

¿CUÁLES SON LAS INNOVACIONES DIDÁCTICAS QUE PROPONE LA INVESTIGACIÓN EN RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE FÍSICA Y QUÉ RESULTADOS ALCANZAN?

CEBERIO, MIKEL; GUIASOLA, JENARO y ALMUDÍ, JOSÉ MANUEL

Departamento de Física Aplicada I, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

mikel.ceberio@ehu.es

wupguarj@sp.ehu

josemanuel.almudi@ehu.es

Resumen. Durante décadas la investigación en resolución de problemas ha constituido objetivo preferente tanto de psicólogos como de investigadores en enseñanza de las ciencias. En este trabajo analizamos las investigaciones en resolución de problemas atendiendo, fundamentalmente, a la propuesta didáctica que realizan, en relación con la cual surgen algunas cuestiones: ¿cuáles son las innovaciones que se proponen? ¿hasta qué punto se logran sus objetivos de aprendizaje? ¿en qué medida los cambios didácticos propuestos influyen en que los estudiantes resuelvan mejor los problemas? Examinamos el conjunto de intentos por desarrollar teorías de la cognición que abarcan un amplio abanico de posturas en su concepción de aprendizaje y que tienen fiel reflejo en el surgimiento de propuestas didácticas en resolución de problemas: aprendizaje por algoritmos y heurísticos, aprendizaje basado en potenciar las estrategias de resolventes expertos y aprendizaje basado en la investigación.

Palabras clave. Resolución de problemas de física, revisión bibliográfica, perspectiva didáctica.

What are the teaching innovations proposed by research to solve problems in physics and what results have been achieved?

Summary. For decades, research into problem-solving has been the favourite subject for both psychologists and researchers into teaching sciences. In this work, we will analyse research into problem-solving paying particular attention to the didactic proposal which they make which, in turn, raises further questions: What innovations are proposed? To what point are the learning objectives achieved? To what extent do the proposed didactic changes influence the students to solve problems more successfully? We will examine all the attempts to develop cognition theories which cover a wide scope in terms of their learning conception and which are faithfully reflected in the emergence of didactic proposals for problem solving: learning via algorithms and heuristics, learning based on strengthening expert solving strategies and Inquiry-Based learning.

Keywords. Physics problem-solving, research review, didactic proposals.

1. INTRODUCCIÓN

Durante décadas la investigación en resolución de problemas ha constituido objetivo preferente tanto de psicólogos como de didactas y este interés se mantiene (Gil et al., 1988; Garrett, 1987; Mohapatra, 1987; Perales, 1993; Maloney, 1994; Cabral da Costa y Moreira, 1996-1997; Fávero y Soares Gomes de Sousa, 2001; Hsu et al., 2004, Boilevin, 2005). Algunas de estas revisiones describen las investigaciones realizadas en resolución de problemas de física y otras se estructuran sobre la base de los diferentes criterios que guían estas investigaciones, como el tipo de problema a resolver o la fundamentación psicológica. En este trabajo, sin

embargo, analizamos las investigaciones en resolución de problemas atendiendo, fundamentalmente, a la propuesta didáctica que realizan.

El inicio de las investigaciones en resolución de problemas se remonta a las primeras décadas del siglo xx. El enfoque psicológico conductista dominante consideraba el proceso de resolución de problemas basado en una serie de instrucciones encaminadas a la búsqueda de etapas o pasos que lleven a la solución (Driver, 1982). Lo importante es alcanzar una respuesta correcta del problema y para ello se valoran los mecanismos que hay que utilizar.

Una de las secuenciaciones más representativas surgida en esta época es la realizada por Polya (1945), matemático y profesor que, en su primer trabajo de gran influencia en todos los modelos de resolución posteriores, describía un modelo empírico de resolución de problemas de matemáticas consistente en una estrategia general de resolución en cuatro fases: *a)* comprensión del problema; *b)* elaboración de un plan; *c)* puesta en marcha del plan; *d)* reflexión para evaluar si se ha alcanzado o no la meta perseguida y, por tanto, si el procedimiento seguido ha sido acertado.

Sin embargo, las cuatro etapas básicas de resolución de problemas propuestas por Polya, aunque han sido asumidas por los distintos modelos de resolución de problemas, sólo convergen desde un punto de vista formal y no señalan más que consideraciones básicas comunes a todos ellos.

En la actualidad, la mayoría de las investigaciones en resolución de problemas se enmarcan en el campo de la psicología cognitiva, ya sea desde las teorías del procesamiento de la información o desde la perspectiva constructivista del aprendizaje, que surge en la década de los sesenta como respuesta a la crisis del conductismo (Pozo et al., 1998). Se han desarrollado diferentes teorías de la cognición que abarcan un amplio abanico de posturas en su concepción de aprendizaje y que tienen fiel reflejo en el surgimiento de propuestas didácticas en resolución de problemas. Pretendemos analizar los trabajos que se han desarrollado dentro del área de enseñanza de la física y, para ello, nos planteamos los siguientes interrogantes de investigación:

– ¿Qué innovaciones educativas han surgido de las investigaciones en enseñanza/aprendizaje de resolución de problemas?

– ¿Hasta qué punto las innovaciones educativas propuestas son eficaces a la hora de que los estudiantes aprendan a resolver problemas?

– ¿Las innovaciones educativas en resolución de problemas alcanzan a toda la actividad de la enseñanza de la física o se limitan a innovar dentro de la tradicional separación de teoría, problemas y prácticas de laboratorio en la clase de ciencias?

En la revisión de investigaciones hemos diferenciado tres orientaciones teóricas en función de la propuesta de enseñanza que realizan:

– Las que proponen la enseñanza de algoritmos y heurísticos que faciliten la resolución.

– Las que comparan los procedimientos utilizados por los expertos y los novatos para tratar de identificar la naturaleza de los mecanismos de resolución eficaces.

– Las que abordan la resolución de problemas basada en el desarrollo de investigaciones guiadas y que plantean la creatividad y el cambio conceptual, metodológico y actitudinal como elementos fundamentales del proceso de resolución.

Pasamos, a continuación, a describir más detalladamente estos modelos didácticos de resolución de problemas, realizando al mismo tiempo una valoración crítica de los mismos tomando como referencia para ello los objetivos que persiguen y su aplicabilidad al medio educativo que nos ocupa, con objeto de mejorar el aprendizaje y aumentar el éxito en la resolución de problemas.

2. MODELOS ALGORÍTMICOS DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Apoyándose en las ideas de la psicología soviética de los años sesenta como la *teoría de la formación de las acciones mentales* de Gal'perin, combinada con contribuciones de Talyzina (1973) y Landa (1976), se han desarrollado modelos de resolución de problemas que ponen el acento en la enseñanza de un conjunto de acciones y métodos que faciliten la resolución. La lista de directrices que especifican la secuencia de operaciones simples a realizar para resolver cualquier problema de un tipo determinado se conoce, en términos matemáticos, como algoritmo.

Sin embargo, Landa (1976) reconoce la imposibilidad de disponer de algoritmos para todos los problemas ya que, en muchos casos, no se conoce de antemano cómo resolverlos, para lo cual hay que recurrir a las reglas heurísticas.

Estos modelos pretenden transformar los problemas en situaciones estándar que puedan resolverse mediante operaciones rutinarias. Básicamente lo que persiguen es desproblematizar los problemas a través de estrategias o heurísticos que permitan guiar la resolución convirtiéndolos en simples ejercicios o sistematizándolos mediante algoritmos y esto constituye, precisamente, la fase nuclear de su propuesta.

