

DEL DERRIBO DE IDEAS AL LEVANTAMIENTO DE PUENTES: LA EPISTEMOLOGIA DE LAS CIENCIAS COMO CRITERIO ORGANIZADOR DE LA ENSEÑANZA EN LAS CIENCIAS/ FISICA Y QUIMICA

J. MTNEZ TORREGROSA ⁽¹⁾, J.L. DOMENECH ⁽²⁾ Y R. VERDU ⁽³⁾

⁽¹⁾ Didáctica de las Ciencias Universidad de Alicante; ⁽²⁾ CEP de Alcoy; ⁽³⁾ CEP de Orihuela

RESUMEN

Tras criticar las estrategias de "cambio conceptual puntual", se fundamenta una forma para organizar y estructurar los cursos y los temas de un modo coherente con la epistemología científica y el modelo de enseñanza por investigación. Este estudio sugiere una reorientación de las investigaciones sobre ideas espontáneas ligándolas a la optimización de secuencias de enseñanza/aprendizaje.

ABSTRACT

After a critical analysis of "isolated conceptual changes", a new form to structure and organize a course is proposed in concordance with scientific epistemology and the "by research" or "by problem solving" science teaching models. This study suggests a reorientation of spontaneous ideas investigations linking them to the development of appropriate teaching/learning sequences.

PALABRAS CLAVE / KEY WORDS

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS / SCIENCE TEACHING; RESOLUCION DE PROBLEMAS / PROBLEM SOLVING; ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS POR INVESTIGACION / SCIENCE TEACHING BY RESEARCH; EPISTEMOLOGIA CIENTIFICA /SCIENTIFIC EPISTEMOLOGY; ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS POR RESOLUCION DE PROBLEMAS / SCIENCE TEACHING BY PROBLEM SOLVING

I. INTRODUCCION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La investigación sobre la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias ha aportado importantes avances que han

puesto en cuestión la transmisión de conocimientos en su estado final, ya acabados, como el modo óptimo para producir un aprendizaje significativo de los conocimientos científicos por los alumnos.

Qué duda cabe que los trabajos sobre ideas espontáneas han contribuido poderosamente a generar esta crisis, pero no puede afirmarse que haya sido superada. Como señala Millar (1989), buena parte de los profesores han oído hablar de "ideas espontáneas o alternativas", incluso saben cómo detectarlas, pero la seguridad se acaba cuando se enfrentan al problema de cómo organizar la enseñanza, recogiendo las nuevas ideas, para fomentar el aprendizaje significativo.

Como una derivación natural de la investigación sobre ideas espontáneas se han desarrollado estrategias, que denominaremos "de cambio conceptual puntual" (CCP), cuyas características básicas son:

- i) una fase de explicitación y clarificación de las ideas de los alumnos,
- ii) una etapa de puesta en cuestión, mediante el planteamiento de actividades concretas de diverso tipo (fase conflicto),
- iii) introducción, a la vista de las limitaciones que presentan las ideas espontáneas, de otras nuevas, aportadas por los alumnos o por el profesor,
- iv) una última fase de aplicación de las nuevas ideas en diferentes contextos, a fin de que los alumnos adquieran confianza en las mismas.

Si bien se trata de una estrategia de, relativamente, fácil aplicación, cuya efectividad viene refrendada por investigaciones realizadas en diferentes campos de las ciencias (Nussbaum y Novick, 1982; Hewson y Hewson, 1984; Ministrell, 1984; Osborne y Freyberg, 1985; ..) otros autores han constatado que ciertas concepciones alternativas son resistentes a la instrucción, incluso cuando ésta se orienta explícitamente al cambio conceptual (Shuell, 1987; Driver, 1989; Millar 1989; Dreyfuss et Al., 1990).

Las posibles limitaciones de las estrategias CCP no se ciñen a que, en algunos conceptos, el aprendizaje producido sea más aparente que real, veamos algunas más:

I.1 Su uso reiterado puede generar rechazo o inhibiciones lógicas (Gil et Al., 1991), o la caída en el relativismo.

Los profesores que hayan utilizado este tipo de estrategias habrán podido advertir la "desconfianza" que produce progresivamente en los alumnos, quienes después de comprobar en dos o tres ocasiones cómo se solicitan sus creencias al principio de los temas para organizar una campaña contra ellas, oponen una lógica resitencia a seguir en un "juego donde siempre pierden". En las estrategias de CCP, las situaciones de conflicto cognitivo suelen convertirse en una confrontación entre las ideas propias (incorrectas) y los conocimientos científicos (externos) (Gil, 1992), que fomentan una aceptación de los mismos basada más en la confianza que merece quien los presenta (el profesor) que en criterios o razones que puedan fundamentar un aprendizaje sólido. La inconsistencia de esta situación con la concepción constructivista del aprendizaje es señalada por Solomon (1991) cuando indica que "tras impulsar la expresión de un conjunto de opiniones particulares, el profesor no puede simplemente rechazar las teorías vigentes. De este modo dejaría de ser posible un diálogo abierto". Frente a esta aceptación acrítica, el otro peligro es caer en el relativismo, en el cual cualquier conclusión a la que lleguen los estudiantes es considerada aceptable (Hodson, 1992). Si bien sabemos que no podemos enseñar un cuerpo de conocimientos por transmisión directa, el objetivo de la enseñanza de las ciencias no es desarrollar teorías personales sobre los fenómenos sino conseguir que los alumnos lleguen a compartir (a algún nivel determinado) las teorías científicas vigentes (Millar, 1989).

I.2 Se basan en investigaciones que generalmente se han reducido a una búsqueda de las ideas que tienen los alumnos en un campo determinado, sin prestar atención a las posibles conexiones entre ellas o a cómo están organizadas (Pozo et Al., 1991).

Se trata de un aspecto importante: el conocimiento de las conexiones entre las ideas, y entre éstas y el contexto. Sería muy útil establecer secuencias de enseñanza que pudieran producir un aprendizaje consolidado. Desconocer relaciones, puede hacer creer que una idea espontánea ha sido superada tras una estrategia de CCP, cuando en realidad sólo ha sido superficialmente "debilitada" y puede aparecer como al principio en otros contextos.

I.3 No representan una alternativa global a la enseñanza mediante transmisión de conocimientos ya hechos.

