



FUNDAMENTOS

La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación

Daniel Gil Pérez Servei de Formació Permanent. Univ. València

Andrée Dumas Carré. LIRESPT. Université Paris VII

Michel Caillot. LIRESPT. Université Paris VII

Joaquín Martínez Torregrosa. Servei de Formació Permanent. Univ. València

Lorenzo Ramirez Castro. Unidad de Programas. MEC-Huesca

RESUMEN

En este artículo se intenta mostrar la coherencia del modelo de resolución de problemas como investigación con los desarrollos recientes del constructivismo en el aprendizaje de las ciencias, su capacidad para integrar las aportaciones parciales recogidas en la literatura y sus posibilidades de interpretación de las dificultades de los alumnos cuando siguen las orientaciones habituales.

Introducción: la resolución de problemas en cuestión

La resolución de problemas de lápiz y papel es desde hace algunos decenios -como muestra una abundante literatura (Garrett, 1986)- una de las líneas prioritarias de investigación en la didáctica de las ciencias. Esto

es debido tanto a la importancia que se da a la resolución de problemas en el aprendizaje de las ciencias como a la constatación del fracaso generalizado de los estudiantes en esta tarea.

En cuanto al papel de la resolución de problemas en el aprendizaje hay un acuerdo generalizado en que ayuda a reforzar y clarifi-

car los principios que se enseñan (Selvaratnam, 1983) y, más todavía, en que es a través de la resolución de problemas como mejor se aprenden (Larkin, 1981; Elshout, 1985) porque ello obliga a los estudiantes a poner constantemente sus conocimientos "en práctica" y favorece la motivación (Birch, 1986).

Por otra parte, existen numerosas pruebas experimentales de las graves dificultades encontradas por los estudiantes en la resolución de problemas de lápiz y papel en un dominio específico como el de la Física y la Química, en el que se centra nuestro estudio (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983; Caillot y Dumas-Carre, 1987). Muchos estudiantes -como constatan Mettes y otros (1980) -no saben como empezar: simplemente buscan una fórmula adecuada o bien se limitan a esperar la resolución del profesor. En todo caso, hay acuerdo sobre el hecho de que una gran parte de los estudiantes no son capaces de abordar problemas nuevos (Gilbert, 1980; Mettes et al., 1980; Gil y Martínez-Torregrosa, 1983). Gilbert ha señalado incluso la posibilidad de resoluciones mecánicas que llevan a la solución correcta.....sin que los estudiantes hayan entendido nada.

No es de extrañar, pues, que la resolución de problemas se haya convertido, desde hace unos decenios, en una de las líneas prioritarias de investigación y constituya una de las cuestiones que más interesan a los enseñantes (Gabel, Samuel, Helgeson, McGuires, Novac y Butzon, 1987). Sin embargo, la mayoría de los trabajos publicados se limitan a tratar aspectos concretos de la resolución y están faltos, como señalan Mettes et al. (1980) de fundamentación teórica. El marco teórico es, sin duda, fundamental y a él le dedicaremos un primer apartado, centrándonos, como ya hemos señalado, en los problemas de lápiz y papel en un dominio específico. Y si bien ello supone, evidentemente, una fuerte limitación, hay que tener en cuenta el

estatus específico de los problemas de lápiz y papel en la enseñanza de disciplinas como la Física, y su papel privilegiado como soporte de la evaluación (Dumas-Carre, 1987). De hecho, la literatura publicada sobre lo que se denomina Problem-Solving en las revistas dedicadas a la investigación en didáctica de las ciencias se refiere, casi exclusivamente, a los problemas de lápiz y papel.

Necesidad de una fundamentación teórica

La literatura sobre la resolución de problemas de lápiz y papel muestra, esencialmente, dos orientaciones teóricas: la asociada a la observación de cómo los resuelven los "expertos" y la que podríamos etiquetar como "orientación algorítmica". En cuanto a la primera, Larkin y Reif (1979), por ejemplo, al preguntarse cómo formular modelos útiles para la resolución de problemas científicos proponen observar qué hacen los expertos. Es una orientación que se ha desarrollado ampliamente (Larkin, McDermott, Simon y Simon, 1980; Finegold y Mass, 1985) y que está asociada a la tradición de la psicología cognitiva del procesamiento de la información (Greeno, 1976; Larkin, 1979; Chi, Glaser y Rees, 1982) en la que se inscriben también las investigaciones sobre simulaciones con ordenador (Larkin, 1981).

La segunda orientación teórica se encuentra explicitada en los trabajos de Mettes et al. (1980; 1981; Van Weeren et al., 1981) quienes apoyándose en las ideas de Galperin, Talyzina y Landa sobre la formación de las acciones mentales "etapa por etapa", pretenden explícitamente transformar los problemas en situaciones estandar, que puedan resolverse mediante "operaciones rutinarias" (Mettes et al., 1980). Se puede hablar, pues, de algoritmización, al menos como tendencia, ya que la mencionada transformación no es, evidentemente, automática.

Estas orientaciones tienen el mérito de interesarse por la fundamentación teórica y de evitar tratamientos parciales que limitan la investigación a adquisiciones puntuales. Sin embargo, como intentaremos mostrar, presentan también el inconveniente de haber aceptado acríticamente lo que en la enseñanza habitual se designa como "resolución de problemas", y, todavía más, haber aceptado explícita o implícitamente el modelo subyacente de enseñanza/aprendizaje como simple transmisión/recepción de conocimientos ya elaborados, lejos pues de los recientes desarrollos del modelo constructivista (Driver y Oldham, 1986; Novak, 1988). Teniendo en cuenta los pobres resultados que, en general se obtienen, sería útil en este sentido hacer una profunda revisión crítica de la manera en la que se enseña a resolver problemas (Gilbert, 1980; Gil y Martínez-Torregrosa, 1984) y, más incluso, clarificar la idea misma de problema, alrededor de la cual existe todavía una gran confusión (Krulik y Rudnik, 1980).

En nuestra opinión, este cuestionamiento es absolutamente necesario en un dominio como el de la resolución de problemas donde, a pesar de la abundante investigación, no ha habido progresos importantes (equivalentes, por ejemplo, a los producidos a propósito de las ideas intuitivas de los alumnos y su papel en el aprendizaje). Como es bien sabido, uno de los mayores obstáculos al desarrollo de una ciencia consiste en la aceptación de las ideas y suposiciones implícitas, que escapan así a todo examen crítico. En esos casos es necesario -como lo muestra claramente la historia de las ciencias- proceder a una revisión global que no acepte nada como "evidente". Este es el caso, insistimos, de la resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias.

Es necesario añadir también que una fundamentación teórica rigurosa de la resolución de problemas no debe realizarse de manera aislada, sin tener en cuenta ciertas ad-

quisiciones fundamentales en la concepción del aprendizaje de las ciencias y, en particular, repetimos, las debidas al desarrollo de las concepciones constructivistas del aprendizaje de las ciencias, que constituyen, sin duda, el modelo teórico emergente (Novak, 1988).

No se puede ignorar en este sentido la idea de aprendizaje como cambio conceptual -teniendo en cuenta las preconcepciones de los alumnos- que es considerado hoy día como una de las claves de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias (Hewson y Hewson, 1987). Sin embargo, en este caso se encuentran la casi totalidad de las investigaciones sobre resolución de problemas, lo que supone una grave limitación teórica.