Van Weeren et al. (1982), a partir del modelo desarrollado inicialmente por Mettes et al. (1980) denominado *programa de acciones y métodos* (PAM), cuya adaptación al ámbito del electromagnetismo resultaba, en palabras de los autores, excesivamente extenso y detallado, proponen una estrategia de resolución de problemas denominada *aproximación sistemática a la resolución de problemas*, (SAP), que consiste básicamente en la transformación de los problemas cuantitativos en problemas estándar, a través de tres fases:

Fase 1: Lectura razonada del problema. Análisis cuidadoso de los datos y de las incógnitas, representándolos esquemáticamente.

Fase 2: Establecer un plan de resolución a través de una serie de acciones (Cuadro 1).

Fase 3: Analizar la respuesta y buscar referencias que puedan ser útiles de cara a la resolución de otros problemas.

Cuadro 1

Algoritmo correspondiente a la fase segunda del método SAP (Van Weeren et al., 1982).

- Tomar la cantidad pedida como punto de partida.
- Buscar relaciones clave que incluyan la cantidad pedida.
- Seleccionar, con la ayuda de los resultados de la fase de análisis, relaciones clave utilizables.
- Contrastar la validez de las relaciones clave seleccionadas en la situación dada.
- Reemplazar magnitudes genéricas de las relaciones clave por cantidades específicas haciendo uso de los datos y del resultado de la fase de análisis; realizar posibles aproximaciones.
- Si tras substituir los datos la relación clave aún contiene magnitudes desconocidas, considerar estas cantidades desconocidas como nuevas incógnitas.
- Repetir los pasos previos hasta que una relación clave no contenga ninguna cantidad desconocida.

Del propio planteamiento del método, consistente en transformar los problemas en ejercicios tipo, se deriva que los estudiantes sólo podrán aprender a resolver problemas semejantes a los problemas estándar cuya solución se conozca de antemano, pues esta manera de resolver requiere, por un lado, la recuperación desde la memoria de la información pertinente y, por otro, la aplicación de esa información al nuevo problema.

Si lo que la propuesta didáctica pretende es simplificar, nos encontraríamos con la necesidad de tratar de algoritmizar todos los problemas posibles para que los estudiantes, llegado el caso, no se tuvieran que enfrentar a un problema del que desconocieran el algoritmo (Ramírez et al., 1994).

Por otro lado, el conocimiento de unas reglas que llevan directamente hasta la solución sin que sea necesario dudar, induce un falso sentido de seguridad en el resolvente que es incapaz de enfrentarse satisfactoriamente con una situación nueva para él (Frazer y Sleet, 1984).

La puesta en práctica de este modelo, además, lleva a favorecer un tratamiento operativista a partir de los datos que suministra el enunciado y que impide la reflexión cualitativa y el análisis de las situaciones, lo que conduce a los estudiantes a reconocer el problema o a abandonar (Gil et al., 1988).

Análogamente, la conversión sistemática de los problemas en ejercicios estándar impide ejercitar el pensamiento divergente así como el desarrollo de la creatividad (Garrett, 1988). Se da un claro predominio del «aprender a resolver problemas» frente al «resolver problemas para aprender».

3. MODELO DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS POR COMPARACIÓN ENTRE EXPERTOS Y NOVATOS

Estos estudios parten del supuesto de que existen buenos y malos resolventes de problemas y, en consecuencia, se indaga acerca de cómo proceden los individuos cuando tratan de resolver problemas con el objeto de que, una vez reco-

nocidas las diferencias, se puedan implementar actuaciones que permitan que los novatos se hagan más expertos y mejore su efectividad en la resolución de problemas.

Al margen de las lógicas diferencias metodológicas que las diferentes investigaciones realizadas bajo este enfoque poseen entre sí, vamos a reseñar algunos de los supuestos básicos de los estudios sobre expertos y novatos (Pozo et al., 1998):

- Este enfoque asume que la pericia implica una utilización óptima de los recursos cognitivos disponibles en la propia área de la especialidad (Hegarty, 1991; Chi et al., 1989; Ferguson-Hesler y De Jong, 1990).

- Las habilidades de resolución de problemas son efecto de una práctica guiada por principios conceptuales que le dan sentido (Glaser, 1992).

- La diferencia más obvia entre expertos y novatos es el amplio conocimiento que posee el experto y al que puede acceder con facilidad en caso de necesidad, pues este conocimiento se encuentra perfectamente ubicado en sus esquemas mentales bien organizados (López, 1991; Chi et al., 1981; De Jong y Ferguson-Hessler, 1986).

Nos vamos a centrar ahora en otras conclusiones a las que, del análisis de la resolución por parte de unos pocos individuos en el ámbito más específico de la resolución de problemas de áreas de ciencias, en su mayoría de física, llega esta línea de investigación:

- Los novatos categorizan los problemas basándose en su estructura superficial. Los expertos, por contra, categorizan basándose en principios físicos de estructura profunda (Glaser, 1992).

- Los expertos realizan un análisis cualitativo, una representación del dominio específico que requiere conocimientos de física, anterior a cualquier trabajo con ecuaciones. El novato, en cambio, inicia inmediatamente la acción mediante el uso operativo de ecuaciones (Larkin y Reif, 1979; Larkin, 1981).

De manera análoga, en lo referente a la representación del problema influye que:

- Los resolventes novatos tienen dos conjuntos de conocimientos, intuitivo y teórico, independientes uno de otro. En contraste, los expertos tienen integrado su conocimiento cotidiano con el formal (Hegarty, 1991; Larkin, 1981).

- Una de las principales dificultades de los resolventes novatos se encuentra en la «representación interna» del problema. Por ello, estos estudios resaltan la importancia de un análisis cualitativo del problema que identifique sus características principales (Chi et al., 1982; Mc Millan y Swadener, 1991; Heller et al., 1992).

En lo que a las estrategias de resolución se refiere,

- Los expertos planifican la solución y buscan alternativas con carácter previo a la resolución, mientras que

los novatos tienden a abordar el problema basándose en primeras impresiones sin planificación alguna (Larkin, 1981; Reif y Heller, 1982).

– Los expertos utilizan «estrategias hacia delante» (toman la información dada y la sustituyen en ecuaciones hasta obtener el valor buscado) mientras que los novatos hacen uso de «estrategias hacia atrás» (comienzan con una ecuación que contiene la variable pedida y tratan de resolverla. Si les falta algún dato, buscan otra ecuación para obtenerlo y después llevarlo a la primera ecuación) (Simon y Simon, 1978; Larkin et al., 1980).

– Los buenos resolventes son conscientes de lo que no entienden y se esfuerzan en remediarlo. Por el contrario, los malos resolventes desconocen, a menudo, lo que no entienden de un problema (Chi et al., 1989).

– Los expertos son capaces de sonsacar los aspectos procedimentales de los problemas, mientras que los novatos necesitan ayuda para identificarlos y comprenderlos (Fergusson-Hessler y De Jong, 1990).

Muchas de las primeras investigaciones en esta línea de expertos y novatos, aunque de gran valor informativo, se consideran limitadas por no haberse realizado en el contexto del aula (Maloney, 1994). La dificultad surge cuando de estas investigaciones se han de extraer conclusiones de cara a la actuación docente.