¿Es utilizable más allá del inicio de los conceptos fundamentales? ¿Cómo se integran la resolución de problemas de lápiz y papel, los trabajos prácticos, el carácter cuantitativo de los conocimientos físico/químicos, la evaluación? ¿Cómo secuenciar los temas en un curso o en una etapa de un modo no arbitrario? ¿Cómo enseñar en dominios en los que no existen ideas espontáneas?. Se trata de un aspecto fundamental, ya que, desde el punto de vista de influencia práctica, la cuestión, actualmente, no es la existencia de deficiencias en la enseñanza por transmisión directa -cuya identificación y constatación es uno de los hallazgos de la investigación educativa ya consolidados- sino si se tienen modelos de enseñanza que puedan competir con ella: aunque los profesores sean conscientes de ciertas deficiencias, es poco probable que abandonen un modelo que presenta un "sistema" por algo que no es tal.

Admitiendo que la atención a las ideas espontáneas -y por tanto su conocimiento por parte del profesor- es un logro irrefutable de la investigación didáctica, las limitaciones anteriores indican la necesidad de seguir profundizando teniendo en cuenta otros aspectos además de la existencia de ideas espontáneas para fundamentar estrategias de instrucción. La intención de este artículo es tratar este asunto hasta desarrollar implicaciones sobre la estructura de los temas y su secuenciación fundamentadas, teóricamente y experimentalmente.

II. EPISTEMOLOGIA ESPONTANEA Y CONOCIMIENTO CIENTIFICO

La secuencia de enseñar anterior contiene, no obstante, aspectos que merecen ser resaltados: se busca llevar a contradicciones, a conflictos de los alumnos. Se desea conseguir que cambien sus ideas, convencerles. Efectivamente, el problema de la enseñanza de las ciencias no es cómo transmitir las concepciones científicas, sino cómo hacer que las personas vean más valiosas y útiles las ideas científicas que las espontáneas. Cómo conseguir, en definitiva, que las ideas científicas pasen a formar parte de la manera de pensar de las personas (que sean funcionales).

Avanzar en este propósito, requiere reflexionar sobre posibles causas de la existencia, persistencia y utilidad de las ideas espontáneas y sobre aquello que las separa de las científicas. Es necesario tener en cuenta que, para las personas en general y para los científicos en particular, el modo en el que se desarrolla la comprensión -el modo en el que se producen y aceptan conocimientos- depende tanto de las ideas ya existentes como de los procesos y criterios mediante los cuales dichas ideas son probadas y aceptadas en nuevas situaciones, y que los que se utilizan en el contexto cotidiano son muy distintos de los que se ponen en juego en el ámbito científico (Mtnez. Torregrosa et Al., 1991, pp 54 a 58).

El conocimiento cotidiano está condicionado por unas "reglas", una epistemología (1) espontánea, que es efectiva para el desarrollo social de las personas, y que de un modo inconsciente es ampliamente compartida y aceptada, lo que la hace arraigada y difícil de modificar.

Una de las características más sobresalientes de este razonamiento espontáneo es que está "dirigido por la percepción", es decir, se basa en los rasgos más evidentes, más llamativos o claramente observables, de las situaciones. Las múltiples y reiteradas experiencias sensoriales que tienen las personas en la vida diaria (empujar un objeto, lanzar una piedra, dar cuerda a un juguete, ver que los combustibles se gastan, ...), hacen que lleguen a integrarse en un sistema de expectativas útiles para la acción y para la predicción de hechos futuros en idénticos contextos. Además, la tendencia de las personas al verificacionismo, a prestar una atención diferente a aquello que apoya las ideas propias iniciales y a ignorar otros aspectos que podrían contradecirlas,

refuerza continuamente la utilidad de las ideas espontáneas, que suelen ser generalizadas y utilizadas automáticamente en contextos distintos sin una mínima reflexión sobre la validez de las mismas (Hashweh, 1986). En consecuencia se piensa en términos de certeza, no se pone en cuestión lo obvio, no se piensa en términos de tentativas ni se consideran habitualmente alternativas a lo aparente.

La "validez" de una idea no es medida por las personas según criterios científicos: pesan mucho más factores socio/afectivos (Solomon, 1988). Pensemos que a lo largo de la vida, dedicamos gran parte de tiempo a dialogar, a interactuar con otros. En estas interacciones lo que se pretende es que nuestras ideas sean rápidamente entendidas/aceptadas: es más importante, sin duda, que una idea sea compartida que otras características como que sea universal o coherente. La comunicación social efectiva, por tanto, se ve favorecida por un lenguaje (Lloréns el At., 1987; Solomon, 1987) cuyos términos sean ambiguos y poco precisos: podemos decir que una persona ha salido "muy rápida", "con mucha fuerza", "con mucha energía", "con mucho empuje", ..., y ser entendidos perfectamente.

Criterios tales como "naturalidad", "proximidad afectiva", "validez local e inmediata" (Hewson, 1990), son habitualmente utilizados, y compartidos, en la producción y aceptación del conocimiento cotidiano: los alumnos pueden afirmar sin problemas que "los gases no pesan, menos el butano", que en un ecosistema hay animales "buenos y malos", o considerar que el movimiento de la caída de un cuerpo es más "sencillo y natural" que el de un ciclista moviéndose a velocidad constante por una carretera horizontal en contra de un intenso viento.

Trabajos recientes como el de Pozo et Al.(1991), pueden completar, desde la psicología cognitiva, las características anteriores. No se trata aquí, no obstante, de hacer un desarrollo exhaustivo de la epistemología espontánea, sino de advertir que las personas tienen "buenas razones" para pensar cómo piensan y que dichos criterios espontáneos de aceptación y producción de conocimientos están muy alejados de los científicos.

Esta es la hipótesis fundamental del modelo de enseñanza por investigación (MEPI) (Gil, 1983; Gil y Carrascosa, 1985) que afirma que del mismo modo que la superación del paradigma aristotélico-

escolástico sólo fue posible -después de siglos de vigencia- cuando se introdujo una nueva forma de pensar (2), de producir conocimientos, basada en imaginar nuevas posibilidades, en ir más allá de lo obvio, en pensar en términos de hipótesis -y no de certezas- que debían ser sometidas a contrastaciones rigurosas y controladas, es razonable pensar que ocurrirá lo mismo con las estructuras conceptuales de los alumnos.