De acuerdo con lo expuesto, iniciaremos nuestra toma de posición teórica por un análisis de la idea misma de problema, estudiando las posibles implicaciones en la orientación de su resolución. Intentaremos así mostrar que las conclusiones a las que se llega son coherentes con las que la orientación constructivista del aprendizaje ha puesto de relieve.

¿Qué es un problema?

Se ha señalado con frecuencia (Krulik y Rudnik, 1980; Prendergast, 1986) que los investigadores en la resolución de problemas de lápiz y papel no se preguntan, en general, qué es un problema -lo que, a nuestro entender, constituye una de las limitaciones de sus investigaciones-. Por otra parte existe un acuerdo general, entre quienes sí han abordado la cuestión, en considerar un problema como una situación que presenta dificultades para las cuales no hay soluciones evidentes (Hudgins, 1966; Riche, 1978; Mettes et al., 1980; Hayes, 1981; Gil y Martínez-Torregrosa, 1983; Bodner y McMillen, 1986). La definición de Kudlik y Rudnik (1980) resume bien este consenso: «Un problema es una si-

tuación, cuantitativa o no, que pide una solución, para la cual los individuos implicados no conocen medios o caminos evidentes para obtenerla». Esta misma idea aparece indirectamente cuando se habla de resolución de problemas. Así Polya señala que «resolver un problema consiste en encontrar un camino allá donde previamente no se conocía tal, encontrar una salida para una situación difícil, para vencer un obstáculo, alcanzar un objetivo deseado, que no puede ser inmediatamente alcanzado por medios adecuados» (Polya, 1980, citado por Prendergast, 1986). Algunos autores insisten justamente en el hecho de que la existencia de dificultades no es una característica intrínseca de una situación y que depende también de los conocimientos, experiencia, etc. del resolvente (Garrett, 1987). En este sentido Elshout (1985) desarrolla la idea de "umbral de problematicidad" diferente para cada persona y por encima del cual se puede decir que una situación constituye un verdadero problema para la (las) persona(s) en cuestión.

Hay en estas ideas de problema y umbral de problematicidad una primera fuente para la comprensión de los resultados habitualmente tan negativos: en efecto, es fácilmente constatable que los problemas son explicados (tanto por los profesores como por los libros de texto) como algo que *se sabe hacer*, que no genera dudas ni exige tentativas (Gil, Martínez-Torregrosa y Senent, 1988): el profesor conoce la situación -para él no es un problema- y la explica linealmente, "lo más claramente posible"; en consecuencia, los alumnos podrán aprender la solución y repetirla en las situaciones que reconozcan como semejantes, pero no aprenderán a abordar un verdadero problema. Como Gilbert (1980) señala: «Nosotros somos un modelo que los estudiantes imitan cuando se encuentran con problemas similares a aquellos que han sido resueltos en clase». Es necesario, pues, insistir en esta incoherencia que consiste en expli-

car los problemas como... no-problemas, lo que podría explicar la actitud habitual de los alumnos, consistente en "reconocer o abandonar". Esta es, sin duda, una primera adquisición de este replanteamiento global que nos hemos impuesto en vistas a fundamentar teóricamente la resolución de problemas.

Intentaremos, ahora, ir más allá de esta crítica de la forma habitual de enseñar a resolver los problemas y obtener algunas implicaciones de la idea de "problema científico" para su tratamiento.

¿Qué hacer cuando nos encontramos con un verdadero problema?. La enseñanza y la investigación habituales sobre resolución de problemas en cuestión

Si se acepta la idea de que un problema es una situación ante la cual se está inicialmente perdido, una posible cuestión a plantearse es: ¿Qué hacen los científicos en este caso?. Con ello nos plantearémos muy concretamente qué es lo que hacen los científicos delante de lo que para ellos constituye un verdadero problema y no ante un enunciado de lápiz y papel como los que se encuentran en los libros de texto, frente a los cuales podrían tener un comportamiento que no se alejaría esencialmente del de un estudiante, aunque las diferencias de madurez y de *savoir-faire*, se traducirían, sin duda, en una reflexión y una eficacia mayores. Señalemos, a este respecto, que Heller y Reif (1984), aún reconociendo las aportaciones de las investigaciones sobre las diferencias entre novicios y expertos frente a los problemas de lápiz y papel, han tenido que señalar también sus limitaciones: se puede, en efecto, esperar que, delante de problemas de lápiz y papel, los "expertos" -que son a menudo profesores que enseñan a resolver problemas- adopten actitudes características de la enseñanza habitual y consideren los problemas como situa-

ciones que se debe saber resolver y no como verdaderos problemas.

En este sentido, los estudios hechos sobre la manera en que los expertos abordan los problemas de lápiz y papel estarían todavía muy alejados de lo que supone enfrentarse a un verdadero problema y, por lo tanto, no podrían ayudar demasiado a orientar el trabajo de los estudiantes que, muy a menudo, se sienten verdaderamente perdidos cara a lo que, para ellos, constituyen verdaderos problemas. Sería pues más útil preguntarse qué es lo que los científicos hacen cuando tienen que vérselas con auténticos problemas; la respuesta en este caso es, "simplemente", que se comportan como investigadores. Y si es verdad que expresiones como las de "Investigación" (con o sin mayúsculas) "metodología científica" o "método científico" no tienen una clara significación unívoca, traducible en etapas precisas y que la idea misma de "método" está contestada (Fayerabend, 1979), también es cierto que el tratamiento científico de un problema posee unas características que es preciso tener en cuenta. Resumiremos algunas de ellas sobre las cuales existe acuerdo general entre los epistemólogos (Chalmers, 1984):

- El hecho de que los problemas científicos son, en general, más bien "situaciones problemáticas" confusas; que el problema no viene dado, siendo necesario formularlo de manera precisa, modelizando la situación, haciendo determinadas opciones de cara a simplificarlo más o menos para poder abordarlo, clarificando el objetivo, etc, etc. Y todo esto, evidentemente, partiendo del corpus de conocimientos que se posee en el campo específico en que se realiza la investigación.

- El hecho de que no se razona en términos de certeza, más o menos basadas en "evidencias", sino en términos de hipótesis que, evidentemente, se apoyan, al menos en parte, en los conocimientos adquiridos, pero que

constituyen meras hipótesis, "tentativas de respuesta", que se han de poner a prueba lo más rigurosamente posible. Como dice Hempel (1976), «No se llega al conocimiento científico aplicando un proceso inductivo de inferencia a partir de los datos recogidos con anterioridad, sino fundamentalmente a través de lo que se denomina el "método hipotético", intentando construir respuestas posibles a los problemas estudiados y sometiendo después las hipótesis a verificación».

- El hecho -consecuencia de lo que se ha visto en los párrafos anteriores- de que las investigaciones no se encuentran en general con los "datos" como punto de partida, sino repetimos, con situaciones problemáticas confusas: los datos se buscan en función de las hipótesis hechas. Es necesario insistir en contra de sus visiones inductivistas y simplistas (Giordan, 1978), que están muy arraigadas en los enseñantes y que han influido profundamente -como intentaremos mostrar a continuación- en la enseñanza de la resolución de problemas.

