

El problema de las concepciones alternativas, hoy.*

Carrascosa Alís, J.

Gil Pérez, D.

Universitat de València

Valdés Castro, P.

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Cuba

Resumen:

En este trabajo se pretende realizar una revisión actualizada de la investigación sobre el tema de las concepciones alternativas de los estudiantes. Se analiza el origen atribuido a las mismas y algunas de las propuestas avanzadas para su tratamiento, que han contribuido al desarrollo del modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación dirigida.

Al considerar las perspectivas de este campo de investigación, se argumenta la necesidad de dirigir la atención hacia preconcepciones relacionadas con la naturaleza de la ciencia y, muy particularmente, con las interacciones CTSA (ciencia-tecnología-sociedad-ambiente) que están obstaculizando la formación ciudadana requerida para hacer frente a la actual situación de emergencia planetaria, tal como ha reclamado Naciones Unidas al instituir una “Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible (2005-2014)”.

Palabras clave: Preconcepciones; aprendizaje como cambio conceptual; cambios epistemológicos y axiológicos; aprendizaje como investigación; emergencia planetaria; desarrollo sostenible.

Abstract:

This paper seeks to update research on students' alternative conceptions. In particular, we analyse the origin of these conceptions, as well as the proposals put forward, that have contributed to the development of science learning as an oriented research model.

We contemplate the necessity of paying attention to preconceptions related to the STSE (Science-Technology-Society-Environment) interactions which are hindering citizens' education to deal with the current situation of planetary emergency, as proposed by United Nations, through the establishment of a Decade of Education for Sustainable Development(2005-2014).

Key Words: Preconceptions; conceptual change learning model; epistemological and axiological changes; science learning as an oriented research; planetary emergency; sustainable development.

(Fecha de recepción: mayo, 2004, y de aceptación: octubre, 2004)

* Este artículo ha sido concebido como contribución a la Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible, instituida por Naciones Unidas para el periodo 2005-2014.

1. De los errores conceptuales a las ideas alternativas

Durante mucho tiempo, la enseñanza de conceptos teóricos preocupó al profesorado de ciencias bastante menos que otros aspectos como la resolución de problemas o la realización de prácticas de laboratorio. Análogamente sucedía entre quienes se dedicaban a trabajos de investigación educativa sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Esta situación inicial era debida, en parte, a que los fallos en la resolución de problemas (con su alto índice de fracasos) o las carencias y limitaciones de las prácticas de laboratorio (apenas presentes), resultaban más preocupantes que las dificultades en la comprensión de los conceptos, puesto que la mayoría de los estudiantes obtenía mejores resultados en la parte teórica de los exámenes. No obstante, cabía pensar que la aparente facilidad para responder a las preguntas “teóricas” que habitualmente se proponían era más bien el fruto de una simple repetición memorística. En efecto, ¿podía hablarse de comprensión real de unos conceptos cuando esos alumnos no eran capaces de aplicarlos adecuadamente para resolver sencillos problemas?

Cualquier profesor con cierta experiencia puede recordar ejemplos de respuestas “curiosas” que revelan ocasionalmente la profunda incomprensión de algún concepto clave. Fue precisamente la introducción de otro tipo de cuestiones, diferentes a las habituales, lo que permitió sacar a la luz una grave

y general incomprensión de los conceptos más fundamentales y reiteradamente enseñados. Una sencilla pregunta cualitativa del tipo “Una piedra cae al suelo desde cierta altura en 1 segundo ¿cuánto tiempo tardará en caer desde la misma altura otra piedra de doble masa?” mostraba que un porcentaje muy alto de alumnos de secundaria e incluso universitarios, consideraba que una masa doble se traducían en mitad de tiempo de caída. Y ello después de haber resuelto numerosos ejercicios y de haber realizado trabajos experimentales sobre caída de graves.

