

Capítulo 6

¿Cómo hacer posible el aprendizaje significativo de conceptos y teorías?

Jaime Carrascosa, Daniel Gil Pérez y Pablo Valdés

ALGUNAS CUESTIONES QUE SE ABORDAN EN ESTE CAPÍTULO

- ¿Cuáles podrían ser las causas fundamentales que expliquen el origen y persistencia de los errores conceptuales en el aprendizaje de las ciencias?
- ¿A qué puede ser debida la ineficacia de la enseñanza habitual para desplazar las concepciones precientíficas por los conocimientos científicos?
- ¿Cuáles podrían ser las orientaciones generales para favorecer el aprendizaje de las ciencias (tanto de los conceptos como de la resolución de problemas o del trabajo experimental)?

EXPRESIONES CLAVE

Errores conceptuales; esquemas conceptuales alternativos; epistemología del sentido común; modelos constructivistas de aprendizaje; aprendizaje como investigación orientada.

INTRODUCCIÓN

En los capítulos 4 y 5 hemos abordado dos actividades básicas en el aprendizaje de las ciencias, el trabajo experimental y la resolución de problemas de lápiz y papel, estudiando las limitaciones de su tratamiento en la enseñanza habitual y las propuestas alternativas que permiten integrarlas coherentemente en la orientación de aprendizaje como investigación que fundamentamos en el capítulo 2. En el presente capítulo realizaremos un estudio semejante, centrado ahora en la introducción y manejo de los conceptos y sus relaciones, es decir, en el aprendizaje de los conocimientos teóricos.

Comenzaremos señalando que, durante bastante tiempo, la enseñanza de conceptos ha preocupado menos a los investigadores que otras cuestiones, como la resolución de problemas o la realización de prácticas de laboratorio.

Propuesta de trabajo

¿A qué se podría atribuir la menor atención que la investigación didáctica ha prestado en el pasado al aprendizaje de conceptos?

Como es lógico, la investigación educativa se centra, inicialmente, en los aspectos cuyo aprendizaje presenta mayores dificultades. En este sentido, la resolución de problemas, con su alto índice de fracasos, o las prácticas de laboratorio (apenas presentes en la enseñanza secundaria) resultaban mucho más preocupantes que el aprendizaje de conceptos, ya que los alumnos parecían contestar con relativa facilidad a las preguntas “teóricas”. Cabía sospechar, sin embargo –y algunos lo hacían–, que la aparente facilidad para responder a tales preguntas fuera el resultado de una simple repetición memorística. ¿Podía hablarse de comprensión real cuando esos alumnos no eran capaces de utilizar sus conocimientos para resolver sencillos problemas?

Cualquier profesor con cierta experiencia docente puede recordar ejemplos de respuestas “extrañas” que revelan la profunda incomprensión de algún concepto clave. Pero, en general, puede decirse que la mayoría de los alumnos contesta con relativa facilidad al tipo de cuestiones teóricas habitualmente empleadas en los exámenes, mientras que, por el contrario, su trabajo en la resolución de problemas es mucho más deficiente. Fue precisamente la introducción de otro tipo de cuestiones lo que permitió sacar a la luz una grave y general incomprensión de, incluso, los conceptos más fundamentales y reiteradamente enseñados (Viennot, 1979). La respuesta a una sencilla pregunta cualitativa, del tipo “una piedra cae desde cierta altura en un segundo, ¿cuánto tiempo tardará en caer desde la misma altura otra piedra de doble masa?” mostraba que un porcentaje muy alto de alumnos, al final de su educación secundaria (e incluso de estudiantes universitarios), consideraba que una masa doble se traducían en mitad de tiempo de caída. Y ello después de haber resuelto decenas de ejercicios numéricos sobre caída de graves e incluso después de haber hecho un estudio experimental del tema.

La publicación de algunos estudios rigurosos, como la tesis de Laurence Viennot (1976), atrajo la atención sobre el problema del aprendizaje conceptual, que cuestionaba la efectividad de la enseñanza allí donde los resultados parecían más positivos; los alumnos no sólo terminaban sus estudios sin saber resolver problemas y sin una imagen adecuada del trabajo científico, sino que la inmensa mayoría de ellos ni siquiera había logrado comprender el

significado de los conceptos científicos más básicos, a pesar de una enseñanza reiterada. Particularmente relevante era el hecho de que los errores que cometían no constituían simples olvidos o equivocaciones momentáneas, sino que se expresaban como ideas seguras y persistentes, afectando de forma similar a alumnos de distintos países y niveles e incluso a un porcentaje significativo de profesores.

No es de extrañar, pues, que el estudio de los que se denominaron *errores conceptuales* se convirtiera rápidamente, a partir de los años ochenta, en una potente línea de investigación y que el profesorado concediera a dichos estudios una atención muy particular, como si conectara con algo que en cierto modo se hubiera ya intuido más o menos confusamente a través de la práctica docente.

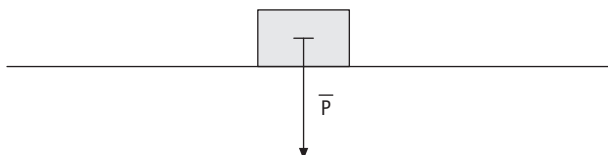
LOS ERRORES CONCEPTUALES COMO SÍNTOMA

Puede ser interesante, para mejor comprender la problemática que plantean los errores conceptuales, analizar algún ejemplo de cuestiones en las que se suelen cometer dichos errores.

Propuesta de trabajo

Consideren las cuestiones que se proponen dando respuesta a las mismas.

- a) La figura adjunta representa un bloque que se encuentra en reposo sobre una mesa horizontal y la fuerza de la gravedad que actúa sobre el mismo.



Dibujen la fuerza de reacción correspondiente a dicha fuerza gravitatoria.

- b) Expliquen por qué un astronauta “flota” dentro de una nave en órbita alrededor de la Tierra.

