

De la resolución de problemas al cambio conceptual

M^a Mercedes Martínez Aznar

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la UCM

M^a Paloma Varela Nieto (*)

Instituto Ramiro de Maeztu (**)



RESUMEN

En este trabajo se presenta una investigación realizada con alumnos de Bachillerato, sobre como una metodología investigativa de resolución de problemas de Física produce un cambio conceptual coherente y duradero. Se finaliza con una reflexión acerca de las implicaciones didácticas de los resultados obtenidos.

Introducción

En este artículo vamos a presentar una investigación que ha tenido como finalidad estudiar hasta que punto un proceso de enseñanza encaminado a familiarizar a los alumnos con una metodología investigativa de resolución de problemas favorece un cambio conceptual, entendido éste en el marco de la teoría constructivista del aprendizaje.

Dentro del área de Ciencias, y concretamente en lo que a la Física se refiere, la resolución de problemas es reconocida como una actividad esencial que se encuentra integrada en todos los currículos académicos considerándose además un instrumento indispensable para la evaluación de los resultados obtenidos por los estudiantes. En este sentido, se han venido realizando en los últimos veinte años un gran número de trabajos sobre el tema y, como

consecuencia, ha surgido una corriente investigadora que intenta fundamentar y potenciar un desarrollo del currículo de Ciencias basado en la resolución de problemas.

La resolución de problemas: un campo para el consenso

En la actualidad, dentro del campo de la investigación educativa se está haciendo un esfuerzo de integración de perspectivas procedentes de lo que podemos llamar, genéricamente, Psicología de la Educación con otras aportaciones procedentes de la Didáctica de las Ciencias, en un intento de superar las divergencias y desencuentros que tradicionalmente han existido entre ambas disciplinas. Es un hecho admitido que ambos enfoques, aunque se interesen por aspectos distintos, acaban por enfrentarse con los mismos obstáculos epistemo-

(*) Avenida de América 37-13-20, 28002 Madrid.

(**) C/Serrano 127, 28006 Madrid.



lógicos: los que se derivan de la propia naturaleza del conocimiento científico y su adquisición (Gil, 1993 y Pozo, 1993).

Dentro de la Didáctica, la resolución de problemas de Ciencias es un campo de estudio que puede servir de puente entre las dos disciplinas y, si nos centramos en el campo de la enseñanza, la investigación ha tratado de responder a una cuestión clave:

¿Cómo se aprende y, en consecuencia, cómo se puede enseñar a resolver problemas dentro de un área de contenido específico como la Física?

Esta pregunta ha intentado contestarse desde los dos campos de conocimiento arriba indicados y con muy diferentes perspectivas, intentando, por un lado, describir modelos sobre como los sujetos resuelven problemas - orientación expertos/novatos- (Chi y col., 1981; Larkin y Reif, 1979; Reif y Heller, 1982 y López Rupérez, 1991) y, por otro, desarrollar propuestas metodológicas diseñadas explícitamente para enseñar a los estudiantes a resolver problemas (Caillot y Dumas, 1987, Kramers y Pilot, 1988, Selveratmam, 1990). La propuesta utilizada en la investigación, que vamos a describir a continuación, se encuadra en esta última línea.

Una propuesta investigativa para resolver problemas de ciencias

En nuestro país, el equipo de D.Gil de la Universidad de Valencia, y desde hace aproximadamente unos diez años, ha desarrollado un modelo para la enseñanza de la resolución de problemas que podemos encuadrar dentro de los denominados "*modelos investigativos de la resolución de problemas*". La propuesta está fundamentada en la comparación entre cómo resuelven los científicos los problemas que se les presentan en el marco de

su trabajo y el procedimiento que debe utilizarse dentro de las clases de Física y Química para que los estudiantes aprendan a resolver sus problemas escolares (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983 y Gil y otros, 1988)

Para abordar el procedimiento de resolución, los autores proponen entrenar a los alumnos, en el marco de las clases de Ciencias, en una metodología de trabajo que incluya las siguientes etapas:

1) *Análisis cualitativo del problema con la finalidad de acotarlo, simplificarlo, y analizar el planteamiento que se propone.*