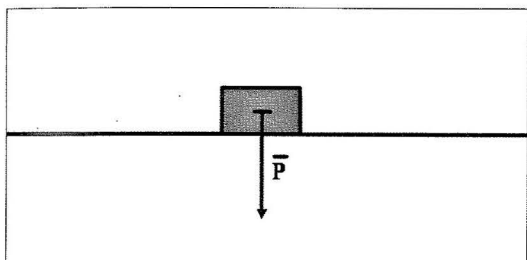
La publicación de algunos estudios rigurosos, como la tesis de Viennot (1979), atrajo la atención sobre el problema del aprendizaje conceptual, que cuestionaba la efectividad de la enseñanza allí donde los resultados parecían más positivos; los alumnos no sólo terminaban sus estudios sin saber resolver problemas, y sin una apropiación adecuada de lo que es el trabajo científico, sino que la inmensa mayoría de ellos ni siquiera había logrado comprender el significado de los conceptos científicos más básicos. Particularmente relevante era el hecho de que los errores que cometían al responder cuestiones como la mencionada anteriormente, 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 80 en una potente línea de investigación y que el profesorado concediera a dichos estudios una atención muy particular, como si eso conectara con algo que, en cierto modo, se hubiera ya intuido más o menos confusamente a través de la práctica docente.

En particular, se ha utilizado y recopilado un gran número de cuestiones a fin de revelar tales *errores conceptuales* (Duit, 2004). Puede ser interesante, antes de proseguir, analizar, a modo de ejemplo, un par de errores característicos.

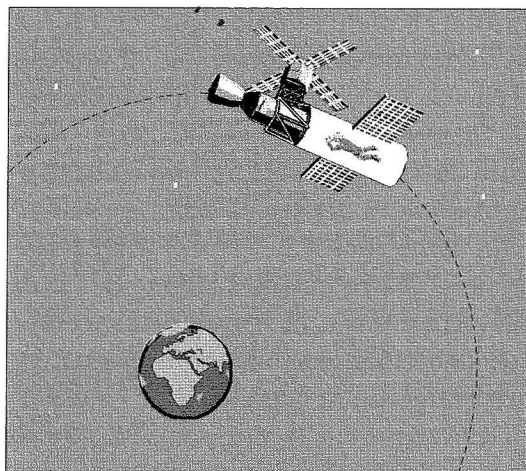
a) La figura adjunta representa un bloque que se encuentra en reposo sobre una mesa horizontal y la fuerza de gravedad que actúa sobre el mismo.



Dibujad la fuerza de reacción, pareja de dicha fuerza.

b) Un astronauta se halla en una nave que orbita alrededor de la Tierra con movimiento circular y uniforme.

Explicad por qué “flota” dentro de la nave.



En la primera de las cuestiones es bastante habitual encontrar como respuesta un vector centrado en el cuerpo y dirigido verticalmente hacia arriba oponiéndose a la fuerza peso. Naturalmente la respuesta es incoherente con el tercer principio de la dinámica ya que la fuerza gravitatoria se ejerce entre la Tierra y el bloque y, por tanto, la pareja deberá estar aplicada en la Tierra y no en el propio bloque. Esa fuerza vertical hacia arriba que muchos estudiantes dibujan es la debida a la interacción entre el bloque y la superficie de la mesa, de naturaleza electromagnética. Es una fuerza de igual magnitud que la fuerza de gravedad (en el caso que estamos analizando), de la misma dirección y sentido contrario, pero ambas actúan sobre el mismo cuerpo y responden a dos interacciones distintas.

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. No se tiene en cuenta que, tanto la estación espacial como el astronauta que va dentro de ella, se encuentran sometidos a la atracción gravitatoria terrestre que en todo momento es perpendicular a la trayectoria circular que describen en torno a la Tierra. Es precisamente la existencia de esa fuerza gravitatoria lo que explica que la estación orbital esté girando, cambiando continuamente de dirección.