En la primera de las cuestiones es bastante habitual encontrar como respuesta una fuerza aplicada al mismo bloque, de la misma magnitud y dirección que el peso y de sentido contrario.

Naturalmente, la respuesta es incoherente con el tercer principio de la dinámica, ya que, en primer lugar, la fuerza de la gravedad se debe a la interacción entre la Tierra y el bloque, por lo que la fuerza de reacción deberá estar aplicada *en la Tierra* y no en el propio bloque. La fuerza que se suele dibujar es la que la mesa ejerce sobre el bloque (cuya reacción es la fuerza que el bloque ejerce sobre la superficie de la mesa). Esta interacción entre el bloque y la mesa no es, por supuesto, de naturaleza gravitatoria, sino electromagnética. Con otras palabras, la fuerza que ejerce el bloque sobre la superficie de la mesa *nunca es* la de la gravedad (aunque su valor, en determinados casos como éste, coincida con el del peso).

En cuanto a la segunda de las cuestiones planteadas, se suelen cometer diversos errores conceptuales, tales como afirmar que el astronauta flota *porque la gravedad es muy pequeña o nula*, o bien señalar que la fuerza de atracción gravitatoria se anula con la fuerza centrífuga que actúa sobre el astronauta. Algunos llegan a pensar, incluso, que lo que ocurre es que en realidad los objetos “celestes” no se comportan igual que los “terrestres”, porque se liberan de la atracción terrestre.

No se tiene en cuenta, por una parte, que tanto la nave como el astronauta que va dentro de ella se encuentran sometidos a una atracción gravitatoria terrestre casi tan intensa como en la propia superficie de la Tierra (pensemos que las naves suelen situarse a menos de 500 km de dicha superficie, lo que no supone una gran variación con relación a los más de 6.000 km del radio de la Tierra). Es precisamente la existencia de esa fuerza gravitatoria lo que explica que la velocidad de la nave vaya cambiando continuamente de dirección. Si realmente la fuerza gravitatoria fuera muy débil o estuviera contrarrestada por una supuesta “fuerza centrífuga”, la nave habría de seguir moviéndose en línea recta y con la velocidad que llevase, tal como establece el primer principio de la dinámica.

¿Por qué, entonces, se dice que los astronautas trabajan en “estado de ingravidez”? Se trata de una “ingravidez aparente”, ya que la gravedad sigue actuando. Todos los cuerpos del interior de la nave, y la propia nave, tienen la misma aceleración: la de la gravedad. Es la misma situación que la de los cuerpos en un ascensor en caída libre. Si en este caso una persona en su interior suelta un lápiz, éste no caería al suelo. Así pues, cuando se dice que un astronauta está en estado de “ingravidez” debe interpretarse que *se halla en caída libre*, sometido a la acción de la fuerza gravitatoria terrestre, no que se encuentre en un lugar donde no exista gravedad. Flota dentro de la estación espacial análogamente a como lo haría otra persona dentro de la cabina de un ascensor al que se le hubiesen roto los cables.

Mediante las dos cuestiones anteriores hemos tenido ocasión de asomarnos al problema de los errores que se suelen cometer al plantearse la utilización de algunos conceptos básicos de ciencias en determinados contextos. Dichos errores afectan a la mayoría de los campos científicos. Miles de artículos publicados dan cuenta de ello. Pueden consultarse, por ejemplo, las periódicas recopilaciones de trabajos realizadas por Duit y colaboradores (Pfundt y Duit, 1998; Duit, 2004).

Pero nuestro principal interés aquí estriba en comprender sus causas y diseñar estrategias de enseñanza que permitan salir al paso de unos resultados tan negativos *también* en el aprendizaje teórico (Gil-Pérez et al., 1991).

Propuesta de trabajo

Indiquen, a título de hipótesis, cuáles podrían ser las causas

fundamentales que expliquen el origen y la persistencia de los errores

conceptuales en el aprendizaje de las ciencias.

CAUSAS DE LOS ERRORES CONCEPTUALES

Los intentos de explicación de la abundancia y persistencia de errores conceptuales en numerosos dominios de las ciencias han apuntado básicamente a dos causas, relacionadas, además, entre sí: por una parte, se ha barajado la hipótesis –con unos u otros matices– de que esos “errores” constituyen más bien ideas espontáneas o preconcepciones que los alumnos ya tenían previamente al aprendizaje escolar. En segundo lugar, la atención se ha dirigido hacia el tipo de enseñanza habitual, poniendo en duda que la transmisión de conocimientos elaborados haga posible una recepción significativa de los mismos, es decir, haga posible que los alumnos aprendan significativamente las ideas que les han transmitido. Nos referiremos con algún detalle a los estudios realizados en ambos campos.

Propuesta de trabajo

¿Hasta qué punto puede aceptarse que los niños y niñas posean ideas previas a la enseñanza (preconcepciones) sobre cuestiones relacionadas con la ciencia?

Las investigaciones sobre errores conceptuales condujeron muy rápidamente a distintos autores a verificar la hipótesis relativamente plausible de la existencia en los niños de ideas sobre temas científicos previas al aprendizaje escolar y que fueron designadas como *teorías ingenuas* (Caramazza, McCloskey y Green, 1981), *ciencia de los niños* (Gilbert, Osborne y Fensham, 1982; Osborne y Bell, 1983), *esquemas conceptuales alternativos* (Driver y Easley, 1978), *representaciones* (Giordan, 1985), etc.

Conviene señalar que, aunque el interés por las preconcepciones es reciente, existen precedentes que, con notable antelación, llamaron la atención sobre la “prehistoria del aprendizaje” (Vigotsky, 1973) o se refirieron al hecho de que, a menudo, “se conoce contra un conocimiento anterior” (Bachelard, 1938). Y es necesario no olvidar tampoco los trabajos de Piaget (1971), que plantean el rastreo del origen psicológico de las nociones hasta sus estadios precientíficos, o de Ausubel (1978), quien llega hasta afirmar: “Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averíguese esto y enséñese consecuentemente”.

