

CARACTERIZACIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DE LA CIENCIA ESCOLAR

IZQUIERDO, MERCÈ, ESPINET, MARIONA, GARCÍA, M. PILAR, PUJOL, ROSA M. y SANMARTÍ, NEUS

Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals.
Universitat Autònoma de Barcelona.

INTRODUCCIÓN

En este artículo se analiza la ciencia en la escuela a la luz de un modelo de conocimiento (el modelo cognitivo de ciencia) que parece especialmente apropiado y que permite proponer un nuevo enfoque de algunas de las actividades propias de la clase de ciencias. Con ello profundizamos en el significado del término *ciencia escolar*, utilizado con frecuencia creciente en didáctica de las ciencias.

Nuestra reflexión se relaciona con otras que se han publicado en los últimos años y que han planteado el problema de la relación entre los contenidos y la manera de enseñarlos y aprenderlos. Como consecuencia de ella, se caracteriza la ciencia escolar y se defiende su autonomía; y se presentan nuevas líneas emergentes de investigación.

EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO Y LA TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA, ORIGEN DE LA CIENCIA ESCOLAR

Las ciencias han evolucionado hasta alcanzar unos niveles de abstracción muy elevados. Los lenguajes que utilizan son difícilmente comprensibles, puesto que ya no se refieren a las cosas y a los fenómenos, sino que nos remiten a ideas sobre las relaciones que se establecen entre ellos, expresadas con una gran sofisticación. ¿Cómo, pues, vamos a poder enseñar ciencias a todos los niños y jóvenes? Por más que nos esforcemos en simplificar las propuestas, por más que dispongamos de recursos didácticos, va a ser muy difícil lograrlo.

Como es bien sabido, la didáctica de las ciencias se ocupa específicamente de identificar, comprender y solucionar los problemas derivados de la enseñanza de las ciencias. La investigación que se llevó a cabo desde principios de los años ochenta según un enfoque constructivista puso en evidencia la complejidad y dificultad de la tarea de enseñar ciencias¹ (Osborne y Wittrock, 1985). Así, por ejemplo, la afirmación de que el conocimiento científico personal se construye a partir de la discusión y contrastación de las propias ideas sobre el mundo ha tenido dos consecuencias muy importantes, que están relacionadas entre sí. La primera de ellas es que debemos implicar a los alumnos en su aprendizaje, puesto que sólo ellos, individual y socialmente, pueden gestionar sus ideas y sus acciones (Driver et al., 1994). La segunda, reconocer que las teorías que se construyen espontáneamente compiten con las teorías que se enseñan en clase. Aceptando, pues, que debemos contar con la ideas de los alumnos, y éstas no son «científicas» sino que más bien compiten con las que se enseñan, el problema ahora es explicar cómo pueden los alumnos llegar a compartir los puntos de vista de la comunidad científica.

En la última década, este problema central de la didáctica se ha ido planteando cada vez con mayor claridad, y han aparecido numerosos artículos que analizan la fundamentación teórica de la didáctica de las ciencias. Nos referimos a la reflexión de Duschl (1990, 1995) sobre la relación entre epistemología y psicología; a la de Slezack (1994) sobre el constructivismo sociológico; a los resultados del seminario publicado con el nombre *The content of Science* (Frensham, Gunstone, White,

1994); y a las aportaciones de Bereiter y Cobb en relación con la fundamentación epistemológica del constructivismo (1994). Han proliferado también propuestas curriculares y nuevos libros para la escuela, diseñados con una adecuación creciente a las características e intereses de los alumnos, y se ha analizado el proceso de elaboración de los mismos (Reif y Larkin, 1991).

Con todo ello, disponemos ahora de nuevos conceptos relevantes para orientar la tarea de los docentes, de los cuales vamos a destacar dos. Uno de ellos se refiere al *proceso de enseñanza-aprendizaje*, y se dice que debe ser *significativo*. La exigencia de que el aprendizaje sea significativo limita y condiciona la actividad escolar: las ciencias que se enseñan han de tener sentido para el alumno, que ha de ser capaz de aplicarlas para intervenir intencionadamente en los fenómenos. Esta limitación puede llegar a generar una contradicción entre lo que puede ser significativo para los alumnos y los contenidos científicos a enseñar según los programas oficiales. En efecto, podría darse el caso de que determinados contenidos, muy abstractos y alejados de los intereses de los alumnos, no puedan enseñarse significativamente. Debido a esta dificultad ha sido necesario el segundo concepto, el de *transposición didáctica*, que se aplica a los procesos que transforman el saber científico en algo apto para ser aprendido en diferentes edades y en diferentes contextos, sin que por ello deje de ser riguroso y abstracto (Chevallard, 1985).

Los dos conceptos (*enseñanza significativa* y *transposición didáctica*) resumen aquí, por razones de espacio y de concreción, la complejidad de los procesos de enseñanza-aprendizaje desde un enfoque constructivista. Al aceptar esta complejidad se establece una diferencia muy importante entre la enseñanza de las ciencias actual y la que pudo darse anteriormente, cuando sólo aprendían ciencias aquellos que habían de ser científicos. En aquel caso, la significatividad del aprendizaje venía garantizada porque, para aquellos alumnos, los conocimientos a aprender tenían sentido porque podían aplicarse en su propio ambiente y formaban parte de sus valores y expectativas futuras: ir a la universidad, trabajar en la industria (White, 1994). Ahora, en cambio, en la enseñanza obligatoria actual esto ha cambiado radicalmente, puesto que, al enseñar ciencias a toda la población, la transposición didáctica ha de ser mucho más radical para llegar a conseguir que la ciencia que se enseña en la escuela conecte con los intereses del alumnado. En efecto, para implicar a los alumnos en sus aprendizajes es necesario ofrecerles objetivos, fenómenos y conceptos apropiados a sus intereses y conocimientos previos, y éstos van a ser los propios de la escuela y la cultura general y muy diferentes de los de la comunidad científica. Llamamos *ciencia escolar* a la ciencia que se hace en la escuela y, por las razones expuestas, podemos considerarla, en una primera aproximación, diferente a la ciencia de los científicos.

¿Tiene sentido establecer esta diferencia? ¿Puede existir una discontinuidad entre aprender ciencias en la escuela obligatoria, aprender ciencias en la universidad y llegar a actuar como un científico? Vamos a responder a la

primera pregunta afirmativamente, por una razón estratégica, porque insistir en las diferencias entre la ciencia escolar y la ciencia de los científicos nos permitirá caracterizar una buena formación científica en la etapa obligatoria. Pero, como responderemos negativamente a la segunda pregunta, deberemos mostrar también que, en el fondo, la ciencia escolar debe ser ciencia, como la de los científicos. Necesitamos, pues, un modelo de ciencia que se acople tanto a la ciencia escolar como a la ciencia de los científicos.

En los apartados siguientes veremos cuáles son los condicionantes, didácticos (apartado 2) y epistemológicos (apartado 3), para que la ciencia escolar constituya una buena formación científica al alcance de toda la población (apartado 4).

AUTONOMÍA EN EL DISEÑO DE LA CIENCIA ESCOLAR Y AUTONOMÍA FRENTE A LOS APRENDIZAJES

El diseño de una ciencia escolar significativa debe enfrentarse a algunos problemas si se pone como condición irrenunciable tanto la significatividad de los aprendizajes como el rigor en los contenidos que se aprenden. Estos problemas pueden ser resueltos si se aumenta la autonomía de la ciencia en la escuela, tanto en su planificación como en la actuación de sus agentes, los alumnos.