Es necesario resaltar, además, que no se trata de "aprender el contenido a través del método", sino de afirmar que para que los alumnos vean más atractivas y fructíferas las concepciones científicas que las espontáneas han de tener oportunidades, sistemáticas y duraderas, de poner en práctica procedimientos y criterios de producción, prueba y aceptación característicos del trabajo científico.

Desde su formulación inicial a principios de los ochenta, el modelo de enseñanza por investigación (MEPI) o por resolución de problemas ha mostrado su fecundidad desarrollando propuestas concretas sobre cómo transformar la resolución de problemas de "papel y lápiz" (Gil y Mtnéz. Torregrosa, 1983, 1987, -y Senent 1988; Mtnéz. Torregrosa, 1987; Ramírez, L. 1991), los trabajos prácticos (Gil y Payá, 1987), la evaluación (Alonso, Gil y Mtnéz. Torregrosa, 1991, 1992), o el funcionamiento de la clase y el papel del profesor (Gil et al, 1991). En lo que resta de este trabajo trataremos de profundizar en el modelo para extraer implicaciones sobre cómo estructurar los temas y los cursos para fomentar el cambio epistemológico necesario para el cambio conceptual.

III. ORGANIZAR Y SECUENCIAR LA ENSEÑANZA PARA FOMENTAR EL CAMBIO EPISTEMOLOGICO

Ya sabemos que desde la orientación constructivista del aprendizaje no tiene sentido pensar en términos de "qué conocimientos se van a dar" sino de "qué actividades se han de proponer en la clase" (Gil y Mtnéz. Torregrosa, 1987; Driver y Oldham, 1986), en un ambiente de grupo de investigadores noveles (los alumnos) dirigidos por un investigador experto (el profesor), para avanzar en la (re)construcción de los conocimientos científicos. Pero, ¿de qué manera habría que organizar dichas actividades (pensemos en un tema, en un curso, un proyecto para una etapa) para que los alumnos y alumnas tengan

oportunidades reiteradas de poner en práctica una actividad investigadora?

No es posible realizar aquí un desarrollo siquiera mínimamente exhaustivo de la epistemología científica, sólo resaltar la coincidencia de epistemólogos e investigadores de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias en caracterizar la actividad científica como un proceso de resolución de problemas, en el que -por supuesto, a partir de los conocimientos que se dispone- se inventan posibles respuestas, a modo de hipótesis, de tentativas, que requieren de contrastación posterior. Precisamente, el pensar en términos hipotéticos lleva al establecimiento de unos criterios epistemológicos propios: cuando se toma conciencia del carácter hipotético, y, por tanto provisional del conocimiento científico, se ve la necesidad de encontrar criterios no arbitrarios en los que fundarse para decidir la validez o no de los resultados obtenidos, o valorar si la construcción realizada supone un avance o mejora frente a otras posibles aportaciones que también aspiran a resolver los problemas planteados. El cambio epistemológico y por tanto el aprendizaje significativo se verá, pues, favorecido creando situaciones problemáticas que generen la necesidad de inventar conceptos, ideas, fórmulas, hipótesis, diseñar y desarrollar estrategias para su contrastación, y analizar en qué medida se ha avanzado en la solución del problema planteado.

En esta orientación, la construcción de conocimientos no se plantea como un cuestionamiento de las ideas de los alumnos, sino como resultado de las investigaciones realizadas para resolver problemas (Gil et Al., 1991). En este proceso, surgirán criterios y razones no arbitrarias para decidir si las ideas aportadas se abandonan o se aceptan como un avance. Así una enseñanza por investigación, por resolución de problemas, es capaz de integrar el desarrollo de contenidos específicos y de elementos metodológicos de manera que se pueda avanzar en la construcción de concepciones científicas cada vez más racionales y coherentes.

El siguiente esquema, de Gil (1992), representa una secuencia de enseñanza por investigación:

<p>1. Plantear situaciones problemáticas que -teniendo en cuenta las ideas, visión del mundo, destrezas y actitudes de los alumnos y alumnas- generen interés y proporcionen una concepción preliminar de la tarea.</p>
<p>2. Proponer a los estudiantes el estudio cualitativo de las situaciones problemáticas planteadas y la toma de decisiones para acotar problemas precisos (oportunidad para que comiencen a explicitar <i>funcionalmente</i> sus ideas).</p>
<p>3. Orientar el tratamiento científico de los problemas planteados, lo que conlleva, entre otros: * La invención de conceptos y emisión de hipótesis (oportunidad para que las ideas previas sean utilizadas para hacer predicciones). * La elaboración de estrategias de resolución (incluyendo, en su caso, diseños experimentales) para la contrastación de las hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos de que se dispone. * La resolución y el análisis de los resultados, cotejándolos con los obtenidos por otros grupos de alumnos y por la comunidad científica. Ello puede convertirse en oportunidad de conflicto cognitivo entre distintas concepciones (<i>tomadas todas ellas como hipótesis</i>), obliga a concebir nuevas hipótesis, etc.</p>
<p>4. Plantear el manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones para hacer posible la profundización y afianzamiento de los mismos, poniendo un énfasis especial en las relaciones Ciencia/Técnica/Sociedad que enmarcan el desarrollo científico (propiciando, a este respecto, la toma de decisiones) y dirigiendo todo este tratamiento a mostrar el carácter de cuerpo coherente que tiene toda ciencia. Favorecer, en particular, las <i>actividades de síntesis</i> (esquemas, memorias, mapas conceptuales, ...), la <i>elaboración de productos</i> (susceptibles de romper con planteamientos excesivamente escolares y de reforzar el interés por la tarea) y la <i>concepción de nuevos problemas</i>.</p>

Tabla I. Estrategias de enseñanza para un aprendizaje como investigación.

Pero, si hoy en día admitimos que los experimentos están guiados por la teoría, que los paradigmas, las teorías, o incluso, las buenas hipótesis no se abandonan aunque fallen en alguna contrastación experimental (Khun, 1971; Lakatos, 1974; Hodson, 1985, 1992), que no existen resultados "objetivos y neutrales", y, en suma, que los conocimientos científicos son provisionales y sujetos a evolución, es necesario prestar más atención a características del trabajo científico que aparecen al final de dicho esquema y que no han sido, en nuestra opinión, resaltadas adecuadamente en la enseñanza de las ciencias.