La mayoría de los estudios, realizados en campos muy diversos (Pfundt y Duit, 1998), coinciden básicamente en la caracterización de esos conocimientos previos (Driver, 1986):

- Parecen dotados de cierta coherencia interna (de aquí que autores como Driver hablen de “esquemas conceptuales” y no de simples preconcepciones aisladas).
- Son comunes a estudiantes de diferentes medios y edades.
- Presentan cierta semejanza con concepciones que estuvieron vigentes a lo largo de la historia del pensamiento.
- Son persistentes, es decir, no se modifican fácilmente mediante la enseñanza habitual, incluso reiterada.

También la mayoría de los autores coinciden en considerar esas preconcepciones como el fruto de las experiencias cotidianas de los niños, tanto de sus experiencias físicas (que están constantemente reforzando la idea de que los cuerpos más pesados caen más aprisa,

o de que hace falta aplicar una fuerza para que un cuerpo se mueva, etc.), como de las sociales (a través, por ejemplo, del lenguaje [Llorens, De Jaime y Llopis, 1989] que constituye la cristalización de un conocimiento precientífico en el que, por ejemplo, calor y frío aparecen como sustancias o la palabra animal constituye un insulto). El carácter reiterado de estas experiencias explicaría la persistencia y demás características de las preconcepciones (ser comunes a estudiantes de diferentes medios y edades, etc.). Algunos autores, sin embargo, han defendido interpretaciones diferentes. Conviene detenerse en estudiar sus argumentos –compartidos intuitivamente por parte del profesorado– y profundizar así en el origen de esas preconcepciones para fundamentar un posible tratamiento de las mismas que facilite la comprensión de los conocimientos científicos por los alumnos, evitando los “errores conceptuales”.

Nos referiremos en primer lugar a las tesis de McClelland (1984), quien expresa toda una serie de reservas acerca de la existencia misma de esquemas conceptuales alternativos:

- a) Suponer que los alumnos poseen esquemas conceptuales de una cierta coherencia significa atribuirles un comportamiento similar al de los científicos, ignorando la diferencia radical entre el pensamiento de los niños y el de los científicos.
- b) Los fenómenos físicos no son lo suficientemente relevantes para la inmensa mayoría de los seres humanos y, por tanto, para muchos no pueden ser objeto de la concentración y esfuerzo necesarios que precisa la construcción de esquemas teóricos.
- c) Las respuestas de los niños a las cuestiones que se les plantean sobre los fenómenos físicos que forman parte de su experiencia, no son indicativas de la existencia de preconcepciones, sino el resultado de un cierto imperativo social que les obliga a una “inatención estratégica”, es decir, a dar una respuesta dedicándole el mínimo de atención necesaria para no chocar con el profesor.
- d) Al suponer que el desarrollo histórico de las ideas científicas se reproduce en cada individuo, se infravalora gravemente la potencia y cohesión de las ideas de los adultos en cualquier sociedad humana y se olvidan las diferencias de contexto y de propósito entre el pensamiento adulto y el infantil.

No es difícil mostrar algunas insuficiencias en los argumentos de McClelland. En primer lugar, al imputar los errores conceptuales a una “inatención estratégica” de los alumnos y no a la existencia de verdaderas preconcepciones, no tiene en cuenta que algunos de esos errores –particularmente en el dominio de la mecánica– no son sólo cometidos por niños, sino también por estudiantes universitarios e incluso por profesores en activo. No se puede negar pues la existencia de preconcepciones –algunas profundamente enraizadas y de difícil substitución por los conceptos científicos– ni interpretar los errores conceptuales como resultado de la inatención de los niños frente a cuestiones que no les interesan.

Es cierto que, como McClelland señala, la diferencia entre el pensamiento de los niños y el de los científicos es categórica y no de grado; pero lo mismo puede decirse acerca de las concepciones elaboradas por los pensadores de la antigua Grecia: son esencialmente diferentes de las ideas científicas. De hecho, las claras semejanzas entre las concepciones infantiles sobre el movimiento y el paradigma aristotélico –mostradas por los estudios de Piaget (1970) sobre epistemología genética– no pueden ser accidentales, sino la consecuencia de una misma metodología, consistente en sacar conclusiones a partir de observaciones cualitativas no controladas, en extrapolar las “evidencias”, aceptándolas acríticamente (Piaget, 1969). Ésta es la forma de pensamiento que llevaba a Aristóteles a escribir: “Un peso dado cubre una cierta distancia en un tiempo dado, un peso mayor

cubre la misma distancia en un tiempo menor, siendo los tiempos inversamente proporcionales a los pesos. Así, si un peso es doble de otro, tardará la mitad de tiempo en realizar un movimiento dado” (De Caelo). Y ésta es la metodología que lleva a los alumnos (e incluso a estudiantes universitarios y profesores en formación) a afirmar que “un cuerpo con doble masa que otro caerá en la mitad de tiempo que éste”. Podríamos así decir que la distinción entre el pensamiento infantil y el pensamiento precientífico de los adultos es sólo de grado, no categórica: el paradigma aristotélico es, sin duda, más elaborado y coherente que los esquemas conceptuales de los alumnos, pero ambos se basan en “evidencias de sentido común” (Gil-Pérez y Carrascosa, 1985; Hashweh, 1986).

Quisiéramos señalar por último que, si bien los fenómenos físicos no son suficientemente relevantes para llevar a los alumnos a teorizar sobre ellos, no debemos olvidar que a lo largo de muchos años las experiencias cotidianas han impuesto inconscientemente una cierta visión del comportamiento de la materia (tendencia de los objetos al reposo, etc.) muy similar a las concepciones aristotélicas. No se trata, pues, de teorización, sino de aceptación acrítica de lo que parece evidente.