Autonomía en el diseño de la ciencia escolar

1) Una de las maneras de relacionar «qué aprender y cómo enseñarlo significativamente» es la modificación de los contenidos, adecuando el currículo a los intereses y objetivos de las diferentes comunidades escolares. Los diferentes enfoques de la ciencia en la escuela han dado lugar a currículos de todo tipo.

a) según ejes transversales, como CTS (ciencia-técnica-sociedad), educación para la salud, educación ambiental;

b) disciplinar o integrado;

c) centrado en procesos o aplicaciones de las ciencias, o bien en conceptos o principios de las ciencias.

El problema es que la diversificación de los currículos podría conducir a *diferentes conocimientos finales* y quizás no equivalentes. Si no se desea que se produzca esta diferencia, los resultados finales deberían poder homologarse y para ello todos deberían tener en común lo que se considere más importante y básico de la ciencia escolar.

2) El problema es la inexistencia de un auténtico *contexto de la acción* en la escuela, en el cual el «saber hacer» adquieran la importancia que reclama una enseñanza que debe ser significativa. Al priorizar la aplicabilidad de la ciencia escolar, debemos hacer que ésta sea posi-

ble, es decir, que se puedan ofrecer a los alumnos «cosas que hacer».

Debido a las diferencias entre la ciencia escolar y la ciencia de los científicos, la actividad escolar no se producirá en el contexto propio de los conocimientos científicos, sino en otro más próximo a los intereses propios de los alumnos.

Ambos problemas podrían solucionarse si se consolidara una genuina actividad científica de los alumnos, la cual, al asegurar la aplicabilidad de los aprendizajes, requiere también que los aprendizajes sean significativos.

Autonomía de los alumnos, agentes de la ciencia escolar

¿Puede el alumno ser realmente autónomo en clase (fundamentada en los valores de la escuela y limitada por las posibilidades de ésta) y aprender finalmente la ciencia normativa (que depende de otros valores y condicionantes)? ¿Puede opinar libremente según sus propias ideas y adquirir finalmente el criterio necesario para discriminar entre ideas científicas y otras que no lo son?

Estamos obligados a responder afirmativamente estas preguntas, con lo cual caracterizaremos la actividad científica escolar como aquella que ha de garantizar la aplicabilidad de los conocimientos escolares. La aplicabilidad de los conocimientos escolares requiere que los alumnos sean capaces de regular sus propias acciones. Por ello, además de tener en cuenta las ideas de los alumnos y conceder importancia a los procesos de transposición didáctica, también se deberían impulsar los procesos de metacognición y de autorregulación respecto de los procesos de construcción de los nuevos conocimientos. Para que todo ello sea posible la ciencia escolar deberá ofrecer una *meta científica* (adecuada al alumnado), y un *foro de discusión científica* que los alumnos consideren propio.

Con ello se da un nuevo sentido a la evaluación escolar, como veremos más adelante; este último aspecto es fundamental para que los alumnos asuman el rol de protagonistas de la ciencia escolar, al poder dar sentido a sus aprendizajes y, en consecuencia, controlarlos y desarrollarlos con autonomía, adquiriendo así las competencias necesarias para poder aplicar sus conocimientos (Jorba y Sanmartí, 1995).

Hemos desarrollado en nuestro departamento un modelo didáctico con estas características, que se fundamenta en:

- una psicología del aprendizaje que tiene en cuenta la interacción social;
- una práctica docente innovadora, que busca cómo alcanzar los mejores resultados educativos posibles: la adquisición de valores, de autonomía de pensamiento y de acción y capacidad de comunicación;
- una nueva epistemología adecuada a la ciencia en la escuela, que tiene en cuenta los aspectos sociales de las

ciencias y la relación, a veces problemática, entre los experimentos, los lenguajes y las teorías científicas.

Vamos a desarrollar a continuación el último aspecto, el epistemológico², desarrollando un modelo de ciencia (el modelo cognitivo de ciencia) que sea apropiado tanto para la ciencia de la universidad (la de los libros de texto y de las industrias) como para la ciencia escolar. Nos parece que el modelo cognitivo de ciencia (MCC) tiene esta característica, puesto que nos ofrece la posibilidad de proponer metas científicas y un foro de discusión científico apropiados para la escuela.

UN MODELO DE CIENCIA COMO ORIENTACIÓN PARA LA ACTUACIÓN DOCENTE

Las nuevas propuestas «constructivistas» requieren la divulgación entre los profesores de los nuevos modelos de ciencia que se han ido configurando a partir de la obra de Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas* (Kuhn, 1971; Cleminson, 1990). Sin embargo, estos modelos de ciencias, que podemos llamar *postmodernistas*, son muy diversos y algunos de ellos conducen al relativismo, al instrumentalismo o al idealismo. Por ello, no todos son igualmente válidos como guía de la actuación docente y por ello proponemos el MCC. Nos parece que este modelo de ciencia «de los científicos» permite fundamentar también la «ciencia de los alumnos».

El debate sobre qué son las ciencias

Puede ser útil recordar los aspectos cruciales del debate que se ha producido a lo largo de la historia sobre qué son las ciencias, reproduciendo las preguntas cruciales y las diversas respuestas que han recibido éstas (Izquierdo, 1995a).

- *¿Por qué queremos conocer el mundo?* La pregunta se refiere a los objetivos de las ciencias. Las respuestas fueron de dos tipos, con toda clase de posiciones intermedias entre ambos: para dominarlo, «arrancándole los secretos» para conseguir, con ello, mejorar las condiciones de vida; o como una forma de «amor» hacia la naturaleza, que busca su contemplación y la interpretación de su comportamiento mediante modelos que le dan sentido. Ambos aspectos deben ser tenidos en cuenta, en la actualidad.

- *¿Cómo conectan los experimentos y las teorías?* La pregunta se refiere al método de las ciencias. Las respuestas, a partir del siglo XVII, fueron de dos tipos, con toda clase de posiciones intermedias entre ambos: inductivistas, que sitúan el experimento antes que la teoría, y racionalistas, que lo hacen a la inversa. En el siglo XIX se idealizó el método hipotético-deductivo de las ciencias y fue considerado el paradigma del comportamiento racional. Sin embargo, los historiadores y los sociólogos de las ciencias actuales han puesto en evidencia que los científicos no trabajan realmente como dicen que lo hacen. Ahora no podemos hablar ya de un «método científico» bien caracterizado.

— *¿Cómo cambian las ciencias?* La pregunta se refiere a la racionalidad científica, es decir, a la posibilidad de juzgar si una aportación (experimental o teórica) es válida o no lo es. Las respuestas son de dos tipos: cambian por criterios racionales; o lo hacen por consenso social, sin reglas establecidas. Para referirnos a una racionalidad que tiene en cuenta la inducción (a pesar de que la lógica no pueda establecer una relación fiable entre los casos particulares y su generalización) hablamos de «racionalismo moderado»; y de «ciencia naturalizada», para referirnos a una racionalidad no categórica sino hipotética: podemos saber cosas sobre la racionalidad científica si estudiamos cómo se lo hacen los científicos para hacer ciencia sin necesidad de establecer como punto de partida lo que es la racionalidad científica (Newton-Smith, 1987; Giere, 1988).

— *¿Nos dicen algo las ciencias sobre el mundo real?* La pregunta se refiere a la naturaleza de las representaciones científicas (las teorías). Las respuestas fueron básicamente de dos tipos, con posiciones intermedias entre ambos. Según la postura «realista», las teorías nos dicen cómo es el mundo y las entidades teóricas también son reales. Actualmente son muy pocos los que son realistas a ultranza. Según una postura no realista, las teorías son construcciones de la mente o de la sociedad. A partir de esta afirmación podemos considerar que es imposible saber nada del mundo (escepticismo), o que proyectamos en él nuestras ideas (idealismo), o que sólo podemos aspirar a manipular los fenómenos, pero sin llegar a conocer su fundamento (instrumentalismo); evidentemente, ninguna de las tres posturas es válida para la ciencia escolar.