Una estrategia heurística que podríamos considerar representativa de esta metodología es la recogida en la recopilación que de esta línea de investigación realiza Frederick Reif (1995). Este autor indica que el método explícito que hay que enseñar se divide en tres fases principales: análisis inicial del problema, incluyendo representaciones múltiples de la situación; construcción de una solución, haciendo uso, si es necesario, de la partición del problema en subproblemas; y la comprobación del resultado.

A continuación, pasamos a comentar algunos trabajos que proponen metodologías didácticas dentro de esta línea de investigación de comparación entre expertos y novatos. Entre los estudios más representativos se encuentran los realizados por Sweller y colaboradores (Sweller y Levine, 1982; Sweller, 1988; Tarmizi y Sweller, 1988; Ward y Sweller, 1990).

En el trabajo de 1990 Ward y Sweller parten de la perspectiva teórica de que los componentes básicos de las habilidades de resolución de problemas *son un conjunto de esquemas efectivos y la automatización de reglas relevantes*. Los esquemas permiten al experto reconocer el problema y asociarle un método de resolución. La automatización de las reglas (procedimiento matemático o principio físico) se adquiere cuando se puede aplicar una regla sin necesidad de un gran esfuerzo consciente en su aplicación.

La propuesta didáctica de los autores consiste en enseñar en clase *problemas-ejemplos resueltos* (worked examples problems) que permitan a los estudiantes adquirir esquemas relevantes y resolver mejor tanto problemas parecidos a los realizados en clase como diferentes.

Otro ejemplo representativo de propuesta didáctica dentro de este modelo de resolución de problemas es una versión, Van Heuvelen (1991), del denominado *Overview, Case Study* (OCS), utilizado en cursos introductorios de física a nivel universitario y que presta especial atención a la resolución de problemas.

Durante el tratamiento de ejercicios, se pone gran énfasis en el desarrollo de habilidades de resolución de problemas relativas a representaciones múltiples, tales como representaciones gráficas, representaciones matemáticas y representaciones físicas sobre las cuales, en la propia hoja de resolución ya formateada y a disposición de los alumnos, se indican las distintas facetas que constituyen cada una de esas representaciones. El autor señala que la aplicación del método OCS en el aula ha dado lugar a importantes avances en la comprensión cualitativa de los estudiantes y en su habilidad para resolver problemas.

De lo analizado hasta este punto, cabe resaltar que, según este enfoque, el fracaso de los estudiantes en resolución de problemas se atribuye a la falta de conocimientos de la materia específica y a la mala estructuración mental de los mismos (Chi et al., 1982; Kempa, 1986; Elio y Scharf, 1990). En consecuencia, la responsabilidad es individual (hay quien resuelve bien los problemas y hay quien no), es decir, esta orientación convierte al estudiante en el principal responsable de los resultados del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Otra hipótesis subyacente a esta orientación teórica es que, dado que los expertos poseen unos conocimientos procedimentales –destrezas y habilidades– que no poseen los novatos (Fergusson-Hessler, 1990; Hegarty, 1991), es necesario detectarlos como perfiles ideales para ser transmitidos a los novatos.

Sin embargo, para que los estudiantes desarrollen las capacidades propias del dominio científico (resolver problemas, justificar opciones, comparar soluciones...) es necesario practicarlas y, para ello, hay que crear ambientes de aprendizaje en los que se demande al estudiante el análisis de pruebas o datos, comparar las soluciones dadas por distintos grupos y justificar las estrategias empleadas (Gil, 1993; Duschl, 1995; Jiménez Aleixandre, 1998).

Bajo este mismo enfoque metodológico, Reif y Scott (1999) y Pol et al. (2005) han desarrollado sendos programas informáticos (*Personal Assistant for Learning* y *Nat Hint*, respectivamente) en los que se incluyen estrategias explícitas con objeto de que los estudiantes, por medio de la instrucción interactiva, puedan avanzar en el desarrollo de habilidades de resolución.

Han surgido algunas propuestas didácticas en el entorno de esta línea de investigación, que inciden en la importancia que el tipo de enunciado de los problemas tiene sobre el proceso de resolución del mismo. Heller et al. (1992), para cursos introductorios de física a nivel universitario, realizaron una propuesta didáctica que combina la enseñanza explícita de una estrategia de resolución de problemas con una metodología de trabajo en grupo y la utilización de problemas con enunciados denomi-

nados *ricos en contexto* que son pequeñas historias que incluyen una razón para calcular alguna magnitud específica en situaciones reales (<http://groups.physics.umn.edu/physed/Research/CRP/crintro.html>, consultada en marzo de 2008).

Van Heuvelen (1995) y Van Heuvelen et al. (1995) proponen la resolución de problemas que impliquen aparatos experimentales. Para resolver un problema experimental se considera que el estudiante debería aplicar uno o más de los siguientes aspectos: clarificar un problema poco definido, dividir el problema en etapas, acceder a los conceptos adecuados para resolver cada etapa del problema, decidir qué información debe ser recogida para cada parte del problema, decidir si las aproximaciones son adecuadas y diseñar el experimento.

Por otro lado, se han producido a lo largo de la década de los noventa algunas propuestas didácticas en la línea de investigación de expertos y novatos, que en lugar de plantear un esquema global de la resolución, inciden únicamente en alguno de los aspectos característicos del proceso. Un ejemplo ilustrativo de esta posición didáctica es la propuesta de Leonard et al. (1996), que aboga por la enseñanza de estrategias cualitativas de resolución. Posteriormente (Leonard et al., 2002), propone una metodología didáctica que denomina *«resolución de problemas basada en el análisis»*:

– Elegir problemas que requieran un análisis conceptual para ser resueltos, es decir, problemas que no puedan ser resueltos sólo con fórmulas.

– Realizar actividades de clasificación de los problemas, dando nombre a las categorías resultantes, con la intención de que los estudiantes hagan uso de los conceptos al realizar esta tarea.

– Pedir que los estudiantes generen soluciones múltiples utilizando diferentes alternativas.

– Hacer que los estudiantes expliquen cómo resolverían un problema planificando, justificando y creando estrategias.

Otro formato parcial de resolución de problemas lo proponen Van Heuvelen y Maloney (1999) cuando aportan a los estudiantes como dato una ecuación matemática, un gráfico o un diagrama que describe el proceso físico y solicitan que el resolvente elabore otra representación del problema incluyendo una descripción gráfica o verbal coherente con la inicialmente aportada.

Creemos, sin embargo, que la simple utilización de tareas relativas a las estrategias (o a cualquier otro aspecto parcial del proceso como las representaciones múltiples, por ejemplo) es insuficiente y que, si estas actividades no son integradas en un modelo global de resolución, dejamos de lado aspectos de vital importancia en la resolución de verdaderos problemas de física.

El trabajo de Huffman (1997) analiza el efecto que ejerce una metodología didáctica de resolución de problemas de acuerdo con los principios expuesto en este apartado,

y que el autor denomina *«instrucción explícita de resolución de problemas»*, sobre la capacidad de los estudiantes para resolver problemas y comprender conceptos. Los resultados del estudio indican que esta metodología ayuda a mejorar la calidad de las representaciones del problema que hacen los estudiantes respecto a aquellos que utilizan una técnica de resolución habitual en los libros de texto. Sin embargo, no hay evidencias de que los estudiantes tratados mejoren respecto a los del grupo de control en lo que se refiere a la resolución propiamente dicha.