- El hecho de dudar sistemáticamente de los resultados obtenidos y de todo el proceso de resolución, lo que obliga a revisiones continuas, a intentar obtener estos resultados por caminos diversos y, en suma, a establecer su coherencia por referencia a las hipótesis hechas y al cuerpo de conocimientos de partida. Ello puede conducir a revisar los caminos de resolución, las hipótesis o, incluso, a enfocar el problema desde otro punto de vista. Es necesario llamar aquí la atención sobre un posible "reduccionismo experimentalista" (Hodson, 1985): no basta con un tratamiento experimental para falsar o verificar una hipótesis. Se trata sobre todo de la existencia, o no, de coherencia global con el marco de un corpus de conocimientos.

Es esta imagen imprecisa, nebulosa, de la metodología científica, en la que nada garantiza que se llegará a un buen resultado -lejos de toda idea de algoritmo- la que mejor pue-

de describir y orientar el tratamiento de un verdadero problema, *incluyendo los problemas de lápiz y papel* para los estudiantes. Esa es, al menos, nuestra hipótesis de partida, rompiendo así con una larga tradición que, como ya hemos señalado en la introducción, se ha mostrado muy ineficaz.

La validez de nuestra hipótesis queda, evidentemente, por probar, pero tiene, al menos, la ventaja de asociar la cuestión de la resolución de problemas a todo el proceso de construcción de conocimientos científicos. En todo caso, la validación de nuestro planteamiento debería conducir a:

- Mostrar que las diferentes adquisiciones parciales, obtenidas en investigaciones más o menos puntuales, pueden integrarse de manera coherente en un modelo de resolución de problemas como actividad de investigación. Mostrar, así mismo, que este modelo permite entender ciertas dificultades recurrentes de los alumnos y abrir vías para resolverlas y, sobre todo, mostrar la coherencia entre este modelo y las adquisiciones fundamentales de la investigación sobre el aprendizaje de las ciencias.

- Hacer adquirir a los alumnos una metodología de resolución de problemas capaz de evitar la manipulación inmediata de los datos y las fórmulas, que a menudo caracteriza el comportamiento de los resolventes novatos y que tan difícil es de modificar. Debiera conseguir, también, que los alumnos dedicaran mucho más tiempo en la resolución de problemas que encuentran difíciles, antes de abandonar, sin caer pues en la actitud habitual de "reconocer o abandonar" (Gilbert, 1980). Todo esto mejoraría las actuaciones de los alumnos y se traduciría en un porcentaje de resultados correctos notable y significativamente superior a los porcentajes habituales.

- Mostrar que una "reflexión descondicionada" de los profesores -es decir, una reflexión destinada a cuestionarse la manera ha-

bitual de enseñar la resolución de problemas, sin aceptar nada como evidente- puede conducir a conclusiones similares sobre la naturaleza de la resolución de problemas como actividad de investigación. Se trata, en definitiva, de mostrar que esta orientación es, en cualquier caso, objetiva (puede ser reconstruída por grupos diferentes) y no es solamente el fruto de ideas particulares de algunos individuos.

- En último lugar, se debe constatar en los alumnos y también en los profesores, un cambio notablemente positivo en su actitud hacia la resolución de problemas.

En este artículo intentaremos mostrar la coherencia del modelo de resolución de problemas como actividad de investigación con los desarrollos recientes del constructivismo en el aprendizaje de las ciencias, su capacidad de integrar las aportaciones parciales recogidas en la literatura y sus posibilidades de interpretación de las dificultades de los alumnos cuando siguen las orientaciones habituales. Nos centraremos, pues, en la primera de las vías ya indicadas para testar la validez del modelo y nos referiremos, más brevemente, a los otros aspectos, desarrollados más ampliamente en otros trabajos (Caillot y Dumas-Carre, 1987; Gil, Martínez-Torregrosa y Senent, 1988; Garret, Gil, Martínez-Torregrosa y Satterly, 1988).

La resolución de problemas como actividad de investigación

Como hemos señalado en el párrafo anterior, la validez de un modelo como el que proponemos exige, entre otras cosas, que sea capaz de integrar de manera coherente aportaciones parciales, fruto de la experiencia o de diferentes estudios. Debería también poder explicar por qué ciertas orientaciones suministradas a los alumnos no son seguidas, en general, con aprovechamiento. Y también

debería mostrarse coherente con los logros mejor establecidos referentes al aprendizaje de las ciencias. Es lo que intentaremos probar, al mismo tiempo que desarrollaremos y profundizaremos el modelo de resolución de problemas como actividad de investigación. Antes señalaremos que esta orientación ha sido alguna vez enunciada más o menos explícitamente en el contexto diferente del aprendizaje por resolución de problemas (Birch, 1986). Pero, es necesario añadir que no se han realizado apenas avances en esta dirección: «A pesar de las referencias continuas a la metodología científica por los profesores de ciencias, muy poco en la práctica habitual refleja de manera adecuada esta orientación» (Glaser, 1982). Esto es especialmente cierto en lo que se refiere a la resolución de problemas. En efecto, lo más a menudo es encarar la resolución de problemas como un proceso absoluto y explícitamente dirigido a *reconocer* el problema como una situación "estándar"; es decir, como un problema o a transformar el problema en situaciones estándar no problemáticas (Mettes et al., 1980).

Intentaremos pues, ahora, precisar nuestro modelo de resolución de problemas como actividad de investigación, mostrando las diferentes aportaciones que consolidan el modelo y se integran en él de manera coherente.

Contra la toma en consideración de los datos como punto de partida

Como ya hemos indicado apoyándonos en Hempel (1976), los conocimientos no se construyen aplicando un proceso de inferencia inductiva a partir de datos recogidos con anterioridad. Más bien al contrario, la búsqueda de los datos pertinentes se realiza a la luz de las hipótesis emitidas, que son, así, las que nos orientarán a la investigación. De es-

ta forma, el hecho de encontrar los datos como punto de partida en la casi totalidad de los enunciados no puede interpretarse de otra forma que como la evidencia de una orientación empirista que se encuentra en las antípodas de lo que significa una investigación, es decir una verdadera resolución de problemas. Es necesario señalar que la mayor parte de los modelos de resolución de problemas propuestos insisten en tomar los datos como punto de partida (Wilkengren, 1974; Polya, 1975; Larkin y Reif, 1979; Mettes et al., 1980; Reif, 1983; Jansweiger, Elshout y Wielinger, 1987) a pesar de la constatación realizada de las dificultades de los alumnos para reconocer dicha información. Sin embargo, esta dificultad no debe sorprender, ya que la búsqueda de los datos sólo tiene sentido a la luz de una visión cualitativa y de una cierta profundidad de la situación, así como a hipótesis precisas. Esta insistencia a propósito de los datos como punto de partida aparece así como un ejemplo de la dificultad para romper con la costumbre, incluso cuando ésta constituye un obstáculo para el conocimiento. Es necesario indicar, además, que se ha señalado muchas veces en la literatura el peligro de empezar tomando en cuenta los datos.

