



Revista Eureka sobre Enseñanza y

Divulgación de las Ciencias

E-ISSN: 1697-011X

revista@apac-eureka.org

Asociación de Profesores Amigos de la

Ciencia: EUREKA

España

Solbes, Jordi

DIFICULTADES DE APRENDIZAJE Y CAMBIO CONCEPTUAL, PROCEDIMENTAL Y AXIOLÓGICO  
(II): NUEVAS PERSPECTIVAS

Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 6, núm. 2, 2009, pp. 191-212  
Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia: EUREKA  
Cádiz, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92012978002>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## **DIFICULTADES DE APRENDIZAJE Y CAMBIO CONCEPTUAL, PROCEDIMENTAL Y AXIOLÓGICO (II): NUEVAS PERSPECTIVAS**

*Jordi Solbes*

*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universitat de València.  
IES J Rodrigo Botet, Manises*

[Recibido en Septiembre de 2008, aceptado en Febrero de 2009]

### **RESUMEN**([Inglés](#))

*En este trabajo veremos como las ciencias cognitivas, las neurociencias, los estudios CTS, la educación científica no formal, etc., ofrecen nuevas posibilidades de avance en el campo del aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes, y también veremos otras perspectivas que amplían el dominio usual de la didáctica de las ciencias. Por último, se muestra cómo los modelos de enseñanza deben tener en cuenta estas dimensiones del aprendizaje de las ciencias, para contribuir a la solución de los nuevos problemas que se plantean sobre la educación científica.*

**Palabras clave:** *ciencias cognitivas; neurociencias; estudios CTSA; enseñanza, aprendizaje.*

### **INTRODUCCIÓN**

En el trabajo anterior se ha mostrado la fecunda relación que se estableció entre la filosofía de la ciencia, la psicología cognitiva del aprendizaje y la didáctica de las ciencias, que permitió la elaboración del modelo de cambio conceptual, procedural y axiológico. Como señalamos en el artículo anterior (Solbes 2009) parece ser el más completo disponible sobre el aprendizaje y la enseñanza y se ha plasmado en los programas curriculares de las administraciones y en las propuestas de evaluación del alumnado de secundaria, que tienen en cuenta el aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes

En cuanto a estas relaciones interdisciplinares, Duschl y Hamilton (1992) utilizaron el término de *dominio* para designar el constituido por disciplinas diferentes que exploran el mismo campo, buscan soluciones a problemas semejantes, se hacen las mismas preguntas y comparten literatura. Y aquí surgen nuevas posibilidades de avance, porque en la actualidad este dominio sigue ampliándose y, en consecuencia, como señalan Adúriz e Izquierdo (2002) es necesario no perder de vista las nuevas perspectivas que plantean otras disciplinas del dominio, como las ciencias cognitivas, en particular, la psicología cognitiva o la lingüística, y también, las neurociencias, los estudios CTS, etc.

Estos avances pueden mejorar el modelo de cambio conceptual, procedural y axiológico, para que pueda contribuir a la resolución de los problemas que plantean las nuevas realidades educativas y sociales, si no queremos que la investigación didáctica se distancie completamente de las preocupaciones del profesorado. Entre estos problemas hay que destacar los siguientes:

- Los problemas que plantea la diversidad de alumnado en el aula que inicialmente había propiciado la obligatoriedad de la enseñanza secundaria y que se ha incrementado notablemente estos últimos años con la multiculturalidad de las aulas fruto de la reciente emigración (Krugly-Smolska, 1996; Benarroch, 2001; Cabo y Enrique, 2004).
- Un fracaso escolar en la ESO superior al 30 %, más de 10 puntos por encima de la media europea, que nos aleja considerablemente del objetivo de la UE de conseguir un 85 % de graduados en Bachiller o en la FP equivalente. Se trata de un problema muy complejo sin relación causal con el anterior, ya que otros países europeos también han ampliado su escolarización y acogido muchos emigrantes, sin nuestros índices de fracaso.
- La creciente disminución del alumnado que escoge las optativas de ciencias de la secundaria obligatoria y el bachillerato de ciencias de la naturaleza, así como de las alumnas que eligen Física y Matemáticas (Solbes, Monserrat y Furió, 2007; Vázquez y Manassero, 2008), con el *"peligro capital para el futuro de Europa"* (Rocard et al., 2007) que supone la disminución de jóvenes que estudian ciencias al obstaculizar el logro de una economía del conocimiento.

Todos ellos son temas no sólo cognitivos sino también afectivos y sociales, muy relacionados con el cambio axiológico y de actitudes, con el clima de aula y del centro y con la igualdad de oportunidades (Reid y Hodson, 1993).

## NUEVAS POSIBILIDADES DE AVANCE

### Profundizando en el aprendizaje desde las ciencias cognitivas

La psicología cognitiva (de Vega, 1985; Pinker, 2000; Pozo, 1992; Pozo y Gómez, 1998) también ha intentado dar una visión más compleja, integrando todas las teorías del aprendizaje, no sólo las cognitivas sino también las asociacionistas, ya que cada una de ellas explica distintos aprendizajes. Así, el *aprendizaje asociativo* (o repetitivo) es muy útil para el aprendizaje de conductas, para la adquisición de destrezas motoras y de información verbal. Sin embargo, para la adquisición de conceptos y estrategias de aprendizaje es mejor el *aprendizaje cognitivo* (o significativo). Así, el aprendizaje asociativo puede ser útil para memorizar la tabla de multiplicar o una serie de fórmulas químicas, pero no será suficiente para comprender la multiplicación o las reacciones químicas.

Los recientes esfuerzos de clarificación de diversos autores (Chi et al, 1994; Vosniadou, 1994) han permitido, como vimos en el trabajo anterior, distinguir entre cambio conceptual normal o débil y el radical o fuerte, que según Oliva (1999) parecen ajustarse a las ideas de Piaget de asimilación y acomodación. Pero el aprendizaje de la ciencia aún es más complejo, *"el alumno ha de adquirir nueva información"*,

## APRENDIZAJE Y CAMBIO CONCEPTUAL, PROCEDIMENTAL Y AXIOLÓGICO (II)

*reorganizar el conocimiento existente e incluso abandonar ideas profundamente asumidas*" (Hewson, 1981). Es decir, hay más posibilidades de interacción conceptual involucradas en el *aprendizaje cognitivo* de las ciencias que únicamente el cambio conceptual. Se puede mencionar así:

- La *asimilación*, que tiene lugar cuando los esquemas previos permiten tratar la información nueva la cual queda, por tanto, incorporada (asimilada) al esquema conceptual previo, sin producir modificaciones en el mismo. Así, cuando el niño ve un perro y lo asimila al esquema de perro que ya posee o cuando el alumnado reconoce la energía potencial elástica o eléctrica como análogas a la energía potencial gravitatoria.
- La *deformación* de los nuevos conceptos para adecuarlos a los previos. Así, cuando el niño que ha aprendido el concepto de perro con ejemplares grandes, si ve un perro pequeño lo asigna al esquema gato o como cuando la idea alternativa de fuerza como causa de los movimientos deforma la idea newtoniana de fuerza como causa de los cambios de movimiento.
- La *reestructuración* o reorganización de los conceptos previos, cambio conceptual que se produce cuando estos son inadecuados para incorporar la nueva información. Así, el niño que ha llamado gato a un perro pequeño tiene que modificar su concepto de perro eliminando de él el tamaño o cuando el alumnado tiene que cambiar su concepto de fuerza, basado en el contacto, para incluir las fuerzas newtonianas a distancia.
- Algunos hablan de la *sustitución* de los conceptos existentes por otros nuevos, idea que parece muy optimista, porque concepciones tan utilizadas como las alternativas difícilmente desaparecen o se olvidan, al contrario de lo que sucede con muchas que si deseáramos que recordasen. Lo que se pretende es que los estudiantes sepan qué contexto estamos manejando y que distingan en qué contexto pueden considerarse válidas las ideas previas y en cuál las nuevas. Y se puede hablar de cambio cuando empiecen a utilizar las nuevas ideas en un contexto en el que antes utilizaban las previas.
- Estas son las posibilidades más mencionadas en la literatura didáctica, pero no agotan las posibilidades de aprendizaje cognitivo. Así, tenemos la *síntesis*, en la que cambian tanto los conceptos previos como la nueva información, dando lugar a la aparición de un nuevo concepto (Toulmin, 1972). O cuando los alumnos aprenden conceptos poco relacionados con su experiencia cotidiana, sin ideas alternativas al respecto.