¿Por qué se dice entonces habitualmente que los astronautas trabajan en ausencia de gravedad? La sensación física que tenemos acerca de nuestro propio peso se debe a la existencia de otras fuerzas que habitualmente lo equilibran. Así, por ejemplo, cuando nos colocamos encima de una balanza de baño en nuestra casa, la fuerza peso con que la Tierra nos atrae es equilibrada por la fuerza ejercida sobre nosotros por la balanza. Nosotros notamos esa fuerza, lo mismo que la que nos hace el suelo cuando permanecemos de pie en él y esto nos da la sensación de que pesamos. Pero en ocasiones, como, por ejemplo, cuando un ascensor arranca y acelera hacia arriba, la superficie sobre la que estamos nos hace una fuerza mayor que nuestro peso (y nosotros a ella), por eso notamos **como si** pesáramos más (aunque la Tierra nos sigue atrayendo con la misma fuerza y realmente seguimos pesando igual). En otros casos (por ejemplo, cuando un ascensor acelera hacia abajo) ocurre lo contrario y la fuerza que nos

hace la superficie (y nosotros a ella) es menor que nuestro peso y, consecuentemente, nos da la sensación de que pesamos menos.

¿Y qué ocurrirá en aquellas situaciones en las que la superficie no ejerce ninguna fuerza sobre nosotros o, simplemente, no hay ninguna superficie y estamos en caída libre? En esos casos nos **parecería** que no pesamos nada. Sentimos un estado de “ingravidez” pero eso, naturalmente, no debe interpretarse como que no hay gravedad o que la Tierra ha dejado de atraernos y realmente no pesamos. Esa misma sensación la experimentan por unos segundos, los saltadores de trampolín, los paracaidistas y también (de forma continua) los astronautas en órbita alrededor de la Tierra. 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 sin ninguna otra fuerza que la equilibre, pero 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 cuestiones como las anteriores podemos asomarnos al problema de los errores que suelen cometer los estudiantes al plantearles 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 en el aprendizaje teórico (Gil-Pérez et al., 1991; Carrascosa, Gil-Pérez y Valdés, 2004).

2. 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.

2.1. Las preconcepciones

Las investigaciones sobre errores conceptuales condujeron muy rápida-

mente a distintos autores a avanzar la hipótesis relativamente plausible de la existencia en los niños de ideas sobre temas científicos, previas al aprendizaje escolar, 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., 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. Averígüese esto y enséñese consecuentemente”.

La mayoría de los estudios, realizados en campos muy diversos (Pfundt y Duit, 1998; Duit, 2004), 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 concep-

tuales” 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 coincide 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., 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 compren-

sión 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 cual-

quier 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 observa-

ciones 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 pre-científico 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. Fue en la década de los 70 cuando se inició un proceso sistemático de estudio de las concepciones alternativas de los estudiantes, y ello no únicamente como investigación de laboratorio sino también y fundamentalmente dentro del aula, por los propios profesores especialistas en las distintas materias científicas. La importancia atribuida al tema y la relevancia

de los resultados obtenidos (principalmente en el área de la mecánica) pronto hicieron que éste se convirtiese en una de las primeras líneas de investigación didáctica. Así dos décadas más tarde nos encontramos con que, tal y como se desprende de las diversas selecciones bibliográficas publicadas (McDermott, 1984; Carrascosa, 1983, 1985; Carrascosa y Gil, 1992; Varela, 1989; Pfundt y Duit, 1998, etc.), se han realizado ya miles de trabajos sobre el tema. Algunos de ellos han dado lugar a diversas tesis doctorales en nuestro país (Gené, 1986; Llorens, 1987; Carrascosa, 1987, Jiménez, 1989; Sanmartí, 1990; Cañal, 1990; Azcárate, 1990, etc.) y además los principales resultados obtenidos hasta hace poco, han sido ya recopilados en algunos libros y documentos informáticos (Hierrezuelo et al, 1989; Gil et al, 1991; Duit, 2004; Carrascosa, Gil-Pérez y Valdés, 2004, etc.).

