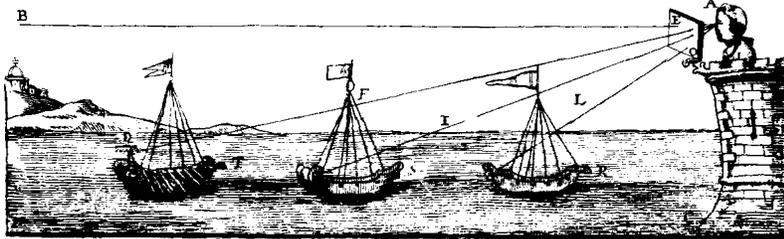


INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



MÁS ALLÁ DE LAS IDEAS PREVIAS COMO DIFICULTADES DE APRENDIZAJE: LAS PAUTAS DE PENSAMIENTO, LAS CONCEPCIONES EPISTEMOLÓGICAS Y LAS ESTRATEGIAS METACOGNITIVAS DE LOS ALUMNOS DE CIENCIAS

CAMPANARIO, JUAN MIGUEL¹ y OTERO, JOSÉ C.

¹ E-mail: fscampanario@alcala.es

² E-mail: fsotero@alcala.es

Grupo de Investigación en Aprendizaje de las Ciencias. Departamento de Física.

Universidad de Alcalá de Henares. 28871 Alcalá de Henares. Madrid. Tel.: 91 885 49 26. Fax: 91 885 49 42.

SUMMARY

In this article we try to go beyond students misconceptions as the only explanation for difficulties in the learning of sciences. We review the main components of a kind of «cognitive conspiracy» against the work of science teachers: the preconceptions of students, their patterns of thinking and reasoning, their epistemological beliefs and their metacognitive strategies. Usually, research in science education has focused on the two first elements, although, in recent years, researchers have started to focus on the two last factors that are main obstacles for science learning and are responsible for the failure of many new approaches in science teaching.

Que el aprendizaje significativo de las ciencias por parte de los alumnos es una tarea con un índice de fracaso elevado es una afirmación que difícilmente puede sorprender a los investigadores y profesores de ciencias. Sin embargo, las causas de dicho fracaso todavía son objeto de un apasionado debate. Probablemente las causas sean múltiples y resulte complicado abordarlas todas a la vez, como un todo. Parte de la responsabilidad del fracaso está en los alumnos, parte en los profesores y, seguramente, otra parte esté en el contexto escolar y en la propia sociedad. En este artículo nos concentramos en un conjunto de causas que tienen un denominador común: lo que los alumnos *saben* (ideas previas), *saben hacer* (estrategias de razonamiento), *creen* (concepciones epistemológicas) y *creen que saben* (metacognición). Parafraseando a Pozo (1987, p. 83), podemos afirmar que estos elementos conforman una especie de «conspiración cognitiva» contra el trabajo del profesor de ciencias y constituyen obstáculos formidables que dificultan enormemente el aprendizaje significativo de las ciencias por parte de los alumnos. El resto del artículo se organiza en cinco secciones donde se abordan, respectivamente, los aspectos relacionados con las ideas previas de los alumnos, sus pautas y estrategias de razonamiento, sus concepciones epistemológicas y sus estrategias metacognitivas. En la última sección se formulan unas conclusiones generales y se presentan nuevas perspectivas para la enseñanza de las ciencias y la investigación en didáctica de las ciencias.

LAS IDEAS PREVIAS DE LOS ALUMNOS

La enseñanza de las ciencias debe tener en cuenta las ideas previas de los alumnos

Durante muchos años los profesores han desempeñado su trabajo como si la mente de sus alumnos fuesen receptáculos vacíos en los que había que colocar el conocimiento. La metáfora del profesor como un *transmisor* del conocimiento o del aprendizaje, como un proceso de llenado de un recipiente o de escritura en una pizarra vacía, reflejan claramente estos puntos de vista hoy casi completamente abandonados en didáctica de las ciencias. Los alumnos aprendían más o menos dependiendo de su *capacidad* y el aprendizaje se concebía, fundamentalmente, como un proceso de adquisición de información y, sólo en segundo lugar, como un proceso de desarrollo de destrezas.

Sin embargo, hoy sabemos que los alumnos mantienen un conjunto diverso de ideas previas o preconcepciones sobre los contenidos científicos que casi siempre son erróneas y se reconoce unánimemente que estas ideas previas son uno de los factores clave que, como se argumenta más adelante, deben tenerse en cuenta como condición necesaria (aunque no suficiente) para un aprendizaje significativo de las ciencias.

Los investigadores en enseñanza de las ciencias comenzaron a estudiar las ideas previas de los alumnos

motivados, en gran parte, por la recomendación de Ausubel sobre la importancia de elegir los conocimientos previos de los alumnos como punto de partida para la instrucción (Ausubel, Novak y Hanesian, 1983). Osborne y Wittrock resumen la posición de los investigadores sobre ideas previas de los alumnos cuando afirman que «los alumnos desarrollan ideas sobre su mundo, construyen significados para las palabras que se usan en ciencia y despliegan estrategias para conseguir explicaciones sobre cómo y por qué las cosas se comportan como lo hacen» (1983, p. 16). Parece claro, pues, que el profesor de ciencias debe contar con que sus alumnos *ya* poseen un conocimiento científico alternativo.

Los resultados de aproximadamente veinte años de investigación en el área de ideas previas de los alumnos han puesto de manifiesto una variedad enorme de tales conocimientos alternativos. Desde las primeras observaciones de Viennot (1979) y otros investigadores hasta las recopilaciones e integraciones más actuales, se ha acumulado una gran cantidad de conocimientos en este terreno. Así, por ejemplo, se sabe que muchos alumnos piensan que todo movimiento implica una fuerza (Pozo, 1987), que el movimiento siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza resultante sobre un cuerpo diSessa, (1982), que la corriente eléctrica se *gasta* en una bombilla (Saxena, 1992), que el calor está contenido en los cuerpos y se puede *almacenar* como un fluido (Rogan, 1988), etc.

Las ideas espontáneas de los alumnos se caracterizan, en primer lugar, por ser casi siempre *científicamente incorrectas*, lo cual ha contribuido sin duda al gran desarrollo de la investigación en este área. Es razonable, en cierta medida, que las ideas previas sean científicamente inadecuadas porque lo contrario haría innecesario el gran esfuerzo de abstracción y lucha contra el sentido común que implica la construcción de la ciencia. Aunque las ideas espontáneas son construcciones *personales* y propias de cada sujeto, existen muchas más semejanzas que diferencias entre ellas, lo que ha permitido identificar algunos esquemas comunes en alumnos de países y sistemas educativos distintos (Pintó, Aliberas y Gómez, 1996). Otro rasgo de las ideas previas es su *carácter inconexo* y a veces contradictorio: un mismo alumno puede explicar el mismo fenómeno desde varios puntos de vista inconsistentes entre sí (Pozo y Carretero, 1987). A ello ayuda el *carácter implícito* de las mismas, lo cual, por otra parte, dificulta su detección y erradicación. En efecto, muchas veces el sujeto no es consciente de que mantiene concepciones erróneas sobre los fenómenos científicos. Entre los resultados más notables de la investigación cabe destacar el *paralelismo* que existe entre muchas de las ideas previas de los alumnos y determinadas teorías históricas de otras épocas generalmente precientíficas (Pozo, 1987; Whitaker, 1983; Pozo y Carretero, 1987).

¿Cuál es el origen de las ideas previas? Los investigadores han identificado orígenes diversos. Por una parte, parece que determinados esquemas conceptuales están ampliamente extendidos en todas las culturas. Esquemas

tan sencillos y útiles como *a mayor causa, mayor efecto* chocan a veces con determinados fenómenos científicos. Este tipo de heurísticos están ampliamente extendidos entre los alumnos e incluso entre los adultos como hemos explicado anteriormente. Por otra parte, parece claro que muchas de las ideas previas de los alumnos tienen su origen en la experiencia cotidiana (Preece, 1984). El lenguaje común, con su característica falta de precisión, estaría en el origen de algunas ideas espontáneas que son reforzadas por aprendizajes inadecuados en el medio social o por los medios de comunicación (p.e., el gasto energético). Por último, algunas de las ideas previas sobre fenómenos científicos tienen su origen en el uso de analogías defectuosas en el propio medio escolar, (p. ej. ciertos modelos que consideran la corriente eléctrica como un fluido) (Duit, 1991; Pozo, Sanz, Gómez y Limón, 1991).

El efecto de las ideas previas de los alumnos en el aprendizaje es enorme. Como señala Giordan, las ideas previas son, más que un almacén para consultas posteriores, «una especie de filtro conceptual que permite a los alumnos entender, de alguna manera, el mundo que los rodea (1996, p. 10). Estas ideas previas serían, pues, algo similar a lo que se ha dado en llamar *teorías-en-acción* (Karmiloff-Smith e Inhelder, 1981; Driver y Erickson, 1983) y funcionarían a la manera de los paradigmas (Thiberghien, Psillos y Koumaras, 1995, p. 427). La existencia de ideas previas científicamente incorrectas permite entender por qué los alumnos plantean ciertas preguntas aparentemente absurdas pero que para ellos están llenas de sentido (p.e., ¿cómo influye la masa de un objeto en el tiempo en que tarda en caer desde cierta altura?). De esta manera, las ideas previas determinan en gran medida qué aspectos de la realidad son dignos de ser estudiados para entender una determinada situación. Como señalan Thiberghien, Psillos y Koumaras (1995, p. 427). El significado último de determinados términos (p.e., *calor*) llega incluso a ser diferente para los alumnos y los profesores. Desafortunadamente, las predicciones que formulan los alumnos a partir de las ideas previas pueden ser muchas veces correctas, de ahí deriva en parte la dificultad de eliminarlas. Como cualquier profesor sabe, es posible que un alumno conteste bien determinadas preguntas basándose en razonamientos incorrectos.