2) *Emisión de hipótesis acerca de los factores que van a influir en la magnitud buscada, proponiendo situaciones límite de fácil interpretación*

3) *Diseño de posibles estrategias de resolución especificando el marco teórico en que va a resolverse el problema*

4) *Resolución del problema haciendo hincapié en la resolución algebraica, aplazándose para más tarde el posible uso de datos numéricos sacados preferentemente de situaciones reales.*

5) *Análisis de resultados entendido como una verificación de la consistencia interna del proceso realizado.*

Una cuestión sumamente relevante en el modelo que estamos describiendo se refiere al tipo de enunciado, ya que los problemas propuestos tienen un enunciado abierto, sin datos numéricos. Este tipo de tareas permite que los alumnos desarrollen procesos de resolución más ricos y complejos que cuando se enfrentan a problemas-ejercicio de enunciado cerrado, fomentando también en ellos aspectos relacionados con la creatividad (Garret, 1988). Para finalizar, destacar que este modelo ha sido validado, tanto con alumnos de Bachillerato, como con profesores en formación inicial y permanente (Gil y Martínez-Torregrosa 1987 y Ramírez, Gil y Martínez-Torregrosa, 1994).

El cambio conceptual y la resolución de problemas

En la actualidad, existen numerosas investigaciones acerca de la existencia de los esquemas conceptuales alternativos que poseen los estudiantes, presentándose distintas justificaciones sobre su existencia y la posibilidad de que experimenten una determinada evolución como consecuencia de procesos instruccionales (Driver, 1989; Hewson, 1992 y Varela y otros., 1993). No vamos a profundizar aquí en la naturaleza y las características de estos esquemas, (el lector encontrará en este mismo número amplia informa-

ción al respecto), sino que nos centraremos en lo que ha sido objeto de nuestro estudio.

La finalidad principal de la investigación realizada, tal como comentábamos en la introducción, ha sido comprobar si el trabajo con la metodología propuesta de resolución de problemas iba a producir en los estudiantes un cambio conceptual significativo. Una representación global de los aspectos estudiados es la presentada en la figura 1, donde aparecen los esquemas conceptuales cuya evolución ha sido investigada, así como los aspectos que se han tenido en cuenta a la hora de evaluar el cambio conceptual producido.

