

Conocimientos y procesos cognitivos en la resolución de problemas de ciencias: *consecuencias para la enseñanza*

Knowledge Base and Cognitive Processes in Science Problem Solving: Consequence

Conhecimentos e Processos Cognitivos na Resolução de Problemas de Ciências: Consequências para o Ensino

Fecha de recepción: 20 DE FEBRERO DE 2008 | Fecha de aceptación: 19 DE AGOSTO DE 2008
Encuentre este artículo en <http://www.javeriana.edu.co/magis>

Escrito por JOAN JOSEP SOLAZ PORTOLÉS
IES BENAGUASIL, VALÈNCIA, ESPAÑA / UNED,
CENTRO ASOCIADO DE VALÈNCIA, ESPAÑA
jjsolpor@yahoo.es

Escrito por VICENT SANJOSÉ LÓPEZ
UNIVERSITAT DE VALÈNCIA, ESPAÑA
vicente.sanjose@uv.es

Resumen

Este artículo presenta una visión en conjunto de las investigaciones sobre la base de conocimientos y los procesos cognitivos implicados en la resolución de problemas, y cómo éstos afectan el desempeño de los estudiantes cuando resuelven los problemas. En la base de conocimientos se discute el conocimiento declarativo, el procedimental, el estratégico, el situacional y el esquemático. Entre los procesos cognitivos se habla del razonamiento formal, construcción de modelos mentales, transferencia de conocimientos y metacognición. A partir de todo ello, se sugiere una serie de medidas instruccionales que pueden tener aplicación en el aula de ciencias.

Palabras clave

Educación en ciencias, resolución de problemas, base de conocimientos, procesos cognitivos, medidas instruccionales.

Palabras clave descriptor

Procesos cognitivos, métodos de enseñanza, resolución de problemas, enseñanza de las ciencias.

Transferencia a la práctica

Para resolver problemas de ciencias los estudiantes deben tener una apropiada base de conocimientos e incidir sobre los procesos cognitivos que se llevan a cabo. Algunas de las medidas que se pueden plantear para mejorar la instrucción en resolución de problemas son: comprender los conceptos implicados, desarrollar habilidades del razonamiento científico, estimular la comprensión cualitativa del problema, explicar el papel de los procesos metacognitivos durante la resolución, disminuir la demanda mental del problema, usar representaciones externas del problema, trabajar en grupo, emplear textos instruccionales adecuados y reducir la carga de la memoria de trabajo en las actividades de aprendizaje.

Para citar este artículo | To cite this article | Para citar este artigo:

Solaz-Portolés, J. J., & Sanjosé-López, V. (2008). Conocimientos y procesos cognitivos en la resolución de problemas de ciencias: consecuencias para la enseñanza. *Magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*, 1, 147-162.

Key words author

Science Education, Problem Solving, Knowledge Base, Cognitive Processes, Institutional Measures

Key words plus

Cognitive Processes, Teaching Methods, Problem Solving, Science Education

Palavras chaves

Educação em Ciências, Resolução de Problemas, Base de Conhecimentos, Processos Cognitivos, Medidas Instrucionais.

Palavras chaves descritor

Processos Cognitivos, Métodos de Ensino, Resolução de Problemas, Ensino das Ciências.

Summary

This article presents a joint vision with studies about knowledge bases and cognitive processes implied in problem solving, and how these affect students' performance as they solve problems. The knowledge base discusses declarative, procedural, strategic, situational, and schematic knowledge. Within cognitive processes, formal reasoning, mental model construction, knowledge transference, and meta-cognition are discussed. From all this, a series of institutional measures that can be applied in the science classroom are recommended.

Resumo

O artigo apresenta uma visão compartilhada com as pesquisas sobre a base de conhecimentos e os processos cognitivos implicados na resolução de problemas, e como esses afetam o desempenho dos estudantes quando resolvem problemas. Na base de conhecimentos discute-se o conhecimento declarativo, procedimental, estratégico, situacional, e esquemático. Entre os processos cognitivos, se fala do raciocínio formal, construção de modelos mentais, transferência de conhecimentos e meta-cognição. A partir de tudo isto, sugere-se uma série de medidas instrucionais que podem ter aplicação na aula de ciências.

Transference to practice

In order to solve science problems, students must have an appropriate knowledge base and know the cognitive processes that take place. Some of the measures that can be suggested to improve problem solving training are: understand the concepts implied; develop abilities in scientific reasoning; stimulate qualitative comprehension of the problem; explain the role of the meta-cognitive processes during problem solving; decrease the mental demand of the problem; use external representations of the problem; work in groups; use adequate instructional texts; and reduce the memory load in educational activities.

Transferência à prática

Para resolver problemas de ciências, os estudantes devem ter uma apropriada base de conhecimentos e incidir sobre os processos cognitivos realizados. Algumas das medidas que se podem plantar para melhorar a instrução são: compreender os conceitos implicados, desenvolver habilidades de raciocínio científico, estimular a compreensão qualitativa do problema, explicar o papel dos processos meta-cognitivos durante a resolução, diminuir a demanda mental do problema, usar representações externas do problema, trabalhar em grupo, usar textos didáticos adequados, e reduzir a carga da memória do trabalho nas atividades de aprendizagem.

Introducción

La resolución de problemas en el aula es una habilidad mediante la cual el estudiante externaliza el proceso constructivo de aprender, convierte en acciones los conceptos, las proposiciones o los ejemplos, a través, fundamentalmente, de las interacciones con el profesor y los materiales instruccionales (Costa & Moreira, 2001). La resolución de problemas desempeña un papel crucial en el currículo de ciencias (Lorenzo, 2005). De hecho, la destreza para resolver problemas es uno de los objetivos más importantes de la educación en ciencias, y la resolución de problemas una de las estrategias más utilizadas por los profesores de ciencias, tanto durante la instrucción, como en la evaluación. Desgraciadamente, suele ser también fuente de dificultades y de desmotivación para los alumnos (Friege & Lind, 2006). Además, la actitud de los alumnos ante la resolución de problemas no puede obviarse y, frecuentemente, no es la más apropiada para dirigirse hacia una solución exitosa (Escudero, 1995). Por consiguiente, no es de extrañar que mejorar las habilidades de los estudiantes en la resolución de problemas continúe siendo un objetivo principal de los profesores e investigadores en la didáctica de las ciencias.

La literatura sugiere que el éxito en la resolución de problemas depende de la combinación de un potente conocimiento de la materia, conocimiento de las estrategias de resolución de problemas y de componentes actitudinales (Jonassen, 2000). Palumbo (1990), destaca que la resolución de problemas se apoya en estructuras profundas de conocimiento y en la experiencia. Garofalo y Lester (1985) indican que la resolución de problemas constituye una destreza de alto nivel que incluye procesos de visualización, asociación, abstracción, comprensión, manipulación, razonamiento, síntesis y generalización, que requieren ser dirigidos y coordinados. Recientemente Solaz-Portolés y Sanjosé (2007a) han llevado a cabo una revisión de las investigaciones realizadas en torno a las variables cognitivas que intervienen en la resolución de problemas y cómo éstas influyen en el desempeño.

