

LA METODOLOGIA CIENTIFICA Y LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS. UNAS RELACIONES CONTROVERTIDAS (1)

GIL PEREZ, Daniel
Universitat Autònoma de Barcelona

(1) Comunicación presentada en el congreso PEDAGOGIA'86. La Habana, Cuba.

SUMMARY

In this paper we make a review of the relationship between science learning and scientific methodology. We try to show that coherent results of several lines of educative research are contributing to the rising of a science learning model as a conceptual and methodological change, in which students work has the characteristics of research.

1. INTRODUCCION: UNA IMAGEN DEFORMADA DE LA CIENCIA

En un reciente y muy documentado artículo, Derek Hodson (1985) ha procedido a una revisión de la imagen de la ciencia proporcionada a través del currículum, así como de las experiencias de aprendizaje asociadas.

Como Hodson recuerda, a fines de los años cincuenta termina un largo período de estabilidad en los currícula de las materias científicas en la enseñanza media. Se inicia así un proceso de innovación marcado por el intento de superar una tradición centrada en los contenidos —con una ausencia casi total de trabajos experimentales— concediendo un papel fundamental a la familiarización con los métodos de la ciencia.

En realidad, la propuesta de aproximar el aprendizaje de las ciencias a las características del trabajo científico, como forma de superar las deficiencias de la enseñanza tradicional por transmisión de conocimientos elaborados, es bastante anterior y puede ya encontrarse explícitamente formulada en autores como Dewey (1916, 1945), conectando con los planteamientos de la llamada Pedagogía Moderna. Pero es ciertamente durante los años sesenta/setenta cuando, como afirma Hodson, se produce la eclosión de los proyectos basados en el «aprendizaje por descubrimiento» (PSSC, BSCS, CBA, CHEM, Nuffield, ...).

El trabajo de Hodson constituye ante todo una crítica cuidadosamente fundamentada y documentada de los resultados obtenidos con los nuevos currícula, tanto en lo que respecta al aprendizaje logrado por los alumnos como a la imagen de la ciencia transmitida. Las conclusiones de su análisis refuerzan las de revisiones

precedentes (Robinson 1969; Ausubel 1978; Gil 1983; Yager y Penick 1983). Resumiremos brevemente algunas de estas conclusiones que nos parecen particularmente relevantes y que están apoyadas por una abundante literatura, en gran parte citada por Hodson, aunque, extrañamente, faltan referencias a trabajos muy conocidos en los que se han realizado revisiones semejantes con parecidas conclusiones (Ausubel 1978):

— Existe aún hoy, muy extendida entre el profesorado y alumnado (e incluso entre algunos científicos), una concepción sobre la naturaleza de la metodología científica marcada por el inductivismo, que ignora las aportaciones de la moderna epistemología (Bileh y Malik 1977; Ogunnigi y Pelia 1980; Rowell y Cawthron 1982; Gil 1983).

— Esta visión del método científico infravalora la creatividad del trabajo científico, llevando a los alumnos a pensar que la ciencia consiste en verdades incontrovertibles (Rubba, Horner y Smith 1981) e introduciendo rigidez e intolerancia contra las opiniones «desviacionistas».

— El llamado «aprendizaje por descubrimiento», que pone el acento en el valor motivacional de la experiencia directa —en el «descubrir por sí mismo»— y en el uso de términos tales como observación, experimento e investigación, constituye un modelo de aprendizaje basado en concepciones empírico/inductivistas de la ciencia. Tales métodos de aprendizaje presentan, pues, una visión distorsionada e inadecuada de la metodología científica (Ausubel 1978; Branden 1981; Wellington 1981; Summer 1982; Gil 1983). Una visión en la

que faltan absolutamente aspectos clave de la metodología científica como la emisión de hipótesis o el diseño de experimentos (Enyeart, Baker y Vanharlingen 1980; Gené y Gil 1983; Gil y Payá 1984), aspectos que ni siquiera aparecen entre los objetivos de los trabajos prácticos (Swain 1974; Gunning y Johnstone 1976; Bound et Al 1980).

— Como Gould (1982) señala «Enseñar que el trabajo de los científicos tiene dichas características es ya suficientemente grave, pero lo que resulta más rechazable es que los profesores de ciencias intenten ahormar el comportamiento de sus alumnos a esta misma incorrecta imagen». De hecho, los efectos de esta orientación curricular sobre las actitudes e intereses de los alumnos no son nada prometedoras (Meyer 1970; Walters y Boldt 1970; Kempa y Duve 1974; Simmons y Esler 1972).

— En conclusión, parece necesario proceder a una revisión radical de lo que —a la luz del pensamiento actual en filosofía y sociología de la ciencia— cabe interpretar como actitud científica, si se quiere modificar la visión distorsionada y perjudicial de la ciencia que actualmente proporcionan los currícula de enseñanza media (Robinson 1969).

2. HACIA UN CURRÍCULUM EPISTEMOLÓGICAMENTE FUNDAMENTADO: LAS PROPUESTAS DE D. HODSON

Partiendo del análisis crítico que hemos resumido en el apartado anterior —que, repetimos, coincide con las aportaciones de muchos otros autores, profundizándolas en algunos aspectos—, así como de una cuidadosa consideración de la naturaleza del conocimiento científico, Hodson avanza algunas propuestas para la elaboración de currícula epistemológicamente más válidos. Se trata, sin duda, de un trabajo importante pero en el que, como trataremos de mostrar, Hodson no ha tenido en cuenta recientes y fundamentales aportaciones de la investigación didáctica. Resumiremos a continuación las propuestas de Hodson y en el apartado siguiente procederemos a su análisis a la luz de dichas aportaciones de la investigación didáctica:

1. Puede resultar conveniente, con objeto de favorecer una mejor comprensión del trabajo científico, mostrar a los alumnos que la práctica científica comporta tres elementos principales:

- *Una fase creativa* individual que parte de los conocimientos aceptados corrientemente por la comunidad.

Una completa comprensión de la práctica científica requiere que se de a los niños la ocasión de pensar creativamente. Desgraciadamente, la preocupación de los profesores por enseñar los conocimientos científicos y eliminar errores, provoca a menudo un rechazo del pensamiento especulativo de los niños (Donnelly 1979) fomentando una visión de la ciencia caracterizada por la rigidez e intolerancia.

- *Una fase experimental*, utilizando procedimientos aceptados y validados por la comunidad.