Así pues, en nuestra opinión, esta línea de investigación ha contribuido a que se tenga una mejor información sobre cómo las personas resolvemos problemas y, desde un punto de vista instruccional, pone de relieve la importancia de desarrollar en los estudiantes el hábito de realizar descripciones explícitas (Reif, 1995). Sin embargo, esta visión se encuentra alineada con la concepción de enseñanza por transmisión verbal de conocimientos, donde se tratará de transmitir estrategias y procedimientos, esto es, se favorecerán los procesos cognitivos de recuerdo de soluciones, frente a los procesos cognitivos de construcción o de creación de soluciones (Gil, 1983; Ramirez et al., 1994). El estudiante, por tanto, no participa plenamente en la elaboración de las estrategias de resolución ni de los procedimientos, lo que desde una perspectiva constructivista del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias resultaría requisito imprescindible (Furió et al., 1994).

4. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS BASADA EN EL DESARROLLO DE INVESTIGACIONES GUIADAS

La enseñanza-aprendizaje a través de *«Problem-based learning in small groups»* (PBL) comenzó a tomar cuerpo en la Facultad de Medicina de la Universidad de McMaster, en Canadá, a mediados de la década de los 60. Durante la década de los 70 y 80, continuó su progresiva expansión en otras áreas (Boud y Felletti, 1991). En esta propuesta de enseñanza, el estudiante está implicado y automotivado en la medida en que trabaja en la solución de un problema. En el ámbito de la física que nos ocupa, hasta bien avanzada la década de los 80 no surgen aportaciones de relevancia (Martínez-Torregrosa, 1987; Duch, 1996; Raine y Collett, 2003; van Kampen et al., 2004).

Esta propuesta metodológica, se sustenta en un planteamiento socio-constructivista que concede importancia al conocimiento previo y se desarrolla en el contexto de situaciones próximas a la realidad (Savery y Duffy, 1995). Esto es, consideran que el aprendizaje comprensivo se alcanza por medio de la interacción con el entorno, que el conflicto cognitivo es un estímulo para el aprendizaje y que el conocimiento evoluciona a través de la interacción social y de la evaluación de la viabilidad del conocimiento individual.

Esta base socio-constructivista, desde la perspectiva de la instrucción en el aula, conlleva utilizar los problemas para estructurar la agenda de aprendizaje, utilizando al

profesor como entrenador metacognitivo y trabajando en grupos de forma colaborativa (Qin et al., 1995). La estructura de los problemas que se resuelven con este planteamiento presenta las siguientes características: *a)* la situación inicial que se plantea no proporciona toda la información necesaria para llegar a una solución; *b)* no existe un único camino de resolución de la tarea propuesta; *c)* conforme se recopila nueva información, cambia la definición del problema; *d)* los estudiantes nunca están completamente seguros de haber realizado la selección correcta de las posibles opciones de solución (Gallagher et al., 1995; Arambula-Greenfield, 1996).

En lo que a los resultados de la implantación de esta propuesta metodológica en el aula se refiere, van Kampen et al. (2004) señalan que, a nivel actitudinal, la respuesta fue muy satisfactoria y que la mayoría de los estudiantes consideraron la parte de la física tratada con esta metodología (la termodinámica) significativamente más interesante y relevante. Por otro lado, la respuesta en los exámenes fue mejor que cuando la materia se había impartido de manera magistral. Asimismo, durante el siguiente cuatrimestre los estudiantes asumieron mayor responsabilidad en su aprendizaje y fueron capaces de aplicar las habilidades adquiridas en otras lecciones y laboratorios. Duch (1996) también indica que con el planteamiento PBL la asistencia a las clases era prácticamente del 100% y que los estudiantes se mostraban proactivos participando y preguntando durante las clases.

Debido al amplio abanico de propuestas de resolución de problemas como actividad basada en la investigación (Inquiry-Based Problem Solving) que pueden dar respuesta a las demandas del modelo de enseñanza-aprendizaje PBL, ha sido necesario restringir el campo de revisión y hemos optado por analizar aquí la metodología denominada «resolución de problemas como desarrollo de investigaciones guiadas» (Gil y Martínez-Torregrosa, 1987; Ramírez et al., 1994; Dumas-Carré y Goffard, 1997; Gil et al., 1999; Guisasola et al., 2006). Las razones de esta opción son fundamentalmente tres. En primer lugar, es una propuesta reconocida a nivel internacional como «an interesting alternative approach to problem solving» (p. 344) en el *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (Maloney, 1994). En segundo lugar, esta propuesta surge en un contexto educativo de reformas curriculares que han tenido influencia en los currículos educativos a nivel internacional y que impulsan el autoaprendizaje y las actividades basadas en la investigación (Ministerio de Educación y Ciencia, 1993; National Research Council, 1996; Rocard et al., 2007). En tercer lugar, es una propuesta que pretende sintetizar y avanzar en la búsqueda de coherencia entre diferentes aportaciones de la investigación educativa en resolución de problemas. Así, se tienen en cuenta autores como Glaser (1992) que aboga por la toma en consideración de la metodología científica; Gilbert (1980), Selvaratnan (1983), Brissaud (1987), Maloney y Siegler (1993) Langlois et al. (1995), Leonard et al. (2002), Park y Lee (2004) que ponen en cuestión que los datos del enunciado deban ser el punto de partida; Gilbert (1980), Reif (1983), Birch (1986), Dumas-Carré (1987), Mc Millan y Swadener (1991), Leonard et al. (2002), que

subrayan la importancia del análisis cualitativo; Caillot y Dumas-Carré (1987), Wenham (1993), Seroussi (1995), que remarcan la importancia de la emisión de hipótesis; Mettes et al. (1980), Reif (1983), Jansweijer et al. (1987), que se muestran de acuerdo en la necesidad de analizar los resultados, y la consideración de casos límite que es valorada por Mettes et al. (1980), Birch (1986), Caillot y Dumas-Carré (1987), Reif (1995); en cuanto a la elaboración de estrategias de resolución inciden un buen número de investigadores como Larkin y Reif (1979), Gilbert (1980), Selvaratnan (1983), Caillot y Dumas-Carré (1987), Mestre et al. (1993), Reif (1995), Leonard et al. (2002), Singh (2002).

La propuesta de «resolución de problemas como desarrollo de investigaciones guiadas» cuestiona el proceso de resolución de problemas tal y como habitualmente se presenta en el aula. Se plantea, en primer lugar, qué es lo que se entiende por problema y concluye que una situación sólo puede ser concebida como un problema en la medida en que resulta desconocida y en la medida en que, *a priori*, no disponemos de solución: una situación para la cual no hay soluciones evidentes (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983).

La comprensión de que la presencia de los datos en el enunciado, así como la indicación de todas las condiciones existentes, todo ello como punto de partida, responde a concepciones inductivistas y orienta incorrectamente la resolución, constituye un paso esencial para desbloquear la enseñanza habitual de los problemas y sus limitaciones. Pero al mismo tiempo, genera también una cierta inquietud de que al eliminar los datos los enunciados se tornen muy ambiguos y que los alumnos se encuentren perdidos. Sin embargo, es la ambigüedad una de las características principales de las situaciones verdaderamente problemáticas, y uno de los aspectos principales de la metodología científica es precisar las situaciones abiertas y concebir las simplificaciones necesarias tras un análisis detallado de las mismas (Guisasola et al., 2006).

Esta propuesta didáctica considera que el tratamiento científico posee unas características generales transferibles, en parte, a la resolución de problemas en el ámbito docente.