Estas cuatro dimensiones (objetivo, método, racionalidad (juicios), realismo) pueden ayudarnos a caracterizar los diversos modelos de ciencia. Nos interesa ahora utilizarlas para caracterizar el modelo cognitivo de ciencia (MCC), teniendo como referencia la ciencia escolar.

El modelo cognitivo de ciencia (MCC) y la clase de ciencias

El modelo cognitivo de ciencia se ha elaborado en el ámbito de las ciencias cognitivas, en el cual confluyen la epistemología, la psicología cognitiva, la inteligencia artificial y la historia de las ciencias. Esta confluencia se produce debido al interés común en estudiar los procesos de formación del conocimiento (con el objetivo de poder simular estos procesos mediante ordenadores). Desde esta perspectiva se considera que los científicos son pensadores humanos que desarrollan conocimientos específicos porque tienen una meta específica: conocer el mundo. Y, para alcanzarla, producen modelos y teorías de los fenómenos del mundo real, consiguiendo así interpretarlos (Carey, 1992; Nersessian, 1992).

El MCC (Giere, 1988, 1992) nos parece válido por diversas razones³:

— En primer lugar, reúne de manera coherente los puntos de vista de la epistemología, de la historia de las ciencias y de la psicología.

— En segundo lugar, es especialmente adecuado para los momentos de emergencia y consolidación del conocimiento científico (tanto individual como socialmente).

— Y, en tercer lugar, al considerar que las características fundamentales de las ciencias son el pensamiento teórico (pero dando una gran flexibilidad al concepto de *teoría*) y la meta, permite aceptar sin problemas una gran diversidad de enfoques curriculares: todos los enfoques son válidos si ayudan a pensar sobre el mundo físico y biológico interactuando con él intencionadamente mediante modelos teóricos.

Según el MCC, las cuatro dimensiones de las ciencias concretadas ya en la ciencia escolar serán las que se describen a continuación:

Objetivo

Lo que hace que las ciencias tengan sentido es su objetivo (no su método), que es interpretar (comprender) los fenómenos del mundo y actuar sobre ellos, relacionándolos entre sí mediante modelos teóricos (que enlazan con los fenómenos mediante proposiciones o «hipótesis teóricas») y teorías (que son familias de modelos teóricos). Este objetivo no se alcanza fácilmente y por ello las ciencias son dinámicas y se hallan en continuo cambio.

El objetivo de la clase de ciencias (propio de cada currículo) debe ser el adecuado para que el alumnado llegue a apropiárselo a lo largo del curso. Ha de presentarse vinculado a la evaluación, puesto que, en la escuela, superar los cursos con éxito es el objetivo que es realmente compartido por todos los alumnos (Gunstone, 1994). Este objetivo ha de ser explícito y ha de reformularse constantemente para llegar a desencadenar la dinámica de creación de conocimiento propia de los alumnos; y también ha de fundamentar las actividades que se lleven a cabo en clase.

Método (teorías y experiencias)

Aceptamos que no existe el método único, formado por una secuencia estereotipada de actividades (experimentar, buscar leyes, formular hipótesis y, finalmente, llegar a teorías generales) que conduce automáticamente al conocimiento científico. En cambio, todo parece indicar que los científicos disponen ya de alguna teoría cuando preparan un experimento y que los resultados que obtienen son interpretados en este marco conceptual y procedimental previo y contrastados por él.

Sin embargo, esto no significa que debemos admitir como válida cualquier manera de actuar: hay maneras de pensar y de actuar sobre el mundo que son más rigurosas que otras, y éstas son las que buscan las ciencias, tal como vemos al analizar el comportamiento de los científicos a través de la historia. Su característica principal es la construcción de teorías, con las cuales se interpreta el mundo.

El MCC propone una concepción semántica de teoría científica, según la cual lo más importante de la teoría es

que tenga significado en el mundo y por ello se considera constituida por un conjunto de modelos teóricos (similares entre sí) cada uno apto para representar un conjunto determinado de fenómenos y para actuar sobre ellos, gracias a hipótesis teóricas que establecen la conexión entre el modelo (que puede ser una maqueta, un esquema, un conjunto de frases, una analogía o una metáfora, o una ecuación matemática) y los fenómenos, que quedan así interpretados por él. Por tanto, una teoría científica contiene en ella misma sus aplicaciones, es decir, sin algunos hechos interpretados significativamente, la teoría no es nada, no tiene ningún valor.

Por ello, lo que debería preocuparnos en clase es despertar el interés por actuar en el mundo físico y biológico y la capacidad de formular preguntas. Los «métodos» pueden introducirse de manera flexible, en función de la pregunta y de su marco teórico: algunas veces van a requerir técnicas experimentales, otras veces requerirán técnicas lingüísticas, puesto que la vinculación entre ideas y hechos científicos se establece por escrito⁴.

La ciencia escolar requiere la adquisición de un conjunto de procedimientos generales para «pensar y actuar» que permitan llegar al dominio de las teorías científicas escolares.

Racionalismo: los juicios

La imposibilidad de saber con certeza si nuestras teorías son verdaderas o falsas, pero, a la vez, la confianza en la capacidad humana de pensar y de discriminar entre conocimientos más o menos rigurosos, más a menos válidos, nos lleva actualmente a dejar de utilizar la racionalidad de manera categórica (suponiendo que se es o no se es racional) para utilizarla de manera hipotética o naturalizada (se puede ser o no racional, en relación con la capacidad de utilizar un medio conocido y eficaz para alcanzar un objetivo). Esto significa que para poder hablar de racionalidad científica deberemos investigar cómo alcanzan sus metas los científicos y cómo emiten sus juicios.

También podemos utilizar un racionalismo naturalizado en la clase de ciencias. Los alumnos han de razonar y han de juzgar la validez de los conocimientos, pero aceptando los condicionantes propios de la escuela y de su condición de aprendices en el hacer y en el pensar (Siegel, 1993).

Realismo

La mediación teórica nos impide pensar que nuestra representación del mundo es ya el mundo en sí. Pero, como científicos y como profesores de ciencias, pensamos que las ciencias nos dicen algo sobre el mundo y que lo que nos dicen es aproximadamente cierto. Por ello, según el MCC, somos realistas pero no de manera ingenua sino de manera pragmática; es decir, aceptamos que los hechos del mundo son reconstruidos en el marco de las teorías científicas para convertirse en hechos científicos. Para ello es necesario que nos representemos de manera coherente tanto el fenómeno o hecho del que nos

ocupamos como el instrumento que utilizamos y las acciones que realizamos en la experimentación. Cualquier cambio en alguna de estas representaciones produce un cambio de significado y una nueva explicación; la ausencia de alguna de estas representaciones mutila el conocimiento y disminuye su dinamismo, es decir, la posibilidad de ser utilizado de manera autónoma para explicar y para actuar.

Estas consideraciones nos obligan a ser mucho más exigentes, en clase, respecto a la relación entre los hechos y las teorías escolares: ni unos ni otros existen por separado y ambos van a evolucionar conjuntamente a lo largo de los años de estudio. Además, no podemos dar por conocida definitivamente ninguna acción ni ningún instrumento, puesto que su sentido puede variar en función del hecho al que se aplicó⁵.

En resumen, el modelo cognitivo de ciencia:

– es realista pero de manera pragmática;

– propone una concepción semántica de teoría científica, según la cual la teoría sólo es válida si tiene significado y es útil para interpretar los fenómenos;

– no pretende demarcar estrictamente entre ciencia y no ciencia, ni diferenciar los contextos de creación y de justificación del conocimiento científico;

– es especialmente adecuado para las situaciones complejas, limítrofes, como lo es la ciencia escolar, que se desarrolla en la frontera entre pensamiento cotidiano y pensamiento científico, entre lo creativo y lo normativo, entre la creación y la justificación.