En este trabajo, identificamos como problemas las situaciones problemáticas de papel y lápiz que se encuentran en los libros de texto. Vamos a centrarnos en los conocimientos y procesos necesarios para resolver problemas. Los objetivos de este trabajo son: presentar todos los conocimientos que están implicados en la resolución de problemas (base de conocimientos), mostrar los procesos cognitivos fundamentales que se desarrollan durante la resolución de problemas y sugerir medidas instruccionales que tengan aplicación en la didáctica de las ciencias. Para ello, hemos intentado realizar un análisis exhaustivo y riguroso de la bibliografía tanto del área de la psicología educativa, como la de educación de las ciencias.

Base de conocimientos

El conocimiento necesario para resolver problemas consta de conceptos, principios, ejemplos, detalles técnicos, generalizaciones, heurística y otras piezas de información relevante (Stevens & Palacio-Cayetano, 2003). El desarrollo de una base de conocimientos es importante tanto en extensión como en organización estructural. Además, para que dicha base de conocimientos sea útil para los estudiantes ha de ser fácil de acceder y de aplicar. Pero, naturalmente, en primer lugar tiene que existir, haber sido construida. Resulta ingenuo pensar que el conocimiento pueda ser obteni-

Descripción del artículo | Article description | Artigo Descrição:

Este artículo es fruto de un trabajo de investigación más amplio que llevan a cabo los autores sobre la resolución de problemas en el aula de ciencias. Los autores ya han publicado diversos trabajos sobre esta temática, algunos de los cuales se citan en el presente artículo. Entre ambos autores han publicado más de 60 artículos científicos en el seno de grupos de investigación consolidados que desarrollan líneas de investigación subvencionadas por entidades públicas (Generalitat Valenciana, Estado Español) sobre aprendizaje de las ciencias desde 1994 hasta hoy: Grupo de Aprendizaje de Textos (dirigido por el profesor E. Vidal-Abarca de la Universitat de Valencia en España), Grupo de Investigación sobre Aprendizaje de las Ciencias (Dirigido por el profesor José Otero, de la Universidad de Alcalá en España) y ERI- Polibienestar, de la Universitat de València (dirigido por el profesor J. Garcés).

do o generado de otras fuentes, que no sea la propia estructura cognitiva, cuando se necesita para resolver problemas (Dawson, 1993).

Muchos autores han estudiado y clasificado los tipos de conocimiento que la educación científica y la resolución de problemas exigen. Shavelson, Ruiz-Primo y Wiley (2005) presentan un esquema de los distintos tipos de conocimiento requerido para que los estudiantes logren los objetivos que se plantean en la enseñanza de las ciencias. Este esquema incluye el conocimiento declarativo (saber qué, referido al contenido específico: hechos, definiciones y descripciones), conocimiento procedimental (saber cómo, producción y aplicación de reglas, pasos a seguir, etc.), conocimiento esquemático (saber por qué, principios, esquemas conceptuales, relaciones entre conceptos) y conocimiento estratégico (saber cuándo, dónde y cómo aplicar nuestros conocimientos, estrategias, heurística, etc.)

Por su parte Ferguson-Hessler y de Jong (1990) han distinguido cuatro tipos principales de conocimiento, con la finalidad de conseguir una adecuada base de conocimientos a partir de la cual poder resolver problemas:

- Conocimiento situacional, que permite reconocer situaciones que aparecen dentro de una disciplina específica. Con él, los estudiantes pueden extraer la información relevante del enunciado de un problema.
- Conocimiento declarativo o conceptual. Se trata de un conocimiento estático sobre hechos y principios que pueden ser aplicados dentro de una determinada disciplina.
- Conocimiento procedimental. Contiene acciones o manipulaciones que son válidas dentro de una disciplina. Este conocimiento se halla *extendido* a lo largo del conocimiento declarativo, dentro de la memoria de los estudiantes.
- Conocimiento estratégico, ayuda al estudiante a organizar los procesos que se efectúan durante la resolución del problema y le guía en los pasos a seguir para alcanzar la solución.

En la tarea de resolver problemas en concreto, Friege y Lind (2006) resaltan el conocimiento esquemático de problemas como factor clave del éxito. Para estos autores este conocimiento es de alta calidad y resulta de la combinación del conocimiento situacional, procedimental y conceptual; y está caracterizado por la profundidad e interconexión de todos ellos. Este es, precisamente, el hallazgo principal de los estudios basados en la comparación de *expertos* y *novatos*: parece que el desempeño en la resolución de problemas por parte de los expertos se apoya en la organización que éstos tienen de sus esquemas. Es decir, los esque-

mas de resolución que los expertos mantienen en sus memorias son muy amplios y densos (interconectados) lo que requiere también que sean muy coherentes (no contengan contradicciones), mientras que los esquemas de los novatos son parcelados, locales, específicos para cada enunciado o situación, poco densos y, cuando se les solicita vincular entre sí dos o más esquemas parciales, aparecen frecuentes problemas de coherencia interna (Zajchowski & Martín, 1993). En este sentido, De Jong y Ferguson-Hessler (1986) encontraron que los estudiantes que resolvían peor los problemas tenían su conocimiento organizado de una manera superficial, mientras que aquellos que los resolvían mejor tenían su conocimiento organizado en esquemas de problema, conteniendo cada esquema el conocimiento declarativo, procedimental y situacional preciso para cada problema.

En un experimento posterior (Ferguson-Hessler & De Jong, 1990), comprobaron que los estudiantes que solucionaban bien los problemas aplicaban en el estudio de la materia un procesamiento de la información más profundo que los otros. Además, éstos últimos prestaban más atención al conocimiento declarativo, a diferencia de los estudiantes exitosos que centraban su atención en los conocimientos procedimental y situacional.

Se ha encontrado que el conocimiento conceptual o declarativo es un excelente predictor del desempeño en la resolución de problemas (Friege & Lind, 2006; Solaz-Portolés & Sanjosé, 2006a). Este hallazgo apoya la teoría de Ausubel (Ausubel, Novak & Hanesian, 1978), según la cual, si los estudiantes son capaces de incorporar nuevo conocimiento dentro de una estructura de conocimiento ya existente, entonces debería esperarse una correlación entre el conocimiento conceptual tras la instrucción y el éxito en las tareas de aprendizaje (como la resolución de problemas), (Pendley, Bretz & Novak, 1994).

Procesos cognitivos en la resolución de problemas

Razonamiento formal y otras variables neopiagetianas

Uno de los aspectos de los trabajos de Piaget que ha suscitado más el interés de los educadores de ciencias es el tránsito desde la etapa de las operaciones concretas a la de las operaciones formales, por la importancia que puede tener en el diseño de la instrucción (Bodner, 1986). De hecho, los seguidores de Piaget (Herron, 1978; Lawson & Karplus, 1977) defienden que los estudiantes que no hayan alcanzado la habilidad de las operaciones formales serán incapaces de asimilar significativamente los conceptos y principios de la ciencia y, en consecuencia, no podrán llevar a

cabo los procesos cognitivos exigidos en la resolución de problemas.

