algoritmización de las funciones de indagación conexas a los mecanismos de procesamiento de la información que operan en los procesos mentales asociados a la resolución de problemas.

Así, la aplicación GPS (Global Problem Solving) constituye la referencia histórica ineludible en el inicio de las investigaciones sobre la implementación del sistema ejecutivo-heurístico en diseños de aplicaciones informáticas. Y en este caso, el método de «Análisis de medios y fines» que desarrollaron Nevell y Simón (1972), constituyó una aproximación algorítmica, y por tanto computarizable, del proceso heurístico de resolución de problemas.

Dicho método, como es conocido, está articulado sobre la base de una interpretación del problema como sucesión de estados intermedios sobre los que actúan un conjunto de operadores, en un proceso que está dirigido y secuenciado por un simulador de «sistema ejecutivo para la solución de problemas», que es quien determina, en última instancia, la secuencia de aplicación de los operadores. Esta representación del proceso de resolución supone un claro reduccionismo impuesto, necesariamente, por las carencias

que el propio desarrollo tecnológico tiene en dicho momento histórico. De tal manera que sólo un limitado tipo de problemas puede ser solucionado en el marco de la estrategia de «Análisis de fines y medios» y de la propia aplicación. En particular aquel tipo de problemas que muchos autores llaman «problemas puzzle» (Johansen, 1997), como por ejemplo el famoso de la torres de Hanoi. En otras palabras, en dicho momento histórico y con las limitaciones que el desarrollo «hard» de los ordenadores tenía, las posibilidades de implementar aplicaciones que algoritmizaran los procesos heurísticos eran muy concretas.

Desde el punto de vista conceptual y teórico, la cuestión que estamos analizando es extraordinariamente interesante porque nos sitúa en un contexto epistemológico en el que debemos dar respuesta a interrogantes como los siguientes:

- ¿Son representables algorítmicamente los procesos heurísticos? ¿Todos? o ¿sólo algunos? ¿En este caso? ¿cuáles? ¿quién determina los límites de la capacidad para transformar en algoritmos los procesos heurísticos?

En una perspectiva histórica, después de cinco décadas de desarrollo, lo que sí podemos afirmar de manera categórica es que, la propia evolución de las aplicaciones informáticas han permitido ampliar el rango de la representación algorítmica de los procedimientos típicamente heurísticos. Buena prueba de ello es que en los apartados anteriores hemos analizado la capacidad de las aplicaciones hipermedia para representar y ejecutar procedimientos heurísticos clásicos, enunciados en los ya clásicos modelos de Polya y Schoenfeld.

Planteadas así las cosas y aunque aún estamos lejos de poder disponer de un ordenador con capacidad de indagación similar a la mente humana, lo cierto es que el avance en el desarrollo de las aplicaciones informáticas está claramente dirigido por un vector que marca el avance en la capacidad de dichas aplicaciones para algoritmizar procedimientos y estrategias heurísticas. Sin duda, y como es conocido el progreso en este campo, viene determinado por la capacidad de algoritmización que manifieste la aplicación, incluso en el ámbito de la representación de las estrategias heurísticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J. R. (1983): A spreading activation theory of memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 261-295.
- (1983): *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- (1987): Skill acquisition: Compilation of weak-method problem solutions. *Psychological Review*, 94(2), 192-210.
- (1988): *The geometry tutor* [Software]. Pittsburgh, PA: Department of Psychology, Carnegie Mellon University.

- (1990): *Cognitive psychology and its implications* (3rd ed.). Nueva York: Freeman.
- (1992): Intelligent Tutoring and High School Mathematics en C. FRASSON, G. GAUTHIER y G. I. MCCALLA (Eds.) *Proceedings of the 2nd international conference ITS'92*, Berlín: Springer-Verlag, pp. 1-10.
- (1993). «Problem solving and learning». *American Psychologist*, 48, 35-44.
- ANDRE, T. (1986): Problem solving and education en G. D. PHYE y T. ANDRE (Eds.) *Cognitive classroom learning: Understanding, thinking, and problem solving*. Orlando Academic Press, pp. 169-204.
- BRANSFORD, J. D., R. S. SHERWOOD, N. J. VYE y J. RIESER (1986): Teaching thinking and problem solving: Research foundations. *American Psychologist*, 41, 1078-1089.
- BRIARS, D. J. y J. H. LARKIN (1984): An integrated model of skill in solving elementary word problems. *Cognition and Instruction*, 1, 245-296.
- CHAMOSO, J., L. ENCINAS, R. LÓPEZ y M. RODRÍGUEZ (1999): Resolución de problemas sobre soporte hipermedia. CD (press). CEDETEL, Valladolid: Junta de Castilla y León.
- CHANNEL, D. y C. HIRSCH (1984): Computer methods for problem solving in secondary mathematics en V. P. HANSON (Ed.) *Computers in mathematics education*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- CHI, M. T. H., M. BASSOK, M. W. LEWIS, P. REIMANN y R. GLASER (1989): Self explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*. 13, 145-182.
- CHI, M. T. H., R. GLASER y E. REES (1982): Expertise in problem solving en R. J. STEMBERG (Ed.) *Advances in the psychology of human intelligence* (vol. 1). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- DE CORTE, E. y L. VERSCHAFFEL (1988): Computer simulation as a tool in research in problem solving in subject-matter domains. *International Journal of Educational Research*, 12, 49-69.
- FLAVEL, J. H. (1976): Metacognitive analysis of problem solving en L. B. RESNICK (Ed.) *The nature of intelligence*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 231-235.
- GICK, M. L. y K. J. HOLYOAK (1980), Analogical problem solving, *Cognitive Psychology*, 12, pp. 306-355.
- GOLDIN, G. A. y C. E. MCCLINTOCK (Ed.) (1984): *Task variables in mathematical problem solving*. Philadelphia: Franklin Institute Press.
- GREENO, J. G. (1980): Trends in the theory of knowledge for problem solving en D. TUMA y F. REIF (Eds.) *Problem solving and education: Issues in teaching and research*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 9-23.
- y H. A. SIMON (1986): Problem solving and reasoning en R. C. ATKINSON, R. HERRNSTEIN, G. LINDZEY y R. D. LUCE (Eds.) *Steven's handbook of experimental psychology* (revised ed.). Nueva York: Wiley.
- HEGARTY, M., R. E. MAYER y C. A. MONK (1995): Comprehension of arithmetic word problems: A comparison of successful and unsuccessful problem solvers. *Journal of Educational Psychology*, 87, 18-32.