Vamos a reseñar, a continuación, brevemente, algunos de los supuestos básicos de esta propuesta didáctica. De acuerdo con los autores, las características que se presentan no se pueden tomar como un heurístico sino como orientaciones metodológicas para la resolución del problema:

- Consideración del posible interés de la situación problemática planteada.

La inclusión de aspectos Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) en la enseñanza en general, y en los enunciados de los problemas en particular, va a contribuir no sólo a mejorar la actitud y a aumentar el interés hacia la ciencia y su aprendizaje, sino también va a permitir aprender más ciencia y saber más sobre la ciencia, al mostrar una imagen más completa y contextualizada de la misma (Furió y Vilches, 1997).

– De una situación problemática ambigua a un problema acotado: análisis cualitativo.

Prácticamente la mayoría de los autores (de esta y otras líneas de investigación) se muestran de acuerdo en que, con anterioridad a cualquier cálculo, es necesario realizar un planteamiento cualitativo de la situación. Pero cuando se habla de análisis cualitativo, se trata no sólo de hacerse una idea de la situación, lo que resulta absolutamente necesario, sino también de acotarla, de modelizarla y de simplificarla para poder abordarla; de clarificar el objetivo, lo que se busca, aspecto no siempre evidente en las situaciones problemáticas (Gil et al., 1988).

El hecho de eliminar los datos del enunciado obliga a realizar esta aproximación, a tomar decisiones y a modelizar la situación. El análisis cualitativo conlleva la realización de un esfuerzo por contemplar las magnitudes y ver cuáles son las variables que influyen y a seleccionar la incógnita. No resulta posible, por tanto, pasar directamente a tratamientos operativos para los cuales los alumnos no disponen de datos.

La verbalización es otro factor importante que se considera en este enfoque y que suele estar, por lo general, ausente en otros modelos. La exigencia de explicitar de manera oral o escrita, de principio a fin de la resolución, todos los pasos seguidos, razonamientos y su fundamentación obliga al resolvente a pensar sus actuaciones a la vez que facilita el descubrimiento de nuevas relaciones entre principios generales y su empleo en la resolución de otros problemas (Gagné y Smith, 1962).

– Distanciamiento del razonamiento basado en evidencias: el papel de las hipótesis en la resolución de problemas.

Según esta línea estratégica, en cierta medida, el sentido de la orientación científica, dejando de lado toda idea de *método*, se encuentra en el cambio de un razonamiento basado en evidencias, en certezas, a un razonamiento en términos de hipótesis. Así, son las hipótesis las que focalizan y orientan la resolución, las que indican los parámetros a tener en cuenta (los datos a buscar). Y son las hipótesis y la totalidad del cuerpo de conocimientos en las que se basan, las que permitirán analizar el resultado y todo el proceso (Ramírez et al., 1994).

La enseñanza habitual de resolución de problemas, sin embargo, a menudo conduce a que las hipótesis emitidas estén más relacionadas con interpretaciones subjetivas y personales sobre el marco teórico estudiado que con una comprensión significativa del mismo (Guisasola et al., 2003).

Es cierto también que a veces, incluso muy a menudo, los alumnos introducen ideas «erróneas» cuando formulan hipótesis, pero esto, lejos de ser negativo, constituye quizás la manera más eficaz de sacar a la luz sus preconcepciones y, precisamente, la falsación de las hipótesis que resulta de la solución del problema se convierte en un conflicto cognitivo y, por tanto, en una herramienta de cambio conceptual (Gil et al., 1988).

– En busca de estrategias como tentativas de resolución.

Las estrategias de resolución no derivan automáticamente de los principios teóricos sino que son también construcciones tentativas, que parten del planteamiento cualitativo realizado, de las hipótesis formuladas y de los conocimientos que se poseen, pero que requieren imaginación y ensayos (Furió et al., 1994).

El carácter hipotético del que este modelo impregna la elaboración de las estrategias de resolución, lleva a recomendar la búsqueda de más de un camino de resolución para comprobar si se obtiene el mismo resultado, contrastar las hipótesis y poder confirmar el corpus teórico. Esto obliga a indagar en las condiciones de aplicabilidad de las leyes y principios fundamentales, lo que facilita una mejor comprensión de los conceptos (Varela, 1994).

– Sobre la consistencia del proceso de resolución: el análisis de resultados.

El análisis del resultado de una situación problemática es consustancial a la actividad científica. Se considera, asimismo, fundamental para los problemas de lápiz y papel en todos los modelos de resolución analizados en este trabajo. Ya Reif (1983) llama la atención sobre lo que él denomina «verificación de la consistencia interna».

Pero este análisis cobra todo su valor cuando se realiza con relación a las hipótesis emitidas y al corpus de conocimientos (Gil, 1997). Sin embargo, los precursores del modelo de resolución de problemas como investigación orientada se preguntan por qué ni Reif ni otros autores no han creado el nexo lógico entre las hipótesis y el análisis de resultados.

La respuesta se encuentra, una vez más, en la aceptación incuestionada del tipo habitual de enunciado y en la orientación didáctica asociada al mismo, consistente en desproblematizar los problemas: puesto que el profesor intenta explicar claramente lo que se debe hacer, y él no tiene ninguna duda, no hace falta verificar los resultados.

La necesidad de realizar una resolución literal se aprecia con claridad cuando alcanzamos el resultado y éste se refleja en una ecuación en la que todas las magnitudes se representan por símbolos literales. Esto posibilita la contrastación de las hipótesis sobre la dependencia de variables que se ha emitido con anterioridad (Reyes, 1991).

– De la resolución de un problema al planteamiento de otros: nuevas perspectivas.

Como en cualquier investigación, los resultados pueden ser origen de nuevos problemas. Se deberá poner en juego, nuevamente, la creatividad de estudiantes y profesores para considerar otras perspectivas abiertas tras la resolución de este problema contemplando, por ejemplo, la conveniencia de abordar la situación a un nivel de mayor complejidad o estudiando sus implicaciones teóricas (profundización en la comprensión de algún concepto) o prácticas (posibilidad de aplicaciones técnicas).

Los resultados de aplicación en el contexto del aula han mostrado que la práctica reiterada del modelo de resolución de problemas de física como investigación orientada se traduce en un mejor uso del conocimiento procedimental durante la resolución y en una mayor eficacia como resolventes. Asimismo, la resolución cooperativa de problemas abiertos y de interés induce roles activos en los estudiantes y les ayuda a desarrollar habilidades investigativas y de resolución de problemas (Martínez-Torregrosa, 1987; Ramírez, 1990; Varela, 1994; Ceberio, 2004; Becerra et al., 2005).

5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En este trabajo hemos analizado las diferentes estrategias de enseñanza de resolución de problemas de física según el marco teórico desde el que se presentan. Estas propuestas han sido agrupadas en tres orientaciones didácticas, a saber, enseñanza por algoritmos y heurísticos, enseñanza basada en potenciar las estrategias de resolventes expertos y enseñanza-aprendizaje basada en el desarrollo de investigaciones guiadas.

Las propuestas de enseñanza-aprendizaje de algoritmos han demostrado su eficacia cuando los estudiantes resuelven problemas estándar similares a los trabajados en clase, pero fracasan cuando los estudiantes se tienen que enfrentar a situaciones novedosas que exigen manejar capacidades generales de resolución de problemas.