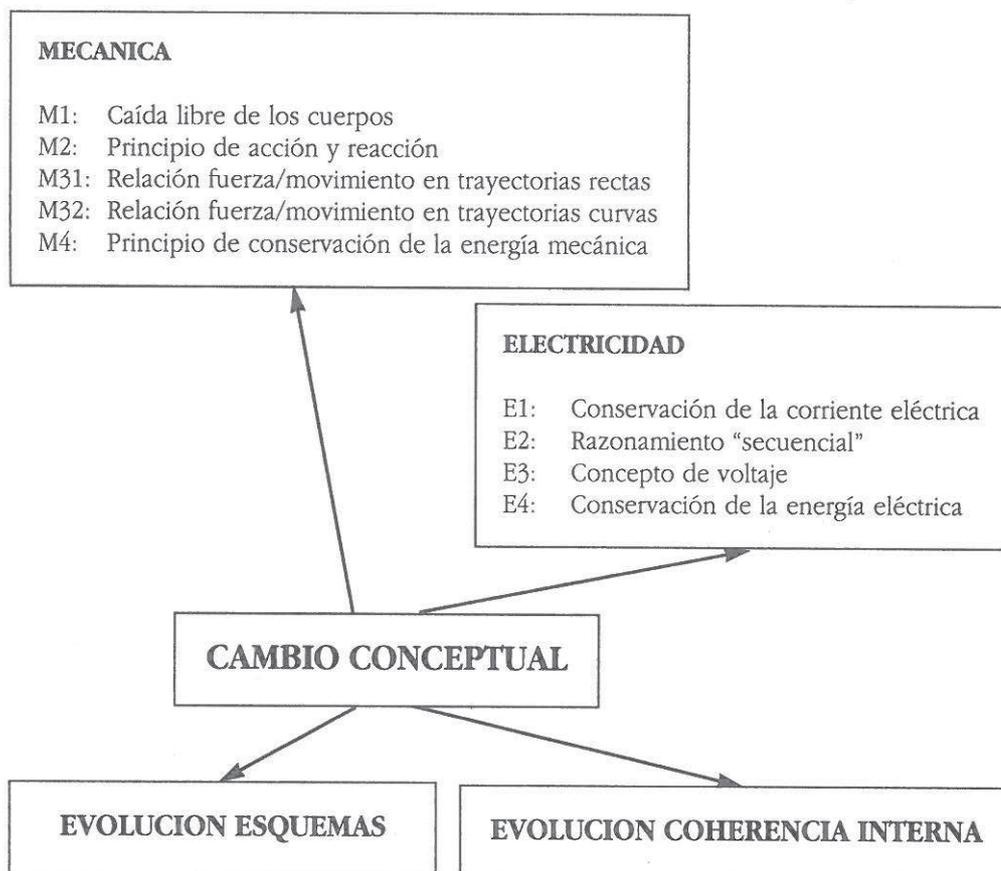


Fig. 1. Esquema global de los aspectos estudiados en la investigación.

Como podemos observar en la figura, los esquemas conceptuales estudiados abarcan todos los aspectos relevantes en un currículum básico de Física para alumnos de Bachillerato (edad media 16 años). En cuanto al cambio conceptual, se ha investigado cómo las respuestas de los alumnos van evolucionando hacia las defendidas por la Ciencia ya que, en la perspectiva en que hemos trabajado, se concibe los errores de los estudiantes como estados o momentos del aprendizaje a partir de los cuales, y por sucesivas construcciones, el alumno se va acercando al conocimiento científico. Por otra parte, en las investigaciones realizadas se ha detectado que los esquemas alternativos de los alumnos presentan una cierta coherencia interna y, en consecuencia, una de las finalidades de la enseñanza de la Física sería conseguir que los alumnos manejen un pensamiento coherente dentro de esta disciplina.

2. Planteamiento y desarrollo de la investigación

Dentro del marco teórico que hemos descrito, nuestro trabajo se ha realizado de acuerdo con las siguientes hipótesis:

1) *El trabajo continuado con una metodología investigativa de resolución de problemas de enunciado abierto va a producir en los estudiantes del grupo experimental, al final del proceso, diferencias significativas con respecto a los esquemas inicialmente disponibles en el campo de la Mecánica y de la Electricidad. En lo relativo a la persistencia en el tiempo, el nivel alcanzado se va a mantener, aunque experimentando algún tipo de retroceso.*

2) *El nivel adquirido en los campos conceptuales estudiados va a ser significativamente superior en el grupo experimental-entrenado en el modelo investigativo de*

resolución de problemas de enunciado abierto- respecto al grupo de control.

La contrastación de las hipótesis planteadas se presentó como un asunto complejo, debido a la multiplicidad de variables consideradas relevantes, unido a la diversidad de instrumentos utilizados en la experimentación. Como aspectos relevantes, queremos destacar únicamente que el trabajo se ha realizado con grupos de estudiantes de 3º de BUP, dentro de un contexto escolar normalizado, donde el aspecto de la *representatividad* se ha primado con respecto al problema del tamaño. En este sentido, el control está constituido por 40 estudiantes, a partir de una muestra de 200, escogidos con el criterio de representatividad, es decir pertenecientes a Institutos de Bachillerato que podemos considerar estándar y que iban a realizar un proceso de enseñanza con profesores expertos y metodologías que podemos llamar tradicionales.

En cuanto a la *validez* del diseño, nos hemos decantado por una *validez ecológica*, interesada fundamentalmente por la generalización de los efectos experimentales a otras situaciones escolares, permitiéndonos deducir una serie de implicaciones didácticas, tal como se recogen al final de este artículo.