Dado que las ideas previas funcionan como marcos conceptuales, también dirigen y orientan el procesamiento de la información que se estudia en los libros o la interpretación de las explicaciones del profesor. Los profesores están acostumbrados a las distorsiones e interpretaciones erróneas de lo que se explica en clase. Este fenómeno no resulta tan sorprendente si se tienen en cuenta las ideas previas de los alumnos. Además, las ideas previas de los alumnos inciden en las observaciones y en las interpretaciones de las observaciones. Como una consecuencia negativa, las evidencias empíricas que contradicen estas ideas previas a veces se perciben de manera sesgada y, aun en el caso de que se perciban correctamente, no siempre convencen a los alumnos de que sus ideas son erróneas (Duit, 1991). A ello se une la tendencia común, que no es exclusiva de los alumnos, a

prestar atención preferente a los aspectos de los experimentos que apoyan los puntos de vista propios.

No es fácil eliminar las ideas previas de los alumnos

Es frecuente que los enfoques tradicionales fracasen en el intento de que los alumnos desarrollen las concepciones científicas comúnmente aceptadas. Una enseñanza por transmisión que no tiene en cuenta las ideas previas de los alumnos no logra eliminarlas. Con frecuencia, ni siquiera lo consigue una instrucción orientada al cambio conceptual y que tenga como objetivo explícito la eliminación de estas ideas previas y su sustitución por concepciones científicas adecuadas (Campanario y Moya, 1998; Carretero y Limón, 1995; Linder, 1993). Parece claro, pues, que las ideas previas son *resistentes al cambio*. El resultado es que los alumnos mantienen dos esquemas de conocimientos. Por una parte, estarían sus conocimientos académicos sobre fenómenos, teorías, leyes, fórmulas y métodos para resolver problemas. Estos conocimientos académicos son útiles en el medio escolar dado que sirven para resolver ejercicios y para aprobar los exámenes tradicionales. Por otra parte, los alumnos mantienen muchas veces su arsenal de ideas previas, que son útiles para entender la realidad y para interactuar con el medio que les rodea. Incluso es frecuente encontrar estudiantes universitarios y licenciados que han terminado sus carreras y mantienen concepciones erróneas sobre los fenómenos científicos (Pozo, 1987; Viennot, 1979; Driver, 1988; Kruger, Palacio y Summers, 1992).

La investigación en el área de ideas previas de los alumnos ha dado lugar a una robusta línea de trabajo que ha producido una cantidad considerable de resultados. Sirva como ejemplo del vigor de esta línea de investigación el dato de que la edición de 1994 de la recopilación de Pfundt y Duit (*Students' Alternative Frameworks and Science Education*) recoge más de 3.600 referencias (1994). Este notable desarrollo ha sido favorecido por factores diversos entre los que destaca el interés de muchos profesores por conocer las ideas previas de sus alumnos y la relativa facilidad con que este tipo de investigaciones puede llevarse a cabo.

Algunos críticos han formulado reparos, sin duda justificados, a la investigación en el área de ideas previas (Hashweh, 1988). Así, a veces las ideas previas que se detectan en este tipo de investigaciones sólo tienen sentido a la vista de los cuestionarios utilizados en la investigación. En otras ocasiones, los investigadores obtienen conclusiones que van más allá de lo que es en buena lógica permitido suponer a partir de las respuestas de los alumnos. En muchos trabajos que tienen fundamentalmente carácter descriptivo se va más allá de las conclusiones lógicas y se proponen estrategias concretas de instrucción. La escasez tradicional de análisis estadísticos es otra de las carencias de una parte importante de los estudios en este terreno. Realmente, las deficiencias metodológicas de algunas de estas investigaciones son quizá el aspecto que más críticas haya recibido (Pozo, Sanz, Gómez y Limón, 1991). A pesar de las

críticas anteriores, la coincidencia de resultados similares con alumnos en contextos y sistemas educativos diferentes hace difícil dudar de la validez general y fiabilidad de los resultados obtenidos. Existen en la literatura revisiones e integraciones de los trabajos sobre ideas previas en dominios diversos con el objetivo de encontrar esquemas causales y principios comunes (Brown y Clement, 1987; Carrascosa y Gil, 1992; Cervantes, 1987; Duit, 1991; Cros y Maurin, 1986; Hierrezuelo y Montero, 1991; Pintó, Aliberas y Gómez, 1996; Driver y Erickson, 1983; Pozo, Gómez, Limón y Sanz, 1991; Driver, Guesne y Thibergien, 1985; Rennström, 1987).

Aunque, como señala Giordan, en un principio, las ideas previas de los alumnos recibieron denominaciones con claras connotaciones negativas (p. e., concepciones erróneas, preconcepciones, errores conceptuales...), poco a poco se ha pasado a una terminología menos negativa (teorías espontáneas, ciencia intuitiva, marcos alternativos, concepciones espontáneas...) (1996). Este cambio terminológico no es trivial y refleja el cambio de mentalidad que se ha producido entre la comunidad investigadora sobre la naturaleza de las ideas previas y su papel en el aprendizaje. Ello ha ido acompañado de un mayor conocimiento por parte de los investigadores y de muchos profesores de la epistemología de la ciencia y de los mecanismos cognitivos mediante los que se procesa la información.

LAS PAUTAS DE PENSAMIENTO Y RAZONAMIENTO DE LOS ALUMNOS

Los alumnos recurren con frecuencia a metodologías superficiales

Que los alumnos cometen a menudo errores es una observación que difícilmente puede sorprender a cualquier profesor. Los profesores suelen atribuir estos errores a comportamientos patológicos propios y casi exclusivos de los alumnos. Sin embargo, los resultados de la investigación educativa han planteado algunas hipótesis alternativas sobre el origen de tales errores.

Carrascosa y Gil (1985) estudiaron los errores que alumnos y también profesores cometen cuando se enfrentan a situaciones problemáticas de una manera acrítica de acuerdo con lo que dieron en llamar *metodología de la superficialidad*. Los sujetos que intervinieron en la investigación realizada por estos autores se enfrentaban a los problemas de ciencias con escaso rigor crítico, sin reparar a veces en las inconsistencias de los enunciados y con una comprensión superficial de las preguntas. Como una primera consecuencia, las respuestas a las preguntas que se les formulaban tenían lugar en un intervalo de tiempo sorprendentemente corto, a pesar de que el cuestionario que utilizaron invitaba a la respuesta razonada. Incluso una llamada de atención a los sujetos acerca del riesgo de contestar erróneamente no alteró significativamente los resultados. Según los autores, estas pautas de actuación están profundamente arraiga-

das en los alumnos y los profesores. Una de las conclusiones que los autores obtienen es que sin un cambio metodológico no es posible el cambio conceptual.

Entre los factores de riesgo que conducen a pautas de comportamiento como las que se han descrito cabe destacar la inmersión continua en un sistema educativo muchas veces competitivo en el cual se valora, fundamentalmente, el resultado final en forma de respuesta correcta, más que los procesos cuidadosos de razonamiento. Además de los efectos negativos que el abuso de dicha metodología produce en el aprendizaje, sus efectos en la motivación de los alumnos son también negativos al orientar su actuación hacia el producto más que al proceso. Peor aún, en otro estudio posterior, Gil y Carrascosa (1990) constataron que los alumnos de cursos superiores suelen tener más seguridad en las respuestas erróneas que los alumnos de cursos inferiores, un resultado que ha sido contrastado también por nosotros en otro contexto educativo (Campanario, 1995b).

Los alumnos pueden aplicar pautas de razonamiento poco científicas en tareas propias de ciencias

Los aspectos metodológicos de la comprensión de la ciencia no han recibido tanta atención como los conceptuales por parte de los investigadores en didáctica de las ciencias. Sin embargo, en la producción y comprensión del conocimiento científico, son esenciales ciertas habilidades intelectuales, tales como la elaboración de hipótesis a partir de un cuerpo de conocimientos y su comprobación posterior mediante la experimentación. Los puntos de vista actuales sobre las pautas de actuación cognitiva de los sujetos en general ponen un énfasis considerable en la noción de *heurístico* frente a regla formal y rigurosa (Pozo, Sanz, Gómez y Limón, 1991). Mientras que una regla formal sirve en todas las ocasiones, un heurístico sirve sólo en determinados casos. A pesar de esta disminución del estatus, los heurísticos funcionarían, en general, de manera efectiva y, en la mayoría de las situaciones cotidianas, resultan muy adecuados para *predecir* el curso de los acontecimientos y fenómenos que tienen lugar en nuestro entorno. Al igual que sucede con los resultados de otras áreas, la investigación en este terreno ha demostrado que los sujetos se comportan en muchas ocasiones de una manera sesgada que choca con las pautas rigurosas que se suponen habituales en el pensamiento científico.