Las propuestas de enseñanza-aprendizaje por comparación entre expertos y novatos muestran que ayudan a mejorar las habilidades de resolución de problemas de los estudiantes respecto a la metodología habitual o la algorítmica. Sin embargo, no hay evidencias de que los estudiantes mejoren en la obtención de soluciones correctas respecto a los grupos de control.

Las propuestas de enseñanza-aprendizaje basadas en la investigación, que en lo referente a la resolución de problemas tienen su fiel reflejo en el modelo de resolución de problemas como desarrollo de investigaciones guiadas, tratan de superar una de las principales limitaciones que han tenido las investigaciones sobre resolución de problemas y los modelos que de ellas se derivan que es, precisamente, el tratamiento aislado al que ha sido sometida la resolución de problemas, obviando aspectos fundamentales del aprendizaje.

Este nuevo enfoque precisa de un replanteamiento global de todo el proceso de enseñanza-aprendizaje que integre coherentemente distintos aspectos, desde la introducción de conceptos hasta la evaluación, pasando por la resolución de problemas y las prácticas de laboratorio (Gil et al., 1999; Helgeson, 1994; Guisasola et al., 2006; Guisasola et al., 2008).

Precisamente, son estos nuevos enfoques integrados de las diferentes facetas del proceso de enseñanza-aprendizaje los que, seguramente, han dado origen a que en la última década se haya producido un descenso importante del número de investigaciones y propuestas didácticas centradas sólo en cómo resuelven los estudiantes problemas, aumentando, por contra, propuestas que contemplan de forma global la enseñanza de las ciencias. Se tiende a superar, también en la investigación, la clásica separación entre «teoría», «resolución de problemas» y «prácticas de laboratorio».

Los resultados de aplicación de propuestas de enseñanza-aprendizaje basadas en el desarrollo de investigaciones guiadas han mostrado que es necesario la utilización reiterada de la metodología durante períodos largos de tiempo, utilizando actividades que den a los estudiantes la oportunidad de utilizar procedimientos propios de la ciencia (Ceberio, 2004). Los estudiantes que reciben este tipo de instrucción tienden a aprender más física, desarrollan actitudes positivas y se sienten más confiados en sus propias capacidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAMBULA-GREENFIELD, T. (1996). Implementing problem-based learning in a collage science class, *Research in Science Education*, 25(4), pp. 383-393.
- BECERRA-LABRA, C., GRÁS-MARTÍ, A. y MARTÍNEZ-TOREGROSA, J. (2005). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27(2), pp. 299-310.
- BOILEVIN, J.M. (2005). Enseigner la physique par la situation problème ou par problème ouvert, *Aster*, 40, pp. 13-37.
- BOUD, D. y FELETTI, G. (eds.). 1991, The challenge of problem-based learning. Nueva York: St. Martin's Press.
- BRICH, W. (1986). Towards a model for problem-based learning. *Studies in higher education*, 11(51), pp. 73-83.
- BRISSAUD, R. (1987). Quel contrôle de la validité d'un 'non-cé de problème chez des élèves de cours élémentaire deuxième année. *Repports de reserches*, (12), pp. 199-244, París: INPR editors.
- CABRAL DA COSTA, S.S. y MOREIRA, M.A. (1996). Resolução de problemas I: Diferenças entre novatos e especialistas. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(2).
- CABRAL DA COSTA, S.S. y MOREIRA, M.A. (1997). Resolução de problemas II: Propostas de metodologias didácticas. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2(1), pp. 5-26.
- CABRAL DA COSTA, S.S. y MOREIRA, M.A. (1997). Resolução de problemas III: Factores que influenciam na resolução de problemas em sala de aula. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2(3), pp. 65-104.
- CABRAL DA COSTA, S.S. y MOREIRA, M.A. (1997). Resolução de problemas IV: Estrategias para resolução de problemas. *Investigações em Ensino de Ciências*. 2(3), pp. 153-184.
- CAILLOT, M. y DUMAS-CARRRE, A. (1987). PROFHY: Un enseignement d'une méthodologie de résolution de problèmes de Physique, dans *Résolution de problèmes en mathématiques et en physique*, *Repports de reserches*, (12), pp. 199-244, París: INPR editors.
- CEBERIO, M. (2004). *La resolución de problemas de física general en la universidad: una propuesta didáctica basada en el planteamiento y resolución de situaciones problemáticas abiertas*. Tesis doctoral. Departamento de Física Aplicada. Universidad del País Vasco.
- CHI, M., FELTOVICH, P. y GLASER, R. (1981). Categorization and representation of physics problem by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, pp. 121-152.
- CHI, M., GLASER, R. y REES, E. (1982). Expertise in problem solving, en Sternberg, R.J. (eds.). *Advances in the psychology of human intelligence*, 1, pp. 7-75. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- CHI, M., BASSOK, M., LEWIS, M., REIMANN, P. y GLASER, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problem. *Cognitive Science*, 13, pp. 145-182.
- DE JONG, T. y FERGUSON-HESSLER, M. (1986). Cognitive structures of good and poor novice problem solvers in physics. *Journal of Educational Psychology*, 78(4), pp. 279-288.
- DRIVER, R. (1982). Children's learning in science. *Educational Analysis*, 4(2), pp. 69-79.
- DUCH, B.J. (1996). Problem-based learning in physics: The power of students teaching students. *Science Teaching*, 26, pp. 529-541.
- DUMAS-CARRÉ, A. (1987). *La résolution de problèmes en Physique au Lycée*, Thèse d'état soutenue à l'Université Paris 7.
- DUMAS-CARRÉ, A. y GOFFARD, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problèmes en physique (New approach for physics problem solving)*. París: Armand Colin.
- DUSCHL, R.A. (1995). Mas allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1); pp. 3-13.
- ELIO, R. y SCHARF, P. (1990). Modeling novice to expert shifts in problem solving strategy and knowledge organization. *Cognitive Science*, 14(4), pp. 579-639.
- FÁVERO, M.H. y SOARES GOMES DE SOUSA, C.M. (2001). A resolução de problemas em física: revisão de pesquisa, análise e proposta metodológica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(2).
- FERGUSON-HESSLER, M. y DE JONG, T. (1990). Studying physics texts: Differences in study processes between good and poor performers. *Cognition and Instruction*, 7, pp. 41-54.
- FRAZER, M.J. y SLEET, R.J. (1984). A study of student's attempts to solve chemical problems. *European Journal of Science Education*, 6(2), pp. 141-152.
- FURIÓ, C., ITURBE, J. y REYES, J. (1994). Contribución de la resolución de problemas como investigación al paradigma constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 24, pp. 89-99.
- FURIÓ, C. y VILCHES, A. (1997). *Las actitudes del alumnado hacia las ciencias y las relaciones ciencia, tecnología y sociedad en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. ICE/Horsori: Barcelona.
- GAGNÉ, R.M. y SMITH, E.C. (1962). A study of the effects of verbalization on problem solving. *Journal of Experimental Psychology*, 63(1), pp. 12-18.
- GALLAGHER, S.A., STEPIEN, W.J., SHER, B.T. y WORKMAN, D. (1995). Implementing problem-based learning in science classroom. *School Science and Mathematics*, 95(3), pp. 136-146.
- GARRETT, R.M. (1987). Issues in science education: problem solving, creativity and originality. *International Journal of Science Education*, 9(2), pp. 125-137.
- GARRET, R. M. (1988). Resolución de problemas y creatividad: Implicaciones para el currículo de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, (6), 3, pp. 224-230.
- GIL, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), pp. 26-33.
- GIL, D. (1993). Contribución de la Historia y Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, (11)2, pp. 197-212.
- GIL, D. (1997). Aprender a resolver problemas: una asignatura