Para un buen diseño curricular es esencial que el trabajo experimental en clase tenga una función claramente definida. En particular ha de mostrarse la complejidad de las relaciones entre teoría y experimentos, lo que raramente suele hacerse en la práctica docente habitual, que tiende a atribuir a los experimentos o bien un papel inductivo o bien un papel de mera ilustración (Gil 1983).

- *Una fase de análisis y comunicación de resultados* adoptando el vocabulario y las formas de exposición aprobadas por la comunidad.

Los científicos piensan y trabajan utilizando un «lenguaje privado» libre y creativo, pero están obligados a presentar sus trabajos en el «lenguaje público», formalizado, de la ciencia. Los textos escolares suelen ignorar la existencia de una «ciencia privada» y creativa, presentándola sólo en su forma «pública» y dentro de los esquemas del paradigma dominante, con lo que se encubre la naturaleza revolucionaria de los más importantes avances científicos (Siegel 1979).

Se debería hacer comprender a los alumnos la diferencia entre los lenguajes «privado» y «público» de la ciencia, con objeto de mostrar el papel del pensamiento creativo. Puede utilizarse para ellos, tanto la lectura de algunos documentos (artículos e informes personales de algunos científicos) como los propios escritos de los alumnos (borradores de trabajos de laboratorios escritos en lenguaje «privado» y memorias presentadas en lenguaje «público»).

2. Se ha de poner en cuestión la posibilidad, e incluso el interés, del aprendizaje como descubrimiento. Y ello no sólo porque, como ya se ha indicado, los intentos realizados no hayan dado resultados positivos, sino porque, en palabras de Hodson, «Es absurdo sugerir que objetivos bastante distintos como son la comprensión de los procedimientos de la ciencia y la adquisición de conocimientos científicos requieran que el estudiante sea puesto en situación de aprender el contenido a través del método».

3. Hodson se detiene extensamente en intentar mostrar los inconvenientes del aprendizaje por descubrimiento y su inadecuación para proporcionar una correcta imagen del trabajo científico. Y no se trata sólo de rechazar los métodos de descubrimiento marcados por el inductivismo, sino incluso aquellos que adoptan una metodología hipotético/deductiva y en la que los trabajos prácticos son concebidos como contrastación de hipótesis, como el Nuffield *Working with Science* (Wild y Gilbert 1977). En efecto, la visión del método científico que propagan tales cursos sigue siendo demasiado simplista y conduce a pensar que las teorías son simples conjeturas del tipo que los alumnos pueden elaborar después de breves períodos de trabajo de laboratorio y que pueden ser fácilmente contrastadas por

medio de observaciones directas, aceptándose o rechazándose en base a experimentos aislados. De esta forma, la supuesta relación entre el trabajo escolar y la actividad de los científicos resulta profundamente errónea. Los alumnos han de ser conscientes de que no se abandonan buenas hipótesis como consecuencia de unos pocos resultados negativos y de que, aunque el papel del experimento es crucial en la ciencia, las teorías sólo se abandonan cuando existe muy clara evidencia en contra de la misma y/o una concepción alternativa.

Sería, pues, más útil para los alumnos, establecer la distinción entre los experimentos escolares (diseñados con propósitos pedagógicos) y la investigación científica real, que permitir que se establezcan incorrectos paralelismos implícitos.

4. Por otra parte, siempre según Hodson, el principal objetivo de la enseñanza de las ciencias es que los alumnos *aprendan* las teorías vigentes y sepan aplicarlas a los fenómenos adecuados en las situaciones apropiadas. La mayor parte del trabajo de laboratorio en la escuela debería concentrarse en la ilustración de la teoría (a la manera, según la terminología científica de Kuhn, de la ciencia normal). El rechazo de una teoría (revolución científica) es un suceso relativamente raro que puede ser abordado más correctamente por otros métodos; por ejemplo a través del estudio de casos que se concentran en las circunstancias históricas del descubrimiento y utilicen documentos originales (adecuadamente adaptados para facilitar su comprensión).

5. Por último podemos referirnos a la crítica parcial realizada por Hodson a las propuestas de ciencia integrada, uno de cuyos fundamentos es la supuesta existencia de una metodología común, independiente del contenido, y la aceptación de que la familiarización con dicha metodología general —transferible de un dominio a otro— es un objetivo fundamental. Hodson muestra cómo estas posturas suponen una implícita aceptación de la orientación inductivista e insiste en que las diferentes ciencias, debido a que tienen diferentes objetivos y diferentes dominios de aplicación, requieren diferentes suertes de evidencia y emplean, por tanto, diferentes procedimientos de investigación. No existe, pues, una actividad científica independiente del contenido.

3. LA EMERGENCIA DE UN NUEVO MODELO DE ENSEÑANZA/APRENDIZAJE

La crítica rigurosa que Hodson realiza del modelo de aprendizaje por descubrimiento y sus fundamentos inductivistas es rigurosa y deja poco lugar a dudas. Se trata de una crítica coincidente, en muchos aspectos con la realizada por Ausubel (1978) del «aprendizaje por descubrimiento incidental y autónomo». Ambas, sin embargo, desembocan en una reivindicación —más bien implícita en el caso de Hodson— del modelo de

transmisión/asimilación de conocimientos ya elaborados: se trata de *aprender* ciencia, no de (re) hacer ciencia. Se trata de una propuesta que, en nuestra opinión, —y pese a las indudables mejoras introducidas por Ausubel en el modelo (Ausubel 1978; Novak 1982)— no da solución a los principales problemas del aprendizaje de las ciencias.

En un trabajo anterior (Gil 1983), intentamos fundamentar un modelo de enseñanza/aprendizaje de las ciencias acorde con el proceso de producción científica, alejado a la vez del de «descubrimiento inductivo y autónomo» y del de «transmisión/asimilación de conocimientos ya elaborados». Desde entonces, nuevas y relevantes aportaciones de la investigación didáctica han mostrado, creemos, la necesidad de dicho modelo, contribuyendo a precisarlo. Estas aportaciones han tenido lugar en un dominio desconectado, al menos aparentemente, de la preocupación por la introducción de la metodología científica en la enseñanza, ligada —como ocurre con el mismo trabajo de Hodson— a investigaciones sobre el papel de los trabajos prácticos. En efecto, el origen del nuevo modelo se encuentra en los estudios sobre «esquemas conceptuales alternativos» de los alumnos y las dificultades para modificarlos y hacer adquirir los conocimientos científicos. Quizás por ello, Hodson —que apenas hace unas breves referencias a la cuestión de los preconceptos de los alumnos— no los tiene en cuenta. En lo que sigue intentaremos mostrar cómo dichas investigaciones fundamentan la emergencia del nuevo modelo.