Diversos autores han revisado los resultados de las investigaciones sobre los modos espontáneos de razonar de los alumnos de enseñanza media y universidad y han enumerado algunos de los heurísticos que suelen utilizar estos alumnos e incluso los propios sujetos adultos (Pozo, Sanz, Gómez y Limón, 1991; Thibergien, Psillos y Koumaras, 1995; Salinas, Cudmani y Pesa, 1996; Reif y Larkin, 1991). Entre las conclusiones más destacadas cabe citar las siguientes:

a) Los alumnos tienden a explicar los cambios en los sistemas, no los estados estacionarios.

b) Cuando tiene lugar un cambio o una transformación, casi siempre se presta más atención al estado final que al inicial.

c) Se tiende a investigar un sistema sólo cuando éste sufre algún cambio que se aparta de su funcionamiento normal. El principio que subyace tras esta regla es que, *si algo no se ha roto, no lo arregles* (Baron, 1993).

d) Se tiende a abordar los problemas de acuerdo con los conocimientos que más se dominan, no necesariamente con los más relevantes para su solución (Salinas, Cudmani y Pesa, 1996).

e) Se tiende a concebir un estado de equilibrio como algo estático; los equilibrios dinámicos son difíciles de concebir.

f) La causalidad lineal es con frecuencia la base del razonamiento de los alumnos. Entre causas y efectos suele haber mediadores (Thiberghien, Psillos y Koumaras, 1995, p. 429).

g) El principio de causalidad se suele utilizar de manera lineal siguiendo la regla *a mayor causa, mayor efecto* (Anderson, 1986).

h) Se intenta encontrar algún tipo de semejanza (en un sentido amplio) entre las causas y sus efectos.

i) De entre las causas posibles de un cambio, se suelen tener en cuenta las más accesibles y aquéllas que se recuperan más fácilmente de la memoria: las más recientes, las más cercanas espacialmente o las más frecuentes.

j) Las causas que no se perciben directamente o se perciben con dificultad resultan difíciles de concebir y a menudo no se tienen en cuenta en el análisis de las situaciones abiertas.

k) Ante fenómenos desconocidos, se aplican modelos correspondientes a fenómenos conocidos con los que exista algún tipo de semejanza (en muchas ocasiones esta semejanza tiene que ver con factores irrelevantes del fenómeno, pero fácilmente perceptibles).

l) Se atribuyen propiedades anímicas a objetos o seres que no pueden tenerlas. Esta percepción, tan propia de los niños, se puede observar incluso en adultos.

m) Cuando en un fenómeno complejo varias causas actúan de forma interactiva, se tiende a concebir su efecto de manera aditiva.

n) Existen excepciones a todo tipo de reglas, incluso cuando las reglas son generales y sirven para todas las situaciones que pertenecen a una misma clase y los alumnos reconocen que ello es así. Esta pauta de razonamiento se puede asociar al dicho común *no hay regla sin excepción* (Otero y Campanario, 1990).

o) Una acumulación de pequeñas explicaciones no totalmente satisfactorias constituye una explicación global aceptable (Reif y Larkin, 1991).

Los ejemplos reiterados de aplicación de los esquemas y heurísticos anteriores son de sobra conocidos por el profesor de ciencias. Así, por ejemplo, los alumnos no prestan atención a las fuerzas de rozamiento porque no se perciben fácilmente y, cuando se presta atención a ellas, su estatus no es el mismo que el de las otras fuerzas más *visibles*; el reposo no necesita explicación, es el estado *natural* de un cuerpo; es difícil concebir que un cambio en un punto de un circuito eléctrico afecte a zonas alejadas del mismo; dado que el mundo macroscópico es continuo, el microscópico debe serlo también; etc.

El origen de las pautas espontáneas de razonamiento estaría en un largo proceso de evolución biológica y cultural. El ser humano debe tener la capacidad de responder de manera rápida y eficaz a las situaciones cambiantes de su entorno. Que duda cabe que un análisis sistemático de todos los factores que inciden en un fenómeno determinado requeriría un tiempo excesivo de razonamiento (Pozo y Carretero, 1987). Factores personales hacen que los adultos sean extraordinariamente selectivos cuando procesan la información que reciben de su entorno hasta el punto de que sesgan activamente dicha información y, con frecuencia, ignoran datos que para otros observadores son evidentes (Mele, 1996). Además, otros factores derivados del aprendizaje (p.e., determinadas causas suelen aparecer siempre asociadas a determinados efectos) hacen innecesario el análisis sistemático de las situaciones. En el contexto cotidiano, los heurísticos del tipo de los que se han descrito más arriba resultan mucho más eficaces que tales análisis sistemáticos. La aplicación generalizada de este tipo de esquemas conceptuales estaría en el origen de muchas ideas previas de los alumnos de ciencias.

El uso en el ámbito de las ciencias de heurísticos importados directamente del contexto cotidiano y el abuso de la metodología de la superficialidad pueden constituir un elemento adicional de dificultad en el aprendizaje y comprensión de la ciencia. De ahí que algunos autores aboguen por el *cambio metodológico* asociado necesariamente al cambio conceptual (Gil, 1987; Gil, Martínez-Torregrosa y Senent, 1988; Segura, 1991). Dichos autores sostienen que el cambio metodológico tendrá lugar si se expone a los sujetos a situaciones repetidas en las que tengan que emitir hipótesis consistentes con sus conocimientos previos y expectativas, diseñar experimentos, realizarlos y analizar los resultados, discutir situaciones abiertas y evaluar alternativas.

LAS CONCEPCIONES EPISTEMOLÓGICAS DE LOS ALUMNOS

Los alumnos tienen sus propias ideas sobre la ciencia y el conocimiento científico

Los alumnos de ciencias no sólo tienen ideas previas sobre los contenidos científicos; los resultados de otra de

las líneas de investigación en aprendizaje de las ciencias han puesto de manifiesto que los alumnos mantienen concepciones y creencias propias sobre la naturaleza de la ciencia y del conocimiento científico y, además, sobre sus propios procesos y productos del aprendizaje, esto es, los alumnos tienen sus propias *concepciones epistemológicas* (Ryan y Aikenhead, 1992; Gaskell, 1992; Wolff-Michael, 1994). Incluso alumnos que han seguido cursos de ciencias de nivel universitario, profesores en formación o en desempeño (Gustafson y Rowell, 1995; Praia y Cachapuz, 1994; Porlán, 1994; Linder, 1992) o personas que han alcanzado un alto grado de especialización en áreas determinadas de la ciencia pueden mantener concepciones epistemológicas inadecuadas sobre la ciencia y el conocimiento científico (Larochelle y Désautels, 1991). En contraste con los numerosos trabajos existentes sobre ideas previas, el número de investigaciones sobre las concepciones epistemológicas de los alumnos y su influencia en el aprendizaje de las ciencias es considerablemente menor. Según Hammer, ello refleja la orientación tradicional de la enseñanza de las ciencias centrada fundamentalmente en los contenidos (Hammer, 1994).

De los estudios realizados en diversos contextos parecen desprenderse unas conclusiones comunes sobre las concepciones de los alumnos acerca de la naturaleza del conocimiento científico. Aunque la relación que sigue no pretende ser exhaustiva, es interesante repasar algunas de las creencias epistemológicas sobre la ciencia y el conocimiento científico que poseen los alumnos. Así, por ejemplo, los alumnos tienden a considerar que el conocimiento científico está fundamentado principalmente en el estudio objetivo de determinados *hechos* (Roth y Roychoudhury, 1994). Según esta creencia, el papel de la observación en la producción del conocimiento científico sería fundamental. Este conocimiento se acercaría cada vez más con el paso del tiempo a la verdad absoluta (Roth y Roychoudhury, 1994) y se articula en torno a leyes que existen independientemente de que los científicos las descubran o no (Hammer, 1994). Pocos alumnos se refieren a reformulaciones globales del conocimiento científico como una de las características de la ciencia. En algunas disciplinas, como la física, el aparato matemático reforzaría el carácter verdadero del conocimiento. Los científicos resolverían los problemas fundamentalmente mediante la aplicación de fórmulas por procedimientos puramente simbólicos (Hammer, 1994). Por otra parte, el conocimiento científico, en general, y el relativo a la física, en particular, se conciben a veces como una construcción de fórmulas y símbolos que se refieren a los conceptos que los articulan (Hammer, 1994). En general, la física se concibe como un conjunto de elementos separados sin que se espere una coherencia global ni se necesite. De hecho, la mayoría de los alumnos piensa que la física estaría orientada hacia resultados específicos, más que hacia principios generales (diSessa, 1993).

En lo que se refiere al trabajo experimental, es común entre los alumnos una visión ritualista del mismo en vez de considerarlo una actividad racional relacionada directamente con la producción del conocimiento

(Larochelle y Désautels, 1991). La relación entre la formulación de hipótesis y el diseño de experimentos es débil en general. Por último, a veces, la relación entre el pensamiento científico y la realidad cotidiana es escasa (Touger, Dufresne, Gerace, Hardiman y Mestre, 1995).

Los alumnos pueden mantener también en menor medida concepciones epistemológicas más próximas a las comúnmente aceptadas en la actualidad por los filósofos y epistemólogos de la ciencia (Meichtry, 1993). Así, a veces, se admite la influencia social en el conocimiento científico o se destaca el carácter comunitario y social del conocimiento científico que, por tanto, estaría sujeto a posibles modificaciones que no se deberían totalmente a factores internos de la propia ciencia. Algunos alumnos reconocen la necesidad de que exista coherencia entre las diversas partes que componen una disciplina determinada (Hammer, 1994, 1995) o reconocen que, en la experiencia cotidiana, existen muchos aspectos relacionados directamente con el conocimiento científico (Roth y Roychoudhury, 1994). Por último, puede encontrarse entre los alumnos la creencia de que la ciencia parte de algunas presuposiciones de una manera similar al arte o a la religión. Al igual que sucede con las ideas previas, las concepciones epistemológicas de los alumnos a menudo contienen puntos de vista inconsistentes entre sí, sin que los alumnos sean conscientes de ello. Dependiendo del aspecto del conocimiento científico que se trate de explicar, los sujetos recurren a uno u otro punto de vista (Porlán, 1994; Hammer, 1995; Pozo, Sanz, Gómez y Limón, 1991).