La teoría neopietetiana de Pascual-Leone sostiene que el razonamiento formal solo no puede explicar el desempeño de los estudiantes. Dicha teoría postula para el desarrollo cognitivo los siguientes constructos:

- El M-operador o M-espacio, que da cuenta del incremento de la capacidad de procesamiento de la información con la edad (Pascual-Leone & Goodman, 1979).
- El factor campo (dependencia/independencia de campo), que representa la destreza de un sujeto para extraer información a partir de variados y complejos contextos instruccionales. Los aprendices que tienen mayor dificultad para separar la *señal* del *ruido* son clasificados como dependientes de campo (Pascual-Leone, 1989).
- Estilo cognitivo móvil/fijo, resultado de la combinación de la capacidad mental (M-espacio) y del factor campo (Pascual-Leone, 1989).

Johnstone y El-Banna (1986) han propuesto un modelo de resolución de problemas basado en la teoría de la memoria de trabajo (*working memory*, de la que volveremos a hablar posteriormente) y en el M-espacio de la teoría de Pascual-Leone. Este modelo establece que un estudiante tendrá éxito en la resolución de un problema si su demanda mental (M-demanda o Z-demanda, los autores aproximan el valor de Z al número de pasos efectuado en la resolución por el alumno menos talentoso, pero exitoso en dicha resolución) es menor o igual a la capacidad de la memoria de trabajo del estudiante, X (esto es, $Z \leq X$). La bondad del modelo ha sido puesta a prueba en los trabajos de Tsaparlis (1998) y Tsaparlis y Angelopoulos (2000).

Años de investigación dan apoyo a la eficiencia del aprendizaje cooperativo como estrategia instruccional en las aulas. De hecho, los investigadores que siguen una línea de investigación piagetiana (Doise, 1986; Doise & Mugny, 1984; Doise & Palmonari, 1984), aseguran que la colaboración en tareas de resolución de problemas incrementa el desempeño de los estudiantes. Lumpe (1995) ofrece los resultados de varios trabajos que destacan repercusión positiva de la colaboración entre estudiantes en la asimilación de conceptos científicos y en la resolución de problemas.

En un reciente trabajo de Solaz-Portolés y Sanjosé (2008a), se recogen todas las investigaciones que muestran que los resultados de los estudiantes en la resolución de problemas dependen de: su nivel de razonamiento formal (mayor nivel de razonamiento, mejores resultados), su capacidad mental (M-espacio) (mayor capacidad, mejores resultados), si son dependientes o independientes de campo (independientes

de campo, mejores resultados) y de su estilo cognitivo móvil/fijo (los móviles lo hacen mejor en pruebas creativas, los fijos en pruebas de mayor razonamiento formal).

Construcción de modelos mentales

De acuerdo con Mayer (1992) los procesos de resolución de problemas pueden agruparse en dos pasos, representación del problema o modelo mental y solución del mismo. Para construir una representación mental del problema, el aprendiz sigue dos etapas: *traducción* del problema e *integración*. En la primera, el estudiante extrae conceptos de la descripción textual del problema mediante su conocimiento lingüístico y semántico. Los estudios de Lee y colaboradores (Lee, 1985; Lee, Goh, Chia, & Chin, 1996) ponen en evidencia que el éxito en la resolución de problemas depende enormemente de una adecuada traducción del enunciado del problema, y del adecuado encaje de dicho enunciado en la base de conocimientos del estudiante. Por ello, destacan como variables relevantes: la habilidad para traducir los problemas, esto es, la capacidad de comprenderlos, analizarlos, interpretarlos y definirlos; la relación en la estructura cognitiva del estudiante entre los diferentes conceptos implicados en el problema; y la acumulación de experiencia en la resolución de problemas. En la *integración*, se demanda del aprendiz la conexión de las proposiciones del enunciado del problema para elaborar una representación coherente. En esta etapa, el estudiante tiene que hacer uso de su conocimiento esquemático de problemas, tanto para integrar piezas de información del problema, como para determinar la categoría del mismo. Cuando la descripción del problema se ha transformado en un modelo mental adecuado, se puede decir que el estudiante ha comprendido el problema y está en condiciones de solucionarlo correctamente.

Una de las teorías psicológicas más influyentes en los últimos años, es la teoría de modelos mentales de Johnson-Laird (1983, 2000). Esta teoría busca proporcionar una explicación general del pensamiento humano, y su núcleo central es la afirmación de que los humanos utilizamos modelos mentales para comprender los fenómenos del mundo. Este autor propone los modelos mentales para explicar los procesos de razonamiento en los silogismos y en la comprensión del lenguaje. Para él los procesos cognitivos en la resolución de problemas se ven facilitados si se construye un adecuado modelo mental que contenga la información más importante del problema.

La teoría de modelos mentales de Johnson-Laird propone un enfoque semántico para el razonamiento que no se basa en reglas. De acuerdo con esta teoría, la deducción humana depende de la elaboración de modelos analógicos en la mente. La construcción y

manipulación de los modelos mentales se lleva a cabo *on line*. Esto es, los modelos mentales no se recuperan de la memoria a largo plazo. Para efectuar tareas cognitivas, las personas confeccionan en su memoria de trabajo modelos mentales a partir de la combinación de la información almacenada en la memoria a largo plazo y de la que se extrae de la tarea mediante procesos perceptuales (Cañas, Antolí & Quesada, 2001).

Las limitaciones de la capacidad de razonamiento se explican dentro de la teoría de modelos mentales como una consecuencia de las limitaciones de la capacidad de procesamiento humanas. La capacidad limitada de la memoria de trabajo restringe el número de modelos mentales que pueden tenerse activos (Santamaría, García-Madruga & Carretero, 1996). Así, se ha encontrado que cuantos más modelos mentales es necesario activar y procesar en la memoria de trabajo, tanto más difícil resulta resolver un problema (Solaz-Portolés & Sanjosé, 2008b). En el trabajo de Bodner y Domin (2000) se pone de relieve que los estudiantes más exitosos en la resolución de problemas construyen significativamente más modelos mentales de un problema que aquéllos que no consiguen resolverlo bien. Por otro lado, dentro del campo instruccional, existe la posibilidad de manipular variables textuales en los libros de texto de manera que se facilite la elaboración de los modelos mentales adecuados para resolver problemas (Solaz-Portolés & Sanjosé, 2007b).

Como se pone de relieve en un trabajo reciente (Solaz-Portolés & Sanjosé, 2008c) la capacidad de la memoria de trabajo desempeña un papel crucial en la resolución de problemas. La habilidad para mantener la información en un estado de activación elevado y controlado puede resultar decisivo para la integración de la información en los sucesivos pasos de la resolución, incluyendo la construcción y manipulación de modelos mentales. No debe resultar raro, pues, que se encuentre un buen número de dificultades en los procesos cognitivos de resolución de problemas en las que está implicada la capacidad de la memoria de trabajo. Los resultados de los experimentos sobre la asociación entre la capacidad de la memoria de trabajo y la carga de información en la resolución de problemas, efectuados por Opdenacker, Fierens, Brabant, Sevenants, Slootamekers, et al. (1990); Gathercole (2004); Danili y Reid (2004) y Tsapalis (2005), apoyan la relación positiva existente entre capacidad de memoria de trabajo y éxito en la resolución de problemas de ciencias.