3.1. Los errores conceptuales como síntoma

Una de las líneas de investigación más fecundas que se han desarrollado a lo largo de la última década en el campo de la didáctica de las ciencias, es, sin duda —como muestra la abundante bibliografía (Osborne y Wittrock 1983; Carrascosa 1985)— la iniciada en torno al estudio de los graves errores conceptuales cometidos por estudiantes de cualquier nivel.

Esta investigación, en primer lugar, ha puesto en evidencia la escasa efectividad de una enseñanza de las ciencias incapaz de lograr la comprensión de conceptos fundamentales y reiteradamente enseñados. Ello ha producido una mayor atención al proceso de enseñanza/aprendizaje y la investigación ha derivado así desde el estudio de los errores conceptuales a sus causas, con la constatación de que los alumnos poseen ideas intuitivas espontáneas —preconceptos o, más precisamente, verdaderos esquemas conceptuales— difícilmente desplazables por los conocimientos científicos enseñados en la escuela.

Driver (1986) se ha referido a distintos abordajes de estas ideas intuitivas, designadas como *schemata* por Champagne et Al (1983), *teorías ingenuas* por Caramazza et Al (1981), *ciencia de los niños* por Osborne, Bell y Gilbert (1983), o *esquemas conceptuales alternativos*

por Watts (1982) o la propia Driver (Driver y Easley 1978).

Es preciso referirse aquí también a algunos precedentes que, con notable antelación, llamaron la atención sobre la *prehistoria del aprendizaje* (Vigotsky 1973) o se refirieron a la existencia de *barreras epistemológicas*, es decir, 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), que llega hasta afirmar: «si yo tuviera que reducir toda la psicología educativa a un sólo principio, enunciaría este: averigüese lo que el alumno ya sabe y enséñese consecuentemente». Sin embargo, como señalar Driver (1986) u Osborne y Wittrock (1985) y evidencia la literatura publicada, es a mediados de los años setenta cuando esta línea de investigación comienza a desarrollarse plenamente, gracias al impacto de algunos trabajos como la tesis doctoral de Viennot (1976).

La mayoría de los estudios realizados en campos muy diversos, aunque muy particularmente en mecánica (McDermott 1984), coinciden básicamente en la caracterización de los conocimientos previos de los estudiantes:

- parecen dotados de cierta coherencia interna.
- 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 (Clement 1983) y
- son persistentes, es decir, no se modifican fácilmente mediante la enseñanza habitual, incluso reiterada.

Y aunque se deba salir al paso de la suposición de que todas las dificultades que los alumnos tienen para comprender, por ejemplo, la mecánica newtoniana, procedan de la existencia de estos esquemas conceptuales alternativos (White 1983, Driver 1986), resulta indudable que los estudios realizados en este campo han supuesto, como ya hemos apuntado, una seria llamada de atención sobre la ineficacia de la enseñanza habitual de las ciencias y la necesidad de un replanteamiento fundamentado de la misma.

3.2. El cambio conceptual: una nueva concepción del aprendizaje de las ciencias.

El principal interés de las investigaciones sobre esquemas conceptuales alternativos de los alumnos no reside, por supuesto, en el conocimiento detallado de cuales son sus preconceptos en cada campo, aun cuando dicho conocimiento aparezca hoy imprescindible para un correcto planteamiento de las situaciones concretas 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. También

aquí podemos referirnos a trabajos inicialmente independientes pero convergentes en sus conclusiones e insertos en una misma orientación que podemos designar como *constructivismo*. Resulta fácil, en efecto, establecer las semejanzas entre la visión constructivista, tal como es expuesta por Driver (1986) y el modelo de aprendizaje generativo (Generative Learning Model) de Osborne y Wittrock (1985). Así, para Driver, las principales características de la visión constructivista serían:

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

Por su parte, Osborne y Wittrock (1985) sitúan su modelo de aprendizaje generativo dentro de la tradición constructivista, con una mención expresa a la influencia de Piaget y una referencia particular a las ideas constructivistas de Kelly (Pope y Gilbert 1983) (Claxton 1984), basadas en la similitud del pensamiento ordinario de una persona con el proceso de elaboración de las teorías científicas.

Para Osborne y Wittrock, esta similitud está también apoyada en la mayor comprensión de la naturaleza de la investigación científica alcanzada gracias a los trabajos de Kuhn, Popper, Feyerabend, ... que han mostrado, en particular, la importancia de las ideas existentes en un momento dado sobre las investigaciones que se realizan.

Particular influencia en el replanteamiento de la enseñanza de las ciencias está ejerciendo la propuesta de considerar el aprendizaje como un *cambio conceptual* (Posner, Strike, Hewson y Gertzog 1982), fundamentada también en un cierto paralelismo 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 de —siguiendo la terminología de Kuhn (1979)— un cambio de paradigma.

A partir de las ideas de Toulmin (1972) sobre filosofía de la ciencia, Posner et Al identifican cuatro condiciones para que tenga lugar el cambio conceptual:

1. Es preciso que se produzca insatisfacción con los conceptos existentes.
2. Ha de existir una concepción mínimamente inteligible que

3. debe llegar a ser plausible, aunque inicialmente contradiga las ideas previas del alumno y

4. Ha de ser potencialmente fructífera, dando explicación a las anomalías encontradas y abriendo nuevas áreas de investigación.

Aunque la referencia explícita a la idea de cambio conceptual sólo aparezca en el trabajo de Posner et Al, puede constatarse la indudable semejanza de las propuestas avanzadas para un replanteamiento del aprendizaje de las ciencias con características similares a la propia investigación científica.

Por nuestra parte, una cuidadosa consideración de las características básicas del trabajo científico a la luz de las orientaciones epistemológicas actuales, nos ha permitido alcanzar conclusiones semejantes: «Se dibuja así con toda claridad el paralelismo entre los paradigmas teóricos— y los esquemas conceptuales de los alumnos y su desarrollo, incluidas las reestructuraciones profundas, los cambios conceptuales, lo que supone un primer e importante apoyo al paradigma didáctico que proponemos en este trabajo...» (Gil 1983).