Se pueden citar al respecto las experiencias realizadas en las que se ha introducido un exceso de datos en el enunciado, que son utilizados de manera no-significativa (Selvaratnman, 1983) e incluso absurda (Brissiaud, 1987). Extrayendo conclusiones de sus investigaciones Selvaratnman escribe: «Este ejemplo..... sugiere que, en lugar de centrarse primeramente sobre lo que es necesario para clarificar el problema, muchos estudiantes intentan manipular los datos y las ecuaciones con las que están familiarizados..... Si se empieza por los datos, el peligro de ir en una dirección equivocada es mayor» (Selvaratnman, 1983). Gilbert (1980) se refiere también a que si la información necesaria se da en el

enunciado, los estudiantes no se preguntarán que es lo que precisan para resolver el problema. A pesar de esto, esos mismos autores insisten así mismo en la necesidad de comenzar identificando «toda la información contenida en el enunciado» (Selvaratnam, 1983) y de «mirar muy atentamente los datos» (Gilbert, 1980). Parece evidente, pues, que no es suficiente con darse cuenta de las dificultades e incluso del peligro que se corre al considerar los datos como punto de partida, ya que la costumbre hace ver la presencia de los datos en el enunciado como inevitable. Será necesario, por lo tanto, crear las condiciones para una "reflexión descondicionada" en la que esta "inevitabilidad" sea puesta en entredicho. Ya hemos ensayado esto con profesores españoles (Gil, Martínez-Torregrosa y Senent, 1988), ingleses (Garrett, Gil y Martínez-Torregrosa y Satterly, 1988) y franceses, proponiendo sucesivamente estas cuestiones:

1 - ¿Qué entender por problema?

2 - ¿Cómo enfocar la resolución de un verdadero problema?

3 - ¿Qué es lo que en los enunciados habituales dificulta un tratamiento científico de la resolución de problemas y, en particular, quita todo sentido a la formulación de hipótesis?

En todos los casos, los grupos de profesores implicados han coincidido en:

- concebir los problemas como situaciones que, de entrada, no se saben resolver

- proponer para su resolución un enfoque similar al de un proceso de investigación y

- comprender la incoherencia -fruto de un inductivismo extremo- de la utilización de los datos como punto de partida.

Resulta particularmente destacable el hecho de que grupos diferentes de profesores con experiencias y antecedentes muy diferentes, han señalado todos ellos lo absurdo de partir de datos sin una comprensión profunda previa de la situación problemática estudiada. Esta crítica constituye, desde nuestro

punto de vista, un paso esencial para desbloquear la enseñanza habitual de los problemas y sus limitaciones. Pero, al mismo tiempo, genera también una cierta inquietud ya que cuestiona muy profundamente lo que siempre se ha hecho. Los profesores manifiestan entonces su temor de que al eliminar los datos, los enunciados se tornen muy ambiguos y que los alumnos se sientan perdidos. Pero, ¿no es la ambigüedad una de las características esenciales de las situaciones verdaderamente problemáticas? ¿no es uno de los aspectos esenciales de la metodología científica el de concretar las situaciones abiertas y concebir las simplificaciones necesarias?

El temor a no poder "traducir" los enunciados habituales eliminando los datos es también fácilmente superado y los profesores constatan que la traducción puede hacerse sin dificultades. Así, un enunciado como este:

Una barca atraviesa un río de 60 m de ancho con una velocidad constante de 8 m/s que forma un ángulo de 60° con la orilla (en el sentido de la corriente). Si la velocidad de la corriente es constante de 2 m/s, ¿Cuál será la deriva de la barca? se traduce así, suprimiendo todos los datos, numéricos o no:

Una barca deja la orilla para atravesar un río. ¿A qué punto de la otra orilla llegará?

Y, por mencionar otro ejemplo, el siguiente enunciado:

Sobre un móvil de 5000 kg que se desplaza con una velocidad de 20 m/s actúa una fuerza de rozamiento de 10.000 N. ¿Cuál será su velocidad 75 m después de que haya comenzado a frenar? puede traducirse por :

Un conductor empieza a frenar al ver el disco rojo. ¿Qué velocidad tendrá el coche cuando llegue al semáforo? o bien:

¿Se estrellará el tren contra la roca?

De hecho, la traducción de los problemas habituales no plantea dificultades a los profesores (Gil y Martínez-Torregrosa, 1987) y se da así un primer paso muy importante de

cara a transformar la resolución de problemas en actividad de investigación. Se puede proponer, de este modo, a los alumnos enunciados que hacen absolutamente imposible un tratamiento puramente operativo y que *obligan* a una metodología significativamente cercana al trabajo científico. Conviene precisar que es la orientación didáctica lo que se cuestiona y no los enunciados en sí mismos: modificar los enunciados ayuda en una primera fase a romper los hábitos, pero, una vez adquirida la nueva orientación, se puede volver a los enunciados tradicionales.

De una situación problemática a un problema concreto

Casi todos los autores están de acuerdo en atribuir gran importancia a comenzar con un planteamiento cualitativo previo a la realización de cualquier cálculo. Las investigaciones efectuadas sobre las diferencias entre "expertos" y "novatos" muestran clarísimamente que los expertos, efectivamente, realizan este análisis cualitativo, mientras que los alumnos, en general, no lo hacen. Larkin y Reif (1979) atribuyen este comportamiento de los estudiantes a la importancia excesiva que se asigna a las formulaciones matemáticas en la enseñanza habitual de las ciencias, lo que puede hacer creer a los alumnos que la utilización de descripciones vagas es inadecuada e incluso ilegítima dentro de un contexto científico. Y añaden: «Como demuestra nuestro estudio, ¡Esto está muy lejos de ser verdad! Estas descripciones verbales o gráficas son corrientemente utilizadas por los expertos, siendo las herramientas más poderosas para poder tomar las decisiones cruciales que la resolución de un problema exige al comienzo». Por otra parte, es evidente que un abordaje cualitativo inicial es una característica esencial de la metodología científica aplicada a la resolución de un verdadero pro-

blema. Como decía Einstein: «Ningún científico piensa con fórmulas. Antes de que el físico empiece a calcular, debe tener en su cerebro el desarrollo de sus razonamientos. Estos últimos, en la mayor parte de los casos, deberían poder ser explicados con palabras sencillas. Los cálculos y las fórmulas vienen después».

Cuando se habla de análisis cualitativo, se trata, no solamente de hacerse una idea de la situación -cosa absolutamente necesaria-, 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). La importancia de estos aspectos es subrayada por numerosos autores (Gilbert, 1980; Reif, 1983; Birch, 1986; Dumas-Carre, 1987). Así, se hacen llamamientos a la construcción de esquemas (Mettes et al., 1980; Gilbert, 1980; Reif, 1983; Caillot y Dumas-Carre, 1987). Así, se señala la importancia de las condiciones ambientales y los peligros de, por ejemplo, olvidar objetos o interacciones, modificaciones de la situación a lo largo del tiempo, etc.. Caillot y Dumas-Carre (1987) han construido herramientas precisas para ayudar en esta fase, poniendo el acento sobre las tomas de decisión. Gilbert (1980) remarca la importancia del debate colectivo para establecer la naturaleza del problema y las características del objetivo buscado, lo que constituye, sin duda, otra de las características de la investigación científica. De hecho, la concepción de la resolución de problemas como actividad de investigación da perfectamente cuenta de los aspectos clave de esta aproximación cualitativa inicial, necesaria para pasar de una situación problemática abierta a un problema concreto. Añadamos que el hecho de eliminar los datos -cualitativos o no- del enunciado *obliga* a realizar esta aproximación, a tomar decisiones, a modelizar la situación y a concretizarla, sin posibilidad de pasar directamente a tratamientos

operativos.....para los cuales los alumnos no disponen de datos. Queda, evidentemente, por ver si ahora los alumnos pueden realizar eficazmente este planteamiento cualitativo. Los estudios efectuados hasta el momento (Gil, Martínez-Torregrosa y Senent, 1988) indican que, en efecto, los alumnos lo hacen cuando se han eliminado los datos. Más aún: una vez roto el hábito operativista, los alumnos realizan dicho análisis cualitativo, incluso al encontrarse con enunciados tradicionales con datos (de los que no hacen uso inicialmente).