Las concepciones epistemológicas de los alumnos sobre el conocimiento científico y sobre sus procesos y productos cognitivos evolucionan a medida que avanzan en el sistema educativo. Esta evolución es el resultado de la forma en que toman contacto con el conocimiento científico y en cómo dicho conocimiento es presentado y utilizado. Según Hodson, las experiencias escolares que influyen en las concepciones de los alumnos son de dos tipos: las planificadas explícitamente y las que no lo son (Hodson, 1994). Los libros de texto con frecuencia presentan mensajes explícitos sobre la naturaleza de la ciencia y otras veces los profesores ponen énfasis en determinados aspectos de la ciencia (p.e., se suele prestar más atención a los aspectos metodológicos durante las prácticas de laboratorio). Sin embargo, lo más frecuente es que los mensajes sobre la naturaleza de la ciencia se transmitan de manera implícita a través del lenguaje, las actividades de instrucción, el material bibliográfico, etc.

Diversos trabajos han puesto de manifiesto la relación que existe entre las concepciones epistemológicas que mantienen los profesores de ciencias y las que desarrollan los alumnos (Rampal, 1992; Gil, 1994; Gustafson y Rowell, 1995; Gil, Pessoa, Fortuny y Azcárate, 1994). De acuerdo con esta línea de razonamiento, una posible causa del origen de las concepciones epistemológicas que mantienen los alumnos sobre la ciencia y el conocimiento científico sería la influencia explícita o implícita del profesor, en la organización y desarrollo de las

clases, en los métodos de enseñanza o en las pautas de trabajo y transmisión del conocimiento científico en las clases teóricas, en la resolución de problemas y en el trabajo de laboratorio (Linder, 1992; Meichtry, 1993). Dado que con frecuencia el conocimiento científico se presenta a los alumnos como un conjunto completo de hechos probados y verdades absolutas, no resulta sorprendente que éstos tengan dificultades en analizar y someter a crítica los contenidos científicos. Además, algunos libros de texto enfatizan determinados aspectos parciales de las ciencias. Así, en un ejemplo citado por Hammer (1994, p. 1800, un prólogo de un libro de texto sugiere al alumno como método de resolución de problemas que resulten especialmente difíciles «probar con las formulas a utilizar, empezando por aquéllas que son válidas bajo las condiciones físicas del problema». Un alumno puede encontrar aquí un refuerzo a puntos de vista que conciben la ciencia como un conjunto de ecuaciones.

Es interesante comprobar como, al igual que hay un cierto paralelismo entre algunas ideas previas de los alumnos y determinadas teorías pasadas en la historia de la ciencia, existe un evidente paralelismo entre algunas de las concepciones de los alumnos sobre la ciencia y la naturaleza del conocimiento científico y ciertas concepciones que tuvieron cierta influencia, en el pasado, en filosofía de la ciencia e incluso orientaron el desarrollo del currículo de ciencias durante los años sesenta y setenta (Cleminson, 1990; Gustafson y Rowell, 1995). Asimismo, se ha podido comprobar que no es fácil conseguir que los alumnos desarrollen concepciones epistemológicas más adecuadas sobre la ciencia y el conocimiento científico. Incluso programas cuidadosamente diseñados para tener en cuenta estos aspectos consiguen un éxito limitado, lo cual plantea problemas adicionales a la enseñanza de las ciencias (Gaskell, 1992).

Las concepciones de los alumnos sobre el aprendizaje de las ciencias suelen ser inadecuadas

Los investigadores en didáctica de las ciencias han investigado también el modo en que los alumnos enfocan las tareas de aprendizaje (Berry y Sahlberg, 1996). No obstante, como señala Hammer (1994), en general no se ha buscado un marco general que sirva para encuadrar y clasificar las concepciones epistemológicas de los alumnos. Preguntas básicas como cuál consideran los alumnos que es la forma adecuada de analizar y aprender diversos tipos de contenidos, o cómo creen los alumnos que se debe relacionar el trabajo de laboratorio con las clases teóricas, o cuál es el papel de la formulación de problemas en el aprendizaje de las ciencias, han permanecido durante mucho tiempo sin una respuesta clara debido, fundamentalmente, a problemas de enfoque y a problemas metodológicos. Así, por ejemplo, en muchos estudios basados en un número considerable de sujetos no se ha logrado diferenciar los detalles de las concepciones individuales de los alumnos dando como resultado que muchos sujetos mantienen concepciones epistemológicas *confusas* sobre el aprendizaje de la ciencia.

Sin embargo, en los últimos años se ha producido un cierto avance en nuestro conocimiento sobre las concepciones de los alumnos acerca del aprendizaje en general, el aprendizaje de las ciencias y la relación entre aprendizaje de la ciencia y la estructura del conocimiento científico. El trabajo de investigación se ha llevado a cabo desde dos perspectivas: psicométrica y fenomenológica (Hegarty-Hazel, 1991). Los investigadores que siguen el primer enfoque utilizan cuestionarios y análisis multidimensionales, mientras que los investigadores que siguen la segunda orientación prefieren las entrevistas clínicas y los análisis cualitativos.

Algunas de las concepciones de los alumnos sobre el aprendizaje pueden resultar familiares a los profesores de ciencias. En general, los alumnos tienden a concebir el aprendizaje como un proceso pasivo más que como un proceso de construcción del conocimiento. Muchos alumnos piensan que aprender ciencias es aprender, fundamentalmente, fórmulas que permiten resolver ejercicios (Hammer, 1995) o aprender hechos y fenómenos que los científicos han ido descubriendo a lo largo del tiempo (Hammer, 1994). Esta idea sobre el aprendizaje de la ciencia es consistente con la concepción de la ciencia como un conjunto de hechos o fórmulas. Otras concepciones epistemológicas sobre el aprendizaje de la física mantienen que esta disciplina consta de un componente conceptual y otro matemático, que se transmiten mediante los libros de texto, y de un componente experimental, que se adquiere mediante la experiencia de laboratorio. A menudo se considera que el trabajo de laboratorio debería cubrir los huecos que dejan pendiente las clases teóricas y los libros de texto. Además, según muchos alumnos, la actividad práctica por sí misma tiene efectos beneficiosos en el aprendizaje (Spector y Gibson, 1991). Curiosamente los alumnos utilizan metáforas comunes cuando se refieren a sus concepciones sobre el conocimiento y el aprendizaje. Así, por ejemplo, los alumnos se refieren a menudo al contenido de una disciplina como una especie de territorio con sus fronteras que se pueden ampliar. El aprendizaje de la asignatura consiste en conquistar este territorio (Roth y Roychoudhury, 1994). Otras metáforas identificadas por Roth y Roychoudhury describen el proceso de aprendizaje como un proceso de transferencia de conocimiento, la mente como un músculo que debe ser ejercitado a fin de que adquiera la destreza necesaria para facilitar el aprendizaje o el cerebro como un almacén de conocimientos que se adquieren en el proceso de aprendizaje. Precisamente una de las concepciones más ingenuas que mantienen los alumnos sobre el aprendizaje es considerar el cerebro como una especie de estantería en la que se colocan *paquetes* de conocimiento (Duit, 1991).

Por otra parte, los criterios de comprensión que utilizan los alumnos han sido también objeto de atención. Así, por ejemplo, Ryan encontró dos amplias categorías mediante las que podía clasificar las concepciones generales sobre el conocimiento y el aprendizaje. Una parte de los sujetos que estudió tendía a concebir el conocimiento como un conjunto de hechos discontinuos y a evaluar su grado de comprensión mediante indicadores, tales como la cantidad de información que podían recordar. Ade-

más, los sujetos pertenecientes a la otra categoría concebían el conocimiento como una especie de marco que servía para interpretar hechos relacionados que formaban un todo integrado. En los criterios de comprensión, estos sujetos valoraban especialmente el número de relaciones de coherencia que se podían establecer entre diferentes partes de un contenido. Ryan llamó a los sujetos de los grupos anteriores *dualistas y relativistas*. Los estudiantes dualistas tienden a aplicar criterios epistemológicos basados en el conocimiento, mientras que los relativistas tienden a aplicar criterios basados en la comprensión (Ryan, 1984).

Al igual que sucede con las concepciones epistemológicas sobre la naturaleza de la ciencia y el conocimiento científico, no todo es negativo. Algunos de los puntos de vista de los alumnos sobre el aprendizaje son sensiblemente parecidos a las posturas comúnmente aceptadas hoy día en didáctica de las ciencias. Así, por ejemplo, existen alumnos que opinan que el conocimiento y los significados comunes se pueden negociar con el profesor. En este proceso colectivo, reconocen que el trabajo en grupo tiene ventajas apreciables en cuanto al aprendizaje y que cada miembro del grupo no sólo asume su propia responsabilidad en el aprendizaje, sino que puede servir de guía y crítica del trabajo de los demás (Roth y Roychoudhury, 1994; Spector y Gibson, 1991; Zimmerman, 1990). Existen alumnos que reconocen el conflicto que existe a veces entre utilizar criterios epistemológicos que intenten conseguir la máxima generalidad o la máxima coherencia. Un alumno puede aplicar criterios de comprensión que enfatizan la coherencia interna o la generalidad del conocimiento. Enfrentado a la tarea de reconocer el conflicto entre dos concepciones inconsistentes, un alumno puede elegir entre admitir las dos versiones como correctas cada una dentro de su propio dominio o rechazar una de las dos concepciones (Ryan, 1984).

Muchos profesores mantienen concepciones sobre el aprendizaje que, en cierta medida, son semejantes a las que se han descrito más arriba. Porlán (1994), por ejemplo, encontró que los alumnos de magisterio mantienen concepciones inadecuadas sobre el aprendizaje y la enseñanza. Además, no siempre es fácil conseguir que cambien estos puntos de vista (Gustafson y Rowell, 1995). Es muy posible que los profesores transmitan implícita o explícitamente sus concepciones sobre el aprendizaje a sus alumnos. Existe alguna evidencia indirecta de ello dado que, como demuestran algunas investigaciones, existen diferencias sensibles en los puntos de vista sobre el aprendizaje que mantienen alumnos pertenecientes a sistemas educativos diferentes (Purdie, Hattie y Douglas, 1996).