Una postura diametralmente opuesta es la que sostiene Preece (1984), quien para explicar la persistencia de las preconcepciones avanza la hipótesis de que no son fruto de la experiencia, sino ideas innatas (lo que explicaría también su semejanza con las concepciones históricas). Dicha hipótesis, sin embargo, no tiene en cuenta que las ideas intuitivas de nuestros alumnos no son fácilmente adquiridas; por el contrario, son el resultado de un largo proceso basado en experiencias cotidianas en un cierto medio cultural. Y lo mismo puede decirse del paradigma aristotélico. De hecho, los alumnos muy jóvenes o las culturas muy primitivas no tienen la relativa coherencia de los esquemas conceptuales alternativos de los adolescentes o de la física preclásica. Por otra parte, el punto de vista innatista no da ninguna explicación acerca de cómo el paradigma aristotélico fue históricamente substituido, ni de qué puede hacerse para ayudar a los alumnos a adquirir conceptos científicos que se oponen a las ideas innatas.

Los resultados concordantes de numerosas investigaciones permiten afirmar la existencia de esquemas conceptuales espontáneos. Dichos esquemas tendrían en cierto modo la categoría de conocimientos precientíficos, fruto de una epistemología del sentido común, próxima a la que explica la constitución de la física aristotélico-escolástica, vigente durante más de veinte siglos y cuyo desplazamiento por la física clásica no fue precisamente fácil. Tenemos aquí un primer elemento explicativo de la persistencia de las preconcepciones.

Pero la existencia de preconcepciones no puede por sí sola justificar los resultados tan negativos obtenidos por la enseñanza habitual en la comprensión de los conocimientos científicos por los alumnos. Una mínima aproximación a la historia de las ciencias basta para darse cuenta de que los conocimientos científicos no fueron construcciones *ex nihilo*, sino que partieron de –y, a menudo, se enfrentaron con– concepciones precientíficas de una cierta coherencia. La existencia de preconcepciones, o, si se prefiere, de concepciones precientíficas, fruto de experiencias reiteradas, era algo perfectamente esperable, con lo que había que contar. Algo que Bachelard (1938) había ya señalado con toda claridad cincuenta años atrás: “Me ha sorprendido siempre que los profesores de ciencias, en mayor medida, si cabe, que los otros, no comprendan que no se comprenda (...) No han reflexionado sobre el hecho de que el adolescente llega a la clase de física con conocimientos empíricos ya constituidos; se trata, pues, no de *adquirir* una cultura experimental, sino más bien de *cambiar* de cultura experimental, de derribar los obstáculos ya

acumulados por la vida cotidiana". No sería, según esto, la existencia de preconcepciones en sí lo que explicaría los mediocres resultados obtenidos en el aprendizaje de conceptos, sino la "falta de comprensión" del profesorado que señala Bachelard, es decir, la propia enseñanza. Conviene detenerse, pues, en analizar la posible inadecuación de esa enseñanza para facilitar la adquisición de los conocimientos científicos.

Propuesta de trabajo

Analicen críticamente la enseñanza habitual con objeto de profundizar

en la comprensión de su ineficacia para desplazar las concepciones

precientíficas por los conocimientos científicos.

Lo que hemos visto hasta aquí sobre las preconcepciones incluye ya una primera crítica a la enseñanza habitual: su ignorancia de aquello que los alumnos ya conocen, la creencia de que basta transmitir los conocimientos científicos de forma clara y ordenada para que los alumnos los comprendan. La sorpresa general con que fueron recibidos los primeros resultados sobre "errores conceptuales" es ya un claro índice de que las estrategias de enseñanza no tenían en cuenta las concepciones iniciales de los alumnos. Esa ausencia de atención a lo que el alumno o alumna pueda pensar, a los obstáculos que esas preconcepciones puedan representar, resulta muy evidente en los libros de texto, como han mostrado diversos análisis (Gené, 1986; Carrascosa, 1987). Puede decirse, en efecto, que en la gran mayoría de los textos:

- no se incluyen actividades que permitan poner de manifiesto (directa o indirectamente) las posibles concepciones alternativas de los alumnos acerca de los temas estudiados;
- no se incluyen actividades ni se hacen referencias que lleven a analizar críticamente lo que dice el sentido común o la experiencia cotidiana acerca de los conceptos implicados;
- no se incluyen observaciones que llamen la atención sobre las ideas que históricamente han supuesto una barrera a la construcción de los conocimientos (y que podrían constituir también una barrera para el aprendizaje de los alumnos) en el dominio considerado;
- no se incluyen actividades para ver en qué medida se ha conseguido la comprensión real de los conceptos introducidos, en qué medida las concepciones precientíficas han sido superadas.

Se han hecho también análisis de los errores conceptuales contenidos en los mismos textos: las "perlas" son innumerables y van desde títulos como "Las fuerzas como causa del movimiento" a explicaciones (?) del movimiento circular uniforme del tipo "Por el principio de acción y reacción, la fuerza centrípeta crea en el cuerpo otra igual y opuesta denominada centrífuga". Pero más grave que esta transmisión directa de concepciones incorrectas –que tiene, sobre todo, un valor de síntoma– es la visión que se transmite del trabajo científico, a la que ya nos hemos referido en capítulos anteriores: los conceptos son introducidos de forma aproblemática, es decir, sin referencia a los problemas que condujeron a su construcción (Otero, 1985) ni detenerse en los conflictos de ideas que el

tratamiento de esos problemas generó. No sólo se ignora así que el alumno no es una tabula rasa, sino que se trivializa el cambio de ideas que la construcción de los conocimientos científicos supone, llegando incluso a presentarlos como expresión del sentido común, cuando constituyen precisamente la ruptura con las “evidencias” de ese sentido común. Se olvida, en definitiva, que “las ciencias físicas y químicas, en su desarrollo contemporáneo, pueden caracterizarse epistemológicamente como dominios del pensamiento que rompen netamente con los conocimientos vulgares” (Bachelard, 1938).