Es necesario también señalar que a todo lo largo de este proceso inicial, los alumnos empiezan a explicitar conjeturas más o menos nebulosas que darán lugar, posteriormente, a hipótesis más precisas. Nos ocuparemos ahora de esta construcción de hipótesis.

El papel de la construcción de hipótesis en la resolución de problemas

Ya hemos hecho referencia al consenso general de los epistemólogos sobre el papel central de la hipótesis en el tratamiento de verdaderos problemas. En cierta medida, se puede decir que el sentido de la orientación científica -dejando de lado toda idea de "método" -se encuentra en el cambio de un razonamiento basado en "evidencias" -un razonamiento que se siente "seguro" -a un razonamiento en términos de hipótesis, a la vez más imaginativo (es necesario ir más allá de lo que parece evidente, a imaginar nuevas posibilidades) y riguroso (es necesario fundamentar y después someter a prueba cuidadosamente las hipótesis, dudar del resultado, buscar la coherencia global). Así, son las hipótesis las que focalizan y orientan la resolución, las que indican los parámetros a tener en cuenta (los datos a buscar). Son las hipótesis las que focalizan y orientan la resolución, las que indi-

can los parámetros a tener en cuenta (los datos a buscar). Son las hipótesis -y la totalidad del corpus del conocimientos en que se basan- las que permitirán analizar los resultados y todo el proceso y, eventualmente, recomenzar. En definitiva, sin hipótesis la investigación no puede ser sino puro azar, deja de ser una investigación científica.

Podríamos pensar que, hoy en día, es inútil insistir en estas ideas tan conocidas. Desgraciadamente, en la enseñanza de las ciencias es necesario reconocer que el papel de las hipótesis no se toma suficientemente en consideración, y lo más común es que no se coloque jamás a los alumnos en situación de formular hipótesis. Sin duda, esto responde al hecho de que el paradigma dominante en la enseñanza/aprendizaje de las ciencias es el de la simple transmisión/recepción de conocimientos previamente elaborados (Gil, 1983; Millar y Driver, 1987). Pero incluso, cuando se intenta dar una orientación más "activa" al aprendizaje, no se encuentran tampoco actividades de emisión de hipótesis. Resulta interesante a este respecto tener en cuenta lo que Martín (1982) dice a propósito de los "Mitos de la educación cognitiva": «En el campo de la educación cognitiva hemos padecido, al menos, dos mitos. El primero ha sido que, para aquellos que aprenden a resolver problemas, el acento curricular debería centrarse exclusivamente sobre saberes elementales excluyendo la posibilidad, para los alumnos, de desarrollar de una manera regular, los de alto nivel... El segundo mito ha sido que una efectiva intervención para conseguir el desarrollo cognitivo básico debería tener lugar muy pronto, en todo caso, antes de la adolescencia». Estos mitos aceptados de forma más o menos consciente por los enseñantes han sido verdaderas barreras que han impedido, por ejemplo, todo recurso a una actividad tal como la formulación de hipótesis.

De hecho, los estudios que hemos realiza-

do demuestran la capacidad de los alumnos para emitir hipótesis fundadas (Gil, Martínez-Torregrosa y Senent, 1988) y para desarrollar otras actividades de las llamadas de alto nivel, como la toma de decisiones (Caillot y Dumas-Carre, 1987). Precisamente, los problemas sin datos en el enunciado, obligan a los alumnos a pensar en términos de hipótesis, a imaginar cuáles deben ser los parámetros pertinentes y la forma en la que intervienen. Por ejemplo, en un problema como «Un conductor empieza a frenar al ver el disco rojo. ¿Qué velocidad llevará el coche cuando llegue al semáforo?» los alumnos no se limitan a señalar la influencia de, por ejemplo, la fuerza de frenado; son también perfectamente capaces de concebir la forma en la que la fuerza interviene y de considerar casos límites y situaciones especiales con un claro sentido físico (como, por ejemplo, el hecho de que si esta fuerza fuera nula, la velocidad mantendría su valor inicial). De este modo los alumnos, al imaginar y desarrollar hipótesis, profundizan su visión física, cualitativa, de la situación.

Esta emisión y profundización de las hipótesis -teniendo en cuenta las situaciones especiales- integra de forma coherente propuestas, a menudo expresadas en los diferentes modelos, sobre el interés de que los alumnos hagan estimaciones a propósito de la respuesta, consideren casos límite, etc. (Mettes et al., 1980; Reif, 1983; Birch, 1983; Caillot y Dumas-Carre, 1987), como un medio para facilitar el análisis de los resultados, lo que constituye, efectivamente, uno de los objetivos de las hipótesis.

Es cierto también que a veces, incluso muy a menudo, los alumnos introducen ideas "erróneas" cuando formulan hipótesis. Por ejemplo, cuando se pide cuál será la altura máxima a la que llegará una piedra lanzada hacia arriba, muchos alumnos piensan en la masa del objeto como una variable pertinente. Pero ésto, lejos de ser algo negativo, cons-

tituye, quizás la manera más eficaz de sacar a la luz las preconcepciones de los alumnos. Y es necesario insistir en que -como una abundante investigación ha evidenciado (Viennot, 1976; Posner et al., 1982; Driver y Oldham, 1986)- el aprendizaje como cambio conceptual a partir de las ideas intuitivas de los alumnos, que han de ser valoradas... y contrastadas. Precisamente, la falsación de las hipótesis que resulta de la resolución del problema se convierte en un conflicto cognitivo (Nussbaum y Novick, 1980; Kavanaugh y Moomaw, 1981; Clement, 1982; Gilbert et al., 1982) y, por tanto, en una herramienta de cambio conceptual.

Cada vez que los alumnos resuelven un problema sobre la caída de graves, sus preconcepciones pueden reaparecer y cada caso se convierte en una ocasión para reforzar el cambio conceptual. Por el contrario, la resolución de decenas de ejercicios habituales sobre este mismo tema no impide que un importante porcentaje de alumnos continúe considerando como "evidente" que un cuerpo de masa doble caiga en la mitad de tiempo. Esto no es excesivamente sorprendente porque la resolución de un problema tradicional no hace uso de las ideas de los alumnos: se trata simplemente de tener en cuenta los "datos" y las fórmulas correspondientes (en las que la masa no figura). De esta manera, la resolución de problemas recoge una de las ideas clave en la enseñanza de las ciencias, la de cambio conceptual, lo que sin duda otorga al modelo que proponemos mayor validez. Conviene insistir, a este respecto, en que uno de los defectos más graves de las investigaciones sobre resolución de problemas y los modelos que se derivan es, precisamente, un tratamiento aislado que ignora aspectos fundamentales del aprendizaje.

Vamos ahora a ocuparnos de la elaboración de estrategias de resolución que, en nuestra concepción de los problemas como actividad de investigación, están directamen-

te relacionadas con la contrastación de las hipótesis.