3. Metodología de trabajo con los estudiantes

Como característica general, el trabajo realizado dentro del aula podemos considerarlo en el marco de la investigación-acción, donde el profesor cumple el doble rol de profesor/investigador asumiendo la hipótesis del conflicto sociocognitivo, concebido éste como resultado de la confrontación entre iguales producida en el transcurso de la interacción social (Porlán, 1987 y Elliot, 1990). Todo el proceso se ha desarrollado teniendo en cuenta las implicacio-

nes curriculares que se derivan de la situación y, en esta línea, los problemas estudiados abordan en su práctica totalidad el programa de Física de 3º de Bachillerato, programa que comprende básicamente Mecánica y Electricidad.

En cuanto a la metodología de trabajo realizada con los estudiantes, podemos hacer una distinción de tipo espacial:

* *Trabajo dentro del aula*. Basado en un enfoque constructivista del aprendizaje, el modelo de trabajo en el marco de la clase se ha llevado a cabo siguiendo las fases que proponen Osborne y Freyberg (1985), implícitas en todas las propuestas de enseñanza por investigación (García y Cañal, 1995) y cuya adaptación para nuestra situación concreta ha sido:

Fase preliminar: los alumnos se hacen conscientes de sus ideas sobre lo que es resolver un problema de enunciado abierto.

Fase de enfoque: el profesor presenta el plan de actuación, de acuerdo con el modelo propuesto; este tiene que ser percibido por el alumno como una organización flexible para la resolución de problemas y no como unas pautas rígidas de actuación.

Fase de confrontación: los estudiantes, conscientes de sus propuestas, deben percibir si éstas conducen o no a resultados satisfactorios, entrando supuestamente en conflicto con sus compañeros o con las aportaciones del profesor.

Fase de aplicación: el alumno está en condiciones de aplicar lo aprendido a nuevas situaciones.

* *Trabajo fuera del aula*. La técnica utilizada ha sido la realización de entrevistas individuales, a partir de un protocolo diseñado al efecto, con dos finalidades: 1) suministrar al profesor/investigador información de lo que estaba ocurriendo, permitiéndole la detección de obstáculos o pautas de error; todo ello a fin de proceder a la realimentación del proceso: investigación para la acción y 2) favorecer en los

estudiantes estrategias de meta-aprendizaje, es decir, conseguir que se hagan conscientes de sus intenciones, de sus capacidades y de las demandas que les presenta las tareas a resolver.

En cuanto al modelo de evaluación escogido, nos decantamos por una *evaluación formativa*, entendida como una reflexión crítica sobre todos los momentos y los factores que han intervenido a lo largo del proceso, analizando, aparte de su capacidad como resolventes, sus actitudes hacia la metodología de resolución de problemas propuesta. Se ha tomado siempre como referencia las metodologías con que usualmente se trabaja dentro del aula y en todos los campos explorados hemos obtenido resultados altamente satisfactorios (Varela, 1994 y Varela y Martínez, 1995).

4. Resultados

En este apartado vamos a presentar los resultados derivados de la comprobación de las hipótesis planteadas y, dada la similitud de los datos obtenidos en Mecánica y Electricidad, vamos a comentar a modo de ejemplo los correspondientes a la segunda de las áreas citadas. En primer lugar, aparecen los relativos al grupo que ha trabajado con el método investigativo de resolución de problemas y en segundo, el estudio comparativo realizado con el grupo de control.

Resultados relativos al cambio conceptual

La primera hipótesis planteada, encaminada a estudiar el cambio conceptual producido en el grupo experimental, se ha dividido a efectos prácticos en tres subhipótesis: dos referentes a la evolución de los esquemas conceptuales con el tiempo

do. Este resultado nos permite afirmar que los dos grupos, experimental y de control, han sido tomados de la misma población y es precisamente a este universo donde se van a poder extrapolar las conclusiones obtenidas.

La evaluación realizada al final del proceso muestra que existen, en tres de los cuatro conceptos estudiados, diferencias significativas a favor del grupo experimental. Un estudio más pormenorizado pone de manifiesto que en los esquemas correspondientes al *voltaje* y al *razonamiento secuencial* que, como hemos visto en la contrastación de la hipótesis 1, se han mostrado más resistentes al cambio conceptual, son precisamente donde aparecen las mayores diferencias a favor del grupo experimental. Este resultado corrobora, una vez más, la eficacia de la metodología de resolución de problemas propuesta en lo relativo a potenciar en los estudiantes el cambio conceptual deseado.