La conveniencia de orientar el aprendizaje de las ciencias como investigación aparece así apoyada por estudios inicialmente muy alejados del interés por la metodología científica, lo que entra en contradicción con las conclusiones de Hodson (1985) a que ya hemos hecho referencia, sobre la necesidad de plantear el aprendizaje de conocimientos científicos como objetivo independiente, desligado de los métodos de la ciencia.

Sin embargo, la orientación de aprendizaje como investigación que estos trabajos parecen sugerir está muy lejos del aprendizaje por descubrimiento, justamente criticado por Hodson. Abordaremos esto, con mayor detenimiento, en el apartado siguiente.

3.3. La investigación en la escuela: una actividad no natural

Como varios autores han apuntado, los cambios conceptuales que parece exigir el aprendizaje de las ciencias *no* resultan fáciles de lograr, incluso cuando se toman en consideración los preconceptos (Fredette y Lochhead 1981) (Driver 1986).

En nuestra opinión (Gil y Carrascosa 1985) ello puede entenderse como una consecuencia más del paralelismo existente entre la evolución histórica de la ciencia y la formación de las concepciones intuitivas de los alumnos. En efecto, si los alumnos tienen una visión de, por ejemplo, el comportamiento mecánico de la materia, similar al paradigma aristotélico/escolástico, no puede ser simple casualidad, sino el resultado de idénticas causas: concretamente, la tendencia a generalizar acríticamente en base a observaciones cualitativas no controladas —puesta de relieve por Piaget (1969) en el comportamiento de los niños— que conduce a «evidencias de sentido común». Esta forma de abordar los

problemas, que hemos denominado «metodología de la superficialidad» (Carrascosa y Gil 1985), está también presente en la física pregalileana, conocida justamente como «Física del sentido común» (Holton y Roller 1963). Esta es la forma de pensamiento que conduce, por ejemplo, a Aristóteles, a escribir: «Un peso dado cubre una cierta altura en un tiempo dado; un peso mayor cubre la misma altura en menos tiempo, estando los tiempos en proporción inversa a los pesos. Así, si un peso es doble que otro, tardará la mitad de tiempo en un movimiento dado» (De Caelo). Y no debe olvidarse que las concepciones aristotélicas/escolásticas sólo pudieron ser desplazadas —después de siglos de vigencia— gracias a un *cambio metodológico* nada fácil, que vino a superar la seguridad en las evidencias de sentido común, introduciendo una forma de pensamiento a la vez más creativa y más rigurosa; una metodología que obligaba a imaginar nuevas posibilidades a título de hipótesis (poniendo en cuestión lo obvio) y a someter dichas hipótesis a contrastación en condiciones controladas. Cabe esperar, pues, que igual ocurra con los alumnos: sólo si son puestos reiteradamente en situación de aplicar la nueva metodología —es decir, en situación de plantear problemas precisos, de emitir hipótesis a la luz de sus conocimientos previos, de diseñar experimentos, de analizar cuidadosamente los resultados viendo como afectan al esquema conceptual de partida,... podrán llegar a superar la «metodología de la superficialidad» haciendo posible los profundos cambios conceptuales que la adquisición de los conocimientos científicos exige. Dicho de otra manera: la principal dificultad para una correcta adquisición de conocimientos científicos no residiría en la existencia de los esquemas conceptuales alternativos o concepciones intuitivas, sino en la metodología de la superficialidad que está en su origen.

El nuevo modelo didáctico debería, pues, enfocar el aprendizaje, no sólo como cambio conceptual, sino como *cambio conceptual y metodológico* (Gil y Carrascosa 1985). Es preciso, a este respecto, insistir en las dificultades que entraña la superación de la «metodología de la superficialidad», típica del pensamiento precientífico (Carrascosa y Gil 1985) y las implicaciones didácticas que se derivan.

En primer lugar, insistimos, lo que hoy denominamos metodología científica supuso históricamente un cambio drástico en la forma de abordar los problemas, una verdadera revolución. No puede, pues, concebirse que el manejo de esta metodología por los alumnos pueda darse sin un profundo cambio metodológico que afecte a hábitos muy enraizados, fruto de la forma de abordar las situaciones en la vida cotidiana. La investigación científica *no es* y no puede considerarse una actividad «natural», sino, por el contrario, la ruptura —necesaria pero difícil— con formas connaturales de pensamiento.

Por otra parte, conviene llamar la atención sobre la necesidad de plantear la familiarización con la meto-

logía científica como un objetivo explícito pero no autónomo, sino íntimamente ligado a la adquisición significativa de conocimientos. En efecto, como hemos intentado justificar, sin cambio metodológico no puede haber cambio conceptual; pero por otra parte, los procesos científicos sólo tienen sentido en el marco de esquemas conceptuales (o paradigmas teóricos) como punto de partida y términos: sin atención a los contenidos —o con tratamientos puntuales, desligados, de los mismos— la metodología científica queda desvirtuada, no es tal. Al afirmar esto descalificamos como investigación a actividades a menudo planteadas en la enseñanza como tales pero que en absoluto responden a las características del trabajo científico. Nos referimos concretamente a la tradición representada por el llamado aprendizaje por descubrimiento inductivo y autónomo (Gil 1983), cuyos resultados, muy negativos, han sido repetidamente denunciados (Ausubel 1978) (Hodson 1985).

Así, pues, la prioridad casi exclusiva que la enseñanza por transmisión de conocimientos pone en los contenidos o que el aprendizaje por descubrimiento inductivo pone en los procesos científicos (unos procesos de los que suelen estar ausentes los aspectos de pensamiento divergente, lo que empobrece y desvirtúa totalmente la naturaleza del trabajo científico), no permite ni siquiera alcanzar los objetivos parciales que se marcan. Según esto, solo un planteamiento del aprendizaje de las ciencias orientado, a la vez, como cambio conceptual y metodológico, permitiría una adquisición significativa de conocimientos.