Dado que como señala Hewson (1981) "*la analogía entre el aprendizaje y el cambio conceptual en las disciplinas ha sido fructífera*", conviene tener en cuenta que en el desarrollo de las ciencias se distingue entre los pequeños cambios en el interior de un mismo marco teórico (por ejemplo, del calórico a la teoría cinética del calor, de modelo corpuscular de la luz al ondulatorio, de la acción a distancia a la teoría de campos, o del modelo atómico de Bohr al de Schrödinger, etc.) y las grandes crisis teóricas (por ejemplo, el paso de la ciencia aristotélico-escolástica a la clásica y de ésta a la moderna) (Gil y Solbes, 1993).

Por otra parte, en la revolución científica se produce no sólo un cambio de conceptos, sino también de metodología y de valores. A nivel metodológico tenemos una nueva forma de abordar los problemas, que sustituye un pensamiento basado en "las evidencias del sentido común" y en las autoridades (Platón y Aristóteles, los doctores de la Iglesia y, en última instancia, la Biblia), por un pensamiento a la vez más creativo y riguroso, que plantea hipótesis, realiza experimentos y/o observaciones para contrastarlas y usa las matemáticas. Esto supone un cambio en el criterio de verdad, en la finalidad de la ciencia o en el criterio de demarcación entre lo que es ciencia y lo que no lo es, es decir, un cambio axiológico. En el surgimiento de la ciencia moderna cambia el paradigma teórico y con él los conceptos aceptados, que pasan a ser aproximaciones con un determinado campo de validez. Pero no son tan evidentes los cambios metodológicos y axiológicos.

Linder (1993) parece concordar con esto cuando señala que la situación de crisis de la física clásica y el surgimiento de la física moderna no es la misma que la de la sustitución de la física aristotélico-escolástica por la física clásica. Según este autor, en el primer caso se produce una evolución o reestructuración que no impide que sigamos utilizando los conocimientos y principios de física clásica para, por ejemplo, enviar un satélite a Marte. En el segundo, se produce una sustitución y el concepto aristotélico de fuerza no se admite como válido en ningún de los contextos científicos posteriores. Pero esto, que puede ser cierto a nivel histórico, es discutible a nivel didáctico, porque olvida los cambios procedimentales y axiológicos y, además, ya hemos visto que es muy difícil que se produzca una sustitución.

Lo que se pone así de manifiesto es que la investigación en didáctica de las ciencias se ha ocupado mucho de los cambios conceptuales (hasta el punto de distinguir entre normales y radicales) y poco de los restantes, que el aprendizaje de conceptos es más complejo, y que hay variantes del mismo, como la asimilación, que deberían ser más estudiadas (Oliva, 1999). Así, de todos los posibles cambios procedimentales el más estudiado es el denominado cambio metodológico, el paso del "sentido común" a una familiarización de los alumnos con la metodología científica. Se consigue cuando un alumno se plantea un problema que le interesa y trata de resolverlo científicamente, es decir, ha de precisarlo, emitir unas hipótesis, elaborar unas estrategias de resolución, etc., y analizar los resultados y sus posibles consecuencias.

Pero no hay que olvidar que, como señala Vigotsky (1979), el alumno no puede aprender sólo y que no se pueden olvidar las mediaciones sociales (contextos, profesor, compañeros, etc.) que facilitan el aprendizaje. En otras palabras, que es necesario tener en cuenta que las operaciones cognitivas se desarrollan por medio de la internalización de instrumentos culturales que existen fuera del individuo, evidenciando la influencia de la cultura y el lenguaje sobre la cognición personal.

Para finalizar, en esta línea y dentro del campo de las ciencias cognitivas, el lenguaje es un tema que está adquiriendo cada vez más importancia en la didáctica de las ciencias, con muchas publicaciones monográficas como la de "Alambique" sobre "Lenguaje y comunicación" (AAVV, 1997) o el reciente II Encontro Internacional Linguagem, Cultura e Cognição (Mortimer y Smolka, 2003). Actualmente, se trabaja mucho en el estudio de los razonamientos y argumentaciones de los estudiantes y de cómo interactúan con la información aportada por los propios compañeros, por el

## APRENDIZAJE Y CAMBIO CONCEPTUAL, PROCEDIMENTAL Y AXIOLÓGICO (II)

profesor o por los libros de texto en el aula, es decir, se trata de enseñar al estudiante no sólo a saber hacer ciencia sino también a ‘hablar de ciencia’, a saber comunicarla (Sanmartí, 1997; Sardá y Sanmartí, 2000; Jiménez et al, 2000; Jiménez y Díaz, 2003; Driver et al., 2000). Estas investigaciones ponen de manifiesto que el aprendizaje se ve muy favorecido cuando los alumnos participan, hablan y argumentan sobre la ciencia, lo que sólo es posible si las actividades son interesantes y los alumnos están motivados, con lo que se vuelve a plantear la necesidad de incorporar al aprendizaje el cambio actitudinal.

### **Coherencia con las neurociencias y sus implicaciones**

Las neurociencias estudian los niveles más profundos de la mente humana, por lo que han sido poco frecuentadas por los investigadores en didáctica de las ciencias o educación, con algunas excepciones (Jensen, 2005). Pero actualmente están abordando problemas más próximos a nuestro campo como el aprendizaje, la memoria, la atención, la resolución de problemas, las emociones, etc. Estos desarrollos pueden contribuir al avance de la didáctica de las ciencias y, por otra parte, se plantearía un grave problema a la misma si los nuevos desarrollos en neurociencias cuestionaran las ideas en que se basa la didáctica de las ciencias. Es una situación que se produce usualmente en el desarrollo de las ciencias, cuando las ideas de una nueva teoría (como la mecánica cuántica) contribuyen al avance de otras (la ordenación periódica de los elementos y la teoría del enlace químico). Igualmente, sería preocupante si las nuevas ideas de física cuántica o de partículas (niveles más profundos de nuestra comprensión de la materia) planteasen problemas a las teorías sobre el átomo y sus enlaces.

Pasamos por ello a continuación a recapitular algunas ideas de neurocientíficos actuales (Damasio, 2001 y 2006; López, 1999; Ratey, 2002; Goldberg, 2006) relacionadas con el tema del aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes. Así, las tareas cognitivas de la vida real precisan la creación deliberada de nuevas construcciones mentales o patrones, que son una constelación concisa de neuronas ligadas por fuertes conexiones, también denominadas redes neuronales (RN). Las personas a lo largo de su vida son capaces de formar un gran número de moldes cognitivos, cada uno de los cuales captura la esencia de un gran número de experiencias pertinentes. Con el tiempo, es mayor la cantidad de desafíos que puede responderse con un molde ya existente o con una leve modificación del mismo. A principios del siglo XX, Ramón y Cajal (2006) ya decía que cuando se produce el aprendizaje, se crean conexiones neuronales, que se manifiestan en recuerdos, en memoria.

Algunos investigadores, afirman que los niños están equipados no sólo con reflejos sensoriales y procesos generales, sino con constructos (o principios) innatos. Uno de los primeros en hablar de destrezas innatas en la mente fue Chomsky, en el caso del aprendizaje de la lengua materna. Fue muy cuestionado por los conductistas que sólo aceptaban el aprendizaje. Las neurociencias si que aceptan estos constructos innatos.