Este enfoque nos da mayor libertad para ajustar las proposiciones teóricas aceptadas en clase a los «hechos» del aula y a las técnicas y procedimientos que se estén usando; y, sobre todo, al objetivo que el alumno sea capaz de expresar, que, como hemos visto, es lo que hace que sea racional todo lo que está haciendo (Perkins, 1986).

Requisitos para que la ciencia escolar sea científica

La ciencia escolar debe ser convincente para los alumnos por la coherencia global de las propuestas conceptuales, procedimentales y actitudinales y no sólo por la autoridad del profesor⁶. Creemos que un modelo cognitivo de ciencia nos ofrece recursos para planificarla y para desarrollarla con fundamento, pero debemos aceptar previamente los condicionantes siguientes:

– No podemos dar clase sin preguntarnos, en primer lugar, por el objetivo del conocimiento escolar, puesto que sólo así tendremos alguna posibilidad de desencadenar un proceso de preguntas y respuestas.

– No podemos construir conocimiento escolar mediante un «método científico» estereotipado que empieza por la experimentación, cuando no parece probable que nunca se experimente al margen de una teoría sobre el mundo.

- Tampoco podremos presentar los hechos como confirmación de las teorías sino que deberemos presentarlos unos en función de las otras. (Los hechos y las teorías no están desconectados entre sí, sino que unos son sugeridos por los otros, y viceversa, al identificar relaciones de similitud entre ambos.) Para ello deberemos considerar con más cuidado la reconstrucción de los experimentos escolares en el marco de las teorías, de las acciones y de los instrumentos, para evitar que puedan quedar desconectados entre sí.

- No justificaremos los conocimientos sólo por la autoridad del profesor, sino que enseñaremos a razonar tanto sobre las acciones como sobre la interpretación de los fenómenos, de manera apropiada al contexto escolar. Y lo haremos enseñando e escribiendo (Kuhn, 1993).

En consecuencia, lo más importante de la ciencia escolar es la interrelación entre teoría científica y práctica experimental y por ello colocamos a la experimentación en el centro de la educación científica, pero ahora dando importancia a la mediación teórica, que nos obliga a tomarnos en serio el mundo físico, modelado por nuestras acciones en él.

Así, el pensamiento teórico que ofrecemos a los alumnos se convierte en el principal instrumento para su autonomía personal en el futuro, siempre y cuando esté en función de una pregunta que contestar y condicionado a una actuación que realizar. Y, al reconocer, como veremos, el carácter «literario» de la ciencia occidental, haremos del lenguaje el mejor «método» para la construcción de la ciencia escolar, reconociendo también los aspectos retóricos (pero no arbitrarios) de esta construcción.

LA ACTIVIDAD CIENTÍFICA ESCOLAR, SEGÚN UN MODELO COGNITIVO DE CIENCIA

El MCC nos permite acercarnos a la ciencia de los científicos a la ciencia de los alumnos. En efecto, en ambas se piensa mediante teorías, aunque las teorías no sean exactamente las mismas ni tampoco lo sea el proceso de producción. En ambos casos se valora un conocimiento dinámico (que permite actuar), aunque éste no pueda concretarse de la misma manera en ambas: las ciencias escolares se construyen en un tiempo limitado y en un contexto específico, y su objetivo es alcanzar el tipo de competencia que hace posible la ciencia de los científicos.

El modelo cognitivo de ciencia, aplicado a la ciencia en la escuela, nos proporciona criterios para planificarla.

a) Para seleccionar y secuenciar los contenidos, pensando en el sentido que van a tener para los alumnos y en lo que les van a permitir hacer.

b) Para ocuparnos de manera prioritaria de una gestión del aula impulsada por un nuevo estilo de evaluación en el cual es imprescindible la metacognición a fin de que

todas las acciones escolares tengan un objetivo para los alumnos.

c) Para diseñar experimentos y problemas adecuados al contexto escolar a partir de lo que los alumnos son capaces de hacer reflexivamente.

d) Permite afirmar que la atención al lenguaje es más importante que insistir en un supuesto «método científico».

La selección y secuenciación de los contenidos, en relación con las finalidades del currículo

Como indica la LOGSE, los contenidos deben seleccionarse en el triple aspecto: procedimental, conceptual y actitudinal. Según hemos ido mostrando, al terminar el proceso educativo, el alumnado ha de ser capaz de explicar algunos fenómenos (de la naturaleza o producidos en el laboratorio) y de intervenir en ellos, mediante determinados modelos teóricos.

Ya que son las teorías (los modelos teóricos) las que unifican los conocimientos sobre el mundo, ha de ser posible vertebrar el conjunto de conocimientos científicos (ideas y acciones) escolares alrededor de unos pocos modelos teóricos, que adquieren sentido a medida que se van aplicando a muchos fenómenos diferentes. (La intuición de muchos buenos profesores, que desean que sus alumnos acaben la escolaridad obligatoria teniendo pocas ideas, pero claras, entronca con esta propuesta.)

Los modelos escolares que vertebran el currículo han de ser simples y estar relacionados con las características generales de los hechos que pretenden explicar, pero han de ser susceptibles de desarrollarse procurando que las etapas de cambio conceptual sean las mínimas, las imprescindibles, hasta llegar a las teorías científicas más sofisticadas. Esto no significa que todos los conocimientos científicos puedan integrarse. Puesto que entre los hechos y los modelos existen relaciones de similitud, reconocibles desde una perspectiva disciplinar, no hay una perspectiva neutra que permita verlo todo a la vez.

En la actual etapa educativa de secundaria obligatoria en España está prevista una sola área de conocimiento, Ciencias Experimentales, por lo cual puede parecer necesario integrar al máximo los conocimientos de ciencias mediante conceptos estructurantes muy generales como *energía, cambio, equilibrio*. Sin embargo estos conceptos generales toman sentido gracias a «modelos teóricos» propios de cada disciplina, que son irreductibles debido a que corresponden a una «manera de mirar» específica. Son estos modelos los que deben vertebrar el currículo; y de ellos se derivarán los conceptos estructurales (DE, 1992-6; Izquierdo et al. 1992).

Estos modelos⁷ podrían ser:

- el modelo «material-partículas», que se desarrolla en un submodelo «propiedades - cambio de estado» y en un submodelo «cambio químico»;

– el modelo «ser vivo», que se desarrolla en un submodelo «organismo-célula» y en un submodelo «relación-ecosistema»;

– el modelo «tierra» que se desarrolla en un submodelo de «evolución», tanto biológica como geológica y en un submodelo «sistema planetario - planeta»;

– el modelo «cultura y valores», que se desarrolla en un submodelo de intervención responsable hacia el entorno y hacia los demás y en un submodelo de intervención responsable hacia uno mismo.

No es fácil establecer qué son exactamente estos «modelos teóricos» escolares, aunque se reconocen fácilmente en la práctica docente. Ocupan el mismo espacio y tienen la misma función que las teorías en las ciencias. Se trata de representaciones mentales que pueden concretarse por escrito o mediante una maqueta (o, a la inversa, maquetas o textos que dan lugar a representaciones mentales), que incluyen fenómenos del mundo ejemplares o paradigmáticos (o que son sugeridos por ellos) y que permiten actuar: diseñar experimentos y elaborar argumentos para explicar los resultados obtenidos en los mismos. Pueden no ser más que un conjunto de frases que tomarán significado a través de la experimentación. Pueden originarse en analogías o metáforas (Flick, 1991; Duit, 1991; Hesse, 1966; Ogborn y Martin, 1996). Como ya hemos insinuado, deben ser evolutivos, puesto que a lo largo de la escolaridad han de dar razón de «hechos del mundo» cada vez más complejos, relacionándolos entre sí y unificándolos progresivamente, y han de ser cada vez más rigurosos y operativos. Para ello han de poder conectar con la experimentación de acuerdo con el realismo pragmático de nuestro modelo de ciencia.