5. Conclusiones e implicaciones didácticas

Como consecuencia de los resultados obtenidos podemos realizar, a modo de síntesis, la siguiente reflexión: el cambio conceptual conseguido en el grupo experimental, no solamente es significativo sino que es estadísticamente superior al que se obtiene con las metodologías al uso en nuestras aulas.

La explicación de las características de este cambio está sin duda en el tipo de metodología con que se ha trabajado, ya que las fases de *análisis del problema* y *emisión de hipótesis* han permitido a los alumnos explicitar sus ideas acerca de los conceptos que iban apareciendo en los problemas, mientras que *el análisis de resultados* ha favorecido la creación de conflictos cognitivos. Además, las estrategias

de metacognición utilizadas (verbalización del proceso, contraste con los compañeros y el profesor, entrevistas individuales) han contribuido al cambio deseado.

A la hora de reflejar las implicaciones que los resultados de la investigación realizada pueden tener para la enseñanza de la Física, vamos a mencionar dos aspectos diferentes:

1) *El enfoque constructivista del aprendizaje: un planteamiento fructífero.* En el marco teórico del constructivismo, aprender Ciencia es reconstruir los conocimientos partiendo de las propias ideas de los individuos, ampliándolas o modificándolas según los casos. En este contexto, el aprendizaje como cambio conceptual, es uno de los indicadores que definen actualmente la posición constructivista en el campo de la Didáctica de las Ciencias. El modelo de resolución de problemas propuesto podemos considerarlo dentro de esta perspectiva y, en esa línea, la investigación realizada muestra que la aplicación de estos planteamientos produce en los estudiantes un cambio conceptual altamente significativo.

Estos resultados ponen de manifiesto *la pertinencia de asumir el enfoque constructivista sobre como aprenden los sujetos conceptos científicos y, en consecuencia, aplicarlo a situaciones escolares estándar.*

2) *La metodología de trabajo dentro del aula: un compromiso entre varias orientaciones.* Los profesores que tienen que enseñar Física se enfrentan a un problema: la dificultad que presenta a los estudiantes el proceso de aprendizaje en esta materia, debida al nivel de abstracción en que se mueve, al grado de sistematización y al lenguaje altamente formalizado en que se expresa. Este problema ha tratado de resolverse desde distintas orientaciones, habiendo adoptado nosotros una solución de integración utilizando una metodología orientada, por una parte, por el paradigma

de *investigación-acción*, donde una de las ideas clave es *investigar para la acción*, y, por otra, por el enfoque constructivista anteriormente citado, basado en la idea de fomentar en los estudiantes el hábito de cuestionar sus ideas desarrollando las estrategias adecuadas para contrastar distintas concepciones de cara a su posible aceptación. La evolución altamente positiva detectada en los alumnos, tanto en su capacidad para resolver problemas de Física, como en la consecución de un cambio conceptual significativo, pensamos que es deudora, en gran parte, de la metodología con que se ha trabajado en el aula.