Así, Goldberg (2006), discípulo de Luria, el colaborador de Vigotsky en el desarrollo de la psicología histórico-cultural, señala que: *Las “viejas” estructuras subcorticales del cerebro llevan “preimpresa” la “sabiduría del filo”, lo mismo que las regiones corticales*

*implicadas en el procesamiento de los impulsos sensoriales: la vista, el oído y el tacto.* La corteza motora también viene en buena medida "preimpresa". Entiende por sabiduría del filo, el conjunto de procesos del cerebro (codificados y transmitidos genéticamente) que recoge millones de años de experiencia durante la evolución y se expresa como respuestas emocionales y discriminaciones perceptuales básicas. En cambio, las regiones corticales más complejas, la llamada corteza de asociación, tienen poco conocimiento preimpreso, e incorporan, con el paso del tiempo, habilidades y competencias y también un conjunto de categorías codificadas y transmitidas por la cultura que nos permite interpretar el mundo de una manera adaptativa, y se expresan en forma de lenguaje y de otros sistemas simbólicos.

Algunas categorías, como la distinción entre animado e inerte, ya que se detectan en bebés de tres meses mediante las pruebas de "mirada preferente" de Spelke (la tendencia de los bebés a fijar la mirada en lo nuevo, lo sorprendente o diferente) (Dobbs, 2007). La actualmente denominada psicología evolutiva (Pinker, 2000) explica el carácter innato de algunos procesos o categorías más básicos como fruto de la evolución humana, de la selección natural de sistemas neurales útiles para la supervivencia, aunque también es cierto que dicha psicología evolutiva (como antaño la sociobiología), está incurriendo en extrapolaciones que carecen de pruebas sólidas.

Uno de los temas más investigados por las neurociencias (y de los que tienen más implicaciones didácticas) es la memoria. Los neurocientíficos (Damasio, 2001 y 2006; López, 1999; Ratey, 2002; Goldberg, 2006), mediante RMN (resonancia magnética nuclear) o TEP (tomografía de emisión de positrones), han demostrado que la percepción de una cosa y el recuerdo de esa cosa comparten las mismas redes neuronales y que, por tanto, los sistemas de memoria a corto (MCP) y a largo plazo (MLP) son dos fases del mismo proceso que implican las mismas estructuras cerebrales y no dos procesos separados. Cuando los cambios en la red perduran y se refuerzan, la información queda instalada en la MLP. Se habrán alterado sinapsis y formado nuevos receptores. Los cambios que acompañan la formación de un recuerdo no se producen de manera instantánea, sino que necesitan tiempo, porque hay que reactivar continuamente las redes neuronales críticas de la neocorteza, con bucles de actividad biológica recurrente.

Las distintas experiencias activan RN distintas. Cuanto más cercanas y semejantes sean las experiencias (p. e., la visión de un pastor alemán, un labrador y un doberman), mayor será el grado de superposición entre las redes correspondientes (en este caso, el patrón o idea de perro). El núcleo común a las RN activadas por impresiones parecidas entra en la MLP. La región de superposición entre RN corresponde a propiedades compartidas de toda una clase de cosas o eventos, recuerdo genérico o patrón. Cuanto más genérico sea más invulnerable a los daños del deterioro cerebral.

Cohen y Squire (1980) distinguen entre la *memoria procedimental*, asociada a los procedimientos, al cómo (por ejemplo, nadar, ir en bicicleta, pero también los procedimientos científicos, que una vez aprendidos se recuerdan siempre) y la *memoria declarativa*, el qué, lo que se verbaliza. Otra distinción, debida a Tulving (1972) es la que se establece entre *memoria episódica* (los recuerdos se almacenan con el contexto) y *semántica* (independiente del contexto). Goldberg (2006) plantea

## APRENDIZAJE Y CAMBIO CONCEPTUAL, PROCEDIMENTAL Y AXIOLÓGICO (II)

una nueva distinción entre *memoria específica* (referida a cosas únicas, como París capital de Francia) y *genérica* (propiedades compartidas por clases de cosas, p. e., los tomates son rojos), por tanto, clasifica la memoria en genérica (que incluye la de procedimientos y la genérica semántica) y la singular (la episódica y singular semántica). Esta última se desvanece con más facilidad que la primera.

Aunque inicialmente la memoria se trataba de un tema particularmente mal visto por sus conexiones con la enseñanza memorística tradicional, lo cierto es que como señala Pozo (1992), no puede haber aprendizaje significativo sin memoria a largo plazo. Así, los resultados de las neurociencias sobre la memoria apoyan la distinción entre diversos contenidos (conceptuales, de procedimiento y de actitud) y ponen de manifiesto que no se aprenden los procedimientos de la ciencia si no se practican, por más que se enseñen teóricamente, que no se cambian actitudes y valores si no se enseñan explícitamente. También las ideas sobre resolución de problemas, cuya solución implica que se formen los patrones apropiados y, por tanto, el problema que inicialmente sólo podemos resolver con un esfuerzo mental, se resolverá después mediante reconocimiento de patrones. Por último, las aportaciones de Damasio (2001) que ponen de manifiesto el papel de las emociones y sentimientos en los procesos de razonamiento refuerzan el papel de los contenidos actitudinales, no sólo para el aprendizaje de actitudes, sino también en el de contenidos conceptuales y procedimentales, que están marcados emocionalmente.

### **Los estudios CTS y la historia de las ciencias**

Otras importantes disciplinas del dominio son los estudios CTS, es decir, las disciplinas académicas que estudian la ciencia desde el punto de vista social, económico, político y cultural. No deben ser confundidos con la educación CTSA, es decir, la educación en ciencias que incluye actividades CTSA o se estructura a partir de problemas CTSA. También, la historia de la ciencia, tanto la interna como la social o externa (que aporta datos relevantes a los estudios CTS), pueden realizar así mismo un papel en la educación científica (Matthews, 1991; Solbes y Traver, 1996).

Y, cuando se constata el aumento del desinterés de los alumnos y, en especial, de las alumnas por las ciencias y el abandono de su estudio (Solbes, Monserrat y Furió, 2007; Vázquez y Manassero, 2008) conviene recordar que diversas investigaciones han mostrado cómo la introducción de actividades CTSA y de historia de las ciencias pueden contribuir a cambiar la actitud negativa de los estudiantes hacia las ciencias, aumentando su interés hacia la misma (Solbes y Vilches, 1997; Solbes y Traver, 2001; Izquierdo et al, 2006). Pero esto se puede conseguir con otros recursos (experiencias y juguetes tecnocientíficos, las TIC, etc.). En cambio, la educación CTSA es la única que contribuye a una imagen más completa y contextualizada de las ciencias.

Para ello, hay que tener en cuenta que dichos estudios CTS manifiestan diversas posturas o valoraciones sobre la ciencia que teorizan o se relacionan con diversas imágenes públicas de la ciencia (Solbes 1999 y 2002):

1. Para algunos las ciencias son buenas porque sus finalidades, conocimiento y utilidad, lo son. Además, con Galileo, Darwin, etc. contribuyeron a la destrucción de mitos y fanatismos que obstaculizaban una mayor racionalidad en la sociedad humana

y son uno de los mayores apoyos del ideal de progreso decimonónico. Esta ha sido la valoración dominante en gran parte del siglo XIX (salvo en el Romanticismo) y en las primeras décadas del siglo XX.