Comencemos por afirmar que la secuencia "planteamiento del problema/formulación de hipótesis/ contrastación experimental" es insuficiente en sí misma para explicar el avance del conocimiento científico y diferenciar y defender su supremacía frente a la explicación cotidiana (cuando compiten por el mismo dominio) como forma de conocimiento del mundo. De hecho, no pocos campos del

conocimiento humano e incluso de la actividad laboral (por ejemplo un jefe de almacén), aceptarían como propia dicha secuencia.

Y es que es necesario profundizar en otros aspectos de importantes implicaciones didácticas. En efecto, desde Newton, la explicación científica dejó de aspirar a fundarse en verdades necesarias, incontrovertibles y autoevidentes (como era la aspiración de los filósofos y geómetras griegos); la ciencia moderna sustituyó la finalidad utópica de la certeza por el requisito del desarrollo o mejora continua y por la finalidad de establecer generalizaciones, concepciones universales aplicables al mundo físico: la historia de la ciencia puede contemplarse como una sucesión de avances en que un campo cada vez más amplio se extiende con un número mayor de principios independientes.

Precisamente, si perseguimos la finalidad de la ciencia, podemos hablar de cuándo una teoría es mejor que otra, y por tanto, de avance en la ciencia

(Chalmers, 1992). En el caso de las ciencias físico-químicas es posible una confrontación con el mundo, de un modo exigente, tratando de establecer su superioridad sobre afirmaciones rivales. Dichas contrastaciones severas supondrán demostrar su mayor universalidad (viendo uniformidades donde antes parecían existir cosas únicas e incomprensibles), usualmente conllevarán experimentaciones artificiales, serán valoradas en el trasfondo de lo que ya se conoce o se acepta (coherencia: las nuevas concepciones no deben entrar en contradicción con otras ideas aceptadas, si lo hace queda un problema pendiente), y de su capacidad predictiva (las nuevas concepciones deben poder explicar fenómenos que otras no podían y servir para hacer predicciones con éxito de fenómenos nuevos - algo especialmente significativo: la comprensión y el control de los cambios-, identificar nuevos problemas a investigar,...). ¿Por qué se aceptó sino la teoría de la gravitación de Newton (con la invención de fuerzas a distancia)? ¿por qué creemos en la existencia de los quarks tan firmemente como en la de los átomos?, ¿y en el Big Bang?. Todos ellos son invenciones humanas en respuesta a problemas planteados, en cuya elaboración colectiva, la búsqueda de la universalidad, la coherencia, la contrastación experimental y la capacidad predictiva juegan papeles relevantes.

Si de verdad deseamos que los alumnos cambien de la explicación cotidiana a la científica (el cambio epistemológico), la finalidad de la ciencia (la búsqueda de explicaciones universales), el desarrollo de los criterios de coherencia, sencillez, capacidad predictiva, el requisito de mejora continua, deben pasar a ser contemplados en la enseñanza de modo inseparable de la naturaleza hipotético/deductiva y matemático/experimental de los conocimientos científicos. Y ello tiene implicaciones que afectan a qué temas elegir y cómo secuenciarlos y organizarlos.

Para empezar, no es posible conseguir que los alumnos hagan propios criterios como universalidad, coherencia,... con temas puntuales, aislados. Probablemente ni siquiera en la duración de un curso académico. Pero nos da una flecha que indica que la enseñanza de las ciencias en un proyecto para una etapa debe orientarse hacia la elaboración de síntesis globales y globalizadoras, que constituyan "concepciones" racionales, coherentes del mundo físico, de modo que un curso sea más que la suma de temas, y se resalte la finalidad y potencialidad de la ciencia (y sus limitaciones) como forma de producción de conocimientos.

Esta organización de los cursos no supone, no obstante, que los temas que los forman (en su totalidad o en grandes fragmentos) sean tales que permitan que al final del mismo sea posible mostrar la coherencia de los "resultados" obtenidos en los distintos temas y la aparición "a posteriori" de concepciones más unitarias/universales. Por el contrario, las síntesis no deben aparecer como fruto de una panorámica realizada al final del curso: podría resultar anecdótico, inductivista o parecido a un requisito posterior, histórico, a los ojos de los alumnos. La epistemología científica supone un compromiso con dichos criterios desde el principio: no es que se encuentren las síntesis, las concepciones unitarias o universales, es que se buscan. Como señala López (1990): "La verdadera obsesión de los físicos es comprender la enorme diversidad de los fenómenos de la naturaleza en términos de unos pocos componentes elementales (...)". Esta intención supone un criterio que da forma a estrategias de investigación, que bloquea o elimina unas ideas o caminos y apoya otros, y hace que sea posible -en contra de los trabajos de Feyerabend- hablar de avance en la ciencia, si bien en base a supuestos muy alejados del positivismo (Chalmers, 1992).

Nuestra hipótesis, surgida como profundización del MEPI, de que estos principios organizadores de los cursos dan lugar a estructuras efectivas para fomentar el cambio epistemológico y conceptual, requiere previamente otras contrastaciones a mostrar:

- a) Que es posible concretarla, es decir, suministrar un modo de seleccionar, secuenciar y estructurar los cursos que puede llevarse a cabo, representando una alternativa global a otras posibles formas de planificar la enseñanza de las Ciencias/Física y Química.
- b) Que dicha estructuración es relevante, es decir, que dirige la atención a aspectos y conocimientos claves para el aprendizaje de la materia.

Abordaremos a continuación algunos aspectos relativos a estas dos cuestiones.

IV. LA ESTRUCTURA DE UN CURSO COMO INVESTIGACION

La mejor respuesta que puede ofrecerse a la primera cuestión es la elaboración completa y detallada de un

curso según nuestra hipótesis. La primera versión de dicho curso, titulado "La Búsqueda de la Universalidad en la Naturaleza", pensada para alumnos de 13/14 años fue realizada en 1991 (Mtnez. Torregrosa et Al., 1991), y la revisión que recoge las mejoras extraídas de su puesta en práctica ya está en marcha (Mtnez. Torregrosa et Al., en prensa). Aunque la situación ideal sería que el lector pudiera disponer del material para analizarlo con detalle, expondremos algunas de sus características que pueden ser útiles para la estructuración de los cursos como investigación.

I) En primer lugar, es necesario tener presente que al final de la etapa (12/16), deseamos que los alumnos hayan avanzado en la comprensión de algunas de las grandes síntesis científicas, que pueden resumirse en: la unidad de la estructura de los materiales, la universalidad en el comportamiento mecánico de todas las cosas, y la comprensión y control de los cambios (electromagnéticos y químicos).