Los resultados de la investigación apuntan a que una enseñanza que se limita a presentar los conocimientos elaborados, escondiendo todo el proceso que conduce a su elaboración, impide que los alumnos puedan hacer suyas las nuevas ideas, que sólo tienen sentido en la medida en que el tratamiento de determinados problemas exige su construcción (a menudo, *contra* concepciones previas más o menos sólidas).

¿En qué medida estas críticas explican realmente las dificultades de los alumnos? Tan sólo si teniéndolas en cuenta se consiguen resultados netamente mejores podrán aceptarse como válidas. Constituyen tan sólo explicaciones “tentativas” que exigen, para ser contrastadas, la elaboración de estrategias de enseñanza basadas en las mismas y la constatación de que con ellas los resultados del aprendizaje son significativamente más positivos.

PROPUESTAS ALTERNATIVAS PARA LA INTRODUCCIÓN DE LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS

El principal interés de las investigaciones sobre esquemas conceptuales alternativos de los alumnos no reside, por supuesto, en el conocimiento detallado de cuáles son sus preconcepciones en cada campo, aun cuando dicho conocimiento aparezca hoy como imprescindible para un correcto planteamiento de las situaciones de aprendizaje. La fecundidad de esta línea de investigación está asociada, sobre todo, a la elaboración de un nuevo modelo de aprendizaje de las ciencias.

Propuesta de trabajo

¿Qué estrategias para la enseñanza/aprendizaje de las ciencias podrían

derivarse de los estudios sobre preconcepciones?

La necesidad de nuevas estrategias de aprendizaje que hicieran posible el desplazamiento de las concepciones espontáneas por los conocimientos científicos ha dado lugar a propuestas que –al margen de algunas diferencias, particularmente terminológicas– coinciden básicamente en concebir el aprendizaje de las ciencias como una *construcción* de conocimientos, que parte necesariamente de un conocimiento previo. Se puede hablar así de la emergencia de un modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias (Novak, 1988) que integra las investigaciones sobre didáctica de las ciencias (Hewson, 1981; Posner et al., 1982; Gil-Pérez, 1983 y 1993; Osborne y Wittrock, 1983; Resnick, 1983; Driver, 1986 y 1988; Hodson, 1988...) con muchas otras contribuciones precedentes (Bachelard, Kelly, Piaget, Vigotsky...). Driver (1986) resumió así las principales características de la visión constructivista:

- Lo que hay en el cerebro del que va a aprender tiene importancia.
- Encontrar sentido supone establecer relaciones: los conocimientos que pueden conservarse permanentemente en la memoria no son hechos aislados, sino aquellos muy estructurados y que se relacionan de múltiples formas.
- Quien aprende construye activamente significados.
- Los estudiantes son responsables de su propio aprendizaje.

Particular influencia en el replanteamiento de la enseñanza de las ciencias ejerció la propuesta de considerar el aprendizaje como un *cambio conceptual* (Posner et al., 1982), fundamentada en el paralelismo existente entre el desarrollo conceptual de un individuo y la evolución histórica de los conocimientos científicos. Según esto, el aprendizaje significativo de las ciencias constituye una actividad racional semejante a la investigación científica, y sus resultados –el cambio conceptual– pueden contemplarse como el equivalente, siguiendo la terminología de Kuhn (1971), a un cambio de paradigma. A partir de las ideas de Toulmin (1977) sobre filosofía de la ciencia, Posner et al. (1982) identifican una serie de condiciones para que tenga lugar el cambio conceptual:

- Es preciso que se produzca insatisfacción con los conceptos existentes.
- Ha de existir una nueva concepción, mínimamente inteligible, que debe llegar a ser plausible (aunque inicialmente contradiga las ideas previas del alumno).
- Dicha concepción también ha de ser potencialmente fructífera, dando explicación a las anomalías encontradas y abriendo nuevas áreas de investigación.

Para el logro de dicho cambio conceptual, Driver (1986) propuso la siguiente secuencia de actividades:

- La identificación y clarificación de las ideas que ya poseen los alumnos.
- La puesta en cuestión de las ideas de los estudiantes a través del uso de contraejemplos.
- La introducción de nuevos conceptos, bien mediante “tormenta de ideas” de los alumnos, o por presentación explícita del profesor, o a través de los materiales de instrucción.
- Proporcionar oportunidades a los estudiantes para usar las nuevas ideas y hacer así que adquieran confianza en las mismas.

Los resultados experimentales sugieren que estas estrategias de enseñanza basadas en el modelo de cambio conceptual favorecen la adquisición de conocimientos científicos más eficazmente que la estrategia habitual de transmisión/recepción. De hecho, la atención a las ideas previas de los alumnos y la orientación de la enseñanza tendente a hacer posible el cambio conceptual aparecen hoy como adquisiciones relevantes de la didáctica de las ciencias, a la vez teóricamente fundamentadas y apoyadas por evidencia experimental. Pese a ello, algunos autores han constatado que ciertas concepciones alternativas son resistentes a la instrucción, incluso cuando ésta está orientada explícitamente a producir el cambio conceptual (Fredette y Lochhead, 1981; Engel y Driver, 1986; Shuell, 1987; White y Gunstone, 1989).

Las estrategias de cambio conceptual proponen comenzar el estudio de un tema sacando a la luz las preconcepciones que los estudiantes tienen en este campo para, a continuación, ponerlas en cuestión, a través del uso de contraejemplos, y provocar así conflictos cognitivos que preparen para aceptar las ideas científicas correctas.

Propuesta de trabajo

Señalen posibles inconvenientes de estas estrategias de cambio

conceptual para explicar por qué sus resultados no son suficientemente

positivos y sugieran posibles modificaciones.