Esta visión positiva se explicita en los valores o normas de la comunidad científica propuestos por vez primera por Robert K. Merton, el padre de la sociología de la ciencia en 1942, denominándolos CUDOS (a partir de sus iniciales) (Merton, 1980): el Comunalismo (la ciencia es conocimiento público libre y a disposición de todos), el Universalismo (los descubrimientos se deben valorar por sus méritos prescindiendo de la nacionalidad, raza, religión, sexo, edad o categoría científica de quienes los producen), el Desinterés (la ciencia se cultiva por la ciencia, por el progreso del conocimiento), la Originalidad (la ciencia es el descubrimiento de lo desconocido) y, por último, el Escepticismo (Scepticism) (el conocimiento científico debe someterse a un examen crítico en busca de errores, contradicciones).

2. Pero las explosiones de las bombas atómicas primero y los graves problemas de contaminación ambiental después, hacen que se desarrolle, a partir de mediados del siglo XX, una postura que considera negativa a la ciencia. Así, los filósofos de la teoría crítica (Marcuse, 1972; Habermas, 1992) señalan que la ciencia moderna está ligada al nacimiento del capitalismo y al ascenso de la burguesía y comparte con ella el deseo de dominar, explotar y manipular la naturaleza y los hombres. De ahí a plantear la perversidad intrínseca de la ciencia y la tecnología hay un paso, que algunos autores dan hablando de la "tecnociencia" o "tecnocracia" actual y de sociedades futuras análogas a "Un mundo feliz" de Huxley.

Otras versiones de esta línea señalan que las finalidades y la orientación de la ciencia y la tecnología están fuertemente influidas por las instituciones que las financian. No es extraño que unas ramas progresen más que otras cuando disponen de más recursos, como por ejemplo, el gran desarrollo de la física nuclear (primero de bajas y después de altas energías) a partir del proyecto Manhattan (1941) o de la investigación aeroespacial, a partir de 1957, cuando los soviéticos ponen en órbita el Sputnik. Actualmente es difícil encontrar una rama del conocimiento, incluidas las ciencias sociales, que no esté haciendo contribuciones al esfuerzo bélico: las matemáticas (con contribuciones de la teoría de juegos a la toma de decisiones estratégicas o de la teoría de números a la criptografía), la lingüística (códigos secretos), la biología (utilización de virus y bacterias como armas), la medicina, la historia (justificaciones ideológicas de los conflictos), electrónica e informática (destruir las telecomunicaciones y crear un caos en los sistemas informáticos), la guerra psicológica, etc. Por otra parte, se señala así mismo la contribución de la ciencia y la tecnología en los problemas de contaminación actuales: el DDT, el plomo en las gasolinas y los CFCs (aportaciones ambas del ingeniero Thomas Middley), los residuos radiactivos, el CO<sub>2</sub> y los óxidos de azufre y nitrógeno, productos de las reacciones de combustión en las máquinas térmicas y un largo etc.

También en esta perspectiva crítica, en el campo de los estudios CTS, encontramos el denominado programa fuerte (Barnes, 1980 y 1987; Latour, 1992), que ha servido de fundamentación de algunas versiones del constructivismo y cuya idea principal es que la ciencia es una construcción social y que por tanto, tiene el mismo grado de

## APRENDIZAJE Y CAMBIO CONCEPTUAL, PROCEDIMENTAL Y AXIOLÓGICO (II)

veracidad y validez que otras producciones culturales. Pero es excesivo negar el uso de criterios para evaluar los desarrollos de la ciencia o equiparar la ciencia con cualquier otro producto cultural (Osborne, 1996).

3. En la actualidad, para contrarrestar esa visión negativa, se insiste en la neutralidad y objetividad de la ciencia (Apple, 1986). Esto justifica el cientismo, es decir, una actitud que considera a la ciencia como el único saber auténtico (o por lo menos el mejor saber); que la ciencia es capaz de dar respuesta a todas las cuestiones teóricas y problemas prácticos (siempre que se formulen de manera positiva y racional) y, por tanto, que es legítimo y deseable confiar a los expertos científicos el cuidado de dirigir los asuntos humanos. Buena prueba de ello es que todo saber humano se adjudica el título de ciencia: ciencias de la información, jurídicas, humanas, sociales, etc., o la proliferación de expertos de todo tipo, que se utilizan para justificar o defender diversas opciones y para deslegitimar a los que supuestamente no son competentes en la materia.

Se ha pasado de la persecución de la ciencia a la creencia en la neutralidad de la ciencia, supuestamente por encima de las ideologías. Aparece así en este siglo una actitud que trata de limitar la ciencia a una función meramente operativa, favorecedora del desarrollo técnico, pero negándole toda incidencia en la concepción del mundo o en cuestiones que afecten a los intereses de los grupos privilegiados. Esa actitud ante la ciencia, bajo una u otra forma, es la más general hoy en día en la comunidad científica y entre el profesorado, como se evidencia al analizar la enseñanza de las ciencias en cualquier nivel educativo (Solbes y Vilches, 1995; Solbes y Traver, 1996).

Los defensores de esta postura saben que la investigación científica está económica y socialmente condicionada (hace falta equipo, dinero e instituciones) y que todo ello puede influir en el ritmo de desarrollo y la orientación de las diversas disciplinas; que no todos los científicos están de acuerdo en determinadas opciones filosóficas (la manera de plantear los problemas o el valor atribuible a tal modelo o teoría); que existen lagunas y dificultades en los dominios de investigación; etc. Pero evitan este "inconveniente" distinguiendo entre lo externo, el contexto, y lo interno, las proposiciones teóricas y empíricas, los instrumentos, es decir, la ciencia propiamente dicha, según este punto de vista. Y es este núcleo duro el que les permite afirmar la neutralidad de la ciencia.

Es decir, argumentan que la ciencia y la tecnología son herramientas, no tienen nada que ver con los valores, trascienden las opciones ideológicas y, por tanto, son indiferentes a los fines de la sociedad. En el fondo es la vieja idea de la ciencia como un cuchillo que se puede utilizar para cortar y también para matar. Son sus usos, aplicaciones, que dependen de las finalidades o intereses de quien las utiliza y de quien las financia (empresas, Estado) los que son malos (o buenos). Es decir, exculpan a los científicos, ya que la ciencia no da los fines, se contenta con prescribir los medios.

4. Hay autores que ponen de manifiesto que la situación es más compleja al señalar que hay dos papeles de ciencia, el instrumental o tecnociencia y el público o no instrumental, que funciona en la ciencia académica (Ziman, 2003). También en la

tecnología, con un nivel mucho más elevado de interacción con la industria, algunos autores distinguen entre tecnologías autoritarias y democráticas (Munford, 1992) o de tecnologías pesadas e ingobernables y livianas y flexibles (Winner, 1987). Así, en la producción de energía se opta por unidades complejas y centralizadas (nucleares, térmicas) frente a las reducidas y descentralizadas (solares, eólicas). Ziman (2003), atribuye los valores de Merton a la ciencia académica y sus contrarios (patentabilidad, particularismo, interés, etc.) a la tecnociencia. Pero ya hemos visto como la ciencia académica puede ser la principal transmisora de la ideología del cientifismo y la neutralidad, incapaz de dar respuesta a los problemas que plantea la ciencia al público y, en particular, a los estudiantes.

En resumen, lo único que podemos decir de la Ciencia, como del arte, la literatura, la religión, la filosofía u otras grandes empresas humanas, es que son ambivalentes (Fdez-Rañada, 1995; Solbes, 1999), es decir que coexisten en ellas contribuciones positivas y negativas. Y aunque en estos momentos parecen prevalecer las contribuciones negativas porque "las malas noticias son buenas noticias" y, en consecuencia, los medios de comunicación que dominan la sociedad globalizada prestan más atención a los aspectos negativos, no hay que olvidar las contribuciones positivas de la ciencia.