Conviene detenerse en la consideración de las dificultades que plantea este cambio metodológico. Como Hodson (1985) ha mostrado en su cuidadosa evaluación de las relaciones entre las características del trabajo científico y la imagen que proporciona la enseñanza de las ciencias, esta imagen desvirtúa profundamente lo que puede entenderse por investigación. Y ello no sólo cuando los planteamientos vienen marcados, como ocurre muy frecuentemente, por un inductivismo que poco o nada tiene que ver con la forma como trabajan los científicos, sino también incluso cuando se intenta seguir un planteamiento hipotético/deductivo, pero se deja creer a los alumnos que la cuestión de la aceptación/rechazo de una teoría depende de experimentos aislados o de escasos resultados como los que pueden obtenerse en un laboratorio escolar. Es preciso superar estas visiones simplistas: el papel de los experimentos es crucial, pero una teoría científica no se abandona hasta que hay muy clara evidencia en contra y/o una concepción alternativa. Las mismas dificultades presenta la modificación de los esquemas conceptuales de los alumnos, que sólo puede ser el resultado de un largo proceso que debe plantearse, además, en el momento oportuno. Abordaremos este aspecto en el siguiente apartado.

3.4. Búsqueda e investigación: una distinción necesaria

La preocupación creciente por el fracaso de la escuela en lograr que los alumnos adquieran habilidades científicas, ha conducido a muchos educadores a iniciar más y más pronto el entrenamiento en el trabajo científico, llegándose, como señalan Colub y Kolen (1976), a plantearse el aprendizaje por descubrimiento incluso en preescolar. A menudo ello se asocia a los intentos, sin duda necesarios, de superar una enseñanza por transmisión de conocimientos que dificulta, en este nivel más quizás que en cualquier otro, la actividad creativa y la progresiva autonomía del niño. Pero este intento de introducir la metodología científica en los primeros niveles, supone implícitamente considerar, o bien que las formas ordinarias de pensamiento son negativas —por lo que convendría evitarlas o erradicarlas cuanto antes— o bien que no hay diferencias substanciales entre pensamiento ordinario y pensamiento científico.

Digamos en primer lugar que de ningún modo puede aceptarse que el pensamiento ordinario sea algo negativo. Ni los esquemas conceptuales «alternativos» de los alumnos ni la «física del sentido común» merecen dicha consideración. Por el contrario, se trata de construcciones dotadas de una indudable coherencia, capaces de explicar buen número de situaciones, etc (Driver 1986). No debe olvidarse a este respecto, tanto la larga vigencia del paradigma aristotélico (¡durante casi veinte siglos!) como la persistencia de las ideas intuitivas de los alumnos. Por supuesto, la «metodología de la superficialidad» que está en el origen de estas construcciones carece de la potencia de la metodología científica; pero supone una indudable conquista del pensamiento humano, que se muestra así capaz de realizar predicciones, generalizar observaciones, elaborar conjeturas explicativas, etc. El progreso que ello significa puede comprenderse si se tiene en cuenta hasta qué punto este pensamiento racional, que trata de explicar y encontrar sentido en lo que ocurre, contrasta con las concepciones mágicas típicas de sociedades más primitivas o del mismo pensamiento infantil.

En el extremo opuesto encontraremos a quienes no establecen diferencias entre las formas cotidianas de abordar los problemas y la actividad científica. Ya hemos hecho referencia a las ideas de Kelly (Pope y Keen 1981) para quien el planteamiento de problemas, la experimentación, la revisión y modificación de las ideas como consecuencia de la falsación de hipótesis, etc., que constituyen aspectos básicos de la teorización científica, caracterizan también el comportamiento ordinario de las personas, cuando se enfrentan a un problema práctico. Pero, aun reconociendo, como acabamos de hacer, el valor de la forma de pensamiento ordinario, no es posible ignorar sus diferencias con la metodología científica, que ya hemos puesto de relieve al referirnos a la metodología de la superficialidad.

Desde este punto de vista no tiene sentido plantear el aprendizaje de niños muy jóvenes como investigación. Por el contrario, tanto los trabajos de epistemología genética (Piaget 1970) como la consideración de la evolución histórica del pensamiento humano, apuntan a la conveniencia de favorecer, en una primera fase, la forma de pensamiento típica de la vida ordinaria, fruto de la multiplicidad de actividades, del abordaje de problemas prácticos y preguntas que los mismos niños se plantean. Este enfoque, que Kamii y Devries designan como *conocimiento físico* «subraya, pues, la iniciativa de los niños, sus acciones sobre los objetos (...) De esta forma el aprendizaje en el enfoque de conocimiento físico siempre queda enraizado en el desarrollo natural del niño» (Kamii y Devries 1983). Ciertamente es que así terminaran pensando (¡y sintiendo!) que, por ejemplo, el movimiento está asociado a fuerzas, lo que constituye —desde el punto de vista de la ciencia— una auténtica barrera epistemológica que obligará a un profundo cambio conceptual; pero el inconveniente que ello supondrá en el futuro es irrelevante frente a lo que significa el desarrollo así logrado, que se vería impedido por un intento de ahormar la actitud infantil a formas de comportamiento más rigurosas, menos espontáneas.

Puede, pues, decirse que los mismos argumentos que recomiendan la introducción de la metodología científica en cierto momento del desarrollo de los alumnos, recomiendan también, en toda una larga etapa inicial, un tipo de actividad más espontánea, más libre y próxima a la forma de abordar los problemas en la vida cotidiana, que podemos designar *actividad de búsqueda*. O que otros autores (Moreno 1985) denominan actividad exploratoria.

Se respeta así un desarrollo más natural y acorde con la propia evolución cultural de nuestra sociedad, en la que la investigación científica ha estado precedida por largos siglos de un trabajo con las características de lo que hemos denominado actividades de búsqueda, y del que la «física del sentido común» fue un resultado paradigmático.

Podría quizás pensarse que introducir el término búsqueda es una matización terminológica sin importancia y que bastaría con dar al concepto de investigación un sentido más amplio y laxo, como implícitamente hacen Kelly o quienes se refieren al aprendizaje de niños muy jóvenes como investigación (Tonucci 1976). El peligro en este caso estriba en ignorar la necesidad de que, en una etapa posterior del desarrollo, se produzca un proceso de cambio metodológico, sin el cual, como hemos mostrado, no puede realizarse un trabajo científico ni puede darse una adquisición significativa de conocimientos.

No se trata, pues, de iniciar a los niños en tareas de investigación. Tras esta propuesta hay, o bien una profunda desvirtuación y trivialización de lo que constituye el trabajo científico, o bien el olvido de los prerrequisitos que dicho trabajo exige en los individuos.

Por el contrario, se trata de favorecer, en una primera fase, una actitud de búsqueda que, en su momento, exigirá la ruptura, el cambio conceptual y metodológico.