Las estrategias de resolución como tentativas

Si el corpus de conocimientos del que se dispone -incluyendo en él las preconcepciones más o menos implícitas- juega, como hemos visto, un papel importante en los procesos de resolución, desde la representación inicial del problema y la manera de modelizar la situación, hasta en las hipótesis que se avanzan, es sin duda en la búsqueda de caminos de resolución donde su papel resulta más evidente. En efecto, los problemas de lápiz y papel son situaciones que se abordan disponiendo ya de un corpus de conocimientos suficientemente elaborado para permitir la resolución: su estatus en los libros de texto es el de problemas "de aplicación". Son, en efecto, situaciones que se pueden resolver con los conocimientos ya elaborados, sin que haya necesidad de nuevas verificaciones experimentales, pero sin ser, por otra parte, simples ejercicios de repetición.

Es por tanto lógico que, en la literatura sobre resolución de problemas de lápiz y papel, se de mucha importancia a un buen conocimiento teórico, entendiendo por esto «la integración de los diferentes principios en un método coherente. útil para la resolución de los problemas más diversos» (Larkin y Reif, 1979). Esta preocupación por la coherencia, por una visión global, es, sin duda, fundamental en las construcciones científicas. Sin embargo, esta exigencia de conocimientos teóricos da lugar en ocasiones a aproximaciones demasiado particulares que se traducen en la utilización de un número excesivo de fórmulas, cada una de las cuales presenta un dominio de aplicación muy restringido. Selvaratnam (1983) insiste en el hecho de que la cantidad de principios de los que verdaderamen-

te se tiene necesidad para estudiar la mayor parte de los cursos científicos es muy reducido. Es la tendencia a considerar la resolución de problemas como el "reconocimiento" de algunas situaciones-tipo, lo que lleva a retener en la memoria ecuaciones particulares, que la embotan más de lo necesario.

Por otra parte, si el número de principios a utilizar es relativamente pequeño, el dilema para elegir el principio a aplicar no será una de las mayores dificultades, como a menudo se considera. Una vez más, la cuestión no es "reconocer": las estrategias de resolución no derivan automáticamente de los principios, que lo único que hacen es enmarcar y delimitar lo que es posible hacer; no basta con recordarlos; las estrategias de resolución son también construcciones tentativas -que parten del planteamiento cualitativo realizado, de las hipótesis formuladas y de los conocimientos que se poseen del dominio particular- pero que exigen imaginación y ensayos. Las estrategias de resolución son, en cierta medida, el equivalente a los diseños experimentales en los problemas que exigen una contrastación experimental y se les ha de encarar como una tarea abierta. Desde este punto de vista, las recomendaciones realizadas habitualmente por los expertos para elaborar planes de resolución, encuentran todo su sentido: ya sea el interés de lo que Larkin y Reif (1979) llaman "un proceso de refinamiento sucesivo", o bien la idea de descomponer los problemas en sub-problemas (Gilbert, 1980; Mettes et al., 1980; Reif, 1983; Caillet y Dumas-Carre, 1987).

Precisamente, porque la construcción de un plan de resolución no se puede algoritmizar, es por lo que conviene "dejar reposar" los problemas un cierto tiempo (Mettes et al., 1980); los problemas difíciles no pueden resolverse, en general, de una vez. Y es también a consecuencia de su naturaleza tentativa, que resulta útil buscar varios caminos de resolución, lo que, además de facilitar la verifi-

cación de los resultados, contribuir a mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos. Como Gilbert (1980) señala: «El hecho de buscar un nuevo camino de resolución facilita una mejor comprensión de los conceptos que se ponen en juego en el problema».

Una vez más se constata que las propuestas y sugerencias realizadas por los expertos y los investigadores en resolución de problemas, encajan perfectamente dentro de la orientación de la resolución de problemas como actividad de investigación. Es necesario añadir, antes de ocuparnos del aspecto esencial del análisis de los resultados, que la planificación de las estrategias de resolución está dirigida a evitar una actividad próxima al simple "ensayo y error". Sin embargo, no es tampoco cuestión de imponer un proceso rígido: los alumnos (y los científicos) conciben las estrategias de resolución a medida que avanzan, no estando exentos de tener que volver atrás o buscar otro camino. En todo caso, es necesario que la resolución esté fundamentada y claramente explicada (Reif, 1983) -previamente o a medida que se avanza- lo que exige, evidentemente, verbalización y se aleja de los tratamientos puramente operativos, sin ninguna explicación, que se encuentran tan a menudo, incluso en los libros de texto (Gil y Martínez-Torregrosa, 1984). Ello exige también una resolución literal hasta el final (Mettes et al., 1980), lo que permite que el tratamiento se mantenga próximo a los principios manejados y facilitará, además, el análisis de los resultados. Como indican Jansweijer et al. (1987) «Cuando la tarea es un verdadero problema, las dificultades y las revisiones son inevitables» y ello se ve facilitado, sin duda, por una resolución literal en la que los factores considerados como pertinentes aparecen explícitamente y se pueden reconocer los principios aplicados, lo que no ocurre, obviamente, en el caso de una resolución puramente numérica.

El análisis de los resultados

Es evidente que el análisis de los resultados constituye un aspecto esencial en el abordaje de un verdadero problema. No se trata simplemente de descubrir los errores, de ver si «todos los signos, magnitudes... se han tenido en cuenta» (Mettes et al., 1980), sino sobre todo, de verificar la validez del resultado con relación a las hipótesis emitidas y al corpus de conocimientos. Desde este punto de vista se entienden mejor propuestas como la que Reif (1983) llama "verificación de la consistencia interna":

- «¿Es razonable el valor de la respuesta?
- ¿Depende la respuesta, de una forma cualitativa, de los parámetros del problema en el sentido que cabría esperar?
- ¿Se ajusta la respuesta a lo que se podría esperar en situaciones sencillas y especiales (por ejemplo, las correspondientes a valores extremos de las variables)?
- ¿Se obtiene la misma respuesta por otro medio diferente de resolución?» (Reif, 1983).

Es importante constatar hasta que punto el proceso del análisis de resultados preconizado por Reif en el texto precedente se ajusta a una verificación de las hipótesis, avanzadas al principio de la resolución para orientarla y para considerar los datos necesarios - las variables pertinentes- en lugar de pedir que se reconozcan en el enunciado como punto de partida. Cabe preguntarse, una vez más, por qué este paso lógico y aparentemente tan sencillo no lo han dado ni Reif ni otros autores que, como él, otorgan una importancia decisiva al análisis de los resultados y de los procesos de resolución (Mettes et al., 1980; Jansweijer, 1987). En nuestra opinión, la razón de ello estribaría en el hecho de aceptar, sin cuestionarlo, el tipo habitual de enunciado y la orientación didáctica asociada al mismo, consistente en "desproblemati-

zar" los problemas. En efecto, la práctica habitual de los enseñantes y de los textos es no detenerse en realizar este análisis de los resultados (Gil y Martínez-Torregrosa, 1984): puesto que el profesor intenta explicar "claramente" lo que se debe hacer, y él no tiene ninguna duda, no hace falta verificar los resultados. Resulta, pues, absolutamente necesario que los profesores entiendan que su labor no es la de explicar la solución, sino la de ayudar a los alumnos a enfrentarse a situaciones desconocidas, de enseñarles a plantearse verdaderos problemas. En esta perspectiva, el análisis de los resultados adquiere toda su importancia y, como afirma Birch (1986) «la conclusión podrá ser, evidentemente, la necesidad de una revisión que llegue a la completa redefinición de los problemas... o llegar a una solución correcta.... En los dos casos, el estudiante habrá ejercitado su imaginación dentro de un marco teórico riguroso y habrá aumentado de forma significativa sus conocimientos utilizables y su *savoir-faire* conceptual y metodológico».