Así, los modelos teóricos contienen a la vez «conceptos» y «hechos significativos».

En resumen, los «modelos teóricos» han de ser pocos, para poder vertebrar de manera eficaz las numerosas informaciones que recibe el alumnado a lo largo de los años de escuela y en la vida cotidiana, y han de limitar de manera significativa y no arbitraria las argumentaciones posibles (Clement, 1993). Se diversificarán en submodelos, pero éstos han de poder conectar con el modelo troncal; mediante las argumentaciones necesarias para que el modelo vaya desarrollándose y tomando sentido, y permita actuar⁸.

Creemos que la capacidad de representarse el mundo (idealizándolo) es una actividad que todo aquel niño que piensa reflexivamente, que sabe jugar, que disfruta con una poesía o con un cuento... realiza espontáneamente. Y es ésta la capacidad que debemos desarrollar, añadiéndole un componente de disciplina y de rigor impuesto con la finalidad de construir un conocimiento que se pueda aplicar eficazmente. Por tanto, no nos parece que exista una radical separación entre el pensamiento cotidiano y el científico sino quizás diferencias debidas al contexto y a los objetivos, por muy importantes que éstas sean. Sin embargo, sí que hay importantes diferencias

entre ambos tipos de pensamiento, y es necesario avanzar hacia una epistemología del sentido común (Gutiérrez, en esta misma publicación; Mariani y Ogborn, 1991).

La gestión del aula

El problema fundamental para la ciencia escolar va a ser que los alumnos entiendan lo que pretenden las ciencias y estén de acuerdo con sus objetivos y formas de proceder.

Las reglas de juego que se institucionalizan en el aula entre el enseñante y los estudiantes se aplican a la realización de un tipo determinado de actividades que caracterizan a la ciencia escolar. En estas reglas de juego, generalmente no explícitas, tiene un papel fundamental la evaluación, por lo que «conocer» está fuertemente asociado a «evaluar» lo que se hace, se dice o se escribe; por ello es conveniente vincular las exigencias de «conocer» a las de «evaluar». Y, para ser coherentes con la ciencia de los expertos, la evaluación deberá referirse tanto a los diferentes tipos de conocimientos como a las estrategias de razonamiento y a las formas de comunicación. Este segundo aspecto es especialmente importante, puesto que proporciona el foro de discusión que es necesario tanto para la estructuración del conocimiento como para su evolución. En efecto, la puesta en común fundamentada en la interpretación colectiva de los hechos tiene como resultado la supervivencia de algunos conceptos frente a otros (Lemeignan y Weil Barais, 1993; Seré y Thibergien, 1989).

Esta evaluación deberá entenderse como un aprendizaje de la autoevaluación y de la evaluación mutua, más que como una evaluación del enseñante que sanciona qué está bien y qué está mal. Es el estudiante quien ha de reconocer su progreso, compartiendo y comunicando sus ideas y contrastándolas con los datos que le proporcionan las experiencias, con la diversas formas de «verlas» (de mirarlas), con la diversas maneras de hablar sobre ellas. El alumno inicia así un proceso de metacognición que es indispensable para «aprender a aprender» (Jorba y Sanmartí, 1995).

Como ya hemos visto, el objetivo del profesor (que los estudiantes aprendan unos determinados contenidos y valoren la construcción de conocimiento) no coincide inicialmente con el de los estudiantes (aprobar el curso). Generalmente los estudiantes no se representan correctamente el motivo y el objetivo del aprendizaje que quieren realizar porque lo que se les plantea está fuera de su área de experiencias e intereses. Sin embargo, como lo importante, en esta etapa de iniciación, es que sepan que toda actividad racional ha de tener un motivo, podemos conectar con el objetivo inicial de los alumnos haciendo que «aprobar» coincida con «conocer y conocerse» y orientar toda la intervención docente alrededor de un estilo de evaluación basada en la metacognición.

De la misma forma, los alumnos tampoco se representan las operaciones que tendrán que realizar para alcanzar el

objetivo propuesto, los conocimientos que necesitará para ello y las condiciones de realización, por lo que la actividad en el aula deberá promover la progresiva identificación de los instrumentos, de las operaciones, de los modelos y teorías, de las formas de razonamiento, etc. que caracterizan la ciencia... para que, finalmente, el alumnado se haya apropiado del objetivo del profesor.

Para ello va a ser necesario, de nuevo, considerar la interrelación entre contenidos y aprendizaje. Las actividades propuestas al alumno para que desarrolle las habilidades metacognitivas que le permitirán regular su aprendizaje deben serle familiares (se las ha de poder representar de una forma adecuada) y han de tener un contenido específico: si se trata de analizar lo que es una observación, por ejemplo, las actividades propuestas han de ser observaciones genuinas.

Todo ello configura una forma de entender la actividad en el aula que requiere una constante regulación entre las formas de mirar diversas, entre las formas de pensar sobre, entre las formas de expresar aquello que se piensa. Como se ha dicho, esta regulación se hace fundamentalmente a partir de la institucionalización de unas formas de hacer y de decir en el aula que deben ser coherentes con el modelo de ciencia.

La experimentación y los problemas

La experimentación y el razonamiento dan valor a una ciencia escolar que se construye justamente para conocer mejor el mundo y para actuar responsablemente sobre él. La calidad del conocimiento científico en la escuela dependerá de la calidad de ambas actividades. Sin embargo, la experimentación escolar ha sido cuestionada fuertemente en los últimos tiempos, habiendo sido relegada al aprendizaje de procesos o al ámbito de la motivación (Osborne, 1993; Hodson, 1994). Es necesario superar esta crisis volviendo, de nuevo, a vincularla a las teorías... puesto que éstas han de estar vinculadas significativamente a los hechos (Hodson, 1996).

En efecto, frecuentemente las prácticas son poco eficaces y que es necesario pensar de nuevo en cómo enfocaras. También es difícil ajustar los problemas o investigaciones que se proponen en clase al marco teórico que les dan sentido, hasta el punto de que últimamente parece dudarse de su eficacia para la formación teórica de los alumnos (Hodson, 1994).

Según el MCC, los modelos teóricos y los fenómenos (los «hechos») mantienen relaciones de similitud a partir de las cuales deberemos identificar (o construir), mediante la experimentación, las magnitudes que nos permiten intervenir en el fenómeno. Así, al aceptar que las aplicaciones del modelo, junto con el modelo, son parte constituyente de las teorías, se asegura una peculiar vinculación entre «lo teórico» y «lo experimental»: lo primero sólo tiene significado en relación con lo segundo, y viceversa. En efecto, recordemos que, según Giere (1988), las teorías son el conjunto formado por los

«modelos» y los fenómenos, conectados ambos por las hipótesis teóricas.

Todo ello nos permite proponer un nuevo enfoque de las prácticas escolares. En los años setenta se diseñaron numerosos proyectos curriculares que planteaban las prácticas de laboratorio como si «el alumno fuera un científico». Según nuestro planteamiento, un alumno actúa en el laboratorio de manera muy diferente a como lo hace un científico y la experimentación escolar debe partir del reconocimiento de esta diferencia. Veamos algunas de las ideas que se nos sugieren.

El alumno no es un científico

Las dificultades de la experimentación en la escuela podrían ser debidas a que el alumno no conoce el objetivo del experimento: no sabe aún de qué se está hablando, no se ha apropiado de las preguntas subyacentes al experimento. El profesor da por supuesto que el modelo teórico en el que se trabaja está claro, cuando aprender a utilizar conscientemente modelos teóricos es el objetivo final de su aprendizaje y el modelo ha de emerger como consecuencia de la actividad escolar, de la cual la experimentación es una parte. Tampoco se le da el tiempo necesario para que «se apodere» del hecho experimental con el cual se enfrenta, cuando, al contrario, el científico lo selecciona entre otros con un propósito concreto, que anticipa ya lo que va a ocurrir (Hodson, 1992). Así, nada de lo que se hace para el alumno en el laboratorio tiene sentido; cada experiencia, cada manipulación dará lugar a una conceptualización *ad hoc* y ninguna de ellas incidirá en la formación teórica del alumno. Tampoco aprenderá los procesos científicos, puesto que una manipulación que no tenga sentido global no puede ser un buen aprendizaje de nada; tampoco de los procesos.