- HOLYOAK, K. J. (1984): Mental models in problem solving en J. R. ANDERSON y S. M. KOSSLYN (Eds.) *Tutorials in learning and memory: Essays in honor of Gordon Bower*. San Francisco: Freeman, pp. 193-218.
- JONASSEN, D. H. (1993): Conceptual Frontiers in Hypermedia Enviroments for Learning. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 2 (4), pp. 331-335.
- KANTOWSKI, M. G. (1977): Processes involved in mathematical problem solving. *Journal for Research in Mathematics Education*, 8, 163-180.
- KAPUTT, J. (1985): Representation and problem solving: issues related to modeling en E. A. SILVER (Ed.) *Teaching and learning mathematical problem solving: Multiple research perspectives*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, pp. 381-398.
- (30 de agosto, 1985): *Multiplicative word problems and intensive quantities: An integrated software response* (Tech. rep.) Cambridge, MA: Educational Technology Center, Harvard University.
- (1985a): Representation and problem solving: Methodological issues related to modeling en E. A. SILVER (Ed.) *Teaching and learning mathematical problem solving: Multiple research perspectives*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- LESH, R. (1985): Conceptual analyses of problem solving performance en E. A. SILVER (Ed.) *Teaching and learning mathematical problem solving: Multiple research perspectives*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, pp. 309-330.
- LESTER, F. K. (1988): Reflections about mathematical problem-solving research en R. A. CHARLES y E. A. SILVER (Eds.) *The teaching and assessment of mathematical problem solving*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics/Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 115-124.
- , J. GAROFALO & D. KROLL (1989): *The role of metacognition in mathematical problem solving: A study of two grade seven classes*. Final report to the National Science Foundation of NSF project MDR 8550346.
- LINN, M. C. y H. C. CLARK (1995): How can assessment practices foster problem solving? en D. R. LAVOIE (Ed.) *Towards a cognitive-science perspective for scientific problem solving* (No. 2004). Manhattan, KS: National Association for Research on Science Teaching.
- MASON, J., L. BURTON & K. STACEY (1982): *Thinking mathematically*. Nueva York: Addison Wesley.
- MAYER, R. E. (1992): *Thinking, problem solving, cognition* (2nd ed.). Nueva York: Freeman.
- NEWELL, A. (1983): The heuristic of George Pólya and its relation to artificial intelligence en R. GRONER, M. GRONER y W. BISCHOF (Eds.): *Methods of heuristics*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, pp. 195-243.
- POLYA, G. (1962): *Mathematical discovery* (vol. 1). Nueva York: Wiley.
- (1965): *Mathematical discovery* (vol. 2). Nueva York: Wiley.
- RISSLAND, E. (1985): Artificial intelligence and the learning of mathematics: A tutorial sampling en E. A. SILVER (Ed.): *Teaching and learning mathematical problem solving: Multiple research perspectives*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, pp. 147-176.
- SCHOENFELD, A. H. (1994): *Mathematics thinking and problem solving*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- SILVER, E. A. (1987): Foundations of cognitive theory and research for mathematics problem solving instruction en A. SCHOENFELD (Ed.) *Cognitive science and mathematics education*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, pp. 33-60.
- SIMON, H. (1980): Problem solving and education en D. TUMA y F. REIF (Eds.) *Problem solving and education: Issues in teaching and research*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, pp. 81-96.
- SMITH, M. U. (Ed.) (1991): *Toward a unified theory of problem solving*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- WOODWARD, J., D. CARNINE y R. GERSTEN (1988): Teaching problem solving through computer simulations. *American Educational Research Journal*, 25, 7286.