Por último, hemos de destacar que el acceso a la memoria a largo plazo puede ser optimizado por el modo en que se organiza el conocimiento en ella. Los lindes entre la memoria de largo plazo y la memoria de trabajo de los *expertos* son más fluidos, con lo que la capacidad de su memoria de trabajo se ve considerablemente expandida (Ericsson & Kintsch, 1995). De hecho,

los *expertos* disponen de grandes *chunks* de información desarrollados a lo largo de los años de experiencia (Brooks & Shell, 2006).

La transferencia de aprendizajes

Un importante objetivo de la educación es incrementar la capacidad de los estudiantes para resolver problemas de diferentes características y disciplinas. Para alcanzar este objetivo el estudiante tiene que, entre otras cosas, aprender a transferir aprendizajes. La transferencia es frecuentemente definida como la habilidad para aplicar lo que ha sido aprendido en un determinado contexto a un nuevo contexto (Byrnes, 1996). Tradicionalmente la transferencia ha sido medida examinando si los estudiantes podían aplicar aquello que habían aprendido en un problema a nuevos problemas isomórficos (Reed, Ernst, & Banerjee, 1974). No obstante, las nuevas perspectivas de la transferencia han expandido esta visión. Así, por ejemplo, para Lobato (2003), la transferencia es vista como una construcción de similitudes entre dos contextos, y su interés se centra en cómo los aprendices consiguen ver las semejanzas entre dos contextos.

De acuerdo con Rebello, Cui, Zollman y Ozimek (2007), se pueden distinguir dos tipos de transferencia, horizontal y vertical. La primera tiene lugar si se produce una conexión entre la información que proporciona el enunciado del problema y la que dispone el estudiante en su estructura cognitiva. Un ejemplo de esta transferencia podría ser el caso de un estudiante de Física cuando resuelve con soltura un problema de los que suelen aparecer en los libros de texto. Son problemas cerrados, con datos explícitos, de metodología de resolución familiar y que suelen ser predominantemente algorítmicos. En estos casos, la estructura del problema propuesto y de los ejemplos antes resueltos es idéntica y el estudiante sólo debe ser capaz de construir una correspondencia analógica entre los elementos del enunciado nuevo y los de los problemas ejemplo, ya generalizados y abstraídos en el esquema de resolución. La transferencia vertical se realiza en el caso que el aprendiz reconozca características específicas de la situación planteada que le permiten activar algunos elementos de su estructura cognitiva, pero no dispone de una estructura de conocimiento específica que conecte con toda la información del problema. Por tanto, debe elaborar modelos mentales *in situ* que le permitan abordar el problema. La mayoría de problemas reales requieren transferencia vertical. Suelen ser problemas abiertos, con datos incompletos y de metodología de resolución desconocida *a priori* para el estudiante.

Se ha mostrado que los estudiantes inexpertos cuando resuelven problemas de una disciplina específica usan con asiduidad analogías entre problemas

como guías de resolución (Reed, 1987; Ross, 1984). Sin embargo, cuando el problema fuente (con el que se aprende) y el problema diana (con el que se mide la transferencia) pertenecen a diferentes disciplinas y son superficialmente desemejantes (por ejemplo, los objetos y hechos narrados en el enunciado son distintos, los ámbitos de la ciencia a los que aluden son diferentes), la transferencia analógica espontánea es poco frecuente (Ross, 1987). Reed (1993) ha explicado esta falta de transferencia como consecuencia de la dificultad de los estudiantes para construir un esquema mental coherente durante el aprendizaje (a partir de los problemas fuente) en una determinada materia. La ausencia de este esquema les impide aplicar sus conocimientos a problemas diana de diferente materia.

Los profesores de enseñanza secundaria con frecuencia asumen que las relaciones analógicas entre los problemas resueltos y los problemas propuestos son sencillas de comprender y establecer (Oliva, 2004). Normalmente se atribuye el fracaso a la falta de dominio de los procedimientos matemáticos de resolución. Sin embargo, Sanjosé, Valenzuela, Fortes y Solaz-Portolés (2007), han verificado con estudiantes de secundaria que las dificultades algebraicas y de cálculo no son el obstáculo principal en la transferencia de aprendizajes. Estos autores formulan la hipótesis de que la causa principal de los impedimentos para realizar la transferencia debe tener su origen en la construcción de un adecuado modelo mental del problema. Esto es, si se elabora un modelo mental pertinente del problema, la probabilidad de transferencia tiene que ser muy grande. Por su parte Cui, Rebello, Fletcher, y Bennett (2006), constatan que para facilitar los procesos transferencia de conocimientos de las matemáticas a la física, los estudiantes precisan de un adecuado *andamiaje* (estructura de conocimientos obtenida a través de la oportuna instrucción) que conecte los conocimientos en matemáticas a los problemas de física.

Fijémonos ahora en las ayudas instruccionales que pueden mejorar la transferencia en la resolución de problemas. Los resultados de los trabajos pioneros de Gick y Holyoak (1983) y de Catrambone y Holyoak (1989) sacan a la luz que puede conseguirse transferencia entre problemas desemejantes mediante entrenamiento con ejemplos y manipulaciones que promuevan la abstracción del esquema de problema (esto es, en definitiva, promover el conocimiento esquemático de problemas). En el proceso de abstracción de esquemas de resolución de problemas, la eficacia de comparar ejemplos de estructura idéntica o muy similar ha sido probada como un buen método para facilitar la transferencia analógica (Loewenstein, Thompson & Gentner, 1999): la instrucción previa mediante problemas apropiados (Goldstone & Sakamoto, 2003) y la comparación de estos problemas fuente entre sí, es el

método instruccional clásico. Sin embargo, recientemente se ha probado que comparar entre sí problemas propuestos se muestra muy eficiente en el proceso de abstracción y recuperación de esquemas de resolución (Kurtz & Loewenstein, 2007).

Bernardo (2001) obtiene en sus experimentos que el uso de tareas de aprendizaje específicas para estimular la transferencia analógica, mejora de manera significativa la transferencia analógica de información entre el problema fuente y el problema diana. El autor utilizó una estrategia para las tareas de aprendizaje que consistió, fundamentalmente, en permitir a los estudiantes construir sus propios problemas análogos. Warnakulasooriya y Pritchard (2005) muestran que la transferencia entre problemas de Física mejora significativamente cuando los problemas contienen ayudas en la forma consejos, textos descriptivos y retroalimentación.

Metacognición

Flavell (1976, p. 232) ofrece una clásica definición de metacognición: "Metacognición se refiere al conocimiento personal relativo a los propios procesos cognitivos y a todo lo demás relacionado con ellos, por ejemplo, propiedades de información o de datos que son relevantes para el aprendizaje". Desde la perspectiva cognitiva de Anderson (1980) los componentes del conocimiento necesario para resolver problemas pueden ser agrupados en factual o declarativo, procedimental y regulatorio o metacognitivo. Todos ellos desempeñan papeles complementarios. De acuerdo con O'Neil y Schacter (1999) para ser un buen solucionador de problemas, se tiene que tener conocimiento conceptual, estrategias de resolución de problemas, y ser capaz de planear y controlar el progreso personal que conduce hacia la resolución del problema (metacognición). Un artículo de Mayer (1998) examina la función de las habilidades cognitivas, metacognitivas y motivacionales en la resolución de problemas. Acaba concluyendo que las tres son estrictamente indispensables.