La universidad, por su efecto multiplicador, debe asumir una cuota significativa de responsabilidad en la difusión y mantenimiento de estas concepciones inadecuadas fuertemente arraigadas sobre el aprendizaje. La enseñanza tradicional, basada en la toma rutinaria de apuntes y en la recepción pasiva de los conocimientos que tanto abunda en la mayoría de las aulas universitarias tiene como una consecuencia indeseable la transmisión a los

alumnos de toda una ideología implícita sobre el conocimiento científico y el aprendizaje. Estos alumnos, que serán profesores en el futuro, reproducen los métodos docentes a los que han sido sometidos. Así, por ejemplo, no resulta raro que los alumnos no consideren serias actividades distintas de la toma de apuntes, tales como la discusión abierta en el aula (Duit, 1991) o las actividades de resolución de problemas como investigación, que se alejan significativamente de los ejercicios tradicionales *con números* (Gil, Carrascosa, Furió y Martínez-Torregrosa, 1991).

Las concepciones epistemológicas de los alumnos tienen una influencia decisiva en sus estrategias de aprendizaje

De la misma manera que las ideas previas de los alumnos son un obstáculo en el aprendizaje de las ciencias, sus concepciones epistemológicas también influyen en los resultados del aprendizaje (diSessa, 1993; Songer y Linn, 1991; Ertmer y Newby, 1996; Zimmerman, 1990) y constituyen un factor adicional que interfiere en el aprendizaje. Algunos autores consideran que las consecuencias de las concepciones epistemológicas de los alumnos en el aprendizaje son incluso mayores que las que tienen las características motivacionales de los mismos (Roth y Roychoudhury, 1994).

En el caso de la física, Hammer ha elaborado un marco general que permite integrar las concepciones epistemológicas de los alumnos en su doble vertiente: concepciones sobre la física y el conocimiento físico y concepciones sobre el aprendizaje de la disciplina (Hammer, 1995). Este marco general consta de tres dimensiones básicas que se refieren a las concepciones sobre la estructura del conocimiento científico (organizado en piezas sueltas o de una manera coherente), las concepciones sobre el contenido físico (fórmulas frente a conceptos) y las concepciones sobre el aprendizaje de la física (como proceso independiente de construcción o como un proceso de recepción). Según Hammer, las concepciones epistemológicas de los alumnos se pueden clasificar según las dimensiones básicas anteriores.

El estudio de las concepciones epistemológicas que mantienen los alumnos sobre la ciencia, el conocimiento científico y el aprendizaje de la ciencia permite identificar factores adicionales que influyen en el trabajo del profesor y a los que habitualmente no se presta la debida atención. La mayor parte de los trabajos sobre el aprendizaje de la ciencia tiene que ver con dificultades conceptuales o procedimentales. Sin embargo, no es descabellado pensar que los intentos por eliminar las ideas previas de los alumnos pueden resultar baldíos si no se tienen en cuenta sus concepciones epistemológicas. Así, por ejemplo, si un alumno piensa que la ciencia se compone de piezas o dominios aislados sin relación entre sí, es difícil que el profesor logre hacerle ver la equivalencia de determinados conceptos (p.e., *energía*) en diferentes contextos. En muchas ocasiones, para poder combatir eficazmente las ideas previas de los

alumnos, el profesor debería vencer, además, la resistencia al cambio que ofrecen los puntos de vista inadecuados del alumno sobre la estructura de la ciencia y el conocimiento científico.

Dado que el trabajo de investigación realizado hasta el momento en este terreno no alcanza la *masa crítica* necesaria para la generalización y teniendo en cuenta que la mayoría de las investigaciones tiene un carácter eminentemente descriptivo, Hammer (1994, p. 179) aconseja que no se saquen consecuencias más allá de lo razonable. Sin perjuicio de las obvias precauciones anteriores, algunas propuestas en la literatura educativa sugieren que una posible vía de ataque a los problemas anteriores consiste precisamente en que los alumnos tomen conciencia de que sus concepciones epistemológicas son con frecuencia erróneas y dificultan su aprendizaje (Novak y Gowin, 1988; Gaskell, 1992). Ello implica situar las creencias epistemológicas de los alumnos en el foco de los objetivos educativos aunque ello signifique cubrir una cantidad menor de los contenidos propios de la materia que se enseña. El enseñar a los alumnos a aprender sería, además de un objetivo relevante en sí mismo, un poderoso medio para conseguir alcanzar los demás objetivos educativos. En este empeño, las capacidades de autorregulación de los alumnos y la metacognición desempeñan un papel fundamental.

LAS ESTRATEGIAS METACOGNITIVAS DE LOS ALUMNOS

La metacognición como un problema en el aprendizaje de las ciencias

Las evidencias de que incluso los enfoques de enseñanza basados en el cambio conceptual también presentan problemas ha provocado que en los últimos años los investigadores en didáctica de las ciencias hayan empezado a considerar un aspecto al que no se había prestado demasiada atención anteriormente. Este aspecto se refiere a la *metacognición* como una de las capacidades básicas y uno de los componentes de cualquier aprendizaje.

Cuando hablamos de metacognición (Flavell, 1976, p. 232) nos referimos a :

a) conocimiento sobre los propios procesos y productos cognitivos;

b) conocimiento sobre propiedades de la información, datos relevantes para el aprendizaje o cualquier cosa relacionada con los procesos y productos cognitivos.

Cabe hablar de metacognición, por ejemplo, cuando nos referimos al conocimiento que tiene el que aprende sobre problemas y dificultades para asimilar un determinado contenido, sobre los procedimientos cognitivos adecuados para desarrollar una tarea, sobre la aplicación

de recursos de comprensión, estrategias de procesamiento, etc. La dimensión activa de la metacognición se manifestaría, pues, en el uso de *estrategias* como las que se acaban de enumerar. Otros ejemplos válidos de estrategias metacognitivas serían la identificación de las dificultades durante el aprendizaje y su formulación como un problema, la autoevaluación del grado actual de comprensión de un texto, el autocuestionamiento para comprobar en que medida se domina un tema concreto, la evaluación de las probables dificultades al responder las preguntas de un examen, etc.

Algunos autores señalan acertadamente que no siempre resulta fácil distinguir entre estrategias cognitivas y estrategias metacognitivas (Swanson, 1990). Muchas estrategias que se han considerado tradicionalmente como estrategias cognitivas son útiles también porque proporcionan los medios necesarios para controlar el éxito de los esfuerzos del que aprende (Baker, 1991). Por ejemplo, los intentos para relacionar la información que se está aprendiendo con información ya conocida se pueden considerar como una de las destrezas cognitivas de aprendizaje más importantes. Sin embargo, en la medida en que esta estrategia puede ayudar a detectar dificultades de comprensión, puede considerarse como una estrategia metacognitiva.

Según Baker (1985a, 1991), la metacognición implica dos componentes básicos: conocimiento sobre las capacidades cognitivas y regulación de estas capacidades cognitivas. Paris, Lipson y Wixson (1983) incluso sugieren que existe una dimensión metacognitiva en todas las estrategias. Según estos autores, existen tres tipos de conocimientos sobre estrategias:

a) conocimiento declarativo: conocer *qué*;

b) conocimiento procedimental: conocer *cómo*;

c) conocimiento condicional: conocer *cuándo*.

Un sujeto que sólo posea un conocimiento declarativo o procedimental acerca de una estrategia no es capaz de ajustar su conducta a las demandas cambiantes de una tarea determinada. Las destrezas metacognitivas son aplicables, en general, a cualquier dominio en el que se requieran procesos cognitivos tales como comunicación oral, comunicación escrita, aprendizaje a partir de textos y resolución de problemas. Además, diversos autores señalan que la metacognición es uno de los componentes clave del aprendizaje autorregulado (Babbs y Moe, 1983; Costa, 1986; Novak y Gowin, 1988; López, 1980; Spring, 1985; Zimmerman, 1990; Zimmerman y Martínez-Pons, 1990).

Un ejemplo ilustrativo de la falta previa de atención a la metacognición como fuente de dificultades en el aprendizaje de las ciencias es un artículo de Kempa (1991) en el que este autor revisa las dificultades de aprendizaje que pueden encontrar los alumnos en el área de ciencias y propone diversas soluciones. En ningún momento se citan en dicho artículo las dificultades derivadas de la falta de destrezas metacognitivas. Resulta significativo,

por otra parte, el hecho de que la mayor parte de los trabajos de investigación en esta área hayan sido publicados por autores con afiliaciones ajenas a la enseñanza de las ciencias (Baker, 1991), si bien esta situación afortunadamente está empezando a cambiar.