II) Una vez decidido que en dicho curso se va a tratar de (re)construir una de las grandes síntesis, "la unidad en la estructura de todos los materiales" (una aspiración que muestra claramente la finalidad de la ciencia y que tardó siglos en constituirse), nuestra pregunta, coherentemente con el análisis epistemológico realizado anteriormente, ha sido: ¿qué puentes hubo que levantar, qué barreras y asimetrías hubo que superar, para establecer dicha concepción universal?. La historia, la filosofía, la propia epistemología de las ciencias Mason, (1985, 1986); Holton, (1976); Holton, Rutherford y Watson, (1982); Einstein e Infeld, (1939); Boyle, (1985)), son las fuentes principales en las que nos hemos basado para la selección.

La barrera entre continuidad/discontinuidad, cuya superación sólo fue posible tras: a) franquear las tajeantes diferencias que parece existir entre sólidos/líquidos por una parte y los gases por otra (es decir, buscar propiedades comunes a todos ellos); b) consolidar la hipótesis corpuscular para los gases, y c) comprobar que una propiedad de la materia, la carga y la interacción eléctrica, podía suministrar el nexo de unión necesario para extender la estructura corpuscular de los gases a trozos de materia aparentemente "continuos" como los líquidos y los sólidos.

La invención del concepto de átomo, molécula y del modelo cinético de reacción como puentes necesarios

para reconciliar, por un lado, la enorme diversidad de sustancias existentes con la unidad en la estructura de todas ellas, y por otro, la permanencia con el cambio (el eterno dilema de la química): la desaparición de unas sustancias y la aparición de otras, siendo posible, recuperar, en ocasiones, las que antes habían desaparecido.

III) A todo ello es a lo que hay que enfrentarse a lo largo del curso para construir la síntesis que deseamos. Pero como hemos dicho anteriormente, las concepciones universales, las síntesis no se encuentran, se buscan; y es necesario que desde el principio, los alumnos sientan que la universalidad es un criterio básico para producir conocimientos científicos y una guía que da forma a estrategias de investigación. Esto puede conseguirse "problematizando" los cursos en su inicio, es decir, planteando preguntas -que inicialmente puede/son parecer metafísicas- que ya impliquen un avance del compromiso con criterios científicos que no sería posible con el tratamiento de temas puntuales, aislados. Dicha pregunta estructurante inicial, ha de hacer posible que la secuencia de temas no sea arbitraria o al azar, fomentando la existencia de un hilo conductor temático, de una secuencia de temas que adquirirán el status de situaciones problemáticas más concretas que han de ser abordadas para avanzar en la pregunta estructurante inicial. Esta es la función que cumple cada uno de los temas titulados "¿Qué vamos a estudiar?", con el que empezamos todos los cursos del proyecto, que se presenta con breves comentarios en un anexo de este trabajo (3).

Esta forma de estructurar el curso, favorece además la orientación dentro de cada tema (clarificando a qué se debe prestar más atención), la posibilidad de evaluar lo que se ha avanzado en cada momento (asimilando evaluación a la recapitulación de la empresa científica (Duschl y Gitomer, 1990), y el establecimiento de un hilo conductor de problemas abiertos -el requisito de mejora continua del que hablábamos antes- que, como en la ciencia, es fruto de la identificación de nuevos problemas que deben ser abordados y que permiten establecer relaciones entre los distintos temas y cursos. Por último es necesario reiterar que el curso -o gran fragmento del mismo- debe concluir con una recapitulación que recoja en qué medida se ha avanzado en la respuesta a la pregunta estructurante inicial, enumerando las barreras o asimetrías que ha sido necesario franquear y resumiendo la concepción globalizadora que se ha levantado. Si bien la fundamentación detallada de la estructura de cada tema se realizará en otro lugar,

conviene hacer constar que cada uno de ellos tiene un objetivo/clave que cumplir, y que cada tema representa el tratamiento de una situación problemática más acotada y definida que al principio, cuyo índice se elabora como una posible estrategia para avanzar en su solución (Gil, Mtnz. Torregrosa y Verdú, (1989), Verdú (1990)).

Puesto que esta forma de organizar los cursos está basada en un proceso de construcción de conocimientos orientado por la epistemología científica, es útil para organizar la enseñanza independientemente de que existan o no ideas espontáneas en el campo tratado, si bien cuando éste sea el caso es necesario asegurarse de que dichas ideas no van a ser ignoradas, asunto que se conecta con la segunda cuestión planteada: el de la relevancia de una estructuración basada en estos criterios.

V. LAS BARRERAS AUN EXISTEN

Dado que los cursos persiguen la elaboración de grandes síntesis científicas, y que la secuencia se planifica como una posible estrategia en la que se abordan problemas que permiten levantar los puentes que, desde un punto de vista histórico, filosófico y epistemológico supusieron piezas fundamentales para el desarrollo de las mismas, no hay duda de que los conceptos y relaciones fundamentales desde el punto de vista de la estructura interna de la materia van a ser contemplados. No obstante, es necesario completar este análisis teórico, particular para cada curso, con estudios empíricos que muestren que las barreras sobre las que se van hacer énfasis también existen en los alumnos, y, de ser así, qué ideas y argumentos subyacen en torno a ellas. A modo de ejemplo, expondremos parte del estudio empírico realizado para el último curso de la E.S.O. (15/16 años).

Buena parte de este trabajo puede basarse en resultados ya clásicos en la investigación didáctica, ya que la historia de la ciencia ha sido una fuente de primer orden para orientar la investigación en la enseñanza de la misma (Gil, 1992). En algunas ocasiones, en cambio, se requieren análisis originales para contrastar la hipótesis de la existencia de barreras e identificar los razonamientos que las acompañan. Así, por ejemplo, una de las grandes barreras que, según la historia y la epistemología (Cohen (1982, 1987, 1989); Mason, (1985, 1986); Koyré (1979, 1980); Brown (1988); Butterfield (1958)), hubo que superar para llegar a establecer "la universalidad en

el comportamiento mecánico de todas las cosas" fue la existente entre el Cielo y la Tierra, entre el movimiento de los cuerpos celestes y los "terrestres", y, en general, entre el movimiento de los cuerpos de distinta naturaleza (sólido, gas, ...). Es muy difícil admitir que alguien pueda concebir que la antiintuitiva concepción newtoniana de fuerzas es más fructífera que la espontánea si no es conciente de la gran unificación a que dio lugar dicha investigación. Nuestro estudio no ha ido, pues, dirigido, a comprobar qué es lo que piensan los alumnos sobre el movimiento de un cuerpo lanzado al aire, de la Luna o de un globo de gas, sino a conocer qué es lo que impide que alumnos, después de años de instrucción, y profesores "vean" de un modo unitario el comportamiento mecánico de todos los cuerpos sin importar su naturaleza, con el fin de asegurarnos de que en la estructura de los temas se suministrarán las oportunidades adecuadas -en ambiente de resolución de problemas- para avanzar de modo seguro en la elaboración de la síntesis buscada.