Varios trabajos han investigado la relación entre las habilidades metacognitivas y el desempeño académico (Leal, 1987; Pintrich & DeGroot, 1990; Pokay & Blumenfeld, 1990). Una limitación de estas investigaciones es que se basan en informes elaborados por los propios estudiantes en los que ellos mismos valoran el uso de estrategias metacognitivas. El estudio de Otero, Campanario y Hopkins (1992), sin embargo, desarrolla un instrumento de medida de la habilidad del control y comprensión de la metacognición (CMA) que no se basa exclusivamente en los informes elaborados por los propios estudiantes. Los resultados que obtienen estos investigadores, basados en el instrumento CMA, indican que la metacognición está significativamente

relacionada con el desempeño académico, medido éste mediante las calificaciones en las diferentes asignaturas. Recientemente se ha utilizado este instrumento para valorar el control de la comprensión en estudiantes de 10° grado y estudiar la importancia de esta variable en la comprensión de la Biología de Secundaria (Fernández, Sanjosé & Otero, 2007). Los resultados muestran que tanto esta capacidad como el nivel de comprensión lectora, son fundamentales para la comprensión de las teorías científicas y necesarias para lograr el cambio conceptual mediante instrucción.

Por otro lado, el artículo de Horak (1990) pone de manifiesto las interacciones entre el factor campo (dependencia o independencia de campo) y el uso de heurísticos y estrategias metacognitivas en la resolución de problemas. En el estudio realizado por Sanjosé, Valenzuela y Solaz-Portolés (2008) se ha controlado la variable estilo cognitivo en un experimento sobre transferencia en resolución de problemas. Los resultados muestran que se trata de una variable importante a la hora de encontrar similitudes abstractas salvando diferencias superficiales entre problemas. Además, el estilo cognitivo presentó una importante interacción con la experiencia previa de los estudiantes: solamente los sujetos independientes de campo fueron capaces de aprovechar el tiempo de experiencia previa con ejemplos para abstraer mejores esquemas de resolución de problemas a partir de ellos.

Artz y Armour-Thomas (1992) plantean la relevancia de los procesos metacognitivos durante la resolución de problemas en pequeños grupos. Acaban concluyendo que las interacciones continuas entre las destrezas cognitivas y metacognitivas resultan transcendentales en la consecución de la resolución de problemas. Teong (2003) pone a prueba el efecto del entrenamiento metacognitivo sobre la resolución de problemas. Los estudiantes del grupo experimental, entrenados para llevar a cabo decisiones de carácter metacognitivo y exponerlas, superaron al grupo de control en las puntuaciones de la prueba de resolución de problemas. En los experimentos de Longo, Anderson y Witch (2002) se contrasta la eficacia de una nueva metodología instruccional que utiliza estrategias de aprendizaje metacognitivas de carácter visual. Los estudiantes que hicieron uso de estas estrategias obtuvieron resultados significativamente mejores en la resolución de problemas. Otra metodología instruccional de gran efectividad es la presentada por Lorenzo (2005), denominada Heurístico de Resolución de Problemas. Esta metodología intenta ayudar a los estudiantes a comprender los pasos implicados en la resolución de problemas (herramienta metacognitiva), así como proporcionarles un enfoque organizativo para abordar los problemas de un modo sistemático. Este enfoque guía hacia un razonamiento cualitativo

antes que de realización rápida de cálculos, usando siempre una *estrategia hacia atrás* reflexiva de los pasos efectuados (herramienta metacognitiva). Su aplicación al aula requiere, entre otras cosas, la resolución de problemas en un ambiente de cooperación.

Con la finalidad de conseguir una visión general de las características de estrategias de enseñanza innovadoras en la resolución de problemas Taconis, Ferguson-Hessler y Broekkamp (2001), realizaron un análisis de los artículos publicados entre 1985 y 1995 en las revistas internacionales más prestigiosas del mundo. De este análisis se deduce que suministrar a los aprendices guías y criterios para poder juzgar sus procesos y productos durante la resolución de problemas, con una inmediata retroalimentación, parecen ser los prerrequisitos más importantes para adquirir habilidades adecuadas en resolución de problemas.

Implicaciones para la enseñanza de las ciencias

Hasta aquí se ha puesto de relieve el papel que desempeñan una buena base de conocimientos y la ejecución de ciertos procesos cognitivos en las tareas de resolución de problemas. A partir de todo ello, vamos a plantear a continuación algunas posibles medidas instruccionales que pueden ser útiles para los profesores de ciencias.

- Hay que conseguir una comprensión conceptual del tema que estamos tratando antes de abordar la resolución de problemas. No se puede pretender conseguir dicha comprensión mediante la resolución de problemas. Una didáctica de las ciencias rigurosa tendría que integrar los procesos de asimilación y aplicación del conocimiento conceptual. Una técnica que puede ser utilizada por los profesores para ayudar a los estudiantes en estas tareas es el mapa conceptual (Pendley, Bretz & Novak, 1994). Los mapas conceptuales pueden ayudar a comprender y a relacionar los conceptos científicos (Novak & Gowin, 1984).
- En los libros de texto predomina el conocimiento declarativo, en tanto que los conocimientos procedimental y situacional suelen ser más implícitos, y deben ser extraídos mediante un procesamiento más profundo de la información textual. En consecuencia, se tienen que estimular los procesos de estudio del texto en profundidad: explicaciones, relaciones y confrontación de los contenidos. Esto podría inducir cambios en los hábitos de estudio y aprendizaje de los estudiantes (Fergusson-Hessler & de Jong, 1990).
- Los métodos de enseñanza tradicionales (clases magistrales, resolución de problemas algorítmicos, trabajo individual en exclusiva, etc.) no son compatibles con la consecución del aprendizaje significativo de

conceptos ni con el fomento de habilidades cognitivas de alto nivel (Zoller, Lubezky, Nakhleh, Tessier & Dori, 1995). La educación científica tiene que desplegar prácticas instruccionales para desarrollar capacidades básicas por un lado (altos niveles de comprensión lectora y de control de la propia comprensión) y de razonamiento científico (explicar, interpretar, razonar críticamente, tomar decisiones, etc.). Se ha demostrado que dichas capacidades se alcanzan tras una prolongada instrucción que puede conducir a largo plazo a mejoras en el desempeño en ciencias (Shayer & Adey, 1993).

- Los profesores han de utilizar metodologías que permitan hacer los conceptos abstractos más accesibles a los estudiantes con baja habilidad en las operaciones formales. Estas metodologías incluirán el uso de materiales concretos, por ejemplo, modelos, fotografías, dibujos, diagramas, etc., con la finalidad de cruzar conceptos abstractos con conceptos concretos (Zeitoun, 1989).

- Con el objeto de cubrir las necesidades de aquellos estudiantes clasificados como pobres en razonamiento formal, los docentes tendrán que ser capaces de proporcionarles tareas individualizadas y en pequeños grupos, que les permitan abordar posteriormente actividades de aprendizaje de mayor nivel cognitivo (Chandran, Treagust & Tobin, 1989).

- El trabajo en grupo en el aula debería ser diseñado para maximizar su función sociocognitiva, de modo que pueda producirse un *conflicto* beneficioso. La colaboración entre estudiantes tiene que basarse en el intercambio de ideas y opiniones. El agrupamiento heterogéneo de estudiantes de diferente habilidad en la resolución de problemas mejora el rendimiento del grupo (Lumpe, 1995).