Los estudios CTS y la historia de las ciencias contribuyen a dar una visión más contextualizada de las ciencias, evitan visiones dogmáticas de las mismas y muestran la naturaleza colectiva y controvertida de la investigación científica, evitando la idea de una ciencia hecha por genios, que ignora las contribuciones de las mujeres científicas y de los países que no son grandes potencias científicas (Solbes y Traver, 1996). Por otra parte, el enfoque CTSA facilita la incorporación funcional en los currículos de ciencias, de la atención a la situación del mundo, tal y como se reclama desde Naciones Unidas en la *Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible* (Edwards et al, 2005). Los estudios CTSA aportan una perspectiva interesante para comprender actuales cambios en la propia ciencia como la tecnociencia, la evaluación de impactos, el principio de precaución, etc. (González et al., 1996; Quintanilla y Sánchez Ron, 1997).

En esta perspectiva, es necesario plantearse que hay muchas actividades CTSA posibles y, por ello, para seleccionarlas conviene tener en cuenta (y para eso la hemos introducido anteriormente) la realidad ambivalente de la ciencia y mostrar, por una parte, los problemas vinculados al desarrollo de las ciencias, ya que no hacerlo es incurrir en la visión neutralista y despojar a la ciencia de su carácter crítico y, por otra, aspectos positivos, para evitar que el alumnado pueda caer en una injusta y peligrosa actitud de rechazo .

Así, hay que reconocer al alumnado (y al público en general) que un elevado porcentaje (no hay mas que ver los presupuestos) de los conocimientos, investigaciones y laboratorios se usan en I+D militar. Y que esto, pese a que algunos sostengan que es bueno para la ciencia, porque ha permitido el enorme desarrollo de estas últimas décadas, no lo es tanto, porque condiciona los conocimientos que se obtienen, los equipamientos necesarios e, incluso, los valores de los científicos que participan (dominan el secretismo y el militarismo) y se impide, sobre todo, que los presupuestos gastados se puedan invertir en mejores causas. También hay que

## APRENDIZAJE Y CAMBIO CONCEPTUAL, PROCEDIMENTAL Y AXIOLÓGICO (II)

reconocerles que muchas multinacionales utilizan las ciencias para la búsqueda de beneficios a corto plazo, lo que promueve un desarrollo económico, científico y tecnológico agresivo con el medio y particularmente peligroso con los seres vivos, causa principal de los problemas del planeta.

Pero también es necesario contribuir a cambiar esta valoración tan negativa de la ciencia, con todas las dificultades que plantea cualquier cambio axiológico y actitudinal, trabajando en el aula aspectos positivos y humanistas de la ciencia como (Solbes, 1999; Toulmin, 2001; Solbes, Monserrat y Furió, 2007):

- Los valores de la ciencia, como su contribución a la racionalidad, su espíritu crítico frente a cualquiera tipo de fundamentalismo y pseudocientificismo (como la astrología, la ufología, el creacionismo o diseño inteligente) (Charpak y Omnes, 2005). No hay que olvidar que durante siglos las ciencias nos han liberado de numerosos prejuicios y pueden seguir haciéndolo (por ejemplo, los descubrimientos en el genoma humano ponen de manifiesto que no existe ninguna base científica para el racismo).
- Las investigaciones que han puesto de manifiesto, pese a la oposición de multinacionales o gobiernos, algunos de los graves problemas que nos afectan, las "verdades incómodas" (el deterioro medioambiental, el agotamiento de recursos, el cambio climático, etc.) y que nos han hecho conscientes de cómo se puede contribuir a solucionarlos (energías alternativas, etc.).
- La contribución de la ciencia a una nueva ética basada en la sostenibilidad y en la idea del navío espacial Tierra, que pone de manifiesto el origen común y el destino solidario de la humanidad, que podría perecer a causa de la destrucción de la nave en la que viaja.
- Ejemplos de responsabilidad social de científicos y científicas, por ejemplo, su movilización a favor de la paz entre las naciones (movimiento Pugwash), por la subsistencia de la biodiversidad (incluyendo la humana) en la Tierra o contra el cambio climático antrópico.
- Las contribuciones de la ciencia y la tecnología a la resolución de problemas y necesidades humanas, en particular, ayudar a muchos países a salir del atraso y de la pobreza (y quizá sea ésta la mayor cuenta pendiente del siglo XXI). En este último caso, los problemas de alimentación, salud, explosión demográfica, etc. allí existentes se pueden solucionar con técnicas y conocimientos que ya se poseen, pero estos sólo son condiciones necesarias para resolverlos, pero no suficientes, porque es necesaria una voluntad social y política de hacerlo.

Este tipo de actividades *sobre* la ciencia, también recomendadas por otros autores e instituciones (BSCS & American Medical Association, 1994; Hodson, 1994), no sólo favorecen el cambio axiológico (incluyendo el actitudinal), sino también la argumentación de los estudiantes, ya que ésta les resulta más fácil cuando se les plantean cuestiones de ética o política pública relacionadas con las ciencias que cuando se les plantean actividades científicas.

### **La educación científica y los medios de comunicación**

Una línea de trabajo que cada vez va despertando más interés es la educación científica no formal. Como señala el coordinador de un número monográfico de *Alambique* sobre el tema (Pro, 2005) “*tenemos ciencia en la publicidad, en las noticias, en las películas, en la TV, en los centros y museos de ciencia, en Internet*”. Por ello, “*la didáctica de las ciencias debe conocer y analizar que ciencia hay fuera de la institución escolar... con el convencimiento de que hay otras posibilidades que podemos y debemos aprovechar dentro del aula: para conocer mejor a nuestros estudiantes, para comprender sus ideas y su desarrollo, para detectar las necesidades que tienen como ciudadanos y ciudadanas, para conectar con hechos cotidianos o para aprender a enseñar de otras maneras*”.

Por todo ello se han realizado múltiples investigaciones con enfoques muy diversos sobre estos temas, pero hay que establecer distinciones. Una cosa son los centros y museos de ciencias, en las que si hay un propósito educativo (Guisasola y Morentin, 2005; Guisasola et al. 2008). Otra los medios de comunicación de masas (prensa, radio, cine, TV) (Pro y Ezquerra, 2005), en donde la ciencia aparece de múltiples formas: con intención informativa o educativa, en las noticias y los documentales científicos; de entretenimiento, en la ciencia ficción, las series televisivas, los dibujos animados (Perales y Vilchez, 2005); de marketing, en la publicidad (Campanario et al, 2001), etc. No hay que olvidar que los niños permanecen un promedio de 4 horas diarias mirando la TV. Si añadimos videojuegos, mensajes, etc. es posible que superen las 5 horas de clase al día en Infantil y Primaria. Por tanto, no es extraño que ejerzan una notable influencia en las ideas, creencias, valores y actitudes del alumnado (y del público en general) sobre la ciencia. Aquellos que, como Rocard et al. (2007) señalan que los “*orígenes de esta situación* (de desinterés) *pueden encontrarse en la manera como se enseña la ciencia*”, parecen olvidar, entre otras, la influencia de los medios de comunicación y que la imagen de la ciencia que estos presentan es bastante negativa (Solbes et al. 2007; Elías, 2008).

Internet, no es sólo un medio de comunicación, sino todo un mundo virtual. Algunos consideran la red simplemente como un nuevo recurso, como en su momento lo fueron los medios audiovisuales. Otros (Echevarría, 2002) hablan de una alfabetización digital o de una educación en las TIC, imprescindible en la sociedad de la información como en su momento lo fueron la alfabetización tradicional (leer, escribir y contar) y la científico tecnológica, que podemos dudar que se haya conseguido. Por esto, se han realizado muchas investigaciones en este campo (Valdés y Valdés, 1994; Pontes 1999; Sanmartí e Izquierdo, 2001; Solbes et al, 2004) que coinciden en la utilización de las TIC en la medida que las TIC contribuyen al aprendizaje significativo de los estudiantes y a la construcción reflexiva de sus conocimientos, a facilitar la atención personalizada, la retroalimentación y el trabajo en el aula necesarios para mejorar el aprendizaje e, incluso, en la motivación, efecto que tiende a desaparecer cuando las cosas dejan de ser una novedad.