Creemos que el principal objetivo de la experimentación escolar es que el «hecho del mundo» sea reconstruido en clase en el marco de algún modelo incipiente, ofrecido por el profesor pero que conecte al máximo con las representaciones del alumnado. Así, este hecho del mundo pasa a ser un hecho científico, al identificarse en él unas determinadas magnitudes y un determinado tipo de relación entre ellas (Izquierdo et al., 1995b).

El hecho experimental significativo debe construirse

Por lo que hemos visto, no existe correspondencia natural entre los fenómenos y su interpretación, sino que deberá conseguirse una coherencia entre ambos aspectos, y ésta ha de ser construida.

Para que el proceso de «modelizar el mundo» llegue a ser útil en ciencias es necesario que el alumnado aprenda a mirar el mundo de la manera específica de las ciencias. Se debe empezar por construir qué es lo que se mira: un hecho científico (un hecho en un contexto específico); y, en consecuencia, qué es lo que se busca en él: las regularidades que permitan interpretar simultáneamente grupos de fenómenos, cuanto más amplios mejor.

Llamamos *hecho experimental significativo*, o *hecho científico escolar*, a un hecho interpretado en términos de un modelo, a un hecho que se hace así paradigmático gracias a un proceso de acoplamiento de tres representaciones diferentes: de la acción que se lleva a cabo, del fenómeno y del instrumento. Las prácticas escolares han de permitir este acoplamiento (que siempre es potencialmente inestable y que implica cambios y evolución de los tres tipos de representaciones para que puedan acoplarse significativamente), pero ello requiere un trabajo previo a diferentes niveles: el teórico, el manipulativo, el tecnológico y, sobre todo, un adecuado uso del lenguaje oral y escrito (Di Sessa, 1983; Pickering, 1989).

Por la conexión que debe existir entre la experimentación y el marco teórico, también la primera deberá concentrarse en unos pocos «hechos» que sean a la vez interesantes por ellos mismos y relacionados estrechamente con el modelo teórico. De estos hechos troncales o paradigmáticos podrán derivarse otros muchos, mediante un proceso didáctico bien planificado para conseguir que no se pierda la conexión entre éstos. Para ello debe cuidarse especialmente que esos hechos paradigmáticos no sean generalizados de manera frívola; al contrario, deberán presentarse siempre los contraejemplos que limiten el campo de aplicación de estos hechos paradigmáticos, siempre en relación con el modelo teórico subyacente (Izquierdo et al., 1993).

Las prácticas han de diversificarse

Si buscamos que las prácticas se vertebren alrededor de modelos teóricos que resulten a la vez creíbles para los alumnos y válidos desde un punto de vista científico, y si, a la vez, priorizamos los procesos de metacognición y de regulación de los aprendizajes, las prácticas deben diversificarse. El profesor (o los diseñadores del currículo) debe seleccionar simultáneamente los modelos, los hechos y los procedimientos o acciones que les parecen más importantes para desarrollar el pensamiento científico, sin tener que reproducir necesariamente aquéllos que han sido o son relevantes para los científicos. Todo ello requiere que el diseño de la experimentación sea adecuado a las diferentes etapas de la formación. Así, tendremos experimentos de exploración, de motivación, de formulación de hipótesis, de modelización, de formulación de proposiciones... Pero, a pesar de la diversidad en todos los casos ha de existir coherencia entre sus modelos teóricos y sus hechos (García Rovira, 1995; Watson et al., 1992).

La posible distorsión introducida por manipulaciones en el laboratorio, uso de instrumentos... que no son aún bien comprendidos nos lleva a dar una importancia especial a las «acciones» (ver Siré, en este mismo Seminario) en relación también con el modelo.

Los «descubrimientos» de los alumnos adquieren un nuevo significado.

De una manera u otra, parece que la experimentación siempre tiene algo de investigación y que contiene una invitación en este sentido. Quizás es necesario que los

alumnos «descubran» algo, pero lo que no van a descubrir son los conceptos científicos. En todo caso, será algo relacionado con el establecimiento de una relación coherente entre acción - instrumento - modelo teórico. Y lo que se descubra también dependerá de cuál sea la fase de aprendizaje en el que se sitúe la práctica: exploración (que debe introducir al alumno en el modelo), invención o introducción del concepto principal (que configura una primera aproximación al «hecho científico»), estructuración (que elabora las proposiciones y las organiza), aplicación (que busca otros ámbitos en los cuales es válido el mismo concepto).

El lenguaje: las argumentaciones

Finalmente, y necesariamente, el experimento científico debe ser construido por escrito, en el marco de un modelo teórico. En nuestro modelo de ciencia, como vimos, el «método científico» ha perdido su lugar prioritario, puesto que ponemos en duda que pueda ser utilizado como estrategia didáctica y, en cambio, creamos más importante asegurar la representación de los objetivos y la construcción del modelo; pero, en cambio, sí que reconocemos que escribir sobre los experimentos es una vía imprescindible para construir el conocimiento científico que proponemos (Byrne et al., 1994).

Escribir bien en ciencias no es consecuencia automática de «haber actuado» o de «haber comprendido» y por ello es imprescindible enseñar a escribir para que finalmente los alumnos «hagan de la ciencia una argumentación». Proporcionar un modelo teórico incipiente a los alumnos pasa a menudo por su propia construcción escrita de un hecho paradigmático, después de haberles proporcionado un conjunto de hechos seleccionados con todo cuidado para que sean evidentes las relaciones entre ellos que permitirán la representación general, teórica, de todos ellos.

El alumno razona de acuerdo con sus representaciones iniciales y, según Gutiérrez y Ogborn (1993), mediante un «modelo mental» causal y una ontología del sentido común. La técnica *teachback* (una dinámica de preguntas y respuestas similar a «pensar en voz alta») que Gutiérrez propone parece muy prometedora para ayudar a profesores y alumnos a pensar conjuntamente a partir de un modelo que es aún sólo parcialmente compartido y que se va ajustando gracias a una dinámica planificada de preguntas y respuestas. Pero, finalmente, la redacción de un texto, en forma diversificada (narración, exposición, argumentación, explicación, informe de laboratorio, guión de laboratorio...), permitirá fijar «literariamente» lo que de otra manera podría perderse, por la fluidez del pensamiento y del lenguaje oral.

Mediante el lenguaje escrito se puede acceder a un nuevo nivel epistémico, en el cual toman sentido las tablas de relaciones, los símbolos, las definiciones, las fórmulas y las expresiones matemáticas... Así, finalmente, el modelo teórico puede llegar a ser un texto, pero con significado experimental, porque dice algo concreto sobre el mundo.

Un «modelo de explicación» coherente con nuestra opción por una ciencia escolar podría ser una versión del modelo ilocutivo de explicación científica de Achinstein (1989), según el cual se concede atención tanto a la estructura de la explicación como a su resultado. Así, la comprensión se comprueba por la capacidad de actuar. Para nosotros, una buena explicación científica escolar es aquella que responde a una pregunta en un contexto «científico escolar», que está escrita correctamente, que utiliza un modelo teórico lo más «robusto» posible y que es comprendida por el alumno.

Veamos algunos de los condicionantes para que se produzca una buena explicación, según nuestra propuesta de ciencia escolar:

– En primer lugar, quien pregunta y quien responde debe ser el alumno.