- Es necesario promover la comprensión cualitativa de los problemas, antes que ofrecer procedimientos numéricos de resolución (Neto & Valente, 1997). Resulta prioritario sacar a la luz, a partir del enunciado del problema, los conceptos subyacentes, sus relaciones y sus límites, y las teorías y principios de los que forman parte. Las discusiones cualitativas en torno al problema pueden efectuarse mientras los estudiantes resuelven el problema, a petición del profesor, que solicitará en primer lugar razonamientos no matemáticos.

- Proveer a los estudiantes de diversas, continuas y prolongadas experiencias de resolución de problemas. De acuerdo con Johnstone (1993), se tienen tres variables asociadas a los problemas: los datos proporcionados, la metodología que se utiliza y los objetivos que se persiguen. Una vez los estudiantes han derivado y comprendido los procedimientos de resolución en problemas básicos (aplicación de algoritmos), deberían adquirir práctica en resolución de problemas de otro tipo. Por ejemplo, problemas no

familiares para el estudiante que requieren aplicación de conocimiento conceptual, capacidad de análisis y de síntesis, llevar a cabo conexiones, tomar decisiones, evaluar los razonamientos, etc. Es también importante practicar estrategias de resolución de problemas familiares a través de múltiples contextos para estimular la generalización.

- Es útil para los profesores saber que se puede cambiar la M-demanda (demanda mental) de un problema sin cambiar su estructura lógica. De este modo, podemos facilitar el éxito de los estudiantes mediante la reducción de la cantidad de información por procesar, esto es, evitando la sobrecarga de la memoria de trabajo (Níaz, 1987). Por su parte Johnstone, Hogg y Ziane (1993), ponen en evidencia que un problema de Física puede presentarse de manera que se reduzca la entrada de *ruido* (información no relevante) al sistema de procesamiento de la información. Con esto, posibilitamos el acceso a la solución del problema a mayor número de estudiantes, particularmente a aquellos que son dependientes de campo.

- Resolver problemas abiertos (sin datos numéricos, sin metodología prefijada) reduce la carga cognitiva, en opinión de Sweller, van Merriënboer y Paas (1998). Además, suministrar anotaciones con ejemplos trabajados parece que ayuda a los estudiantes a aplicar el conocimiento esquemático sobre problemas (Cooper & Sweller, 1987).

- Instruir a nuestros alumnos con textos que presenten los nuevos conceptos interrelacionados y organizados, mediante estructuras lingüísticas de baja complejidad léxico-sintáctica, así como facilitar la integración de los nuevos conceptos en sus esquemas previos de conocimiento, favorece la elaboración de modelos mentales para resolver problemas (Solaz-Portolés & Sanjosé, 2007b).

- Usar representaciones externas mediante símbolos y objetos para ilustrar la base de conocimientos y su estructura durante la resolución de problemas disminuye la complejidad de las actividades de procesamiento cognitivo (Solaz-Portolés & Sanjosé, 2007c). Las representaciones externas pueden ayudar al aprendiz a comprender el enunciado de un problema, explicitar sus condiciones, limitar la carga cognitiva y generar vías de solución para el problema (Scaife & Rogers, 1996). En este sentido, Bauer y Johnson-Laird (1993), confirman que los diagramas ayudan eficazmente a los estudiantes a resolver los problemas.

- El progreso en el aprendizaje de los estudiantes con baja capacidad de memoria de trabajo puede ser substancialmente mejorado mediante la reducción de la demandas de memoria de trabajo en las actividades del aula (Alloway, 2006). Las recomendaciones que da esta investigadora para minimizar los fracasos relacionados con la memoria de trabajo en las activi-

dades de aprendizaje son: dar las instrucciones lo más breves posibles, reducir la complejidad lingüística de las frases, trocear las tareas en diferentes pasos, proporcionar apoyos a la memoria, desarrollar estrategias para que los estudiantes sean conscientes de sus déficits en la memoria de trabajo,...

- Ofrecer actividades de carácter metacognitivo como parte del currículo científico. Tales actividades deben tratar, entre otros aspectos, la existencia de diferentes tipos de conocimiento (declarativo, procedimental, situacional, etc.), la importancia del conocimiento esquemático de problemas, el uso de heurísticos en la resolución de problemas y la explicación del papel de las estrategias/habilidades metacognitivas en los distintos pasos o procesos de resolución de problemas. Se ha de tener presente el papel decisivo que pueden desempeñar estas estrategias/habilidades en los siguientes pasos de resolución de un problema: planificación, control de progreso, verificación e interpretación de los resultados (Abdullah, 2006).

Sobre los autores

Joan Josep Solaz-Portolés es Doctor en Ciencias Químicas (Didáctica de las Ciencias Experimentales), Universitat de València, España, Julio 1994. Catedrático de Educación Secundaria, IES Benaguasil (València). Profesor-Tutor de la Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED (Centro Asociado de València). Grupo Investigación: Resolución de problemas en ciencias. jjsolpor@yahoo.es

Vicent Sanjosé López es Doctor en Física, Universitat de València, España. Febrero 1989. Profesor Titular de Universidad del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales, ERI-Polibienestar, Universitat de València, España. Grupo Investigación: Resolución de problemas en ciencias. vicente.sanjose@uv.es

Referencias

- Abdullah, F. A. P. B. (2006). *The pattern of Physics problem-solving from the perspective of metacognition*. Master dissertation, University of Cambridge, Cambridge, USA. Retrieved January 12, 2007, from <http://people.pwf.cam.ac.uk/kst24/ResearchStudents/Abdullah2006metacognition.pdf>
- Alloway, T. P. (2006). How does working memory work in the classroom? *Educational Research and Reviews*, 1, 134-139.
- Artz, A. F. & Armour-Thomas, E. (1992). Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small groups. *Cognition and Instruction*, 9, 137-175.
- Ausubel, D., Novak, J. & Hanesian, H. (1978). *Educational Psychology: A cognitive view* (2nd ed.). New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Bauer, M. I. & Johnson-Laird, P. N. (1993). How diagrams can improve reasoning. *Psychological Science*, 4, 372-378.
- Bernardo, A. B. I. (2001). Analogical problem construction and transfer in mathematical problem solving. *Educational Psychology*, 21, 137-150.
- Bodner, G. M. (1986). Constructivism: A theory of knowledge. *Journal of Chemical Education*, 63(10), 873-877.
- Bodner, G. M. & Domin, D. S. (2000). Mental models: The role of representations in problem solving in Chemistry. *University Chemistry Education*, 4, 24-30.