Lo que sí resulta común a ambas fases es la necesidad de un nuevo estilo didáctico que supere una enseñanza/aprendizaje de transmisión/asimilación de conocimientos. Ya nos hemos referido a esto al hablar de enseñanza como investigación. Kamii y Devries (1983) insisten también en ello al referirse a la actividad de búsqueda —que ellos designan como «de conocimiento físico»— en preescolar: «el niño construye el conocimiento al actuar sobre los objetos y las personas y no al tener un maestro que introduce o expone conceptos ya hechos».

Este nuevo modelo didáctico no puede, sin embargo, concebirse como algo uniforme, aplicable por igual desde preescolar a la enseñanza superior, sino como un modelo dinámico con, al menos, dos fases bien definidas: búsqueda, a partir de problemas prácticos que conduzcan a acciones sobre los objetos para producir efectos deseados, realizando predicciones, estableciendo comparaciones, intentando progresivamente explicar los «cómo» y los «porqué», etc. (Kamii y Devries 1983). Y una segunda fase de entronización de la metodología científica como forma de actividad a la vez más creativa y más rigurosa, que pone en cuestión las certezas del sentido común, imaginando nuevas posibilidades a título de hipótesis y sometiendo dichas hipótesis a contrastación en condiciones controladas. La distinción entre búsqueda e investigación se convierte así en un elemento esencial del nuevo modelo didáctico.

3.5. El aprendizaje como investigación: más allá del trabajo experimental y autónomo

El modelo emergente de enseñanza/aprendizaje de las ciencias que hemos tratado de fundamentar a partir de recientes investigaciones didácticas, supone, como hemos visto, asociar la adquisición significativa de conocimientos al cambio metodológico, es decir, a la familiarización con la metodología científica. No sólo no se trata de objetivos distintos, como Hodson sostiene, sino que renunciar a una correcta familiarización con la metodología científica —al cambio metodológico—, supondría renunciar a un aprendizaje significativo —al cambio conceptual— capaz de modificar los esquemas conceptuales intuitivos de los alumnos. Pero un correcto planteamiento de esta integración de la metodología científica en el aprendizaje exige superar el inductivismo habitual y, muy concretamente, desligar las propuestas de enseñanza como investigación de las referencias casi exclusivas a las prácticas de laboratorio, extendiendo dichas propuestas a todo el trabajo de construcción de conocimientos. También en esta habitual asociación (que lleva al mismo Hodson a realizar su crítica del aprendizaje por descubrimiento dentro de un apartado titulado «el papel de los trabajos prácticos») se muestra la influencia del punto de vista

inductivista. Superar el inductivismo no estriba simplemente en modificar las prácticas de laboratorio, aunque ello sea absolutamente necesario (Gené y Gil 1983; Gil y Payá 1984), sino, sobre todo, en extender el planteamiento de investigación a todo el trabajo de construcción de conocimientos: desde la introducción (invención) de conceptos a la resolución de problemas a la luz de los conocimientos elaborados. Precisamente esta resolución de problemas puede convertirse —como hemos mostrado en otro lugar (Gil y Mtnez-Torregrosa 1983 y 1984)— en una ocasión privilegiada de practicar la «ciencia normal» en el sentido Kuhniano, superando su carácter habitual de simples ejercicios repetitivos y conduciendo al aborde de situaciones que encuentran solución en el cuerpo de conocimientos disponibles, actuando como «contrastación» la coherencia de los resultados obtenidos con dicho cuerpo de conocimientos.

Por otra parte, la introducción y manejo de ciertos conocimientos, concretamente la Mecánica, es también una ocasión privilegiada (y necesaria) para asomar a los alumnos (a través de su propio comportamiento) a lo que representa un cambio de paradigma y sus dificultades. No se trata, pues, de que los alumnos «conozcan» que ha habido revoluciones científicas, como propone también Hodson; se trata de que experimenten en ellos mismos un cambio semejante. En otro caso quedarían anclados en la física del sentido común.

Este planteamiento del aprendizaje como cambio conceptual y metodológico, permite así proporcionar una imagen más correcta de lo que es el trabajo científico —incluyendo tanto la ciencia normal como los cambios de paradigma—; una imagen menos lineal y más creativa, que de ningún modo puede asociarse de forma exclusiva, insistimos, al trabajo de laboratorio.

Esta visión más creativa supone también una posible solución al problema de la actitud negativa de los estudiantes hacia el aprendizaje de las ciencias (James y Smith 1985). En efecto, este aprendizaje adquiere ahora el carácter de una aventura: la aventura que supone enfrentarse creativamente a problemas abiertos, la constatación gratificante de que las propias ideas tienen la validez (¡y los errores!) de las de los científicos, etc. etc. No podemos detenernos aquí en este aspecto esencial del aprendizaje, que apunta a la conveniencia de completar el modelo y concebir el aprendizaje no sólo como cambio conceptual y metodológico sino también —y quizás ante todo— como cambio actitudinal (Gil 1985).

Para terminar queremos referirnos a la idea, a menudo expuesta, de que la realización de un aprendizaje coherente con la metodología científica exigiría que los alumnos, «por sí solos», construyan «todos los conocimientos». Por supuesto que ello no es posible, ni tiene tampoco sentido suponer que los alumnos pueden «derribar una teoría» tras una breve reflexión y unos escasos resultados experimentales. Ello no sólo no es

posible, sino que no respondería en absoluto a las características del trabajo científico como tarea colectiva y dirigida, lo que se evidencia, como señalábamos en otro lugar (Gil 1983), «no sólo en el hecho de que el punto de partida —el paradigma teórico vigente— es la cristalización de las aportaciones de generaciones de investigadores, sino también en que la investigación responde cada vez más a estructuras institucionalizadas, en las que la labor de los individuos es orientada por las líneas de investigación establecidas, por el trabajo del equipo del que forman parte, careciendo prácticamente de sentido la idea de una investigación completamente autónoma». También en este aspecto el aprendizaje de las ciencias ha de ser coherente con la metodología científica, y así lo reflejan investigadores de muy diverso origen. Podemos referirnos, por ejemplo, a los trabajos de Piaget (1969) en torno al papel de la actividad y de la interacción social en el desarrollo intelectual, o al amplio panorama de las investigaciones didácticas sobre el trabajo en grupos presentado por Ausubel (1978), quien, aunque no se pronuncia de forma general sobre las ventajas del trabajo en grupos, reconoce que «la discusión es el método más eficaz y realmente el único factible de promover el desarrollo intelectual con respecto a los aspectos menos bien establecidos y más controvertidos de la materia de estudio». ¿Pero, acaso toda nueva tarea no tiene para los alumnos la característica de «poco establecida» y «controvertida»? En definitiva, a menos que sólo se pretenda hacer repetir a los alumnos tareas ya realizadas por el profesor o descritas en un texto, la estructuración de la clase en pequeños grupos aparece como un útil indispensable, «el único factible» en palabras de Ausubel. Estas conclusiones, validas para el aprendizaje en general, son particularmente aplicables en el aprendizaje de las ciencias (Abraham 1976; Hohnson 1976; Mayfield 1976), en particular allí donde los alumnos tienen ya una visión que ha de modificarse, o incluso con la que es preciso romper. Dichos cambios conceptuales exigen confrontación, discusión detenida de las distintas alternativas (Nussbaum y Novik 1980; Gilbert y Pope 1982; Gil 1983; Driver 1986).