- pendiente, en Carrascosa, J. y Martínez, J. «*Problemas de Física*». Madrid: Santillana.
- GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1983). A model for problem solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4).
- GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1987). Los programas-guía de actividades: una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 3, pp. 3-12.
- GIL, D., DUMAS, A., CAILLOT, M., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. y RAMÍREZ L. (1988). La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación. *Investigación en la Escuela*, 6, pp. 3-19.
- GIL, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., GUIASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD M. y PESSOA. A.M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 311-320.
- GILBERT, G.L. (1980). How do i get the ansewer. *Journal of Research of Chemical Education*, 57, pp. 79-81.
- GLASER, R. (1992). Expert knowldege and pcesses of thinking, en Halpern, D.F. (ed.). *Enchancing thinking skills in the sciences and mathematics*. Hillsdale, Nueva Jersey: Erlbaum.
- GUIASOLA, J., CEBERIO, M. y ZUBIMENDI, J.L. (2003). El papel científico de las hipótesis y los razonamientos de los estudiantes universitarios en resolución de problemas de física (Hypotheses scientific role and university students' reasoning in physics problem solving). *Investigações em Ensino de Ciências*, 8(1). Retrieved January 10, 2004, from <www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.
- GUIASOLA, J., CEBERIO, M., ALMUDI, J.M. y ZUBIMENDI, J.L. (2006). *La enseñanza de problemas de Física en primer curso de universidad. De explicar problemas a guiar su resolución*. Barcelona: Editorial Octaedro.
- GUIASOLA, J., FURIÓ, C. y CEBERIO, M. (2008). Science Education Based on Developing Guided Research. M.V. Thomase (editor). *Science Education in Focus*, Nova Science Publishers, Inc.
- HEGARTY, M. (1991). Knowledge and processes in mechanical problem solving, en Sternberg, R.J. y Frensch, P.A. (eds.). *Complex problem solving: Principles and mechanisms*, pp. 253-285. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- HELLER, P., KEITH, R. y ANDERSON, S. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part I: Group versus individual problem solving. *American Journal of Physics*, 60(7), pp. 627-636.
- HELGESON S.L. (1994). *Research on problem solving in middle school*, en Gabel, D. (ed.). *Handbook of research on science teaching and learning*, pp. 248-268.
- HSU, L., BREWE, E., FOSTER, T.M. y HARPER, K.A. (2004). Resource Letter RPS-1: Research in problem solving. *American Journal of Physics* 72(9), pp. 1147-1156.
- HUFFMAN, D. (1997). Effect of Explicit Problem Solving Instruction on High School Students' Problem-Solving Performance and Conceptual Understanding of Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(6), pp. 551-570.
- JANSWEIJWR, W., ELSHOUT, J. y WIELINGER, B. (1987). Modeling the genuine beginner; on the multiplicity of learning to solve problems. *Early conference Tubingen*, september, 1987.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1998). Diseño curricular: Indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), pp. 203-216.
- KEMPA, R. (1986). Resolución de problemas en Química y Estructura Cognoscitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), pp. 99-110.
- LANDA, L.N. (1976). The ability to think-How can it be thought? *Soviet Education*, 18(5), pp. 4-66. Trad. española: Pérez, A. y Álvarez, J. (ed). 1982. Madrid: Lecturas de aprendizaje y enseñanza. Zero.
- LANGLOIS, F. GRÉA, J. y VIARD, J. (1995). Influencia de la formulación del enunciado y del control didáctico sobre la actividad intelectual de los alumnos en la resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), pp. 179-191.
- LARKIN, J. H. (1981). Enriching formal knowledge: A model for learning to solve texbook physics problems, en Anderson, J.R. (ed.). *Cognitive skills and their acquisition*, pp. 311-334. Hillsdale, NY: Erlbaum.
- LARKIN, J.H. y REIF, F. (1979). Understanding and teaching problem solving in physics. *European Journal of Science Education*, 1(2), pp. 191-203.
- LARKIN, J. H., McDERMOTT, J., SIMON, D.P. y SIMON, H.A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problem. *Science*, 208, pp. 1335-1342.
- LEONARD, W.J., DUFRESNE, R.J. y MESTRE, J.P. (1996). Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. *American Journal of Physics*, 64(12), pp. 1495-1503.
- LEONARD, W.J., GERACE, W.J. y DUFRESNE, R.J. (2002). Resolución de problemas basada en el análisis. Hacer del análisis y del razonamiento el foco de la enseñanza de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp. 387-400.
- LÓPEZ, F. (1991). Análisis de la influencia de la construcción de mapas conceptuales sobre la estructura cognitiva en estudiantes de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(2), pp. 135-142.
- MALONEY, D. (1994). Research on Problem Solving: Physics. *Handbook of Research in Science Teaching and Learning*. Gabel, Dorothy (ed.). Mac Millan Publishing Company.
- MALONEY, D. y SIEGLER, R.S. (1993). Conceptual competition in physics learning. *International Journal of Science Education*, 15, pp. 283-295.
- MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1987). *La Resolución de Problemas de Física como Investigación: Un instrumento de Cambio Metodológico*. Tesis doctoral. Universidad de Valencia.
- Mc MILLAN, C. y SWADENER, M. (1991). Novice use of qualitative versus cuantitative problem solving in electrostatics. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), pp. 661-670.
- METTES, C.T.C.W., PILOT, A., ROOSSINK, H.J. y KRAMERS-PALS, H. (1980). Teaching and learning problem solving in science. Part I: A general strategy. *Journal of Chemical Education*, 57, pp. 882-885.
- MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA. (1993). *Diseño Curricular Base del Área de Ciencias para la Enseñanza Secundaria Obligatoria*. Madrid: Publicaciones MEC.