Ahora bien, algunos trabajos recientes ilustran el papel de las estrategias metacognitivas en el aprendizaje. Así, por ejemplo, si en un examen se permite a los alumnos elegir entre dos problemas A y B y se constata que, tomando como base el número de alumnos que elige cada uno de los problemas, el problema A es resuelto correctamente por un porcentaje mayor de alumnos que el problema B, la interpretación usual es que el problema A resulta más fácil que el B. Según esta explicación, las dificultades de los alumnos que eligieron el problema B son de tipo cognitivo: en general, estos alumnos no tendrían las capacidades o conocimientos necesarios para resolver dicho problema. Sin embargo bien pudiera suceder que los alumnos que eligieron el problema B *no se dieran cuenta* de que este problema iba a resultarles más difícil (ello sin perjuicio de que, además, no fuesen capaces de resolver dicho problema). Esta interpretación se puede contrastar disponiendo de los adecuados controles (Wainer y Thissen, 1994). Podemos suponer que las dificultades de los alumnos que eligieron el problema B serían metacognitivas además de, probablemente, cognitivas. La interpretación anterior estaría respaldada por estudios que demuestran que existe una correlación negativa entre las calificaciones académicas de los alumnos y la estimación que realizan los propios alumnos sobre sus calificaciones (Vadhan y Stander, 1994). Así, en determinadas ocasiones, puede resultar tanto o más decisivo *saber que no se sabe* que *saber* o *no saber*. De manera similar, se ha sugerido por algunos autores que las diferencias entre expertos y novatos en la resolución de problemas que se interpretan habitualmente en términos cognitivos (diferencias individuales en los conocimientos relevantes en forma de esquemas y estrategias) tendrían además un componente metacognitivo (Swanson, 1990). Cualquier profesor puede atestiguar que en ocasiones los alumnos creen honradamente que saben resolver un ejercicio cuando en realidad no es así. En este caso, la dificultad es a la vez cognitiva y metacognitiva (no saber que no se sabe). ¿Qué dudas se pueden contestar o resolver a alguien que «cree» que no tiene dudas?

Los investigadores que han trabajado en este terreno han constatado cómo, con frecuencia, los alumnos de enseñanza secundaria no aplican estrategias metacognitivas o las aplican defectuosamente. Así, por ejemplo, los alumnos tienden a sobrevalorar su capacidad para completar tareas y, a menudo, calibran defectuosamente su comprensión (Glenberg y Epstein, 1985; Vadhan y Stander, 1994; Carrascosa y Gil, 1985; Campanario, 1995b). Pongamos un ejemplo, los estudios sobre utilización de destrezas metacognitivas durante el aprendizaje a partir de textos han demostrado que los alumnos de enseñanza media e incluso de universidad con frecuencia no detectan inconsistencias explícitas cuando estudian textos cortos de contenido científico (Otero y Campanario, 1990; Baker, 1985b; Campanario, 1995a;

Campanario et al., 1994) o tienen grandes dificultades para evaluar el grado de corrección y aceptabilidad de las explicaciones a fenómenos científicos (Touger, Dufresne, Gerace, Hardiman y Mestre, 1995). A veces los sujetos *inventan* explicaciones inaceptables (en alguna ocasión desde el punto de vista científico) para poder salvar los problemas de coherencia interna que encuentran en las argumentaciones científicas o, aun reconociendo que tales problemas de coherencia afectan a la calidad de la explicación, deciden que han entendido perfectamente dicha explicación (Otero y Campanario, 1990; Campanario, 1995a; Baker, 1985b, 1991). Por otra parte, el uso de las destrezas metacognitivas puede verse afectado por factores como el contenido de la tarea o el contexto en el que se lleva a cabo (García-Arista, Campanario y Otero, 1996).

Las destrezas metacognitivas son especialmente relevantes en el aprendizaje de las ciencias. Como se indica anteriormente, muchas veces los procesos cognitivos de comprensión basados en el empleo del conocimiento previo pueden verse dificultados por la interferencia de las concepciones erróneas del que aprende o por la carencia de esquemas pertinentes para interpretar y acomodar la nueva información (Otero, 1990). En estos casos es importante que el que aprende disponga de un repertorio de estrategias adecuadas de control de la comprensión que le permitan detectar fallos en su estado actual de comprensión. Una estrategia básica de aprendizaje es formular las dificultades como problemas (Otero y Campanario, 1990), como primer paso para poder formular una pregunta o reconocer una duda, algo que muchos profesores dan por supuesto que los alumnos sabrán hacer y que no siempre es así. Además, como indica Baker (1991), si los alumnos no son conscientes de que mantienen concepciones erróneas sobre los contenidos científicos, es difícil que tomen alguna postura para clarificar su comprensión. Por el contrario, como un ejemplo de la incidencia de la metacognición en el aprendizaje, parece ser que, cuando los alumnos son conscientes del papel de las analogías en el cambio conceptual, alcanzan un mayor grado de aprendizaje (Mason, 1994).

Existe una dimensión adicional de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias. El *metaconocimiento*, o conocimiento acerca de la naturaleza de la ciencia y del conocimiento científico, en interacción con el conocimiento sobre el propio conocimiento y capacidades cognitivas puede influir decisivamente en la actuación en ciencias. Esta influencia se manifiesta, generalmente, en la elección y orientación de los enfoques en el aprendizaje y los métodos de estudio. Así, para una actuación efectiva en el área de ciencias experimentales, tan importante resulta disponer de los conocimientos necesarios sobre procedimientos y contenidos como de los conocimientos sobre los objetivos de la ciencias y las formas de pensamiento y explicación aceptables en este dominio, algo que no siempre se cumple (Reif y Larkin, 1991). Por ejemplo, un primer paso para que los alumnos comiencen a relacionar explícitamente partes de una disciplina científica es que conciben dicha disciplina como un todo, más que como una yuxtaposición de

elementos sueltos y para ello es necesario que tomen conciencia de que sus concepciones epistemológicas sobre la naturaleza de dicha disciplina no son adecuadas, como se indica anteriormente.

La metacognición como parte de la solución a los problemas del aprendizaje de las ciencias

Algunos autores comienzan a proponer que la enseñanza de la metacognición debería ser uno de los objetivos básicos de la educación (Baker, 1991; Otero, 1990; Gunstone y Northfield, 1994; Novak y Gowin, 1988). El *aprender a aprender* sería tanto un medio de mejorar el propio aprendizaje como un objetivo valioso en sí mismo. Se trataría con ello de conseguir que los alumnos tomaran una mayor responsabilidad en su propio aprendizaje.

Para un fundamento teórico adecuado en este empeño se necesitaría ligar la metacognición con el aprendizaje de las ciencias. Pues bien, Linda Baker y otros autores han analizado las relaciones que existen entre algunas destrezas metacognitivas y estrategias propias del trabajo científico (Baker, 1991; Carin y Sand, 1985; Carter y Simpson, 1978; Esler y Esler, 1985; Resnick, 1983; Campanario, Cuerva, Moya y Otero, 1998). Cuando los alumnos aplican las capacidades de comparar, organizar coherentemente la información, predecir o formular hipótesis e inferencias y obtener conclusiones, están aplicando estrategias científicas, pero además están aplicando estrategias cognitivas y metacognitivas que también son útiles en el procesamiento de la información (Esler y Esler, 1985; Carter y Simpson, 1978). La relación entre metacognición y aprendizaje de las ciencias se hace así más clara.

La inclusión de la metacognición entre los objetivos y medios del aprendizaje plantea nuevos problemas al profesor. Por una parte existen problemas de orientación global de las asignaturas (¿qué espacio debe ocupar la metacognición en una asignatura de ciencias?), metodológicos (¿cómo fomentar el uso de estrategias metacognitivas por sus alumnos?) y, sobre todo, de evaluación (¿cómo tener en cuenta las estrategias metacognitivas en las pruebas de evaluación? (Campanario, 1998a). Los interrogantes anteriores distan mucho de estar resueltos. En realidad hace muy poco tiempo que se ha comenzado a investigar en profundidad sobre estos temas. En otros trabajos hemos analizado algunas propuestas tentativas para desarrollar el uso de estrategias metacognitivas generales o específicas por parte de los alumnos (Campanario, 1998b, 1998d). Incluso recursos tradicionales, como la historia de la ciencia, pueden utilizarse con una orientación metacognitiva (Campanario, 1997, 1998c), si bien la efectividad está por demostrar.

Desafortunadamente, los resultados de algunos trabajos indican que el papel de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias tiene un reflejo escaso en las calificaciones académicas. Así, por ejemplo, la relación entre el rendimiento académico y el uso de determinadas estrategias metacognitivas es modesta y tiende a dismi-

nuir a medida que se avanza en el sistema educativo (Otero, Campanario y Hopkins, 1992; Campanario et al., 1994, 1998). Es evidente que aún queda mucho que hacer en este terreno que abre un nuevo campo a la experimentación y a la actuación del profesor en el aula.

CONCLUSIONES Y NUEVAS PERSPECTIVAS

Para algunos profesores, la enumeración de los factores anteriores puede despertar una cierta sensación de alivio, dado que, en cierta medida, hacen recaer parte de la «culpa» del fracaso en el aprendizaje de las ciencias en los propios alumnos. Sin embargo, no cabe duda de que ésta es una visión superficial: el enfermo no tiene la «culpa» de los males que padece. Valiéndonos de este símil podríamos afirmar que, muy al contrario, una identificación más fiable y un diagnóstico más certero de los síntomas del enfermo/alumno debería servir para ayudar a encontrar la terapia/estrategia adecuada a fin de resolver el problema de enfermedad/ignorancia en cada caso, más que para justificar un previsible fracaso médico/docente que, por otra parte, a veces es casi inevitable dado el estado de conocimientos de la medicina/didáctica y de los propios médicos/profesores.

Fruto del movimiento general de reforma de la enseñanza y de la amplia difusión que han recibido en las revistas de didáctica de las ciencias, muchos profesores de ciencias son hoy día conscientes de la existencia de las ideas previas de los alumnos como fuente de dificultad y saben por experiencia propia que las estrategias de actuación de los alumnos en tareas científicas suelen ser poco rigurosas y muy superficiales. Sin embargo, son menos los profesores conscientes de la interferencia de las concepciones epistemológicas de los alumnos en el aprendizaje de las ciencias y, mucho menos, del papel de las estrategias metacognitivas. Parece claro que se requiere un esfuerzo adicional de formación y toma de conciencia por parte de los profesores de ciencias, una necesidad que se reitera desde casi todas las posiciones actuales en didáctica de las ciencias.