Por otra parte, es preciso insistir en que el trabajo en grupos conlleva un papel orientador sobre cada alumno; y, por supuesto, el profesor juega también un papel relevante en esa labor orientadora, coherentemente con la naturaleza social, colectiva y orientada del trabajo científico. De acuerdo con ello, la guía del profesor ha de estar presente en la programación misma de las actividades a proponer a los grupos de alumnos: unas actividades que permitan la (re)construcción de los conocimientos y se estructuren con un claro hilo conductor que permita a los alumnos entender lo que va a hacerse y su conexión con lo ya realizado.

CONCLUSION

Podemos terminar insistiendo en que, de acuerdo con recientes investigaciones a las que hemos hecho refe-

rencia, el planteamiento del aprendizaje de las ciencias como investigación —en una perspectiva de cambio conceptual y metodológico— aparece como una necesidad, no sólo para cubrir el objetivo de familiarizar a los alumnos con la metodología científica, sino también para hacer posible una adquisición verdaderamente significativa de conocimientos y favorecer una actitud positiva hacia el aprendizaje. Dicho planteamiento exige, sin embargo, la superación de graves y extendidos errores sobre qué entender por metodología científica, subyacentes en toda la corriente de aprendizaje por descubrimiento inductivo y autónomo que, durante

más de dos décadas, se ha desarrollado como respuesta a las carencias de la enseñanza tradicional por transmisión de conocimientos ya elaborados. La situación actual está, pues, caracterizada por la emergencia de un nuevo paradigma de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, deudor, como hemos mostrado, de muy diversas aportaciones —algunas de ellas inicialmente muy alejadas del interés por introducir la metodología científica en la enseñanza— que están convergiendo en mostrar la necesidad de que el aprendizaje de las ciencias se aproxime a las características del trabajo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABRAHAM, M.R., 1976, The effects of Grouping on verbal interaction during science inquiry, *Journal of Research in Science Teaching*, 13, 127-135.
- AUSUBEL, D.P., 1978, *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. (Trillas: México).
- BACHELARD, G., 1938, *La formation de l'esprit scientifique* (Vrin: Paris).
- BILEH, V.Y. y MALIK, M.H., 1977, Development and application of a test on understanding the nature of science, *Science Education*, 61, 559-571.
- BOUD, D.J., DUNN, J., KENNEDY, T. y THORLEY, R., 1980, The aims of science laboratory courses; a survey of students, graduates and practising scientists, *European Journal of Science Education*, 2, 451-428.
- BRANDON, E.P., 1981, Logic in the laboratory, *School Science Review*, 62, 762-765.
- CARAMAZZA, A., McCLOSKEY, M. y GREEN, B., 1981, Naive beliefs in «sophisticated» subjects: misconceptions about trajectories of objects, *Cognitions*, 9, 117-123.
- CARRASCOSA, J., 1985, Errores conceptuales en la enseñanza de la Física y la Química: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 3, 230-234.