- MOHAPATRA, J.K. (1987). Can problem-solving in physics give an indication of pupils «process knowledge»? *International Journal of Science Education*, 9(1), pp. 117-123.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. (1996). *National Science Education Standards*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- PARK, F. y LEE, L. (2004). Analysing cognitive or non-cognitive factors involved in the process of physics problem-solving in an everyday context. *International Journal of Science Education* 26(13), 1577-1595.
- PERALES, F.J. (1993). La resolución de problemas: Una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), pp. 170-178.
- POL, H., HARKAMP, E. y SUHRE, C. (2005). Solving physics problems with the help of computer-assisted instruction. *International Journal of Science Education*, 27(4), pp. 451-469.
- POLYA, G. (1945). (Traducción 1992, How to solve it). Serie de Matemáticas. México: Ed. Trillas.
- POZO, J.I., PUY, M., DOMÍNGUEZ, J., GÓMEZ, M.A. y PÓSTIGO, Y. (1998). *La solución de problemas*, Madrid: Aula XXI, Santillana.
- QIN, Z., JOHNSON, D.W. y JOHNSON, R.T. (1995). Cooperative versus competitive efforts and problem solving. *Review of Educational Research*, 65(2), pp. 129-143.
- RAINE, D.J. y COLLETT, J. (2003). Problem-based learning in astrophysics. *European Journal of Physics*, 24, pp. S41-S46.
- RAMÍREZ, J.L. (1990). *La resolución de problemas de física y química como investigación en la enseñanza media, un instrumento de cambio metodológico*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Barcelona.
- RAMÍREZ, J.L., GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.M. (1994). *La resolución de problemas de física y de química como investigación*. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia: CIDE.
- REIF, F. (1983). Understanding and Teaching Problem Solving in Physics. In *Researches en didactique*, pp. 3-53. París: CNRS Editions.
- REIF, F. (1995). Millican Lecture 1994: Understanding and teaching important scientific thought processes. *American Journal of Physics*, 63(1), pp. 17-32.
- REIF, F. y HELLER, P. (1982). Knowledge structures and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17(2), pp. 102-127.
- REIF, F. y SCOTT, L. (1999). Teaching scientific thinking skills: students and computers coaching each other. *American Journal of Physics*, 67(9), pp. 819-831.
- REYES, V. (1991). *La resolución de problemas de Química como investigación: Una propuesta didáctica basada en el cambio metodológico*, Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco.
- ROCARD, M., CSERMELY, P., JORDE, D., LENZEN, D., WALWERG-HENRIKSSON, H. y HEMMO, V. (2007). *Science Education now: A renewed pedagogy for the future of Europe*, en línea en: <http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf>. Disponible en castellano en ALAMBIQUE 55, 104-117.
- SAVERY, J.R. y DUFFY, T.M. (1995). Problem based learning: an instructional model and its constructivist framework. *Educational Technology*, 35, pp. 31-36.
- SEROUSSI, D.E. (1995). Heuristic Hypotheses in Problem Solving: An Example of Conceptual Issues about Scientific Procedures. *Science Education*, 79(6), pp. 595-609.
- SINGH, C. (2002). When physical intuition fails. *American Journal of Physics*, 70(9), pp. 1103-1109.
- SELVARATNAN, M. (1983). Students' mistakes in problem solving. *Education in Chemistry*, Julio, pp. 125-128.
- SIMON, D. P. y SIMON, H.A. (1978). Individual differences in solving physics problems, en Siegler, R.S. (ed.). *Children's thinking: What develops?*, pp. 325-348.
- SWELLER, J. y LEVINE, M. (1982). Effects of goal specificity on means-ends analysis and learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 8(5), pp. 463-474.
- TALYZINA, N.F. (1973). Psychological bases of programmed instruction. *Instructional Science*, 2(3), pp. 243-280.
- TARMIZI, R. y SWELLER, J. (1988). Guidance during mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 80(4), pp. 424-436.
- VAN HEUVELEN, A. (1991). Overview, case study physics. *American Journal of Physics*, 59(10), pp. 898-906.
- VAN HEUVELEN, A. (1995). Experiment problems for mechanics. *The Physics Teacher*, 33, pp. 176-180.
- VAN HEUVELEN, A., ALLEN, L. y MIHAS, P. (1995). Experiment problems for electricity and magnetism. *The Physics Teacher*, 37, pp. 482-485.
- VAN HEUVELEN, A. y MALONEY, D. (1999). Playing physics jeopardy. *American Journal of Physics*, 67(3), pp. 252-256.
- VAN KAMPEN, P., BANAHAN, C., KELLY, M., ELLISH McLOUGHLIN, E. y O'LEARY, O. (2004). Teaching a single physics module through Problem Based Learning in a lecture-based curriculum. *American Journal of Physics*, 72(6), pp. 829-834.
- VAN WEEREN, J.H.P., KRAMERS-PALS, H. y ROOSSINK, H.J. (1982). Teaching problem-solving in physics: A course in electromagnetism. *American Journal of Physics*, 50(8), pp. 725-732.
- VARELA, M.P. (1994). *La resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias. Aspectos didácticos y cognitivos*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- WARD, M. y SWELLER, J. (1990). Structuring effective worked examples. *Cognition and Instruction*, 7, pp. 1-39.
- WENHAM, M. (1993). The nature and the role of hypotheses in school science investigations. *International Journal of Science Education*, 15(3), pp. 231-240.

[Artículo recibido en enero de 2007 y aceptado en marzo de 2008]

What are the teaching innovations proposed by research to solve problems in physics and what results have been achieved?

CEBEIRO, MIKEL; GUIASOLA, JENARO y ALMUDÍ, JOSÉ MANUEL

Departamento de Física Aplicada I, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

mikel.ceberio@ehu.es

wupguarj@sp.ehu

josemanuel.almudi@ehu.es

Abstract

For decades research into problem-solving has been the preferred aim both of psychologists and of teachers. Different cognition theories have been developed which cover a wide range of stances in their understanding of learning and which are faithfully reflected in the emergence of educational models for problem-solving.

We seek to analyse the work which has been carried out in the field of teaching physics and to do so we have asked ourselves the following questions:

- What educational innovations have emerged from research into the teaching/learning of problem-solving?
- To what extent are educational innovations effective?
- Do educational innovations in problem-solving extend to the whole activity of physics teaching or are they limited to innovation within the traditional separation of theory, problems and laboratory practice in the science class?

In reviewing research we have differentiated between three theoretical tendencies in terms of the teaching models which they represent. We will describe these models and make a critical assessment of them at the same time.

Algorithmic problem-solving models have been developed which stress a group of actions and methods in education which make problem-solving easier.

These models seek to transform problems into standard situations which may be solved by routine operations.

It emerges from the actual approach of the method, consisting of transforming problems into typical exercises, that students can only learn to solve problems similar to standard problems for which the solution is known beforehand.

Models for problem-solving by comparison between experts and beginners are based on the assumption that there are good and bad problem-solvers and, as a result, investigations are made as to how individuals act when trying to solve problems so that once the differences are known, action may be implemented which allows beginners to improve their effectiveness in the solving of problems.

Much of this initial research with regard to experts and beginners, although of great informative value, is considered limited as it has not been carried out within the context of the

classroom. The difficulty arises when conclusions have to be drawn from this research with regard to teaching.

One heuristic strategy which we could consider representative of this methodology is the one carried out by Frederick Reif, (1995). We likewise describe other work which proposes teaching methodologies within this line of thinking.

This vision is in alignment with the understanding of teaching as the verbal transmission of knowledge, strategies and procedures.

The teaching-learning model through 'problem-based learning in small groups' (PBL), is sustained by a socio-constructivist approach which places importance on prior knowledge and is carried out within the context of situations close to reality.

Within the scope of physics, which concerns us, no relevant contributions were made until well into the 80's.

Due to the wide range of proposals for solving problems as an activity based on research (Inquiry-Based Problem Solving) which may give an answer to the questions of PBL teaching-learning, it has been necessary to restrict the field of review and we have opted to analyse here the methodology known as «problem-solving based on the development of guided research».

This model states that the presence of information in the statement, as well as indicating all existing conditions, all as a point of reference, is a response to inductivist concepts and disorients problem-solving.

It considers that scientific treatment has some general features which may be transferred in part to problem-solving within the scope of teaching: qualitative analysis, a change from reasoning based on certainties to reasoning in terms of hypotheses. Solution strategies do not automatically result from theoretical principles but are also tentative constructions and the analysis of results, characteristic of scientific activity.

The results of application within the context of the classroom have shown that repeated practice of the problem-solving model for physics as guided research is reflected in better use of the knowledge of procedures during problem-solving and greater efficiency as solvers.

This model is an attempt to coherently integrate different aspects of the teaching-learning process ranging from the introduction of concepts to assessment, including problem-solving and laboratory practice.