Aunque los investigadores tienden a diferenciar los distintos elementos revisados más arriba, lo cierto es que existe una cierta interacción entre ellos. Así, por ejemplo, en el origen y persistencia de las ideas previas de los alumnos se encuentra muchas veces el de estrategias inadecuadas de pensamiento y razonamiento. Asimismo, las concepciones epistemológicas de los alumnos sobre el contenido científico y el aprendizaje de las ciencias están relacionadas con su conocimiento acerca de su propio conocimiento. Los alumnos ignoran con frecuencia (metacognición) que tienen ideas previas equivocadas sobre los contenidos que estudian o que los procedimientos de razonamiento que desarrollan en el aprendizaje de las ciencias no son adecuados. Si un alumno cree que el conocimiento científico se compone de hechos, fórmulas y datos, la disposición y uso de sus recursos cognitivos en una tarea de aprendizaje y comprensión será diferente a la disposición que desarrolle y al uso que haga un alumno con concepciones epistemo-

lógicas más adecuadas. Los ejemplos podrían multiplicarse.

Una conclusión de interés para los investigadores en didáctica de las ciencias es que se debería insistir en plantear nuevos problemas de estudio que avancen en nuevas direcciones distintas a las tradicionales, bien conocidas por todos. A lo largo del artículo se ha insistido en el carácter tentativo y preeliminar de muchos de los resultados obtenidos en los temas que se han abordado. La necesidad de investigar y profundizar en ellos es evidente y tan importante como identificar nuevos problemas y temas de investigación es realizar una investigación que tenga un fundamento teórico adecuado. Se insiste, por tanto, en la necesidad de fundamentar la investigación y la actuación didáctica. No cabe duda de que un mayor conocimiento de la psicología del que aprende nos ayudará a diseñar mejores estrategias para abordar los elementos que se han discutido en este trabajo. Además, se hace cada vez más necesario tener en cuenta las diferencias individuales entre alumnos en lo que se refiere a aspectos como la metacognición o las concepciones epistemológicas. Algunos enfoques docentes actuales son demasiado globales y no parecen disponer de alternativas explícitas para atender las diferencias individuales en las capacidades cognitivas, destrezas que poseen los alumnos o hábitos de razonamiento que desarrollan.

La situación actual es especialmente lacerante si se tiene en cuenta que los psicólogos cognitivos y los psicólogos educativos han elaborado teorías y modelos que podrían muy bien aplicarse como fundamento teórico en las cuestiones de investigación en didáctica de las ciencias. Un análisis de las influencias que siguen los investigadores en didáctica de las ciencias sin duda revelaría que el uso que hacen del trabajo de los psicólogos es menor de lo que sería aconsejable. Esta situación es tan paradójica como la que se produciría en medicina si los médicos ignorasen, por ejemplo, los resultados obtenidos por la bioquímica. La conclusión más evidente de todo lo anterior es que un fundamento teórico basado en los puntos de vista actuales en psicología educativa o en psicología cognitiva no puede sino reforzar el carácter científico de los proyectos de investigación. Creemos que éste es el mejor camino, tal vez el único camino para mejorar a medio y largo plazo los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto PB93-0478 financiado por la DGICYT y la acción integrada Hispano-Portuguesa, HP-1997-0008 del Ministerio de Educación y Ciencia. Queremos agradecer los comentarios de un revisor anónimo de la revista.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, B. (1986). The experimental gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8, pp. 155-171.
- AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D. y HANESIAN, H. (1983). *Psicología educativa: Un punto de vista cognitivo*. México: Trillas.
- BABBS, P. y MOE, A. (1983). Metacognition: Key for independent learning from text. *Reading Teacher*, 36, pp. 422-426.
- BAKER, L. (1985a). How do we know when we don't understand? Standards for evaluating text comprehension, en Forrest-Pressley, D.L., Mackinnon, G.E., Waller, T.G. (eds.). *Metacognition, cognition and human performance*. Nueva York: Academic Press.
- BAKER, L. (1985b). Differences in the standards used by college students to evaluate their comprehension of expository prose. *Reading Research Quarterly*, 20, pp. 297-313.
- BAKER, L. (1991). Metacognition, reading and science education, en Santa, C.M. y Alvermann, D. (eds.). *Science learning: Processes and applications*. Newsdale, Delaware: International Reading Association.
- BARON, J. (1993). Nonconsequential decisions. *Psychology*. <http://www.cogsci.soton.ac.uk/bbs/Archive/bbs.baron.html>.
- BERRY, J. y SAHLBERG, P. (1996). Investigating pupils' ideas of learning. *Learning and Instruction*, 6, pp. 19-36.
- BROWN, D.E. y CLEMENT, J. (1987). Misconceptions concerning Newton's law of action and reaction: The underestimated importance of the third law, en Novak, J.D. (ed.). *Proceedings of the Second International Seminar «Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics»*. Nueva York: Cornell University, Ithaca.
- CAMPANARIO, J.M. (1995a). Los problemas crecen: a veces los alumnos no se enteran de que no se enteran. *Aspectos didácticos de física y química*, 6, pp. 87-126. Zaragoza: ICE, Universidad de Zaragoza.
- CAMPANARIO, J.M. (1995b). Concepciones erróneas en el área de mecánica de varios grupos de estudiantes universitarios nicaragüenses. *Ponencia presentada en las I Jornadas Hispánico-nicaragüenses de Física*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-León).
- CAMPANARIO, J.M. (1997). ¿Por qué a los científicos y a nuestros alumnos les cuesta tanto, a veces, cambiar sus ideas

- científicas? *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 11, pp. 31-62.
- CAMPANARIO, J.M. (1998a). Preguntas y respuestas sobre la evaluación de los alumnos en la enseñanza de las ciencias. *Tarbiya*, 19, pp. 69-84.
- CAMPANARIO, J.M. (1998b). Metacognición y aprendizaje de las ciencias: Estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno. (En revisión.)
- CAMPANARIO, J.M. (1998c). Ventajas e inconvenientes de la historia de la ciencia como recurso en la enseñanza de las ciencias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 11, pp. 5-14.
- CAMPANARIO, J.M. (1998d). Using counterintuitive problems in teaching Physics. *The Physics Teacher*, 36, pp. 26-28.
- CAMPANARIO, J.M., CUERVA, J., MOYA, A. y OTERO, J. (1998). La metacognición y el aprendizaje de las ciencias. *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*. Murcia: Diego Marín.
- CAMPANARIO, J.M. y MOYA, A. (1998). ¿Cómo enseñar ciencias? Las principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*. (En prensa, aceptado para su publicación.)
- CAMPANARIO, J.M. et al. (1998). Comprehension monitoring and academic achievement from primary to tertiary education in two educational systems. (En revisión.)
- CAMPANARIO, J.M., GARCÍA-ARISTA, E., OTERO, J.C., PATRICIO, A., COSTA, E., PRATA, E.M., CALDEIRA, M.H., THOMAS, M. (1994). Em que medida o controlo da compreensão ajuda a melhorar o rendimento académico? Uma investigação com estudantes espanhóis e portugueses. *Comunicación presentada en FISICA' 94: Encontro Ibérico para o Ensino da Física*. Covilha, Portugal: UBI.
- CARIN, A.A. y SAND, R.B. (1985). *Teaching modern science*. Columbus, Ohio: Merrill.
- CARRASCOSA, J. y GIL, D. (1985). La metodología de la superficialidad y el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 3, pp. 113-120.
- CARRASCOSA, J. y GIL, D. (1992). Concepciones alternativas en mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10, pp. 314-327.
- CARRETERO, M. y LIMÓN, M. (1995). The theoretical basis of constructivism and its implications for instructional design. *Ponencia presentada en la V EARLI Conference*. Aix en Provence. Francia.
- CARTER, G.S. y SIMPSON, R.D. (1978). Science and reading: A basic duo. *The Science Teacher*, 45, p. 20
- CERVANTES, A. (1987). Los conceptos de *calor y temperatura*: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5, pp. 66-70.
- CLEMINSON, A. (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, pp. 429-445.
- COSTA, A.L. (1986). Mediating the metacognitive. *Educational Leadership*, 42, pp. 57-62.
- CROS, D. y MAURIN, M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education*, 8, pp. 305-313.
- DISESSA, A. (1982). Unlearning aristotelian Physics: A study of knowledge-based learning. *Cognitive Science*, 6, pp. 37-75.
- DISESSA, A. (1993). Toward an epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10, pp. 105-225.
- DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, pp. 109-120.
- DRIVER, R. y ERICKSON, G. (1983). Theories-in-action: some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, 10, pp. 37-60.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHEN, A. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press.
- DUIT, R. (1991). Students' conceptual frameworks consequences for learning science, en Glynn, S., Yeany, R. y Britton, B. (eds.). *The Psychology of Learning Science*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- ERTMER, P.A. y NEWBY, T.J. (1996). The expert learner: Strategic, self-regulated and reflective. *Instructional Science*, 24, pp. 1-24.
- ESLER, W.K. y ESLER, M.K. (1985). *Teaching elementary science*. Belmont, California: Wadsworth.
- FLAVELL, J.H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving, en Resnick, L.B. (ed.). *The nature of intelligence*. Hillsdale, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum.
- GARCÍA-ARISTA, E., CAMPANARIO, J.M. y OTERO, J.C. (1996). Influence of subject matter setting on comprehension monitoring. *European Journal of Psychology of Education*, 11, pp. 427-441.
- GASKELL, P.J. (1992). Authentic science and school science. *International Journal of Science Education*, 14, pp. 265-272.
- GIL, D. (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. (1994). Relaciones entre conocimiento escolar y conocimiento científico. *Investigación en la Escuela*, 23, pp. 17-32.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1990). What to do about science misconceptions? *Science Education*, 74, pp. 531-540.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: ICE, Universitat de Barcelona.
- GIL, D., MARTÍNEZ-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, pp. 131-146.
- GIL, D., PESSOA, A.M., FORTUNY, J.M. y AZCÁRATE, C. (1994). *Formación del profesorado de las ciencias y las matemáticas. Tendencias y experiencias innovadoras*. Madrid: Editorial Popular.
- GIORDAN, A. (1996). ¿Cómo ir más allá de los modelos constructivistas? La utilización didáctica de las concepciones de los estudiantes. *Investigación en la Escuela*, 28, pp. 7-22.
- GLENBERG, A.M. y EPSTEIN, W. (1985). Calibration of comprehension. *Journal of Experimental Psychology*, 11, pp. 702-718.
- GUNSTONE, R.F. y NORTHFIELD, J. (1994). Metacognition and learning to teach. *International Journal of Science Education*, 16, pp. 523-537.