REFERENCIAS

- CAILLOT, M. y DUMAS-CARRE, A. (1987). PROPHY: Un enseignement de una méthodologie de résolution de problèmes de Physique. En *Résolution de problèmes en mathématique et en physique. Rapports de recherches*, (12), 199-244, Paris INPR editors.
- CHI, M., FELTOVICH, P.J. y GLASER, R. (1981). Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- DRIVER, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11, Special Issue, 481-490.
- DUPIN, J.J. y JOSHUA, S. (1986). L'électrocinétique du Collège à l'Université: évolution des représentations des élèves, et impact de l'enseignement sur ces représentations. *Bulletin l'Union des Physiciens* 683, 779-800.
- ELLIOT, J. (1990). *La investigación-acción en educación*. Morata, Madrid.
- GARCIA, J.J. y CAÑAL, P. (1995). ¿Como enseñar?. Hacia una definición de las estrategias de enseñanza por investigación. *Investigación en la Escuela*, 25, 5-16.
- GARRET, R.M. (1988). Resolución de problemas y creatividad: Implicaciones para el currículo de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, (3) 224-230.
- GIL, D. (1993). Psicología Educativa y Didáctica de las ciencias: los procesos de enseñanza/aprendizaje de las ciencias como lugar de encuentro. *Infancia y Aprendizaje*, 62-63, 171-185.
- GIL, D y MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5, (4), 447-455.
- GIL, D y MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1987). *La resolución de problemas de Física*, Vicens Vives- MEC, Madrid.
- GIL, D.; DUMAS, A.; CAILLOT, M.; MARTINEZ, J. y RAMIREZ, J.L. (1988). La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación. *Investigación en la Escuela*, 6, 3-20.
- HEWSON, P.W. (1992). El cambio conceptual en la enseñanza de las Ciencias y la formación de profesores. *Encuentro "Investigación y Desarrollo del Currículo en la Enseñanza de las Ciencias"* CIDE, Madrid.
- KRAMERS-PALS, H. y PILOT, A. (1988). Solving quantitative problems guidelines for teaching derived from research. *International Journal in Science Education*, 10, (5), 511-521.
- LARKIN, J.H. y REIF, F. (1979). Understanding and Teaching Problem-solving in Physics. *European Journal Science Education*, 1, (2), 191-203
- LOPEZ RUPEREZ, F. (1991). *Organización del conocimiento y resolución de problemas en Física*, CIDE, Madrid.
- OSBORNE, J.R. y FREYBERG, P. (1985). *Learning in Science. The implications of children's Science*. Heinemann, London. Trad. cast. *El aprendizaje de las Ciencias*, (1991). Narcea. Madrid.
- PORLAN, R. (1987). El maestro como investigador en el aula. Investigar para conocer, conocer para enseñar. *Investigación en la Escuela*, 1, 63-70.
- POZO, J.I. (1993). Psicología y Didáctica de las Ciencias de la naturaleza. ¿Concepciones alternativas?. *Infancia y Aprendizaje*, 62-63, 187-204.
- RAMIREZ, L.; GIL, D y MARTINEZ, J. (1994). *La resolución de problemas de Física y Química como investigación*. Centro de Publicaciones, MEC, Madrid.
- REIF, F. y HELLER, J.I. (1982). Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17, (2), 102-127.
- RHONECK, C. (1985). The introduction of voltage as an independent variable. The impor-

- tance of preconceptions, cognitive conflict and operating rules. *Aspects of understanding Electricity. Proceedings of an International Workshop*, Ludwisburg 1984, IPN Kiel, 275-286.
- SELVERATNAM, M. (1990). Problem-solving-a model approach. *Education in Chemistry*, 27, (6), 163-165.
- SHIPSTONE, D.M. (1988). Pupils understanding of simple electrical circuits, some implication for instruction. *Physics Education*, 23, 92-96.
- VARELA, M^aP. (1994). *La resolución de problemas en la enseñanza de las Ciencias. Aspectos didácticos y cognitivos*. Tesis doctoral. Pendiente de publicar por la Universidad Complutense de Madrid.
- VARELA, M^aP.; FAVIERES, A.; MANRIQUE, M^aJ. y P. DE LANDAZABAL, M^aC. (1993). *Iniciación a la Física en el marco de la teoría constructivista*. Centro de Publicaciones del MEC, Madrid.
- VARELA, M^aP. y MARTINEZ, M^aM. (1995). *De la resolución de problemas al cambio conceptual*. Actas de la XXV Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física. Santiago de Compostela, 27-28.

SUMMARY

This paper presents a research work, carried out with Bachillerato students, about how a scientific methodology on problem solving in Physics produces a coherent and long-lasting conceptual change. The paper finishes with a reflection on the teaching implications of the obtained result

RÉSUMÉ

Dans cet travail on presente une recherche laquelle a été faite avec élèves de Bacco sur, comme una metodología de recherche de résolution de problemes de Fisique fait un change conceptif, coherent et durable. Pour finir, on fait une reflexion sur les impliations didactiques des résultats obtenues.