- CARRASCOSA, J., y GIL, D., 1985, La «metodología de la superficialitat» i l'aprenentatge de les ciències, *Ensenyanza de las Ciencias*, vol 3, pp 113-120.
- CHAMPAGNE, A., GUNSTONE, R. y KLOPPER, L., 1983, Effecting changes in cognitive structures amongst physics students. Artículo presentado en el simposio Stability and change in Conceptual Understanding, annual meeting of the American Association, Montreal.
- CLAXTON, G.L., 1984, Teaching and acquiring scientific knowledge. En Keen, T. y Pope, M. (eds) *Kelly in the Classroom: Educational Applications of Personal Construct Psychology* (Cybersystem: Montreal).
- CLEMENT, J., 1983, Student alternative conceptions in mechanics: a coherent system of preconceptions. In Helm H. y Novak J. (eds). *Proceedings of the International Seminar «Misconceptions in Science and Mathematics»* (Ythaca N.Y. Cornell University).
- COLUB, M. y KOLEN, C., 1976, Evaluation of a Piagetian Kindergarten Program. Artículo presentado en el sexto simposio anual de la Jean Piaget Society (Philadelphia, junio 1976).
- DEWEY, J., 1916, *Democracy and education* (The Free Press: New York).
- DEWEY, J., 1945, Methods in Science Teaching, *Science Education*, 29, pp 119-123.
- DONNELLY, J., 1979, The work of Popper and Kuhn on the nature of science, *School Science Review*, 60, 489-500.
- DRIVER, R., 1986, Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 3-15.
- 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*, vol 5, pp 61-84.
- ENYEART, BAKER y VANGERLINGEN, 1980, Correlation of inductive and deductive logical reasoning to college physics achievement, *Journal of Research in Science Teaching*, 17, 263-267.
- FREDETTE, N. y LOCHHEAD, J., 1981, Students conceptions of electric current, *The Physics Teacher*, vol 18, pp 194-198.
- GAULD, C.F., 1982, The scientific attitude and science education: a critical reappraisal, *Science Education*, 66, 109-121.
- GAULD, C.F. y HUKINS, A.A., 1980, Scientific attitudes: a review, *Studies in Science Education*, 7, pp 129-161.
- GENE, A. y GIL, D., 1983, Els treballs pràctics de Biologia i el mètode científic. Una proposta basada en el descobriment guiat. *Primeres Jornades de Recerca Educativa. Lleida 1982* (ICE Universitat Autònoma de Barcelona) pp 135-149.
- GIL, D., 1983, Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, vol 1, pp 26-33.
- GIL, D., 1985, EL futuro de la Enseñanza de las Ciencias, *Revista de Educación*, (en prensa).
- GIL, D. y CARRASCOSA, J., 1985, Science learning as a conceptual and methodological change, *European Journal of Science Education*, vol 7, N° 3, 231-236.
- GIL, D. y MTNEZ.-TORREGROSA, J., 1983, A model for problem solving in accordance with scientific methodology, *European Journal of Science Education*, vol. 5, pp 447-455.
- GIL, D. y MTNEZ.-TORREGROSA, J., 1984, Problem-Solving in Physics: a critical analysis. *Research on Physics Education*. (Editions du CNRS: Paris).
- GIL, D. y PAYA, J., 1984, Los trabajos prácticos de Física y Química y la Metodología Científica, XX Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Química. Castellón.
- GILBERT, J. y POPE, M., 1982, School children discussing energy. Report of Institute of Educational Development, University of Surrey.
- GUNNING, D.J. y JOHNSTONE, A.H., 1976, Practical work in the scottish O-grade, *Education in Chemistry*, 13, 12-14.
- HODSON, D., 1985, Philosophy of science, science and science education, *Studies in Science Education*, 12, 25-57.
- HOLTON, G. y ROLLER, D., 1963, *Fundamentos de la Física Moderna* (Reverté: Barcelona).
- JOHNSON, R.T., 1976, The relationship between cooperation and inquiry in science classroom, *Journal of Research in Science Teaching*, 13, 55-63.
- JAMES, R.K. y SMITH, S., 1985, Alineation of students from science in grades 4-12, *Science Education*, 69, 39-45.
- KAMII, C. y DEVRIES, R., 1983, *El conocimiento físico en la educación preescolar. Implicaciones de la teoría de Piaget*, (Siglo XXI: Madrid).
- KEMPA, R.F. y DUVE, G.E., 1974, Science interest and attitude traits in students subsequent to the study of Chemistry at O-level of the GCE, *Journal of Research in Science Teaching*, 11, 361-370.
- KUHN, TH.S., 1971, *La estructura de las revoluciones científicas* (Fondo de Cultura Económica: México).
- MAYFIELD, J.M., 1976, Factors affecting rationality in the discussion of a problem by small groups of secondary school students, *Science Education*, 60, 170-183.
- McDERMONT, L.C., 1984, Critical Review of Research in the Domain of Mechanics, *Research on Physics Education* (Editions du CNRS: Paris).
- MEYER, G.R., 1970, Reactions of Pupils to the Nuffield science teaching project trial materials in England at the O-level of the GCE, *Journal of Research in Science Teaching*, 4, 283-302.
- MORENO, R., 1985, La conducta exploratoria y la investigación en el niño, III Jornadas sobre la investigación en la Escuela, Sevilla, diciembre 1985.
- NOVAK, J.D., 1982, *Teoría y Práctica de la Educación* (Alianza Universidad: Madrid).
- NUSSBAUM, J. y NOVICK, S., 1980, Brainstorming in the classroom to invent a model: a case study (Israel Science Teaching Center, The Hebrew University. Jerusalem).
- OGUNNIYI, M.B. y PELIA, M.D., 1980, Conceptualizations of scientific concepts, laws and theories held by Kware State, Nigeria, secondary school science teachers, *Science Education*, 64, 591-599.
- OSBORNE, R.J., BELL, B.F. y GILBERT, J.K., 1983,

- Science teaching and children's views of the world, *European Journal of Science Education*, 5, 1-14.
- OSBORNE, R. y WITTRICK, M., 1983, Learning Science: a generative process, *Science Education*, 67, pp 490-508.
- OSBORNE, R. y WITTRICK, M., 1985, The Generative Learning Model and its implications for Science Education, *Studies in Science Education*, 12, 59-87.
- PIAGET, J., 1969, *Psicología y Pedagogía*, (Ariel: Barcelona).
- PIAGET, J., 1970, *La epistemología genética*. (Redondo: Barcelona).
- PIAGET, J., 1971, *Psicología y Epistemología*. (Ariel: Barcelona).
- POPE, M.L. y GILBERT, J., 1983, Personal experience and the construction of knowledge in science, *Science Education*, 67, 193-203.
- POPE, M.L. y KEEN, T.R., 1981, *Personal construct psychology and education* (Academic Press: Londres).
- 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, pp 211-227.
- ROWELL, J.A. y CAWTHRON, E.R., 1982, Images of science: an empirical study, *European Journal of Science Education*, 4, 1-10.
- RUBBA, P.A., HORNER, J.K. y SMITH, J.M., 1981, A study of two misconceptions about the nature of science among junior high school students, *Journal of Research in Science Teaching*, 2, 221-226.
- SIEGEL, H., 1979, On the distortion of the history of science in science education, *Science Education*, 63, 111-118.
- SIMMONS, J. y EASLER, W., 1972, Investigating the attitudes towards science fostered by the Process Approach Program, *School Science and Mathematics*, 72, 633-636.
- SUMMERS, M.K., 1982, Philosophy of science in the science teacher education curriculum, *European Journal of Science Education*, 4, 19-28.
- SWAIN, R.L., 1974, Practical objectives. A review, *Education in Chemistry*, sep 1984, pp 152-54 y 156.
- TONUCCI, F., 1976, *La escuela como investigación* (Avance: Barcelona).
- TOULMIN, S., 1967, *La comprensión humana, I: el uso colectivo y la evolución de los conceptos* (Alianza: Madrid).
- VIENNOT, L., 1976, *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*, Tesis Doctoral. Université Paris 7. (Publicada en 1979 por Herman: Paris).
- VIGOTSKY, L.S., 1973, Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar. En *Psicología y Pedagogía* (Akal: Madrid).
- WALTERS, L. y BOLDT, W., 1970, A view of science and some teaching strategies, *Science Education*, 54, 173-178.
- WATTS, D.M., 1982, Gravity don't take it for granted, *Physics Education*, 17, 116-121.
- WELLINGTON, J.J., What's supposed to happen, Sir?: some problems with discovery learning, *School Science Review*, 63, 167-173.
- WHITE, B., 1983, Sources of difficulty in understanding Newtonian dynamics, *Cognitive Science*, 7, 41.
- WILD, K. y GILBERT, J.K., 1977, A progress report of the Nuffield working with Science Project, *School Science Review*, 58, 560-566.
- YAGER, R.E. y PENICK, J.E., 1983, Analysis of the current problems with school science in the USA, *European Journal of Science Education*, vol 5, pp 463-459.