- GUSTAFSON, B.J. y ROWELL, P.M. (1995). Elementary preservice teachers constructing conceptions about learning science, teaching science and the nature of science. *International Journal of Science Education*, 17, pp. 589-605.
- HAMMER, D. (1994). Epistemological beliefs in introductory Physics. *Cognition and Instruction*, 12, pp. 151-183.
- HAMMER, D. (1995). Epistemological considerations in teaching introductory Physics. *Science Education*, 79, pp. 393-413.
- HASHWEH, M. (1988) Descriptive studies of students' conceptions in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 25, pp. 121-134.
- HEGARTY-HAZEL, E. (1991). Relationship between students' conceptual knowledge and study strategies-part 1: student learning in Physics. *International Journal of Science Education*, 13, pp. 303-312.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1991). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y de la química*. Málaga: Elzevir.
- HODSON, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, pp. 299-313.
- KARMILLOFF-SMITH, A. y INHELDER, B. (1981). If you want to get ahead, get a theory. *Infancia y Aprendizaje*, 13, pp. 67-88.
- KEMPA, R.F. (1991). Students' learning difficulties in science. Causes and possible remedies. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, pp. 119-128.
- KRUGER, C., PALACIO, D. y SUMMERS, M. (1992). Survey of English primary teachers' conceptions of force, energy and materials. *Science Education*, 76, pp. 339-351.
- LAROCHELLE, M. y DÉSAUTELS, J. (1991). «Of course, it's obvious»: adolescents' ideas of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 13, pp. 373-389.
- LINDER, C. (1992). Is teacher-reflected epistemology a source of conceptual difficulty in Physics? *International Journal of Science Education*, 14, pp. 111-121.
- LINDER, C. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*, 77, pp. 293-300.
- LÓPEZ, A.B. (1980) Metacognitive development: Implications for cognitive training. *Excepcional Education Quarterly*, 1, pp. 1-18.
- MASON, L. (1994). Cognitive and metacognitive aspects in conceptual change by analogy. *Instructional Science*, 22, pp. 157-187.
- MEICHTRY, Y.J. (1993). The impact of science curricula on students' views about the nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 429-443.
- MELE, A.R. (1996). Real self-deception. *Psychology*, <http://www.cogsci.soton.ac.uk/bbs/Archive/bbs.mele.html>.
- NOVAK, J.D. y GOWIN, D.B. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Martínez Roca.
- OSBORNE, R.J. y WITROCK, M.C. (1983). Learning science: A generative process. *Science Education*, 67, pp. 489-508.
- OTERO, J.C. (1990). Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: el papel de los esquemas y el control de la propia comprensión. *Enseñanza de las Ciencias*, 8, pp. 17-22.
- OTERO, J.C. y CAMPANARIO, J.M. (1990). Comprehension evaluation and regulation in learning from science texts. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, pp. 447-460.
- OTERO, J.C., CAMPANARIO, J.M. y HOPKINS, K.D. (1992). The relationship between academic achievement and metacognitive comprehension monitoring ability of Spanish secondary school students. *Educational and Psychological Measurement*, 52, pp. 419-430.
- PARIS, S.G., LIPSON, M.Y. y WIXSON, K.K. (1983). Becoming a strategic reader. *Contemporary Educational Psychology*, 8, pp. 293-316.
- PFUNDT, H. y DUIT, R. (1994). *Bibliography on students' alternative frameworks and science education*. Kiel, Alemania: Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften.
- PINTÓ, R., ALIBERAS, J. y GÓMEZ, R. (1996). Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, pp. 221-232.
- PORLÁN, R. (1994). Las concepciones epistemológicas de los profesores: el caso de los estudiantes de magisterio. *Investigación en la Escuela*, 22, pp. 67-84.
- POZO, J.I. (1987). La historia se repite: las concepciones espontáneas sobre el movimiento y la gravedad. *Infancia y Aprendizaje*, 38, pp. 69-87.
- POZO, J.I. y CARRETERO, M. (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia? *Infancia y Aprendizaje*, 38, pp. 35-52.
- POZO, J.I., GÓMEZ, M.A., LIMÓN, M. y SANZ, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre química*. Memoria final. Madrid: CIDE-MEC.
- POZO, J.I., SANZ, A., GÓMEZ, M.A. y LIMÓN, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, pp. 83-94.
- PRAIA, J. y CACHAPUZ, F. (1994). Un análisis de las concepciones acerca de la naturaleza del conocimiento científico de los profesores portugueses de la enseñanza secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, pp. 350-354.
- PREECE, P. (1984). Intuitive science: learned or triggered? *European Journal of Science Education*, 6, pp. 7-10.
- PURDIE, N., HATTIE, J. y DOUGLAS, G. (1996). Student conceptions of learning and their use of self-regulated learning strategies: A cross-cultural comparison. *Journal of Educational Psychology*, 88, pp. 87-100.
- RAMPAL, A. (1992). Images of science and scientist: A study of school teachers' views I: Characteristics of scientists. *Science Education*, 76, pp. 415-436.
- REIF, F. y LARKIN, J.H. (1991). Cognition in scientific and everyday domains: Comparison and learning implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 733-760.
- RENNSTRÖM, L. (1987). Pupils conceptions of matter. A phenomenographic approach, en Novak, J.D. (ed.). *Proceedings of the 2nd International Seminar «Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics»* Vol III. Ithaca, Nueva York: Cornell University.
- RESNICK, L.B. (1983). Toward a cognitive theory of instruction, en Paris, S., Olson, G. y Stevenson, H. (eds.). *Learning and motivation in the classroom*. Hillsdale, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum.

- ROGAN, J.M. (1988). Development of a conceptual framework of heat. *Science Education*, 72, pp. 103-113.
- ROTH, W.M. y ROYCHOUDHURY, A. (1994). Physics students' epistemologies and views about knowing and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, pp. 5-30.
- RYAN, A.G. y AIKENHEAD, G.S. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. *Science Education*, 76, pp. 559-580.
- RYAN, M.P. (1984). Monitoring text comprehension: Individual differences in epistemological standards. *Journal of Educational Psychology*, 76, pp. 248-258.
- SALINAS, J., CUDMANI, L.C. y PESA, M. (1996). Modos espontáneos de razonar: análisis de su incidencia en el aprendizaje del conocimiento científico a nivel universitario básico. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, pp. 209-220.
- SAXENA, A.B. (1992). An attempt to remove misconceptions related to electricity. *International Journal of Science Education*, 14, pp. 157-162.
- SEGURA, D. (1991). Una premisa para el cambio conceptual: El cambio metodológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, pp. 175-180.
- SONGER, N.B. y LINN, M.C. (1991). How do students' views of science influence knowledge integration? *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 761-784.
- SPECTOR, B.S. y GIBSON, C.W. (1991). A qualitative study of middle school students' perceptions of factors facilitating the learning of science: Grounded theory and existing theory. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 467-484.
- SPRING, H.T. (1985). Teacher decision making: A metacognitive approach. *Reading Teacher*, 39, pp. 290-295.
- SWANSON, H.L. (1990). Influence of metacognitive knowledge and aptitude on problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 82, pp. 306-314.
- THIBERGHIE, A., PSILLOS, D. y KOUMARAS, P. (1995). Physics instruction from epistemological and didactical bases. *Instructional Science*, 22, pp. 423-444.
- TOUGER, J.S., DUFRESNE, R.J., GERACE, W.J., HARDIMAN, P.T. y MESTRE, J.P. (1995). How novice Physics students deal with explanations. *International Journal of Science Education*, 17, pp. 255-269.
- VADHAN, V. y STANDER, P. (1994). Metacognitive ability and test performance among college students. *The Journal of Psychology*, 128, pp. 307-309.
- VIENNOT, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1, pp. 202-222.
- WAINER, H. y THISSEN, D. (1994). On examinee choice in educational testing. *Review of Educational Research*, 64, pp. 159-195.
- WHITAKER, R.J. (1983). Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion. *American Journal of Physics*, 51, pp. 352-357.
- WOLFF-MICHAEL, R. (1994). Physics students' epistemologies and views about knowing and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, pp. 5-30.
- ZIMMERMAN, B.J. (1990). Self-regulated learning and academic achievement: An Overview. *Educational Psychologist*, 25, pp. 3-17.
- ZIMMERMAN, B.J. y MARTÍNEZ-PONS, M. (1990). Student differences in self-regulated learning: Relating grade, sex and giftedness to self efficacy and strategy use. *Journal of Educational Psychology*, 82, pp. 51-59.

[Artículo recibido en mayo de 1997 y aceptado en octubre de 1998.]