Algunas de las cuestiones que hemos utilizado en este trabajo son las siguientes:

1. Indica semejanzas y diferencias entre el movimiento de un astronauta fuera de su nave, en órbita alrededor de la Tierra y el de una persona que se ha lanzado desde un avión. (Sé tan preciso como puedas, escribe, utiliza dibujos, ..).
2. Según la Ley de Gravitación Universal una piedra que se ha lanzado horizontalmente desde una cierta altura sobre el suelo es atraída por la Tierra, del mismo modo que ocurre con la Luna. La piedra cae al suelo, ¿por qué no le ocurre lo mismo a la Luna?
3. Del mismo modo, la Tierra atrae también a las moléculas de los gases que forman el aire. ¿Por qué no terminan todas apiladas en el suelo?.

Las dos primeras han sido pasadas a alumnos de 3º de BUP, COU, 2º de CC. Químicas, y a profesores en formación (alumnos de CAP) y en activo de Física y Química. La última únicamente a profesores en formación y en activo. En el caso de los alumnos, las cuestiones se pasaron después de que hubieran tratado en el curso la parte de Mecánica correspondiente y las respuestas fueron individuales, anónimas y sin límite de tiempo.

	3 BUP (N=83) % Sd	COU (N=83) % Sd	1° QUI (N=86) % Sd	2° QUI (N=35) % Sd	CAP (N=59) % Sd	PROF (N=92) % Sd
1ª	94 3	89 3	80 4	91 5	90 4	53 5
2ª	99 1	96 2	93 3	97 3	95 3	78 4

Tabla II. Respuestas incorrectas a las cuestiones 1º y 2º

En la tabla II se muestra el porcentaje de respuestas erróneas a las dos primeras cuestiones, es decir, el porcentaje de encuestados que no perciben el movimiento de ambos objetos como esencialmente idénticos, cuyas únicas diferencias son debidas al rozamiento y al distinto valor de sus velocidades respecto al centro de la Tierra. Por el contrario, la práctica totalidad de los alumnos y profesores en formación y más del 75% de los profesores en activo piensan que la diferencia entre el movimiento de la piedra y de la Luna no es una mera cuestión del valor de la velocidad (y de rozamiento): mientras que casi todos admiten que sobre la piedra no actúa más que su peso, sobre la Luna necesitan introducir otra "interacción" o bien "anular" la acción gravitatoria. Así, resulta frecuente la "necesidad" de equilibrar la fuerza gravitatoria sobre la Luna o el astronauta para que "no caigan".

Pero, es necesario ir más allá, ya que podría pen-

sarse -a pesar de que los encuestados no sienten la necesidad aludida en el caso de la piedra o la persona que se lanza del avión- que la aparición de fuerzas centrífugas no denota la existencia de una barrera Cielo/Tierra, puesto que dicha idea aparece también en el análisis del movimiento circular de objetos "terrestres" como el de una honda o el de un vehículo en una curva. Por ello, hemos clasificado las respuestas, separando aquellas que hacen nula, o prácticamente nula la fuerza sobre el astronauta o la Luna sin "compensarla" con otra, es decir, que utilizan argumentos como: "está tan lejos que la gravedad no llega", "no cae porque la fuerza gravitatoria es despreciable", "la persona que se ha lanzado desde el avión es atraída por la Tierra, el astronauta no",..., en definitiva respuestas que nunca admitirían para el movimiento circular de un objeto en la superficie (ni para un trozo de madera flotando en el agua). Los resultados de la Tabla III muestran estos porcentajes (respecto al total de respuestas).

	3 BUP (N=83) % Sd	COU (N=83) % Sd	1° QUI (N=86) % Sd	2° QUI (N=35) % Sd	CAP (N=59) % Sd	PROF (N=92) % Sd
1ª	58 5	60 5	57 5	83 6	61 6	26 5
2ª	29 5	37 5	49 5	29 5	24 5	22 4
Una de las dos	73 5	78 4	66 5	89 5	66 6	41 5
Las dos	20 4	26 5	39 5	23 7	17 5	15 4

Tabla III. Respuestas que hacen F=O (o prácticamente cero) sobre el astronauta en la 1ª cuestión y sobre la Luna en la 2ª.

La tercera de las cuestiones estaba diseñada para mostrar la existencia de diferencias entre el comportamiento mecánico de un objeto como una

piedra y el de las moléculas de un gas.

Por tratarse de una pregunta compleja, no

buscábamos la respuesta correcta, sino en qué medida se utilizaban argumentos que ponían en evidencia que la naturaleza del objeto evocaba en los

profesores ideas contrarias a la universalidad de la mecánica de Newton.

	CAP (N=54) % Sd	PROF (N=98) % Sd
Incorrectas	78 6	48 5
Hacen $F=0$ (o prácticamente cero) por ser la masa de las moléculas muy pequeña	37 6	23 4
Hacen $F=0$ (o prácticamente cero) sobre las moléculas por ser su masa despreciable y, al mismo tiempo, hacen $F=0$ sobre la Luna en la 2ª cuestión por ser la distancia muy grande.	24 6	13 3

Tabla IV. Resultados obtenidos con la 3ª cuestión.

Como se ve en la Tabla IV, prácticamente la mitad de las respuestas incorrectas afirmaban que las moléculas no quedaban apiladas porque la fuerza que actúa sobre ellas es nula debido a que su masa es muy pequeña. Es decir, no piensan que desde el punto de vista de la mecánica y la gravitación lo que le ocurriría a una piedra y a una sola molécula sería lo mismo, debiéndose buscar, por tanto, otras explicaciones, sino que la secuencia parece partir admitiendo que a una molécula no le puede ocurrir mecánicamente lo mismo que a una piedra. Estos resultados deben ser contextualizados teniendo en cuenta, además, que los encuestados eran asistentes a cursos de formación en los que previamente se había discutido, como ejemplo de idea espontánea errónea típica en los alumnos, la creencia de que la velocidad de caída de los cuerpos, sin rozamiento, es proporcional a su masa, confrontándola con la idea científica, aparentemente conocida y aceptada por todos los asistentes, de la independencia masa/aceleración en la caída libre de cualquier objeto.