En la actualidad prácticamente todos los campos de las ciencias han sido analizados. Por citar algunos trabajos a modo de ejemplo: la Mecánica en primer lugar (McDermott, 1984; Sebastiá, 1984; Fernández, 1987), pero también el Calor (Macedo y Soussan, 1985; García y Rodríguez de Avila, 1985; Cervantes, 1987), la Electricidad (Furió y Guisasola, 2001; Pontes y De Pro, 2001), la Óptica (De la Rosa et al., 1984; Kaminski y Viennot, 1989), la Biología (Jiménez, 1987), la Geología (Granda, 1988), la Química (Furió, 1986; Grupo Alcali, 1990; Jiménez y De Manuel, 2002; Furió, Azcona y Guisasola, 2002), el magnetismo (Guisasola,

Almudí y Ceberio, 2003), la Relatividad (Alemán y Pérez, 2001; Pérez y Solbes, 2003), etc.

Así pues, el tema de los errores conceptuales y, más concretamente, de las concepciones alternativas que llevan a cometerlos constituye un problema de gran interés y como tal viene siendo, desde hace ya 3 décadas, una línea de investigación didáctica de gran importancia, tal y como lo muestran los numerosos trabajos realizados en este campo. A modo de ejemplo, digamos que en la recopilación realizada por Pfundt y Duit (1998) ya se recogían más de 3600 referencias al respecto.

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 50 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.

2.2. *La responsabilidad de la enseñanza*

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

décese, 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 (Fernández et al., 2004): 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 construcción, 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 únicamente 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.

3. 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.

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; Hewson y Hewson 1984; 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 aquéllos 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. 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.

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).

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 aprendi-

zaje 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.

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 alter-

nativas, 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*** (Gil-Pérez y Carrascosa, 1985 y 1994; Duit y Treagust, 2003). De hecho, el paradigma preclásico solo 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 denunciados 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. 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 ello 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., 2002).

4. 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 plantea el aprendizaje como *tratamiento de situaciones problemáticas abiertas que los alumnos puedan considerar de interés* (Gil-Pérez et al., 2002; Fernández et al., 2004). Este modelo se concreta en 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 como los siguientes (Gil Pérez et al, 1999):

* *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 substrato 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 construidos 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, resúmenes, mapas conceptuales...) y la *elaboración de productos*, susceptibles de romper con planteamientos excesiva-

mente 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).

5. Perspectivas de la investigación sobre preconcepciones

El estudio de los errores conceptuales, preconcepciones, concepciones alternativas, etc., ha constituido posiblemente la línea de investigación más desarrollada en didáctica de las ciencias. Miles de artículos publicados lo atestiguan (Duit, 2004). Sin embargo, la inmensa mayoría de estos trabajos

se centra en *conceptos* concretos en los distintos campos de la ciencia. En cambio, apenas si se ha prestado atención a otras concepciones como las referidas a las relaciones CTSA, de importancia capital en la formación ciudadana para hacer frente a la actual situación de emergencia planetaria. Una situación marcada por toda una serie de graves problemas estrechamente relacionados: contaminación y degradación de los ecosistemas, agotamiento de recursos, crecimiento incontrolado de la población mundial, desequilibrios insostenibles, conflictos destructivos, pérdida de diversidad biológica y cultural... (Bybee, 1991; Orr, 1995; Vilches y Gil, 2003).

Sobre la importancia de las preconcepciones en torno a esta problemática baste recordar que, como afirma el director del Worldwatch Institute (Brown, 1998), el comportamiento humano se enfrenta a resistencias más o menos inconscientes para ir más allá de lo más próximo, espacial y temporalmente, y considerar las repercusiones generales de nuestros actos. Dichas resistencias obedecen en muchos casos a concepciones simplistas o deformadas sobre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el medio ambiente, así como de las relaciones existentes entre estos campos. Es, pues, necesario que sean sacadas a la luz y analizadas si queremos evitar que jueguen un papel bloqueador en la educación ciudadana.

Llamamientos como el de Naciones Unidas en la Primera Cumbre de la Tierra (Naciones Unidas, 1992) y la

institución de una “Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible (2005-2014)” constituyen un estímulo para que todos los educadores e investigadores asumamos el compromiso de prestar una atención sistemática a la situación del mundo, con el fin de proporcionar una percepción correcta de los problemas y de fomentar actitudes y comportamientos favorables para el logro de un desarrollo sostenible. Se trata, en definitiva, de contribuir a formar ciudadanas y ciudadanos conscientes de la gravedad y del carácter global de los problemas y preparados para participar en la toma de decisiones adecuadas. El estudio de las concepciones en este campo (tanto de los estudiantes como de los docentes) abre, en nuestra opinión, una perspectiva de gran interés para la investigación.