– En segundo lugar, la explicación debe adecuarse a la pregunta. Esto requiere haber reconocido previamente el contexto en el cual ambas se sitúan, que en nuestro caso es la «clase de ciencias»; poco a poco y a medida que los alumnos/as desarrollan los criterios necesarios, deberemos ir excluyendo preguntas-respuestas que no correspondan a este contexto.

– En tercer lugar, debe escribirse correctamente la conclusión o «respuesta argumentada». La conclusión debe ajustarse a los requerimientos de un texto bien escrito. Destacaré tres de ellos: ha de quedar claro cuál es el tema (lo que se está diciendo); el texto ha de estar bien organizado, según un esquema reconocible y relacionado con la finalidad de la pregunta (exposición, narración, justificación, explicación...); ha de ser correcto, sin faltas de ortografía ni de sintaxis.

El lenguaje como vehículo de comunicación y de construcción escrita de significados reclama, como ya hemos dicho, una actividad docente concebida socialmente.

LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CIENCIA ESCOLAR. NUEVAS PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN

El problema del que se partía era cómo respetar, a la vez, el carácter constructivista del proceso de aprendizaje, los valores educativos (concretados en la autonomía final del alumno) y el carácter teórico-normativo de las ciencias (el mundo funciona de una determinada manera, que es lo que los alumnos deben aprender, y no de otra). En nuestra propuesta esta aparente contradicción se resuelve reconociendo la autonomía en el diseño de la ciencia escolar y caracterizándola adecuadamente, y aumentando la autonomía de los alumnos frente a sus aprendizajes, estableciendo el adecuado «contexto de la acción» en la escuela.

El modelo cognitivo de ciencia nos permite fundamentar este enfoque y considerar que la ciencia escolar es como la del científico en su aspecto esencial (el pensamiento

teórico), siempre y cuando sea autónoma en los aspectos secundarios. Ni las experiencias, ni el lenguaje, ni los hechos que configuran las ciencias escolares han de ser los de los científicos... para que, finalmente, los alumnos puedan adquirir los conocimientos científicos y metodológicos necesarios.

En resumen, las características de la ciencia escolar son las siguientes:

– Es ciencia.

Creemos que lo más importante es la aceptación de que el pensamiento teórico (pensar mediante modelos) es lo más importante que podemos ofrecer a nuestros alumnos, siempre y cuando los modelos teóricos que se presentan sean adecuados al «mundo» de los alumnos y, por tanto, tengan significado en él.

– Es experimental.

La experimentación y la argumentación resultan así imprescindibles para la construcción de los hechos del mundo que transforman el mundo de fenómenos de los alumnos en el mundo sobre el papel de las ciencias sin romper la relación entre ambos.

– Es discursiva.

Si estos modelos no se contraponen, sino al revés, a las analogías y a las metáforas, el lenguaje adquiere la profundidad necesaria para convertirse en un instrumento de comunicación y de comprensión. En las antípodas de esta propuesta encontramos una ciencia escolar que impone teorías científicas sin relación con los fenómenos y lenguajes científicos supuestamente precisos, a menudo matemáticos, pero que deben aprenderse de memoria.

– Proporciona autonomía.

Su dinámica viene impulsada por la reflexión sobre el propio aprendizaje. Para ello se requiere un nuevo tipo de evaluación escolar que ayude a convertir el objetivo inicial de los alumnos, aprobar, en otros más propios de la construcción de conocimiento: saber, y saber hacer.

– Es autónoma.

La ciencia escolar no es espontánea, sino que requiere mucha planificación. Debe seleccionar sus propios objetivos, modelos y acciones, que puedan cambiar por evolución planificada y no a través de revoluciones o cambios de enfoque importantes.

– Es aplicada.

El control de los aprendizajes pasa por el control de las acciones. La ciencia escolar ha de permitir a los alumnos «hacer algo con sentido» y no puede ser un conjunto de afirmaciones aprendidas de memoria.

– Es diversa.

Pueden darse diversos enfoques y diversos resultados, pero en todos ellos se aprende a actuar y a pensar sobre algún aspecto del mundo real.

- Es rigurosa.

El reto es partir de la diversidad de intereses y de posibles actuaciones para presentar un determinado modelo del mundo y no otro, para enseñar determinados temas y no otros, para proporcionar determinados lenguajes y no otros.

Con todo ello se delimita un amplio espacio de libertad para el profesor que diseña el currículo y que lo aplica, puesto que le permite explorar de manera naturalista y no normativa la validez de las relaciones entre los modelos teóricos y los fenómenos y entre ambos y el lenguaje.

En la actualidad los didactas ya pueden realizar este complejo proceso de recrear en el aula la ciencia de los científicos para convertirla en ciencia escolar. El concepto de *transposición didáctica* es ahora fundamental para la didáctica de las ciencias y vertebrada a su alrededor otros conceptos didácticos formando un núcleo teórico importante. Es cierto que pueden aparecer así diversidad de «ciencias escolares», pero también es diversa la ciencia de los científicos, mucho más de lo que puede parecer cuando se enseña en la universidad.

Con todo ello aparecen nuevos problemas a investigar: sobre los modelos teóricos y su relación con analogías y

metáforas; sobre los conceptos y acciones propios de una ciencia escolar; sobre el lenguaje y su contribución a la configuración de los hechos paradigmáticos; sobre la metacognición y la evaluación escolar. Además, debemos admitir que los diferentes currículos de ciencias van a vertebrarse alrededor de «modelos teóricos» diferentes y elaborarán sus propios conceptos estructurantes y sus propios hechos paradigmáticos. Los modelos de los currículos que prioricen los llamados hasta ahora *ejes transversales* (educación para la salud, educación para el consumo, educación ambiental...) o los de CTS probablemente serán muy diferentes a los de las ciencias clásicas disciplinares (química, física, biología, geología).

La reflexión que hemos desarrollado nos conduce a reclamar, como ya se ha hecho desde otros ámbitos, una «teoría de los contenidos» para las ciencias en la escuela, puesto que probablemente no todos ellos contribuyen por igual a los aprendizajes, ni a la metacognición. Nos conduce a admitir diversidad de actividades llamadas *ciencias* y a priorizar, entre ellas, las que valoran la inteligibilidad, la aplicabilidad y la simplicidad, por más que la ciencia universitaria (que valora también la estética de la formalización matemática) no siempre lo haga así.

Nos ha parecido apropiado empezar por proponer un modelo general de ciencia que pueda abarcarlas a todas, y, en este sentido, la aportación de Giere nos parece muy sugerente, y creemos que debería divulgarse más entre el profesorado.

NOTAS

¹ El «constructivismo» puede ser considerado como una teoría didáctica, algo difusa, que enmarca diversas innovaciones en la enseñanza de las ciencias encaminadas a conseguir una participación eficaz del alumno en su propio aprendizaje. Diversos modelos didácticos son compatibles con el enfoque «constructivista» general, pero, en todos, el acento se pone en la manera de aprender, que debe ser significativa.

El término *constructivismo* da lugar actualmente a muchas controversias. Creemos, sin embargo, que en muchas de las discusiones se confunde el constructivismo histórico o sociológico con el constructivismo didáctico, y que la crítica a los primeros no es relevante para éste último.

² El desarrollo de los otros dos nos permitiría profundizar más en los aspectos metacognitivos y de gestión de aula que conducen a un nuevo estilo de evaluación.

³ Ver las aportaciones de Giere, a este seminario.

⁴ Los textos científicos reconstruyen los hechos en el marco de las teorías, de tal manera que hacen del mundo real algo apto

para ser aprendido. Por esto podemos afirmar que las ciencias son también creaciones literarias.

⁵ Por ejemplo, se puede usar el termómetro para saber si una persona tiene fiebre, sin que esto implique que se conoce el concepto científico de *temperatura* o que se tienen en cuenta los mecanismos de regulación de temperatura del organismo.