Querriamos añadir a estas palabras -que indican muy claramente la importancia del análisis de los resultados en el proceso de resolución- que, de la misma manera que ocurre en una verdadera investigación, los resultados pueden ser también aquí origen de nuevos problemas. Sería necesario que los alumnos llegasen a considerar este aspecto como una de las derivaciones más interesantes de la resolución de problemas, poniendo en juego de nuevo su creatividad.

A modo de conclusión: la resolución de problemas como instrumento de cambio conceptual y metodológico

La resolución de problemas de lápiz y papel mantiene actualmente un estatus particularmente complejo dentro de la enseñanza/aprendizaje de las disciplinas científicas,

concretamente de la física y la química. Por un lado, se la considera un instrumento esencial de evaluación, y aunque este aspecto no ha recibido toda la atención que se merece por parte de la investigación didáctica (Dumas-Carre, 1987), esto le otorga una importancia incuestionable, al menos en la práctica.

Por otro lado, el valor de esta actividad como medio de aprendizaje es señalado por casi todos los investigadores que se ocupan de su estudio (ver la introducción). Sin embargo, existe evidencia experimental de que la resolución se traduce -incluso en los enseñantes y libros de texto (Gil y Martínez-Torregrosa, 1984)- en un tratamiento puramente operativo que difícilmente puede contribuir a un aprendizaje significativo y a un porcentaje de éxitos elevado. Además, tanto los alumnos como los enseñantes en ejercicio, manifiestan opiniones muy negativas respecto a esta actividad tal y como se practica habitualmente (Gil, Martínez-Torregrosa y Senent, 1988; Garret, Gil, Martínez-Torregrosa y Satterly, 1988).

Considerando esta situación, nuestro estudio ha intentado fundamentar teóricamente una nueva aproximación a la resolución de problemas, coherente con la naturaleza de los problemas como situaciones para las que de entrada no se conoce una solución evidente. El desarrollo realizado en los párrafos anteriores nos ha permitido mostrar que la orientación de la resolución de problemas como actividad de investigación puede integrar, de forma coherente, las aportaciones parciales contenidas en la literatura. Particularmente importante ha sido volver a encontrar en este campo de la resolución de problemas algunas de las adquisiciones-claves de la investigación didáctica sobre el aprendizaje de las ciencias y, en concreto, la idea de cambio conceptual, es decir, de la importancia de tener en cuenta las preconcepciones de los alumnos facilitando su explicita-

ción y creando las condiciones de conflicto cognitivo, necesarias para conseguir un cambio conceptual efectivo. Es aquí, sin duda alguna, donde la emisión de hipótesis y su validación juegan un papel importantísimo.

Querriamos ahora, para terminar esta revisión crítica de la resolución de problemas, insistir en el papel que los problemas de lápiz y papel pueden jugar en el modelo de aprendizaje como cambio conceptual, dentro de la óptica constructivista- de construcción del conocimiento por los alumnos (Driver, 1986; Driver y Oldham, 1986) -que se opone a la simple transmisión de los conocimientos ya elaborados. Como ya hemos intentado mostrar en otro lugar (Gil y Carrascosa, 1985), el cambio conceptual no tiene lugar si no se acompaña de un profundo cambio metodológico en la forma de abordar las cuestiones, es decir, un cambio metodológico de características similares, en cierta medida, al que históricamente se corresponde con la introducción de la metodología científica y que hizo posible la sustitución del paradigma escolástico o física del sentido común- por la física clásica. Este cambio metodológico implica, fundamentalmente, la desaparición de la confianza en las "evidencias del sentido común" (Gil y Carrascosa, 1985; Hashweh, 1986) y la introducción de un pensamiento más creativo y riguroso. Se trata de un cambio nada fácil -no lo fue históricamente- que exige poner de manera continuada a los estudiantes en situación de plantearse problemas en un contexto teórico dado, de formular hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos disponible, etc. Es cierto que estos objetivos exigen que los estudiantes tengan la ocasión de enfrentarse a problemas de tipo experimental, pero su número no puede ser demasiado elevado, incluso en un contexto de currículos no enciclopédicos -mientras que los problemas de lápiz y papel pueden convertirse más fácilmente en ocasión repetida de tratamientos científicos, con excep-

ción de la contrastación experimental, reemplazada aquí por la investigación de las coherencias con el cuerpo de conocimientos establecido.

No se trata, evidentemente, de eliminar la investigación experimental en la enseñanza de las ciencias, sino de ampliar las ocasiones de tratamientos científicos. Ello puede contribuir, además, a romper con una visión demasiado inductivista que asocia la metodología científica exclusivamente con experimentación. Es necesario evitar visiones tan simplistas e insistir en la importancia de la coherencia global de los conocimientos; los problemas de lápiz y papel pueden poner de relieve más fácilmente este aspecto. Hay que tener en cuenta también las críticas que ven en esta orientación de la resolución de problemas, una importancia excesiva de la metodología científica, como si el objetivo de la enseñanza se centrara en la familiarización de los alumnos con esta metodología y no en la adquisición de conocimientos. De ninguna manera se trata de hacer de los "procesos científicos" el objetivo de la enseñanza de las ciencias en detrimento de los conocimientos, como a menudo se ha preconizado; Millar y Driver (1987) ya han evidenciado las insuficiencias de esta orientación. Pero, incluso si el objetivo fundamental continúa siendo el de hacer adquirir conocimientos de forma significativa -que tengan sentido para quien aprende- ello exige la participación de los estudiantes en la construcción de los conocimientos (Novak, 1988) en una óptica de cambio conceptual (Posner et al., 1982) y metodológico (Gil y Carrascosa, 1985; Hashweh, 1986). De esta forma, la adquisición de conocimientos y la familiarización con la metodología científica se convierten en objetivos inseparables, y la resolución de problemas de lápiz y papel aparece como una herramienta esencial para un aprendizaje eficaz, al lado de los problemas experimentales y de las actividades de introducción de conceptos.