Los resultados anteriores dejan lugar a pocas dudas sobre que, aún en la era espacial, la práctica totalidad de nuestros alumnos, después de años de instrucción, y buena parte de los profesores, creen en la existencia de diferencias especiales en el comportamiento mecánico de los objetos según su naturaleza (terrestre/celeste, piedra/molécula,...), no

siendo conscientes, por tanto, de la unificación producida por las concepciones newtonianas.

Para mantener dichas diferencias, utilizan tanto ideas espontáneas erróneas bien conocidas sobre fuerza y movimiento, como otros argumentos que ponen en evidencia la creencia de que los objetos "celestes" o las moléculas de un gas pueden estar en movimiento circular uniforme o "flotando" sin que actúe fuerza alguna sobre ellos. Estos resultados también son indicativos de la imagen de la ciencia que deben tener alumnos y profesores, un factor que como señala Hodson (1985) influye en las actitudes de los mismos.

CONCLUSIONES

Estudios empíricos como el anterior, permiten confirmar la relevancia de los aspectos claves, de los puentes que, según el análisis epistemológico de la ciencia, habría que levantar para llegar a constituir la síntesis buscada desde el principio del curso, y señalan aspectos a los que hay que prestar atención en la secuenciación y estructura de los temas del mismo.

Esta forma de estructurar y organizar los cursos, supone una alternativa, dentro de la orientación constructivista, a las estrategias de CCP, en las que

se favorece -al tratar de elaborar grandes síntesis científicas- que las creencias espontáneas sean puestas a prueba en contextos distintos, en un ambiente problematizado, y que las nuevas ideas adquieran sentido como partes de concepciones globales y globalizadoras del mundo, fomentando el desarrollo de una forma de pensar coherente con la epistemología científica. La investigación sobre las

ideas de los alumnos, deja, además, de ser un análisis puntual sobre conceptos aislados, y adquiere sentido como parte empírica de una investigación ligada a una elaboración, desarrollo y contrastación de un determinado proyecto con una secuenciación fundamentada en el modelo de enseñanza por investigación y la profundización en la epistemología científica.

(1). El término epistemología se utiliza en este trabajo como sinónimo de la forma en que se producen y aceptan conocimientos.

(2). El método hipotético-deductivo, supuso una forma de trabajo revolucionaria en su tiempo, y fue inventado por Galileo y sus colaboradores, como señala Mason (1986), "... hasta entonces los nuevos se habían hallado por azar o accidente y las hipótesis rivales, como la mecánica aristotélica o la del ímpetus, podían convivir durante muchas generaciones debido a la falta de criterios para decidir entre ellas que no fueran exclusivamente lógicos".

(3). Existen evidencias (Schauble et Al, (1991)) que apoyan comenzar los cursos de ciencias planteando el tratamiento de algún problema de tipo técnico, fácil de realizar y bien conocido por el profesor, como forma de que los alumnos adquieran confianza, destreza y familiarización con actividades que se van a poner en práctica a lo largo del curso (planteamiento cualitativo, formulación de hipótesis, estrategia/diseño experimental, medición, análisis de resultados,...) antes de comenzar a plantear "problemas más científicos". El bien conocido trabajo práctico sobre "el período de un péndulo simple" (Calata yud et Al, (1978)) sirve magníficamente para este papel, y ha sido realizado antes de comenzar este tema.

Referencias bibliográficas

- ALONSO, M.; GIL, D. y MTNEZ TORREGROSA, J. (1991). *Propuesta de evaluación en Física y análisis de la evaluación habitual*, en Resúmenes de Premios Nacionales de investigación e innovaciones educativas 190 (CIDE): Madrid.
- ALONSO, M.; GIL, D. y MTNEZ TORREGROSA, J. (1992). *Los exámenes en la enseñanza por transmisión y en la enseñanza por investigación*. Enseñanza de las Ciencias, 10(2), 127-138.
- BOYLE, R. (1985). *Física, Química y filosofía mecánica, especialmente los comentarios de C. Solís*, Madrid: Alianza Editorial.
- BROWN, H.I. (1988). *La nueva filosofía de la ciencia*, Barcelona: Península.
- BUTTERFIELD, H., (1958). *Los orígenes de la ciencia moderna*, Madrid: Taurus.
- CALATAYUD, M.L. ET AL. (1978); *Trabajos prácticos de Física*. Valencia: ICE de la Universidad de Valencia.
- COHEN, I.H., (1982). *El descubrimiento newtoniano de la gravitación*. Investigación y Ciencia. Mayo, 111-120.
- COHEN, I.B., (1987). *Todos somos newtonianos*. El País Extra, 17 de junio.
- COHEN, I.B., (1989). *El nacimiento de la nueva Física*. Madrid: Alianza Universidad.
- CHALMERS, A., (1992). *La ciencia y como se elabora*. Madrid: Siglo XXI.
- DREYFUSS, A. JUNGWIRTH, E. y ELIOVITH, R., (1990). *Applying the "Cognitive Conflict" Strategy for Conceptual Change. Some implications, Difficulties and Problems*. Science Education 74 (5).
- DRIVER, R., (1989). *Students' Conceptions and the Learning of Science*. Int. Jour. Sci. Educ. (11), 481-490.
- DRIVER, R. y OLDHAM, V., (1986), *A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science*. Studies in Science Education (13), 105-122.
- DUSCHL, R.A. y GITOMER, D.H. (1991) *Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice*, Jour. of Res. in Sc. Teach., 28, 9, 839-858.
- EINSTEIN, A. y INFELD, L. (1939). *La Física, aventura del pensamiento* (12º Ed.) Buenos Aires: Losada.
- GIL, D. (1983) *Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias*. Enseñanza de las Ciencias. 1, 26-33.
- GIL, D. (1992) *Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias a la transformación de la enseñanza de las ciencias*. Conferencia presentada en Congreso Internacional. Historia de las Ciencias Físico-Matemáticas y enseñanza de las ciencias, Madrid, sept. de 1992.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1985). *Science Learning as a conceptual and methodologic change*. European Journal of Science Education (7), 231-236.
- GIL, D.; CARRASCOSA, J.; FURIO, C. y MTNEZ TORREGROSA, J., (1991). *La enseñanza de las*