⁶ La ciencia escolar es mucho más compleja para los didactas que para aquéllos que la consideran relacionada de manera automática y relativamente simple de la «ciencia normal», en término de Kuhn.

⁷ El proyecto curricular «Ciències 12-16» utiliza estos modelos como vertebración del currículo.

⁸ Para ello es necesario introducir pocos conceptos nuevos y, en cambio, utilizar los más básicos repetidamente, dándoles cada vez mayor sentido experimental y teórico. Hemos desarrollado ejemplos en el proyecto «Ciències 12-16».

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHINSTEIN, P. (1989). *La naturaleza de la explicación*. México: Fondo de cultura económica.
- BEREITER, C. (1994). Constructivism, Socioculturalism and Popper's World 3. *Educational Researcher*, 2(7), pp. 21-23.
- BYRNE, M., JOHNSTONE, A.H. y POPE, A. (1994). *Reasoning in Science: a language problem revealed?* SSR, 75(272), pp. 103-107.
- CAREY, S. (1992). The origins and evolution of everyday concepts, en *Cognitive Models of Science*. pp. 89-128.
- CHEVALLARD, Y. (1985). *La transposition didactique. La pensée sauvage*: Grenoble.
- CLEMENT, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in Physics. *J. of Research in Science Teaching*, 30 (10), pp. 1241-1257.
- CLEMINSON, A. (1990). Establishing an Epistemological Base for Science Teaching in the Light of Contemporary Notions of the Nature of Science and of How Children Learn Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), pp. 429-445.
- COBB, P. (1994). Where is the Mind? Constructivist and Sociocultural perspectives on Mathematical Development. *Educational Researcher*, 23(7), pp. 13-20.
- DEGC (Departament d'Ensenyament, Generalitat de Catalunya) 1991-95. *Projecte Curricular Ciències*, pp. 12-16.
- DRIVER, R., ASOKO, H., LEACH, J. y MORTIMER, E. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), pp. 5-12.
- DI SESSA, A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition, en Gentner y Steens (eds.). *Mental Models*. Nueva York: LEA Hillsdale.
- DUIT, R. (1991). On the role of Analogies and Metaphors. *Science Education*, 75(6), pp. 649-672.
- DUSCHL, R. y HAMILTON, R. (1990). Psychology and Epistemology: match or mismatch when applied to science education. *IJSE*, 12(3), pp. 230-243.
- DUSCHL, R.A. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), pp. 3-14.
- FENSHAM, P., GUNSTONE, R. y WHITE, R. (eds.) (1994). *The content of science*. Londres: The Falmer Press.
- FLICK, L. (1991). Where concepts meet Percepts: Stimulating Analogical Thought in Children. *Science Education*, 75(2), pp. 215-230.
- GARCÍA ROVIRA, M.P. (1995). Las prácticas de laboratorio. Planificación y evaluación, en *Aspectos didácticos de las Ciencias Naturales*, 6, pp. 65-103. ICE, Universidad de Zaragoza.
- GIERE, R. (1988). *Explaining Science. A cognitive Approach*. Chicago y Londres: The University of Chicago Press.
- GIERE, R. (1992). Cognitive Models of Science, xv-xxviii, en Giere, R.N. (ed.). *Cognitive models of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- GUNSTONE, R.F. (1994). The importance of specific Science Content in the Enhancement of Metacognition, 131-146, en Fensham, Gunstone y White (eds.), *The content of Science*. Londres y Washington: The Falmer Press.
- GUTIÉRREZ, R. y OGBORN, J. (1992). A causal framework for analysing alternative conceptions. *Int. J. Sci. Educ.* 14(2), pp. 201-220.
- HESSE, M. (1966). *Models and Analogies in Science*. Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- HODSON, D. (1992). Assessment of Practical Work. Some considerations in Philosophy of Science. *Science and Education*, 1, pp. 115-144.
- HODSON, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), pp. 299-313.
- HODSON, D. (1996). Practical work in school science: exploring some directions for change. *International Journal for Science Education*, 18(7), pp. 755-760.
- IZQUIERDO, M., CABELLO, M. y SOLSONA, N. (1992). Using Analogical Models for articulating the sciences curriculum. *Science*, 12-16, pp. 531-543, en *History and Philosophy of Science in Science Education*, 1. Ontario: S. HillsThe King's University.
- IZQUIERDO, M. y MÁRQUEZ, C. (1993). The use of theoretical Models in Science Teaching. The paradigmatic Fact. Thirth International Seminar *Misconceptions and Science Education*. Nueva York: Cornell University, Ithaca.
- IZQUIERDO, M. (1995a). Cognitive Models of Science and the teaching of Science. History of Science and Curriculum, en D. Psills (ed.). *European Research in Science Education II*, pp. 106-117. Thessaloniki: Aristotle University Press.
- IZQUIERDO, M. (1995b). Comunicación *The teaching of scientific concepts starting from school experiments. Relation between the HC and DC*, en *European Research in Science Education Conference*. Leeds, abril.
- JOHNSON, P. y GOTT, R. (1996). Constructivism and evidence from Children's Ideas. *Science Education*, 80(5), pp. 561-577.
- JORBA, J. y SANMARTÍ, N. (1995). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua*. Madrid: Publicaciones del MEC.
- KUHN, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- KUHN, D. (1993). Science as argument: Implications for Teaching and Learning Scientific Thinking. *Science Educations*, 77(3), pp. 319-337.
- LEMEIGNAN, G. y WEIL-BARAIS, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. París: Hachette.
- MARIANI, M.C. y OGBORN, J. (1991). Towards and Ontology of common- sense reasoning. *Int. J. Sci. Educ.* 13(1), pp. 69-85.
- NERSESSIAN, N. (1992). How do scientist think?, en Giere, R. (ed.). *Cognitive models of Science*, pp. 3-44. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- NEWTON-SMITH, W.H. (1987). *La racionalidad de la ciencia*. Barcelona: Paidós.
- OGBORN, J. y MARTIN, I. (1996). Metaphorical understandin and scientific ideas. *Inter.J. Sci. Educ.* 18(6), pp. 631-652.

- SBORNE, R. y WITTTROCK, M. (1985). The generative learning model and its implications for science education. *Studies in Science Education*, 12, pp. 59-87.
- CSBORNE, J. (1993). Alternatives to practical work. *SSR*, 75, pp. 117-123.
- PERKINS, D.N. (1986). *Knowledge as design*. Hillsdale, Londres, Nueva Jersey: Erlbaum.
- PICKERING, A. (1989). Living in the real world, en Gooding, D. Pinch, T. Schaffer, S. (eds.). *The uses of the experiment*. Cambridge, Nueva York, Melbourne: Cambridge University Press.
- REIF, F. y LARKIN, J.H. (1991). Cognition in Everyday Domains: Comparison and Learning Implications. *J. of Research in Science Teaching*, 28(9), pp. 733-760.
- SÉRÉ, M.G. y THIBERGHIE, A. (1989). La formation des concepts décrivant les états de la matière au Collège. *Bulletin de l'union des physiciens*, 716, pp. 911-930.
- SIEGEL, H. (1993). Naturalized Philosophy of Science and Natural Science Education. *Science & Education*, 2, pp. 57-68.
- SLEZAK, P. (1994). Sociology of scientific knowledge and Science Education. Part 1. Science and Education. *Science and Education*, 3, pp. 265-294.
- WATSON, J.R., FAIRBROTHER, R.W., BLACK, P.J., JONES, A.T. y SIMON, S.A. (1992). Open work in science: a video for investigations. Reino Unido. ASE: Hatfield.
- WHITE, R.T. (1994). Dimensions of Content, en Fensham, Gunstone y White (eds.). *The content of Science*, pp. 25-26. Londres, Washington: The Falmer Press.