Referencias Bibliográficas

- ALEMÁN BERENGUER, R. y A PÉREZ SELLES, J. F. (2001). Una nueva propuesta didáctica para la enseñanza de la relatividad en el bachillerato. *Enseñanza de las ciencias*, 19 (2), 335-343.
- AUSUBEL, D. P. (1978). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. (México: Trillas: Existe una nueva versión en la que han colaborado Novak y Hanesian: Ausubel D.P., Novak, J. D. & Hanesian, H., 1978, *Educational psychology: a cognitive view*. (New York : Holt, Rinehart & Winston).
- AZCÁRATE, G.C. (1990). *La velocidad: introducción al concepto de derivada*. Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.
- BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. París: Vrin.
- BROWN, L. R. (1998). El futuro del crecimiento. En Brown, L. R., Flavin, C. y French, H. *La situación del mundo 1998*. Barcelona: Ed. Icaria.
- BYBEE, R. (1991). Planet Earth in crisis: how should science educators respond? *The American Biology Teacher*, 53 (3), 146-153.
- CAÑAL P, 1990. La enseñanza en el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- CARAMAZZA, A., McCLOSKEY, M. y GREEN, B. (1981). Naive beliefs in “sophisticated” subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognitions*, 9, 117-123.
- CARRASCOSA, J. (1983). Errores conceptuales en la enseñanza de las ciencias: selección bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias* 1(1), pp 63-65
- CARRASCOSA, J. (1985). Errores conceptuales en la enseñanza de la física y la química: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), 230-234.
- 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.

- CARRASCOSA, J y GIL D. (1985). La metodología de la superficialitat i l'aprenentatge de les ciències. *Ensenyanza de las Ciencias*, 3 (2), 113-120.
- CARRASCOSA, J y GIL D, (1992). Concepciones alternativas en mecánica. Dinámica: Las fuerzas como causa del movimiento. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*. 10 (3).
- CARRASCOSA, J., GIL-PÉREZ, D .y VALDÉS, P. (2004). ¿Cómo hacer posible el aprendizaje significativo de conceptos y teorías? En Gil Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P. y Vilches, A. ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Santiago de Chile: UNESCO-OREALC.
- CERVANTES, A. (1987). Los conceptos de calor y temperatura: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5, 66-70.
- DE LA ROSA, C et al. (1984). Common sense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light. *European Journal of Science Education*. 6 (4), 387-397.
- 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
- DUIT, R. & TREAGUST, D. (2003). Conceptual change A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25, 671-688.
- 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.
- FERNÁNDEZ, J. M. (1987). Estudio del grado de persistencia de ciertos pre-conceptos sobre la estática de fluidos en alumnos de 2º curso de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 27-32.
- FERNÁNDEZ, I., GIL-PÉREZ, D., VALDÉS, P y VILCHES, A. (2004). ¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos? En Gil Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P. y Vilches, A. ¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Santiago de Chile: UNESCO-OREALC.
- FREDETTE, N. y LOCHHEAD, J. (1981). Students conceptions of electric current. *The Physics Teacher*, 18, 194-198.

- FURIÓ, C. 1986. Metodología utilizada en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 73-77.
- FURIÓ, C Y GUIASOLA, J. (2001). La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las ciencias*, 19 (2), 319-334.
- FURIÓ, C., AZCONA, R Y GUIASOLA, J. (2002). Revisión de investigaciones sobre la enseñanza y aprendizaje de los conceptos de cantidad de sustancia y mol. *Enseñanza de las ciencias*, 20 (2), 229-242.
- GARCÍA-HOURCADE J,L y RODRIGUEZ DE AVILA C, (1985). Pre-concepciones sobre el calor en 2º de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), 188-194.
- GENÉ, A. (1986). Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada. Tesis Doctoral. Barcelona: Biblioteca de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona.
- 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.
- 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. y CARRASCOSA, J. (1994). Bringing pupils' learning closer to a scientific construction of knowledge: a permanent feature in innovations in science teaching. *Science Education*, 78 (3), 301-315.
- 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, GUIASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA, A., MARTÍNEZ, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ, A., DUMAS, A., TRICÁRICO, H. y GALLEGO, R. (2002). Defending constructivism in science education, *Science & Education*, 11, 557-571.