Los limitados avances logrados con el modelo de cambio conceptual condujeron a una profundización del modelo, teniendo en cuenta otros aspectos además de la existencia de preconcepciones. En efecto, como ya hemos mencionado, la importancia de las concepciones alternativas de los alumnos y la necesidad de orientar el aprendizaje como un cambio conceptual y no como una adquisición *ex nihilo* puede basarse en la existencia de un cierto isomorfismo entre el aprendizaje (es decir, la construcción de conocimientos por los alumnos a partir –y en ocasiones en contra– de sus preconcepciones) y la investigación (es decir, la construcción de conocimientos por la comunidad científica a partir –y en ocasiones en contra– del paradigma vigente). Pero este mismo isomorfismo sugiere que para producir el cambio conceptual no basta con tomar en consideración las preconcepciones de los alumnos.

Nos hemos referido a cómo algunas preconcepciones de nuestros alumnos (caída de graves, comportamiento de los gases, concepto de fuerza, origen de ciertos seres vivos, etc.) recuerdan ciertas ideas que estuvieron vigentes, a veces durante siglos, antes del desarrollo de la ciencia moderna. Este paralelismo ya ha sido puesto de manifiesto reiteradamente por muchos autores que han señalado su importancia para enfocar más adecuadamente el aprendizaje de las ciencias.

Propuesta de trabajo

¿Qué consecuencias didácticas pueden derivarse del paralelismo entre las

preconcepciones de los estudiantes y algunas ideas vigentes en los orígenes de la

ciencia para el tratamiento del problema de las concepciones alternativas?

La semejanza entre las ideas intuitivas de los alumnos y las concepciones preclásicas no puede ser accidental, sino el resultado de una misma forma de abordar los problemas que ya hemos descrito. Recapitulando podemos decir que los esquemas conceptuales alternativos están asociados –al igual que lo estuvo la física preclásica– con una metodología caracterizada por la certidumbre, por la ausencia de dudas y la no consideración de soluciones alternativas, por respuestas muy rápidas y seguras basadas en las evidencias del sentido común y por tratamientos puntuales con falta de coherencia en el análisis de diferentes situaciones (Minestrell, 1982; Whitaker, 1983; Hewson, 1985).

Según esto, cabría pensar que *un cambio conceptual no es posible sin un cambio metodológico*. De hecho, el paradigma preclásico sólo pudo ser desplazado gracias a la nueva metodología que combinaba la creatividad del pensamiento divergente con el rigor de la contrastación de las hipótesis mediante experimentos en condiciones controladas y la búsqueda de coherencia global. Históricamente, ese cambio conceptual no fue en absoluto

fácil y es lógico pensar que lo mismo ocurrirá con los alumnos: solamente si son puestos reiteradamente en situación de aplicar esta metodología (es decir, en situación de construir hipótesis, diseñar experimentos, realizarlos y analizar cuidadosamente los resultados, con una atención particular a la coherencia global, etc.) será posible que superen su metodología del sentido común al tiempo que se producen los profundos cambios conceptuales que exige la construcción del conocimiento científico.

Las consideraciones anteriores implican una crítica de las estrategias de enseñanza de cambio conceptual que hemos descrito, en un doble aspecto: por una parte dichas estrategias parecen poner exclusivamente el acento en la modificación de las ideas. Y aunque es cierto, como señala Hewson (1985), que el cambio conceptual tiene sus exigencias epistemológicas y no debe considerarse como un simple cambio del contenido de las concepciones, en nuestra opinión es necesario una mayor insistencia en que el cambio conceptual comporta un cambio metodológico, por lo que las estrategias de enseñanza han de incluir explícitamente actividades que asocien el cambio conceptual con la práctica de aspectos clave de la metodología científica, tal como ocurrió históricamente. Pensemos, a este respecto, que uno de los defectos de la enseñanza de las ciencias repetidamente denunciado ¿ ha sido el de estar centrada casi exclusivamente en los conocimientos declarativos (en los “qué”), olvidando los procedimentales (los “cómo”). No puede así esperarse que baste hablar de cambio conceptual para que se tengan en cuenta las exigencias metodológicas y epistemológicas que ello comporta. Por el contrario, cabe temer que sin una insistencia muy explícita y fundamentada, las actividades creativas del trabajo científico –la invención de hipótesis, la elaboración de diseños experimentales, etc.– continúen prácticamente ausentes de las clases de ciencias (Yager y Penick, 1983). Sin embargo, las estrategias de enseñanza a que nos hemos referido en el apartado anterior no parecen incluir esta aproximación de la actividad de los alumnos a lo que constituye la investigación científica.

Aún es posible hacer otra crítica más fundamental, si cabe, a esas estrategias de enseñanza: la secuencia que proponen consiste, como se recordará, en sacar a la luz las ideas de los alumnos, favoreciendo su formulación y consolidación, para después crear conflictos que las pongan en cuestión e introducir a continuación las concepciones científicas cuya mayor potencia explicativa va a hacer posible el cambio conceptual.

Es cierto que dicha estrategia puede, puntualmente, dar resultados muy positivos al llamar la atención sobre el peso de ciertas ideas de sentido común, asumidas acríticamente como evidencias; pero también es cierto que se trata de una estrategia “perversa”. En efecto, ¿qué sentido tiene hacer que los alumnos expliciten y afiancen *sus* ideas para seguidamente cuestionarlas?, ¿cómo no ver en ello un artificio que aleja la situación de lo que constituye la construcción de conocimientos?

Esa construcción nunca se plantea para cuestionar ideas, para provocar cambios conceptuales, sino como resultado de las investigaciones realizadas para resolver problemas de interés; problemas que se abordan, como es lógico, a partir de los conocimientos que se poseen y de nuevas ideas que se construyen a título tentativo. En ese proceso, las concepciones iniciales podrán experimentar cambios e incluso, aunque más raramente, ser cuestionadas radicalmente, pero ése no será nunca el objetivo, sino, repetimos, la resolución de los problemas planteados.

Por esta razón, la estrategia de enseñanza que nos parece más coherente con la orientación constructivista es la que plantea el aprendizaje como *tratamiento de situaciones problemáticas de interés*. Y de nuevo esto nos remite a la necesidad de asociar el aprendizaje

de conocimientos teóricos a la familiarización con el trabajo científico: todo aprendizaje aparece ahora como tratamiento de situaciones problemáticas y desaparece la habitual separación entre las actividades de introducción de conceptos, resolución de problemas y trabajos prácticos (Gil-Pérez et al., 1999).

EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO INVESTIGACIÓN ORIENTADA

La convergencia de las investigaciones en torno a los distintos aspectos del proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias (prácticas, problemas, teoría) permite reforzar el modelo de aprendizaje como investigación orientada –que esbozamos en el capítulo 2 para la superación de la imagen distorsionada y empobrecida de la ciencia– que plantea el aprendizaje como *tratamiento de situaciones problemáticas abiertas que los alumnos puedan considerar de interés*.

Propuesta de trabajo

Teniendo en cuenta las contribuciones de la investigación en torno a las visiones

distorsionadas y empobrecidas de la ciencia (capítulo 2), a las prácticas de

laboratorio (capítulo 4), a la resolución de problemas de lápiz y papel (capítulo 5)

y a la introducción y manejo de conceptos, propongan unas orientaciones generales

para favorecer el aprendizaje de las ciencias.

Las contribuciones de la investigación e innovación en torno a los problemas que plantea el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias apuntan convergentemente a unas estrategias dirigidas, esencialmente, a implicar a los estudiantes –como “investigadores noveles”– en la construcción de conocimientos, *aproximando* la actividad que realizan a la riqueza de un tratamiento científico-tecnológico de problemas. Se trata, en síntesis, de plantear el aprendizaje como un trabajo de *investigación y de innovación*, a través del *tratamiento de situaciones problemáticas* relevantes para la construcción de conocimientos científicos y el logro de innovaciones tecnológicas susceptibles de satisfacer determinadas necesidades. Ello ha de contemplarse como una actividad abierta y creativa, debidamente orientada por el profesor como “investigador experto”, que se inspira en el trabajo de científicos y tecnólogos, y que debería incluir toda una serie de aspectos, ya mencionados en el cuadro 1 del capítulo 2 y que hemos ido reencontrando al estudiar el trabajo experimental o la resolución de problemas de lápiz y papel:

- *La discusión del posible interés y relevancia de las situaciones* propuestas que dé sentido a su estudio y evite que los alumnos se vean sumergidos en el tratamiento de una situación sin haber podido siquiera formarse una primera idea motivadora o contemplado la necesaria *toma de decisiones*, por parte de la comunidad científica, acerca de la conveniencia o no de dicho trabajo (teniendo en cuenta su posible contribución a la comprensión y *transformación* del mundo, sus repercusiones sociales y medioambientales, etc.).

- *El estudio cualitativo, significativo, de las situaciones problemáticas* abordadas, que ayude a comprender y acotar dichas situaciones a la luz de los conocimientos disponibles, de los objetivos perseguidos... y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca (oportunidad para que los estudiantes comiencen a explicitar *funcionalmente* sus concepciones).
- *La invención de conceptos y emisión de hipótesis* fundamentadas, susceptibles de focalizar y orientar el tratamiento de las situaciones, al tiempo que permiten a los estudiantes utilizar sus “concepciones alternativas” para hacer predicciones susceptibles de ser sometidas a prueba.
- *La elaboración y puesta en práctica de estrategias de resolución*, incluyendo, en su caso, el diseño y realización de montajes experimentales para someter a prueba las hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos de que se dispone, lo que exige un trabajo de naturaleza tecnológica para la resolución de los problemas prácticos que suelen plantearse (como, p.e., la disminución de las incertidumbres en las mediciones). Llamamos particularmente la atención sobre el interés de estos diseños y realización de experimentos que exigen (*y ayudan a desarrollar*) una multiplicidad de habilidades y conocimientos. Se rompe así con los aprendizajes mal llamados “teóricos” (en realidad, simplemente librescos) y se contribuye a mostrar la estrecha vinculación ciencia-tecnología.
- *El análisis y comunicación de los resultados*, cotejándolos con los obtenidos por otros grupos de estudiantes y por la comunidad científica. Ello puede convertirse en ocasión de *conflicto cognoscitivo* entre distintas concepciones (tomadas todas ellas como hipótesis) y favorecer la “autorregulación” de los estudiantes, obligando a concebir nuevas conjeturas, o nuevas soluciones técnicas, y a replantear la investigación. Es preciso detenerse aquí en la importancia de la comunicación como sustrato de la dimensión colectiva del trabajo científico y tecnológico. Ello supone que los estudiantes se familiaricen con la lectura y *confección* de memorias científicas y trabajos de divulgación.
- *La consideración de las posibles perspectivas*: conexión de los conocimientos contruidos con otros ya conocidos, elaboración y perfeccionamiento de los productos tecnológicos que se buscaban o que son concebidos como resultado de las investigaciones realizadas, planteamiento de nuevos problemas... Todo ello se convierte en ocasión de manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones, contribuyendo a su profundización y resaltando en particular las relaciones ciencia, tecnología sociedad y ambiente que enmarcan el desarrollo científico, con atención a las repercusiones de toda índole de los conocimientos científicos y tecnológicos, propiciando, a este respecto, la toma de decisiones.

Cabe insistir, además, en la necesidad de dirigir todo este tratamiento a mostrar el carácter de cuerpo coherente que tiene toda ciencia, favoreciendo para ello las *actividades de síntesis* (esquemas, memorias, recapitulaciones, mapas conceptuales...) y la *elaboración de productos* susceptibles de romper con planteamientos excesivamente escolares y de reforzar el interés por la tarea.