## **PROPUESTAS DE ENSEÑANZA QUE FACILITAN EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES**

La enseñanza no sólo debe tener en cuenta las características de la estructura del conocimiento científico, como lo hizo la enseñanza tradicional por transmisión de conocimientos elaborados, o las características del método científico, como la enseñanza por descubrimiento. Tampoco es suficiente que sólo consideren las ideas previas de los alumnos, como el modelo de enseñanza por transmisión verbal de Ausubel o el constructivista de cambio conceptual. Es necesario que tengan en cuenta la diversidad de dificultades de aprendizaje que pueden tener los estudiantes y que hemos mostrado en el artículo anterior y, también, las nuevas perspectivas planteadas en éste.

En concreto, cualquier modelo de enseñanza debe tener en cuenta las siguientes componentes de la misma:

- La primera de éstas consiste en clarificar y analizar el contenido de la ciencia a enseñar no solamente desde el punto de vista histórico sino también desde los puntos de vista de los intereses sociales y educativos.
- La segunda componente centra la investigación en las perspectivas de los estudiantes (en particular, sus concepciones, habilidades e intereses) respecto a los fenómenos relacionados con el área de conocimientos elegida.
- Finalmente y como tercera componente, se elabora el diseño de los ambientes de aprendizaje que han de predominar en el currículo (en particular, se diseñan materiales instructivos, actividades de aprendizaje, lecciones o secuencias de aprendizaje).

Hay varios modelos recientes, ubicados en el marco constructivista, que pueden cumplir estos requisitos:

### **La enseñanza aprendizaje como investigación**

Este modelo intenta superar el de cambio conceptual, que a veces puede dar la impresión (con unos u otros matices), de que se centra sistemáticamente en escoger como contenidos del currículum un conjunto de conceptos en donde los alumnos tengan concepciones alternativas llamativas y dedicar las clases a su exposición, cuestionamiento posterior e introducción de los conceptos científicos actualmente aceptados y manejo de estos últimos con el fin de que los alumnos se familiaricen con ellos y puedan comprobar sus ventajas frente a los antiguos. ¿Cómo no ver en ello un artificio que aleja la situación de lo que constituye la construcción de conocimientos?

Esta construcción nunca se plantea para cuestionar ideas, para provocar cambios conceptuales, sino como resultado de las investigaciones realizadas para resolver problemas de interés (Gil et al. 1991). Cuando un alumno se plantea un problema que le interesa y trata de resolverlo científicamente, en general, ha de precisarlo, emitir unas hipótesis, elaborar unas estrategias de resolución, etc., y analizar cuidadosamente los resultados y sus posibles consecuencias. Es precisamente en este proceso, adecuadamente impulsado y orientado por el profesor, cuando pueden aparecer de manera funcional (si es que existen) las posibles concepciones

alternativas y la consiguiente necesidad de modificarlas haciendo posible la evolución de tales ideas hacia las ideas científicas que se quieren enseñar.

Es preciso resaltar que dicha familiarización con la metodología científica, no puede resolverse de manera parcelada, limitada a los trabajos prácticos. Para que el cambio metodológico pueda llevarse a cabo, es necesario que se extienda a todas las actividades claves en la enseñanza de las ciencias, desde la introducción de conceptos a los trabajos prácticos y la misma resolución de problemas de papel y lápiz (Gil et al. 1991). Por otra parte, no hay que reducir la investigación a una visión algorítmica del método científico y esto justifica que, especialmente en la introducción de conceptos en las ciencias más formalizadas, se utilicen otras estrategias propias del trabajo científico, como la generalización de conceptos (que permite generalizar el trabajo de una fuerza constante a una variable o pasar del modelo de ácido base de Arrhenius al de Bronsted y Lowry) o la deducción de una ley a partir de los principios. Además, señalar que este modelo también integra las dimensiones axiológicas al tener en cuenta las relaciones CTS (Solbes y Vilches, 1997) en el interés de la situación problemática abordada, en las posibles perspectivas, etc.

Para esta propuesta, es conveniente la estructuración de la clase en pequeños grupos, porque favorece el nivel de participación y la creatividad necesaria para la emisión de hipótesis, realización de diseños, etc. que se plantean en las actividades, seguidas de puestas en común (que no debe emplear excesivo tiempo) y de intervenciones del profesor, para realizar reformulaciones globalizadoras de las aportaciones de los grupos o incluso -cuando estas sean incompletas- para añadir información. Esto no supone una transgresión del método propuesto, el hecho de que los estudiantes hayan abordado previamente las cuestiones hace que su receptividad ante la información sea superior, por responder a cuestiones que ellos se han planteado. El propósito de los programas de actividades es evitar la tendencia espontánea a primar la actividad del profesor, es decir, a centrar el trabajo en clase en el discurso ordenado del profesor y en la asimilación de éste por los alumnos. Aunque no excluye las intervenciones del profesor ni tampoco que alguna actividad pueda consistir en escuchar una exposición del profesor o en la lectura de un texto (para extraer las ideas clave, comentar, etc.) (Gil et al., 1991).

### **La enseñanza/aprendizaje como integración jerárquica de modelos explicativos.**

Este modelo, desarrollado en diversos trabajos (Pozo y Gómez, 1998; Gómez et al, 2004), denominado también en la primera cita como "enseñanza por explicación y contrastación de modelos", cuestiona del modelo anterior, ya que según estos autores "*el alumno no puede enfrentarse a los mismos problemas que en su día intentaron resolver los científicos, ya que los aborda en un contexto diferente*" y "*tampoco el profesor puede equiparse a un director de investigaciones, ya que su función social es muy diferente a la de un científico, pues no tienen que producir conocimientos nuevos ni afrontar problemas nuevos sino ayudar a sus alumnos a reconstruir el conocimiento científico*" (Pozo y Gómez, 1998).

Estos autores han señalado que la enseñanza/aprendizaje de las ciencias debería ir dirigida hacia la jerarquización de las ideas, más que a su sustitución. Afirman que

## APRENDIZAJE Y CAMBIO CONCEPTUAL, PROCEDIMENTAL Y AXIOLÓGICO (II)

adquirir un conocimiento no implica sustituir unas ideas por otras, sino multiplicar las perspectivas o formas de ver el mundo, compararlas y comprobar cómo unos modelos mentales son capaces de explicar más cosas que otros, efectuándose así una integración jerárquica del modelo explicativo anterior en otro más útil.

Consideran los contenidos disciplinares como un medio para acceder a las estructuras conceptuales y modelos de los alumnos, plantean la enseñanza mediante la presentación y contrastación de los modelos en el contexto de solución de problemas o la explicación de esos modelos por parte del profesor y su discusión con los alumnos. En consecuencia, el papel del profesor es proporcionar conocimientos, explicar y guiar la contrastación de modelos.

En nuestra opinión, esta propuesta recuerda mucho la ausubeliana. Por otra parte, convienen señalar cuando se habla de ideas o modelos previos, es necesario distinguir, entre otras cosas, en qué contexto los estamos utilizando y si pueden considerarse válidos en el contexto teórico que estamos manejando. Decir que el Sol sale por el este y luego va recorriendo el cielo hasta esconderse por el oeste, es algo perfectamente admisible en el lenguaje cotidiano. Sabemos habitualmente el sentido figurado que tienen estas expresiones en aquel contexto y por eso las utilizamos, pero no se nos ocurre usarlas como explicación en un contexto científico. En este contexto no es posible que entre esas interpretaciones y las científicas se produzca ninguna integración porque las primeras no se consideran válidas.

### **El modelo de 'reconstrucción educativa'**

Este modelo utiliza estrategias didácticas de orientación constructivista, semejantes a las del cambio conceptual, metodológico y actitudinal, que está siendo ensayadas con éxito en la enseñanza de varias disciplinas (tales como las ciencias, las didácticas de la historia, del lenguaje y de las matemáticas) en la Universidad de Oldenburg y en el Instituto Leibniz de Didáctica de las Ciencias de la Universidad de Kiel, son las integradas en el denominado 'modelo de reconstrucción educativa' (Duit et al 2005).