- Brooks, D. W. & Shell, D. F. (2006). Working memory, motivation, and teacher-initiated learning. *Journal of Science Education and Technology*, 15, 17-30.
- Byrnes J. P. (1996). *Cognitive development and learning in instructional contexts*. Boston, MA: Allyn & Bacon.
- Cañas, J. J., Antolí, A. & Quesada, J. F. (2001). The role of working memory on measuring mental models of physical systems. *Psicológica*, 22, 25-42.
- Catrambone, R. & Holyoak, K. J. (1989). Overcoming contextual limitations on problem-solving transfer. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1147-1156.
- Chandran, S., Treagust, D. F. & Tobin, K. (1987). The role of cognitive factors in chemistry achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(2), 145-160.
- Cooper, G. A. & Sweller, J. (1987). The effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Cognition Science*, 13, 145-182.
- Costa, S. S. C. & Moreira, M. A. (2001). A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18(3), 263-277.
- Cui, L, Rebello, N. S., Fletcher, P. R & Bennett, A. G. (2006). *Transfer of learning from college calculus to physics courses*. Proceedings of the NARST 2006 Annual Meeting, San Francisco, CA. Retrieved December 1, 2007, from http://web.phy.ksu.edu/papers/2006/Cui_NARST2006.pdf
- Danili, E. & Reid, N. (2004). Some strategies to improve performance in school chemistry, based on two cognitive factors. *Research in Science and Technological Education*, 22, 203-226.
- Dawson, D. (1993). Chemistry in concept. *Education in Chemistry*, 30, 73-75.
- De Jong, T. & Ferguson-Hessler, M. G. H. (1986). Cognitive structure of good and poor novice problems in physics. *Journal of Educational Psychology*, 78, 279-288.
- Doise, W. (1986). *Levels of explanation in social psychology*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Doise, W. & Mugny, G. (1984). *The social development of the intellect*. Oxford, UK: Pergamon Press.
- Doise, W. & Palmonari, A. (1984). *Social interaction in individual development*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ericsson, K. A. & Kintsch, W. (1995). *Long-term working memory*. *Psychological review*, 102(2), 211-245.
- Escudero, C. (1995). Resolución de problemas en Física: herramienta para reorganizar significados. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12, 95-106.
- Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick (Ed.), *The nature of intelligence* (pp. 231-236). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Ferguson-Hessler, M. G. M. & de Jong, T. (1990). Studying physics texts: Differences in study processes between good and poor performers. *Cognition and Instruction*, 7, 41-54.

- Fernández Rivera, J., Sanjosé, V. & Otero, J. (2007, noviembre 22-24). Influencia del nivel de control de la comprensión y del nivel de comprensión lectora en el aprendizaje de la evolución [Resumen]. En *Actas del XX Congreso de ENCIG - Asociación dos Ensinantes de Ciências de Galizia*, Sanxenxo, Portugal, 53-55.
- Friege, G. & Lind, G. (2006). Types and qualities of knowledge and their relation to problem solving in physics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4, 437-465.
- Garofalo, J. & Lester, F. (1985). Metacognition, cognitive monitoring, and mathematical performance. *Journal of Research in Mathematics Education*, 16(3), 163-176.
- Gathercole, S. E. (2004). Working memory and learning during the school years. *Proceedings of the British Academy*, 125, 365-380.
- Gick, M. L. & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.
- Goldstone, R. L. & Sakamoto, Y. (2003). The transfer of abstract principles governing complex adaptative systems. *Cognitive Psychology*, 46, 414-466.
- Herron, J. D. (1978). Role of learning and development: Critique of Novak's comparison of Ausubel and Piaget. *Science Education*, 62, 593-605.
- Horak, V. M. (1990, April). *Students' cognitive styles and their use of problem solving heuristics and metacognitive proceses*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Council of Teachers of Mathematics, Salt Lake City, Utah, United States.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2000). The current state of the mental model theory. In J. A. García-Madruga, N. Carriedo & M. J. González-Labra (Eds.), *Mental models in reasoning* (pp. 16-40). Madrid: UNED.
- Johnstone, A. H. (1993). Introduction. In C. Wood and R. Sleet (Eds.), *Creative problem Solving Chemistry* (pp. IV-VI). London: The Royal Society of Chemistry.
- Johnstone, A. H. & El-Banna, H. (1986). Capacities, demands and processes: A predictive model for science education. *Education in Chemistry*, 23, 80-84.
- Johnstone, A. H., Hogg, W. R. & Ziane, M. (1993). A working memory applied to physics problem solving. *International Journal of Science Education*, 15, 663-672.
- Jonassen, D. (2000). Toward a design theory of problem-solving. *Educational Technology: Research and Development*, 48, 63-85.
- Kurtz, K. J. & Loewenstein, J. (2007). Converging on a new role of analogy in problem solving and retrieval: When two problems are better than one. *Memory & Cognition*, 35(2), 334-341.
- Lawson, A. E. & Karplus, R. (1977). Should theoretical concepts be taught before formal operations? *Science Education*, 61, 123-125.
- Leal, L. (1987). Investigation of the relation between metamemory and university students' examination performance. *Journal of Educational Psychology*, 79, 35-40.
- Lee, K. W. L. (1985). Cognitive variables in problem solving in chemistry. *Research in Science Education*, 15, 43-50.

- Lee, K. W. L., Goh, N. K., Chia, L. S. & Chin, C. (1996). Cognitive variables in problem solving in chemistry: A revisited study. *Science Education*, 80, 691-710.
- Lee, K. W. L., Tang, W., Goh, N. & Chia, L. (2001). The predicting role of cognitive variables in problem solving in mole concept. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2(3), 285-301.
- Lobato, J. E. (2003). How design experiments can inform a rethinking of transfer and viceversa. *Educational Researcher*, 32(1), 17-20.
- Loewenstein, J., Thompson, L. & Gentner, D. (1999). Analogical encoding facilitates knowledge transfer in negotiation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 586-597.
- Longo, P. J., Anderson, O. R. & Wicht, P. (2002). Visual Thinking Networking promotes problem solving achievement for 9th Grade earth science students. *Electronic Journal of Science Education*, 7(1), Article 7. Retrieved November 20, 2006, from <http://unr.edu/homepage/jcannon/ejse/ejse.html>
- Lorenzo, M. (2005). The development, implementation, and evaluation of a problem solving heuristic. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3, 33-58.
- Lumpe, A. T. (1995). Peer interaction in science concept development and problem solving. *School Science and Mathematics*, 95(6), 302-309.
- Mayer, R. E. (1992). *Thinking, problem solving and cognition* (2nd ed.). New York: Freeman.
- Mayer, R. E. (1998). Cognitive, metacognitive, and motivational aspects of problem-solving. *Instructional Science*, 26, 49-63.
- Neto, A. & Valente, M. (1997, march 21-24). *Problem solving in physics: Towards a metacognitively developed approach*. Paper presented at Annual Meeting (70th) of the National Association for Research in Science Teaching, Oak Brook, Il., United States.
- Níaz, M. (1987). Relation between M-space of students and M-demand of different items of general chemistry and its interpretation based upon the Neopietagietan theory of Pascual-Leone. *Journal of Chemical Education*, 64, 502-505.
- Novak, J. D. & Gowin, D. (1984). *Learning how to learn*. New York: Cambridge University Press.
- Oliva, J. M. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), Artículo 7. Recuperado el 1ª de julio, 2007, de <http://saum.uvigo.es/reec>
- O'Neil, H. F. & Schacter, J. (1999). *Test specifications for problem solving assessment*. Retrieved March 1, 2007, from <http://www.cse.edu/Reports/TECH463.pdf>
- Opdenacker, C., Fierens, H., Brabant, H. V., Sevenants, J., Slootamekers, P. J., Spruyt, J. & Johnstone, A. H. (1990). Academic performance in solving chemistry problems related to student working memory capacity. *International Journal of Science Education*, 12, 177-185.
- Otero, J., Campanario, J. M. & Hopkins, K. D. (1992). The relationship between academic achievement and metacognitive comprehension monitoring ability of Spanish secondary school students. *Educational and Psychological Measurement*, 52, 419-430.