REFERENCIAS

- BIRCH, W. (1986). Towards a model for problem-based learning, *Studies in higher education*, 11 (51): 73-83.
- BODNER, G. M. and McMILLAN, T. L. (1986). Cognitive restructuring as an early stage in problem solving, *Journal of Research in Science teaching*, 23 (8): 727-737.
- BRISSIAUD, R. (1987). Quel contrôle de la validité d'un énoncé de problème chez des élèves de cours élémentaire deuxième année, *Rapports de recherches*, (12): 199-244, Paris: INPR editors.
- CAILLOT, M. et DUMAS-CARRE, A. (1987). PROFHY: Un enseignement d'une méthodologie de résolution de problèmes de Physique, dans *Résolution de problèmes en mathématiques et en physique*, *Rapports de recherches*, (12): 199-244, Paris: INPR editors.
- CHALMERS, R. F. (1984). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Siglo XXI. Madrid.
- CHI, M. T. H., GLASER, R. and REES, E. (1982). Expertise in problem solving, In R. Sternberg editor *Advances in psychology of human intelligence*, 5 vol (1): 7-75. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- CLEMENT, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, vol 50: 66-71.
- DRIVER, R. y OLDFHAM, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science, *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- DUMAS-CARRE, A. (1987). *La résolution de problèmes en Physique au Lycée*, Thèse d'état soutenue à l'Université Paris 7.
- ELSHOUT, J. J. (1985). Problem solving and education, state of the art paper, *Earli conference Lewen June*, 1985.
- FAYERABEND, P.K. (1979). *Contre la méthode, esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*, Paris: Seuil.
- FINEGOLD, M. and MASS, R. (1985). Differences in the processes of solving physics problems between good physics problem solvers and poor physics problem solvers, *Technological Education*, 3, (1): 59-67.
- FREDERICKSEN, N. (1984). Implications of cognitive theory for instruction in problem solving, *Review of Educational Research*, 54, (3): 363-407.
- GABEL, D., SAMUEL, K.V., HELGESON, S., MCGUIRES, S., NOVAK, J. and BUTZON, J. (1987). Science education research, interests of elementary teachers, *Journal of Research in Science Teaching*, 24, (7): 659-677.
- GARRETT, R.M. (1986). Problem-solving and creativity in Science Education, *Studies in Science Education*, 13, 70-95.
- GARRETT, R.M. (1987). Issues in science education: problem solving, creativity and originality, *International Journal of Science Education*, 9, (2) 125-137.
- GARRETT, R.M., GIL, D., MARTINEZ-TORREGROSA, J. and SATTERLY, D. (1988). Turning exercises into problems; an experimental study with teachers in training, *Internacional Journal of Science Education*, (pendiente de publicación)
- GIL, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 1, 26-33.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change, *European Journal of Science Education*, 7, (3): 231-236.
- GIL, D. y Martínez-Torregrosa, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology, *European Journal of Science Education*. 5 (4): 447-455.
- GIL, D. and MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1984). Problem solving in Physics: a critical analysis, In *Research on Physics Education*, Paris: CNRS editors.
- GIL, D. y MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1987). *La resolución de problemas de Física*, Madrid: M.E.C.-Vicens Vives.
- GIL, D., MARTINEZ-TORREGROSA, J. y SENENT, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de Física: una investigación orientada por nuevos supuestos, *Enseñanza de las ciencias*, 6, (2): 131-146.
- GILBERT, G.L. (1980). How do I get the answer, *Journal of Chemical Education*, 57, 79-81.
- GILBERT, J.K., MICHAEL, D., WATTS, M. and OSBORNE, R.J. (1982). Students' conception of ideas in mechanics, *Physics Education*, 12, 62-66.
- GIORDAN, A. (1978). Observation-experimentation: Mais comment les élèves apprennent-ils?, *Rev Fran Péd*, 44, 66-73.
- GREENO, J.G. (1976). Cognitive objectives of instruction: Theory of Knowledge for solving problems and answering questions, In *Cognition and instruction*, NJ: Wiley and Sons editors.
- HASHWEH, M.Z. (1986). Towards an explanation of conceptual change, *European Journal of Science Education*, 8, (3): 229-249.

- HAYES, J. R. (1981). *The complete problem solver*, Philadelphia, The Franklin Institute Press.
- HELLER, J. and REIF, F. (1984). Prescribing effective human problem solving processes: Problem description in Physics, *Cognition and Instruction*, 1, (2): 177-276.
- HEMPEL, C. G. (1966). *Philosophy of natural sciences*. NJ: Prentice-Hall, Inc.
- HEWSON, P. W. and HEWSON, M. G. (1987). Science teachers' conception of teaching: Implications for teacher education, *Int. J. Sci. Educ.*, 9, (4): 425-440.
- HODSON, D. (1985). Philosophy of science, science and science education, *Studies in Science Education*, 12, 25-57.
- HUDGINS, B.B. (1966). *Como enseñar a resolver problemas en el aula*. Paidós. Buenos Aires.
- HANSWEIJER, W. ELSHOUT, J. and WIELINGER, B. (1987). Modeling the genuine beginner; on the multiplicity of learning to solve problems, *Earli conference Tubingen*, September 1987.
- KAVANAUGH, R.D., and MOOMAW, W.R. (1981). Inducing formal thought in introductory Chemistry students, *Chemical Education*, 58, 263-265.
- KRULIK, S. and RUDNIK, K. (1960). Problem solving in school mathematics, *National council of teachers of mathematics; Year Book*, Reston: Virginia.
- LARKIN, J. (1979). Processing information for effective problem solving, *Engineering Education*, December 1979, 285-288.
- LARKIN, J. (1981). Enriching formal knowledge: A model for learning to solve textbook physics problems, In J. Anderson editor *Cognitive skills and their acquisition*, 311-334. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- LARKIN, J. y REIF, F. (1979). Understanding and teaching problem-solving in physics, *European Journal of Science Education*, 1, (2): 191-203.
- LARKIN, J., McDERMOTT, J. SIMON, D.P. and SIMON, H.A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems, *Science*, 208, 1335-1342.
- MILLAR, R. and DRIVER, R. (1987). Beyond processes, *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- MARTIN, D. (1982). The "new" thinking skills programs: questions and answers, *Problem solving News Letter*, 4, (11): 1-3.
- METTES, C.T.C.W., PILOT, A. ROOSINK, J.H. and KRAMERS-PALS, H. (1980). Teaching and learning problem solving in science. Part I: A general strategy, *Journal of Chemical Education*. 57, 882-885.
- METTES, C.T.C.W., PILOT, A. ROOSINK, J.H. and KRAMERS-PALS, H. (1981). Teaching and learning problem solving in science. Part II: Learning Problem Solving in a thermodynamics course, *Journal of Chemical Education*, 58, 51-55.
- NOVAK, J.D. (1987). Human constructivism: towards a unity of psychological and epistemological meaning making. *Proceeding of the second international seminar on misconceptions and education*.
- NOVAK, J. D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente, *Enseñanza de las Ciencias*, 6, (3).
- NUSSBAUM, J. and NOVICK, S. (1980). *Brainstorming in classroom to invent a model: A case study*, Jerusalem: Israel Science Teaching Center, The Hebrew University.
- POLYA, G. (1975). *How to solve it?*, NY: Princeton University Press.
- POLYA, G. (1980). On solving mathematical problems in high school. In S. Krulik and R.E. Reys editors *Problem solving in school mathematics*, Reston: Virginia.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. and GERTZOG, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change, *Science Education*, 66, 211-227.
- PRENDERGAST, W.F. (1986). Terminology of problem solving, *Problem solving News Letter*, 8, (2), 1-7.
- REIF, F. (1983). Understanding and Teaching Problem Solving in Physics, In *Recherches en didactique*, 3-53, Paris CNRS Editions.
- RICHE, N. (1978). Trame pour rédiger un exercice de physique, *Revue Francaise de Pédagogie*, 45, 183-199.
- SELVARATNMAN, M. (1974). Use of problems in chemistry courses, *Education in Chemistry*, 201-205.
- VIENNOT, L. (1976). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, Tesis Doctoral; Université Paris 7.

SUMMARY

We try to show in this paper that the model of paper and pencil problem solving as an activity of research is coherent with recent developments of constructivism in science, enabling the integration of many occasional acquisitions reviewed in the literature and explaining the pupils' difficulties when they follow the usual orientations.

RÉSUMÉ

Dans cet article, nous essayons de montrer la cohérence du modèle de résolution de problèmes comme activité de recherche avec les développements récents du constructivisme dans l'apprentissage des sciences, sa capacité à intégrer les apports partiels qu'on trouve dans la littérature, et ses possibilités d'interprétation des difficultés des élèves quand ils suivent les orientations habituelles.