Este modelo tiene como objetivo principal establecer una relación teoría-práctica conectando la investigación sobre secuencias de enseñanza con la de desarrollo del aprendizaje en contenidos concretos. En el caso de la aplicación del modelo a la enseñanza/aprendizaje de las ciencias se ha realizado investigación integrando los tres componentes centrales del modelo. La primera de estas componentes consiste en clarificar y analizar el contenido de la ciencia a enseñar (por ejemplo, se han realizado proyectos en evolución, energía o en combustión) no solamente desde el punto de vista histórico sino también desde los puntos de vista de los intereses sociales y educativos. La segunda componente centra la investigación en las perspectivas de los estudiantes (en particular, sus concepciones, habilidades e intereses) respecto a los fenómenos relacionados con el área de conocimientos elegida. Finalmente y como tercera componente, se elabora el diseño de los ambientes de aprendizaje que han de predominar en el currículo (en particular, se diseñan materiales instructivos, actividades de aprendizaje, lecciones o secuencias de aprendizaje). Las investigaciones se llevan a cabo empíricamente estructurándolas no como tareas separadas sino como una única, de manera que existe una interrelación entre las tres componentes citadas. Según los autores, los resultados que se están obteniendo les

hacen concebir esperanzas respecto a la eficacia de los aprendizajes logrados en los tópicos de ciencia enseñados.

Sin que esto suponga incurrir en el eclecticismo, no tiene gran interés establecer controversias entre estos modelos. Bain (2006) en su análisis de lo que hacen los mejores profesores universitarios (escogidos a partir de evaluaciones externas de los mismos, de los resultados obtenidos por los estudiantes en pruebas externas, de la opinión de los propios estudiantes, etc.), demuestra que estos profesores excelentes, a pesar de partir de tradiciones disciplinares y metodologías de enseñanza diferentes, comparten una misma perspectiva, que es lo que sucede con los modelos presentados en este apartado. En efecto, los mejores profesores, así como los modelos de enseñanza antes mencionados, pretenden crear entornos para el *aprendizaje crítico natural* (Bain, 2006). Lo denomina natural porque los estudiantes encuentran la información, las habilidades y las actitudes que están tratando de aprender insertas en preguntas y tareas que despiertan la curiosidad y son "intrínsecamente" interesantes. Y crítico porque los estudiantes aprenden a pensar críticamente, a razonar a partir de pruebas, etc. Por otra parte, ninguno de ellos parece excluir ni la transmisión de conocimientos ni un trabajo individualizado, cuya ausencia es muy cuestionada por el profesorado en activo.

## **CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS**

En el primer trabajo (Solbes, 2009) se puso de manifiesto que las dificultades de aprendizaje de los estudiantes no pueden reducirse a las concepciones alternativas y es necesario incluir las debidas a formas de razonamiento de 'sentido común', a las actitudes negativas de los estudiantes, etc. Por ello es necesario contemplar el aprendizaje del conocimiento científico, no sólo como un proceso de cambio conceptual sino también procedimental y axiológico.

En este trabajo hemos visto cómo las ciencias cognitivas, las neurociencias, los estudios CTS, la educación científica no formal, etc., ofrecen nuevas posibilidades de avance en el campo del aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes y, en consecuencia, de la didáctica de las ciencias. Así, las neurociencias no contradicen el modelo, sino que hacen aportaciones sobre la memoria que aclaran el aprendizaje de conceptos y procedimientos y sobre el papel de las emociones en el aprendizaje conceptual y en el cambio axiológico y actitudinal. Además, los estudios CTS pueden mejorar este último mostrando que existe una imagen negativa de la ciencia, que ni la enseñanza de las ciencias (más inclinada por el neutralismo) ni la didáctica de las ciencias tienen en cuenta. La enseñanza CTS si puede aportar respuestas, no evitando los aspectos negativos e incidiendo en los positivos, mediante lo que se ha denominado visión ambivalente.

A continuación se muestran modelos recientes de enseñanza de las ciencias que tienen en cuenta las dimensiones conceptual, procedimental y axiológica del aprendizaje de las ciencias. Aunque unos las tienen en cuenta en mayor grado que otros se recomienda que, en lugar de establecer controversias entre ellos, se destaque lo que tienen en común para mejorar el aprendizaje de los estudiantes, como hace Bain (2006) con las formas de enseñanza de los profesores universitarios.

## APRENDIZAJE Y CAMBIO CONCEPTUAL, PROCEDIMENTAL Y AXIOLÓGICO (II)

Sólo teniendo en cuenta estos avances estaremos en condiciones de abordar los problemas que plantean las nuevas realidades educativas y sociales, presentados en la introducción.

Ante problemas de esta magnitud algunos han optado por insistir en la calidad, el esfuerzo, etc., entendiendo por tal la enseñanza de una ciencia formal, difícil, objetiva, neutral, descontextualizada, etc. Estas políticas científicas y educativas están diseñadas siempre a favor de los contenidos más tradicionales y propedéuticos (Oliva y Acevedo, 2005), que pueden realimentar la actitud de rechazo y, por ello, producir en la mayoría de la población un cierto analfabetismo científico acompañado de un gran desinterés por la ciencia y la tecnología que impide formar futuros ciudadanos alfabetizados científicamente, obstaculizando así cualquier intento de control social de la utilización indiscriminada de las ciencias.

Otros optan por utilizar la ciencia que hay fuera de la institución escolar (Pro 2005), como ya hemos señalado, o por la utilización en el aula de juegos, juguetes y pequeñas experiencias tecno-científicas, es decir, de Ciencia recreativa (López, 2004; Russell et al. 1999; Taylor, 1990). Pero es necesario que estas actividades no se planteen sólo para "deleitar" al alumnado, sino para favorecer su aprendizaje y su participación (Solbes, Lozano y García, 2008)

Pero es necesario que estas políticas y prácticas educativas se realicen teniendo en cuenta avances del dominio de la didáctica de la ciencias, como los mostrados aquí y, en especial, que tengan en cuenta los resultados de proyectos de evaluación trasnacionales como PISA o TIMSS, centrados en alfabetización científica y competencias, que implican la aplicación de conocimientos y procedimientos científicos a situaciones del mundo real (Acevedo, 2005) para cambiar la evaluación de las ciencias, evitando así el círculo vicioso de que no se enseña lo nuevo porque no se evalúa y no se evalúa porque no se enseña.

**Agradecimientos:** A los profesores Carles Furió, de la Universitat de València y Eduardo González, de la Universidad Nacional de Córdoba, por la lectura del manuscrito y sus múltiples sugerencias.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AAVV (1997). Monográfico: Lenguaje y comunicación. *Alambique*, 12, pp 5-87.
- ACEVEDO, J.A. (2005). TIMSS Y PISA. Dos proyectos internacionales de evaluación del aprendizaje escolar en ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(3), 282-301. En línea en: <http://www.apac-eureka.org/revista>
- ADURIZ, A. y IZQUIERDO, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista electrónica de Enseñanza de la Ciencias*, 1 (3).
- APPLE, M.W. (1986). *Ideología y currículum*, Madrid: Akal.
- BAIN, K. (2006). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Valencia: Publicaciones de la Universitat de València.
- BARNES, B. (1987). *Sobre Ciencia*. Barcelona: Labor.
- BARNES, B. (Ed.). (1980). *Estudios sobre sociología de la ciencia*. Madrid: Alianza.