- ciencias en la educación secundaria. Barcelona: ICE-horsori.
- GIL, D. y MTNEZ. TORREGROSA, J. (1983). *A model for Problem-Solving in accordance with scientific methodology*. European Journal of Science Education 5(4), 447-455.
- GIL, D. y MTNEZ. TORREGROSA, J. (1987). *Los programas-guía de actividades: una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias*. Investigación en la Escuela, 3, 3-12.
- GIL, D.; MTNEZ. TORREGROSA, J. y SENENT, F. (1988). *El fracaso en la resolución de problemas: una investigación orientada por nuevos supuestos*. Enseñanza de las Ciencias, 6 (2), 131-146.
- GIL, D.; MTNEZ. TORREGROSA, J. y VERDU, R. (1989). *La introducción de conceptos, modelos y teorías en los textos de Física*. Enseñanza de las Ciencias, N° Extra (tomo I), 203-204.
- GIL, D. y PAYA (1987). *Los trabajos prácticos de Física y Química y la metodología científica*. Revista de Enseñanza de la Física (Argentina).
- HASHEWH, M.Z. (1986). *Towards an Explanation of Conceptual Change*. European Journal of Science Education (8), 29-249.
- HEWSON, P.W. (1990) *Enseñanza de "Fuerza y Movimiento" como cambio conceptual*. Enseñanza de las Ciencias 8(2), 157-171.
- HEWSON, M.G. y HEWSON, P.W., (1984). *Effects of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning*. Journal of Research in Science Teaching (20), 713-743.
- HODSON, D. (1985) *Philosophy of science, science science and science education*. Studies in Science Education (12), 25-57.
- HODSON, D. (1992) *In search of meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education*, Int. Jour. Sc. Educ., 14, 5, 541-562.
- HOLTON, G. (1976) *Introducción a los conceptos y teorías de las Ciencias Físicas*. Barcelona: Reverté.
- HOLTON, G.; RUTHERFORD, F.J. y WATSON, F.G. (1982). *Projects Physics*. New York: Holt-Rinehart-Winston.
- KOYRE, A., (1979). *Del mundo cerrado al universo infinito*. Madrid: siglo XXI.
- KOYRE, A., (1980). *Estudios galileanos*. Madrid: Siglo XXI.
- KHUN, T.S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: FCE.
- LAKATOS, I., (1974). *Historia de la ciencia y sus revoluciones racionales*. Madrid: Tecnos.
- LÓPEZ, C., (1990). *Los "quarks" también existen*, El País. p. 32, 20 de Octubre de 1990.
- LLORENS, J.A.; LLOPIS, R. y DE JAIME, M.C., (1987). *El uso de la terminología científica en los alumnos que comienzan el estudio de la Química en la Enseñanza Media. Una propuesta metodológica para su análisis*. Enseñanza de las Ciencias (5), 33-40.
- MTNEZ. TORREGROSA, J. (1987). *La resolución de problemas de Física como investigación: un instrumento de cambio metodológico*. Tesis doctoral. Servicio de publicaciones de la Universidad de Valencia.
- MTNEZ. TORREGROSA, J.; ALONSO, M.; CARBONELL, F.; CARRASCOSA, J.; DOMENECH, J.L.; DOMENECH, A.; OSUNA, L.; SENDRA, F. y VERDU, R. (1991). *La Búsqueda de la Unidad en la Naturaleza. Ciencias en la Naturaleza*. 2º Curso Enseñanza Secundaria Obligatoria. Libro del Profesor y el alumno. Valencia: Generalitat Valenciana. Conselleria de Cultura, Educación y Ciencia.
- MTNEZ. TORREGROSA, J.; ALONSO, M.; CARBONELL, F.; CARRASCOSA, J.; DOMENECH, J.L.; DOMENECH, A.; OSUNA, L.; SENDRA, F. y VERDU, R. *La Búsqueda de la Unidad en la Naturaleza*. Ciencias en la Naturaleza. 2º Curso Enseñanza Secundaria Obligatoria. Libro del Profesor y el alumno. (en prensa).
- MASON, S., (1985). *Historia de las Ciencias*. Madrid: Alianza Editorial.
- MASON, S., (1986). *Historia de las Ciencias*. Madrid: Alianza Editorial. (Vol 2, 3 y 4).
- MILLAR, R., (1989). *Constructive Criticism*. Int. Journ Sci. Educ. (11), 587-596.
- MINISTRELL, J., (1984); *Teaching for the development of understanding of ideas: forces on moving objects*. En Anderson C.W. (eds) *Observing science classroom: observing science perspectives from research and practice*. Columbus, OH: ERC/SMAC.
- NUSSBAUM, J y NOVICK, S., (1982). *Alternative Frameworks, Conceptual Conflict and Accomodation: Towards a Principled Teaching Strategy*. Instructional Science, 11, 183-200.
- OSBORNE, R. y FREYBERG, P., (1985). *Learning in science*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- POZO et Al., (1991). *Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva*. Enseñanza de las Ciencias 9 (1), 83-94.
- RAMIREZ, L., (1990). *La resolución de problemas de Física y Química como investigación en la enseñanza media, un instrumento de cambio metodológico*. Facultad de Ciencias Químicas. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- SCHAUBEL, L.; KLOPFER, L.E. y RAGHAVAN, K., (1991). *Students' transition from an engineering model to a scientific model of experimentation*. Jour, of Res. Sc. Teach. 28, 859-882.
- SHUELL, T.J., (1987). *Cognitive Phycology and Conceptual Change: Indications for Teaching Science*. Science Education 71 (2), 239-250.
- SOLOMON, J., (1987). *Social influences on the constructions of pupils' understanding of science*. Studies in science Education 71 (2), 239-250.
- SOLOMON, J., (1988). *Una perspectiva social de los*

esquemas conceptuales. Investigación en la Escuela, nº 5, 17-20.

SOLOMON, J., (1991). *Teaching about the nature of science in the British National Curriculum*. Science Education, 75 (1), 95-103.

VERDU, R., (1990). *La estructura de los temas y la introducción de conceptos y modelos en la Enseñanza de la Física*. Análisis de los textos habituales. (Tesis de Master). Universitat de Valencia, Valencia.