- GIORDAN, A. (1985). Interés didáctico de los errores de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(1), 11-17.
- GRANDA, A. (1988). Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 239-243.
- GRUPO ALKALI, (1990). Ideas de los alumnos acerca del mol. Estudio curricular. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), 111-118.
- GUISASOLA, J., ALMUDÍ, J..M y CEBERIO, M. (2003). Concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario. Selección de cuestiones realizadas para su detección. *Enseñanza de las ciencias*, 21 (2), 281-293.
- 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.
- HEWSON M,G y HEWSON P,W, (1984). Effect of instruction using students prior knowledge and conceptual strategies on science learning. *European Journal of Science Education*, 6 (1), 1-6.
- HIERREZUELO J et al, (1989). *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y Química*. (Ed Laia MEC. Colección Cuadernos de Pedagogía).
- 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.
- JIMENEZ M,P, 1987. Preconceptos y esquemas conceptuales en Biología, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), 165-167.
- JIMÉNEZ LISO, MRUT., DE MANUEL TORRES ESTEBAN. (2002). La neutralización ácido-base a debate. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 451-464.
- JIMENEZ, M.P. (1989). Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. -
- KAMINSKI, W. (1991). *Optique elementaire en classe de quatrieme: raisons et impacte sur les maitres d'une maquette d'enseignement*. Tesis doctoral. Universidad de Paris 7.
- KAMINSKI y VIENNOT L, 1989. Optique elementaire. Taller desarrollado en el III Congreso Internacional sobre LA Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, tomo 2, p 230.

- KUHN, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de cultura económica.
- LLORENS, J.A. (1987). Propuesta y aplicación de una metodología para el análisis de la adquisición de conceptos en la introducción a la teoría atómico-molecular: percepción de los hechos experimentales, sus representaciones y el uso del lenguaje en alumnos de formación profesional y bachillerato. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia. Departamento: Quím-Física.
- 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.
- MACEDO, B y SOUSSAN, G. (1985). Estudio de los conocimientos preadquiridos sobre las nociones de calor y temperatura en alumnos de 11 a 15 años, *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 83-91.
- McCLELLAND, J.A.G. (1984). Alternative frameworks; Interpretation of evidence. *European Journal of Science Education*, 6, 1-6.
- McDERMOTT, L,C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*. Julio, 24-34.
- MINISTRELL, J. (1982). Explaining the "at rest" condition of an object, *Physics Teacher*, 20, 10-14.
- NACIONES UNIDAS (1992). *UN Conference on Environmental and Development, Agenda 21 Rio Declaration, Forest Principles*. París: UNESCO.
- 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.
- PÉREZ H Y SOLBES J. 2003. Algunos problemas de la enseñanza de la relatividad. *Enseñanza de las ciencias*, 21 (1), 135-146
- 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.
- PONTES ALFONSO y DE PRO ANTONIO. (2001). Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices

- sobre electrocinética: consecuencias para la enseñanza y formación de profesores. *Enseñanza de las ciencias*, 19 (1).
- 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.
- SANMARTI, N, 1990. Estudio sobre las dificultades de los estudiantes en la comprensión de la diferenciación entre los conceptos de mezcla y de compuesto. Tesis Doctoral. Lleida. Facultat de Ciències Químiques de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- SEBASTIA J,M, 1984. Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2 (3), 161-169.
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana. I: el uso colectivo y la evolución de los conceptos* Madrid: Alianza.
- VARELA P, et al, 1989, Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 292-295.
- 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.
- VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.
- 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.