Es conveniente remarcar que *las orientaciones precedentes no constituyen un algoritmo* que pretenda guiar paso a paso la actividad de los alumnos, sino indicaciones genéricas que llaman la atención sobre aspectos esenciales en la construcción de conocimientos científicos que, a menudo, no son suficientemente tenidos en cuenta en la educación

científica. Nos referimos tanto a los aspectos metodológicos como a los axiológicos: relaciones CTSA, toma de decisiones, comunicación de los resultados... El aprendizaje de las ciencias es concebido, así, no como un simple cambio conceptual, sino como un cambio a la vez conceptual, metodológico y axiológico que convierte el aprendizaje en un proceso de *investigación orientada* que permite a los alumnos participar en la (re)construcción de los conocimientos científicos, lo que favorece un aprendizaje más eficiente y significativo (Hodson, 1992; National Research Council, 1996; Gil-Pérez et al., 2002).

En la tercera parte de este libro presentaremos ejemplos concretos de cómo orientar la introducción de conceptos como una actividad de investigación. Nos remitimos, como ejemplo paradigmático, al capítulo 10, en el que se introducen los conceptos de trabajo y energía siguiendo estas estrategias de aprendizaje como investigación orientada.

Dedicaremos el capítulo 7 a estudiar con una cierta atención las actividades de recapitulación y establecimiento de perspectivas, a las que habitualmente se dedican, en el mejor de los casos, algunas líneas al final de un tema, pero que constituyen una ocasión privilegiada para abordar aspectos fundamentales de la actividad científica, muy a menudo insuficientemente desarrollados.

NOTA:

Este capítulo ha sido preparado a partir de los siguientes trabajos:

GIL-PÉREZ, D. y CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7 (3), 231-236.

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori. (Capítulo 3: “El aprendizaje de los conocimientos teóricos”).

Referencias bibliográficas en este capítulo

AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. y HANESIAN, H. (1978). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.

BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.

CARAMAZZA, A., McCLOSKEY, M. y GREEN, B. (1981). Naive beliefs in “sophisticated” subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognitions*, 9, 117-123.

CARRASCOSA, J. (1987). Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales. Tesis doctoral. Valencia: Servei de Publicacions de la Universitat de Valencia.

DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 3-15.

DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120.

DRIVER, R. y EASLEY, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 10, 37-70.

DUIT, R. (2004). Bibliography: Students' and teachers' conceptions and science education (STCSE). INP Kiel, disponible en: www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html

ENGEL, E. y DRIVER, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70(4), 473-496.

FREDETTE, N. y LOCHHEAD, J. (1981). Students conceptions of electric current. *The Physics Teacher*, 18, 194-198.

GENÉ, A. (1986). Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada. Tesis doctoral. Barcelona: Biblioteca de la Facultat de Biología de la Universitat de Barcelona.

GIL-PÉREZ, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 26-33.

GIL-PÉREZ, D. (1993). “Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación”. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-212.

GIL-PÉREZ, D. y CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-236.

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.

GIL-PÉREZ, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ, J., GUIASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS, A., GOFFARD, M. y PESSOA A. M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 311-320.

- GIL-PÉREZ, D., GUIASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA, A., MARTÍNEZ, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ, A., DUMAS, A., TRICÁRICO, H. y GALLEGU, R. (2002), Defending constructivism in science education, *Science & Education*, 11, 557-571.
- GILBERT, J. K., OSBORNE, R. J. y FENSHMAN, P. J. (1982). Children's Science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66(4), 623-633.
- GIORDAN, A. (1985). Interés didáctico de los errores de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(1), 11-17.
- HASHWEH, M. Z. (1986). Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.
- HEWSON, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.
- HEWSON, P. W. (1985). Epistemological commitments in the learning of science: examples from dynamics. *European Journal of Science Education*, 7, 163-172.
- HODSON, D. (1988). Towards a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72(1), 19-40.
- HODSON, D. (1992). In Search of a Meaningful Relationship: An Exploration of Some Issues Relating to Integration in Science and Science Education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-566.
- KUHN, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- LLORENS, J. A., DE JAIME, M^a C. y LLOPIS, R. (1989). La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 111-119.
- MCCLELLAND, J. A. G. (1984). Alternative frameworks: Interpretation of evidence. *European Journal of Science Education*, 6, 1-6.
- MINISTRELL, J. (1982). Explaining the "at rest" condition of an object. *Physics Teacher*, 20, 10-14.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards*, National Academy Press, Washington, Dc.
- NOVAK, J. D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 213-223.
- OSBORNE, R. y BELL, B. F. (1983). Science Teaching and Children's views of the world. *European Journal of Science Education*, 5(1), 1-14.
- OSBORNE, R. y WITTRICK, M. (1983). Learning Science: a generative process. *Science Education*, 67, pp. 490-508.
- OTERO, J. (1985). Assimilation problems in traditional representation of scientific knowledge. *European Journal of Science Education*, 7(4), 361-369.
- PFUNDT, H. y DUIT, R. (1998). *Bibliography of students' alternative frameworks in science education*. Kiel. Germany: IPN.
- PIAGET, J. (1969). *Psicología y Pedagogía*. Barcelona: Ariel.
- PIAGET, J. (1970). *La epistemología genética*. Barcelona: Redondo.
- PIAGET, J. (1971). *Psicología y Epistemología*. Barcelona: Ariel.
- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON P. W. y GERTZOG W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- PREECE, P. F. (1984). Intuitive Science: Learned or Triggered? *European Journal of Science Education*, 6(1), 7-10.

RESNICK, L. B. (1983). Mathematics and Science Learning: a new conception. *Science*, 220, 477-478.

SHUELL, T. J. (1987). Cognitive psychology and conceptual change: implications for teaching science. *Science Education*, 71(2), 239-250.

TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana. I: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza.

VIENNOT, L. (1979). *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. Paris: Herman.

VIGOTSKY, L. S. (1973). Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar. *Psicología y Pedagogía*. Madrid: Akal.

WHITAKER, R. J. (1983). Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion. *American Journal of Physics*, 51, 352-357.

WHITE, T. R. y GUNSTONE, F. R. (1989). Meta-learning and conceptual change. *International Journal Science Education*, 11, 577-586.

YAGER, R. E. y PENICK, J. E. (1983). Analysis of the current problems with school science in the USA. *European Journal of Science Education*, 5, 463-459.