- Palumbo, D. (1990). Programming language/problem solving research: A review of relevant issues. *Review of Educational Research*, 60(1), 65-89.
- Pascual-Leone, J. (1989). An organismic process model of Witkin's field dependence-independence. In T. Globerson & T. Zelniker (Eds.), *Cognitive style and cognitive development* (pp. 36-70). Norwood, NJ: Ablex.
- Pascual-Leone, J. & Goodman, D. (1979). Intelligence and Experience: A Neo-Piagetian approach. *Instructional Science*, 8, 301-367.
- Pendley, B. D., Bretz, R. L. & Novak, J. D. (1994). Concept map as a tool to assess learning in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 71, 9-15.
- Pintrich, P. R. & DeGroot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82, 33-40.
- Pokay, P. & Blumenfeld, P. C. (1990). Predicting achievement early and late in the semester: The role of motivation and use of learning strategies. *Journal of Educational Psychology*, 82, 41-50.
- Rebello, N. S., Cui, L., Bennet, A. G., Zollman, D. A. & Ozimek, D. J. (2007). Transfer of learning in problem solving in the context of mathematics and physics. In D. Jonassen (Ed.), *Learning to solve complex scientific problems* (pp. 223-246). Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum.
- Reed, S. K. (1987). A structure-mapping model for word problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 124-139.
- Reed, S. K. (1993). A schema-based theory of transfer. In D. K. Detterman & R. J. Stemberg (Eds.), *Transfer on trial: Intelligence, Cognition and Instruction* (pp. 39-67). Norwood, NJ: Ablex.
- Reed, S. K., Ernst, G. W. & Banerjii, R. (1974). The role of analogy in transfer between similar problem states. *Cognitive Psychology*, 6, 436-450.
- Ross, B. (1984). Reminders and their effects in learning a cognitive skill. *Cognitive Psychology*, 16, 371-416.
- Ross, B. (1987). This is like that: The use of earlier problems and the separation of similarity effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 629-639.
- Sanjosé, V., Valenzuela, T., Fortes, M. C. & Solaz-Portolés, J. J. (2007). Dificultades en la resolución de problemas por transferencia. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 538-561. Recuperado el 3 de enero, 2008, de <http://saum.uvigo.es/reec>
- Sanjosé, V., Valenzuela, T. & Solaz-Portolés, J. J. (2008). *Effects of Mapping, Cognitive Styles and Previous Experience on Algebraic Problem Solving Transfer Activities*. Manuscrito no publicado.
- Santamaría, C., García-Madruga, J. A. & Carretero, M. (1996). Beyond belief bias: Reasoning from conceptual structures by mental models manipulation. *Memory & Cognition*, 24, 250-261.
- Scaife, M. & Rogers, Y. (1996). External cognition: How do graphical representations work? *International Journal of Human-computer Studies*, 45, 185-213.
- Shavelson, R. J., Ruiz-Primo, M. A. & Wiley, E. W. (2005). Windows into the mind. *Higher Education*, 49, 413-430.

- Shayer, M. & Adey, P. (1993). Accelerating the development of formal thinking in middle and high school students. IV: Three years after a two-year intervention. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 351-366.
- Solaz-Portolés, J. J. & Sanjosé, V. (2006). ¿Podemos predecir el rendimiento de nuestros alumnos en la resolución de problemas? [Versión electrónica]. *Revista de Educación*, 339, 693-710. Recuperado el 5 de enero, 2007, de <http://www.revistaeducacion.mec.es>
- Solaz-Portolés, J. J. & Sanjosé, V. (2007a). Cognitive variables in science problem solving: A review of research. *Journal of Physics Teachers Education Online*, 4(2), 25-32. Recuperado el 28 de abril, 2007, de <http://www.phy.ilstu.edu/jpteo>.
- Solaz-Portolés, J. J. & Sanjosé, V. (2007b). Resolución de problemas, modelos mentales e instrucción. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(1), 70-89. Recuperado el 3 de julio, 2007, de <http://saum.uvigo.es/reec>
- Solaz-Portolés, J. J. & Sanjosé, V. (2007c). Representations in problem solving in science: Directions for practice. *Asia Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 8(2), Article 4. Retrieved January 15, 2008, from <http://www.ied.edu.hk/apfslt>
- Solaz-Portolés, J. J. & Sanjosé, V. (2008a). Piagetian and Neo-Piagetian variables in science problem solving. *Ciências & Cognição*, 13(2), 192-200. Retrieved August 5, 2008, from <http://www.cienciasecognicao.org>
- Solaz-Portolés, J. J. & Sanjosé, V. (2008b). Conocimiento previo, modelos mentales y resolución de problemas. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 10(1). Recuperado el 5 de julio, 5, 2008, from <http://redie.uabc.mx/vol10no1/contenido-contenido.html>
- Solaz-Portolés, J. J. & Sanjosé, V. (2008c). *Working memory in science problem solving: A review of research*. Aceptado para publicación en *Revista Mexicana de Psicología*, México.
- Stevens, R. & Palacio-Cayetano, J. (2003). Design and performance frameworks for constructing problem-solving simulations. *Cell Biology Education*, 2, 162-179.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. & Pass, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- Taconis, R., Ferguson-Hessler, M. G. M. & Broekkamp, H. (2001). Teaching science problem solving: An overview of experimental work. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 442-468.
- Teong, S. K. (2003). The effect of metacognitive training on mathematical word-problem solving. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19, 46-55.
- Tsaparlis, G. (1998). Dimensional analysis and predictive models in problem solving. *International Journal of Science Education*, 20, 335-350.
- Tsaparlis, G. (2005). Non-algorithmic quantitative problem solving in university physical chemistry: a correlation study of the role of selective cognitive factors. *Research in Science & Technological Education*, 23, 125-148.
- Tsaparlis, G. & Angelopoulos, V. (2000). A model of problem solving: Its operation, validity, and usefulness in the case of organic-synthesis problems. *Science Education*, 84, 131-153.

- Warnakulasooriya, R. & Pritchard, D. E. (2005). *Learning and problem-solving transfer between physics problems solving using web-based homework tutor*. Conference Proceedings EdMedia-World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications (pp. 2976-2983). Retrieved December 2, 2007, from <http://relate.mit.edu/publications.html>
- Zajchowski, R. & Martin, J. (1993). Differences in the problem solving of stronger and weaker novices in physics: Knowledge, strategies, or knowledge structure. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 459-470.
- Zeitoun, H. H. (1989). The relationship between abstract concept achievement and prior knowledge, formal reasoning ability and gender. *International Journal of Science Education*, 11(2), 227-234.
- Zoller, U., Lubezky, A., Nakhleh, M. B., Tessier, B. & Dori, Y. J. (1995). Success on algorithmic and LOCS vs. conceptual chemistry exam questions. *Journal of Chemical Education*, 72, 987-989.