- BSCS (Innovative Science Education) & AMA (American Medical Association) (1994). *Genoma Humano. Ciencia, Ética y Política Pública*, Valencia: Edicions Alfons el Magnànim.
- BENARROCH, A. (2001). Interculturalidad y enseñanza de las ciencias, *Alambique*, 29, 9-25.
- CABO, J.M. y ENRIQUE, C. (2004) Hacia un concepto de ciencia intercultural, *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (1), 137-147.
- CAMPANARIO, J. M., MOYA, A. y OTERO, J.C. (2001). Invocaciones y usos inadecuados de la ciencia en la publicidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), 45-56.
- COHEN N. J. & SQUIRE, L. R. (1980). Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia: dissociation of knowing how and knowing that, *Science*, 210 (4466), 207-210.
- CHARPAK, G. y OMNÉS, R. (2005). *Sed sabios y convertíos en profetas*, Barcelona: Anagrama.
- CHI, M.T.H., SLOTTA, J. Y LEEUW, W. (1994). From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4 (1), 27-43.
- DAMASIO A. R. (2001) *El error de Descartes*, Barcelona: Crítica.
- DAMASIO A. R. (2006). El tiempo mental. Temas de *Investigación y ciencia: Memoria y aprendizaje*. 46, 30-38.
- DE VEGA, M. (1985). *Introducción a la psicología cognitiva*, Madrid: Alianza.
- DOBBS, D. (2007). Conocimiento congénito. Temas de *Investigación y ciencia: Desarrollo del cerebro, desarrollo de la mente*. 49, 10-14.
- DRIVER, R., NEWTON, P. y OSBORNE, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms, *Science Education*, 84, 287-312.
- DUIT, R., GROPENGIEßER, H. y KATTMANN, U. (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. En H.Fischer (ed.), *Developing Standards in Research on Science Education*. London: Taylor & Francis Group.
- DUSCHL, R. y HAMILTON R.J. (eds.) (1992). *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice*. Albany: State University of New York Press.
- ECHEVARRÍA, J. (2002). *Ciencia y valores*, Barcelona: Destino.
- EDWARDS, M., GIL, D., VILCHES, A. y PRAIA, J. (2005). La atención a la situación de emergencia planetaria en revistas de didáctica de las ciencias y educación científica. En Pedro Membiela y Yolanda Padilla (Eds.). *Retos y Perspectivas de la enseñanza de las ciencias desde el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad en los inicios del siglo XXI*. Educación Editora.
- ELIAS, C. (2008). *La ciencia estrangulada*. Barcelona: Debate.

APRENDIZAJE Y CAMBIO CONCEPTUAL, PROCEDIMENTAL Y AXIOLÓGICO (II)

- FDEZ-RAÑADA, A. (1995). *Los muchos rostros de la ciencia*. Oviedo: Nobel.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MTNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La Enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria*. Barcelona: Horsori-ICE Universidad de Barcelona.
- GIL, D. & SOLBES, J. (1993). The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science, *International Journal of Science Education*, 15 (3), 255-260.
- GOLDBERG, E. (2006). *La paradoja de la sabiduría*. Barcelona: Crítica.
- GÓMEZ, M. A., POZO, J. I. y GUTIERREZ, M. S. (2004). Enseñando a comprender la naturaleza de la materia, *Educación Química*, 15 (3), 198-210.
- GONZÁLEZ, M. I., LÓPEZ CEREZO, J. A. y LUJÁN J. L. (1996). *Ciencia, Tecnología y Sociedad*, Madrid: Tecnos.
- GUIASOLA, J. y MORENTIN, M. (2005), Museos de ciencias y aprendizaje de las ciencias: una relación compleja. *Alambique*, 43, 58-67.
- GUIASOLA, J., SOLBES, J., BARRAGUÉS, J. I. MORENO, A y MORENTIN, M. (2009). Student' Understanding of the Special Theory of Relativity and Design for a Guided Visit to a Science Museum. *International Journal of Science Education* (en prensa).
- HABERMAS, J. (1992). *Ciencia y técnica como "ideología"*. Tecnos: Madrid.
- HEWSON, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 8 (3), 229-249.
- HODSON, D. (1994). Seeking Directions for Change. The Personalisation and Politisation of Science Education, *Curriculum Studies*, 2 (1), 71-98.
- IZQUIERDO, M., VALLVERDÚ, J., QUINTANILLA, M. y MERINO (2006). Relacion entre la historia y la filosofía de las ciencias II. *Alambique*, 78-91.
- JENSEN, E. (2004). *Cerebro y aprendizaje*. Madrid: Narcea.
- JIMENEZ, M. P., BUGALLO, A. y DUSCHL, R. A. (2000). “Doing the lesson” or “doing Science”: Argument in High School Genetics. *Science Education*, 84, 757-792.
- JIMÉNEZ, M. P. y DÍAZ, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las ciencias*, 21 (3), 359-371.
- KRUGLY-SMOLSKA, E. (1996). Scientific culture, multiculturalism and the science classroom, *Science & Education*, 5, 21-29.
- LATOUR, B, (1992) *Ciencia en Acción*, Barcelona: Labor.
- LINDER, C. J. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*, 74 (5), 571-583.
- LÓPEZ, J. C. (1999). *El taller de la memoria*, Alzira: Bromera.

- LÓPEZ, V. (2004). La física de los juguetes, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), 17-30. En línea en: <http://www-apac-eureka.org/revista>
- MARCUSE, H. (1972). *El hombre unidimensional*, Barcelona: Seix Barral
- MATTHEWS, M. R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las Ciencias *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, 141-155.
- MERTON, R. K. (1980). Los imperativos institucionales de la ciencia. En BARNES, B. (Ed.). *Estudios sobre sociología de la ciencia*, pp 64-79. Alianza: Madrid.
- MORTIMER, E. F. Y SMOLKA, A. L. (ed.) (2003). *Anais do II Encontro Internacional Linguagem, Cultura e Cognição*, Campinas: Facultade de Educaçao de Unicamp.
- MUMFORD, L. (1992). *Técnica y civilización*. Madrid: Alianza.
- OLIVA, J. M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), 93-109.
- OLIVA, J. M. Y ACEVEDO, J. A. (2005). La enseñanza de las ciencias en primaria y secundaria hoy. Algunas propuestas de futuro. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2 (2), 241-250
- OSBORNE, R. (1996). Beyond constructivism. *Science Education*, 80 (1), 53-82.
- PERALES, F. J. y VÍLCHEZ, J. M. (2005). The teaching of physics and cartoons: Can they be interrelated in secondary school? *International Journal of Science Education*, 27 (14), 1647-1670
- PINKER, S. (2000). *Cómo funciona la mente*, Barcelona: Destino.
- PONTES, A. (1999). Utilización del ordenador en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 19, 53-65.
- POZO, J. I. (1992). *Psicología de la comprensión y el aprendizaje de las ciencias, Curso de actualización científica y didáctica*, Madrid: MEC.
- POZO, J. I. y GÓMEZ, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*, Madrid: Morata.
- PRO, A. DE (2005). Presentación de la monografía: la enseñanza no formal de las ciencias. *Alambique*, 43, 5-8.
- PRO, A. DE y EZQUERRA, A. (2005). ¿Qué ciencia ve nuestra sociedad? *Alambique*, 43, 37-49.
- QUINTANILLA, M. A. y SÁNCHEZ RON, J. M. (1997). *Ciencia Tecnología y Sociedad*. Madrid: Santillana.
- RAMÓN y CAJAL, S. (2006). *Recuerdos de mi vida*. Barcelona: Crítica.
- RATEY, J. J. (2003). *El cerebro: manual de instrucciones*, Mondadori: Barcelona.
- REID, D. J. y HODSON, D. (1993). *Ciencia para todos en secundaria*, Madrid: Narcea.
- RUSSELL, J. V. (1999). Using games to teach chemistry. An annotated bibliography, *Journal of Chemical Education*, 76, pp. 481-484;

---

*APRENDIZAJE Y CAMBIO CONCEPTUAL, PROCEDIMENTAL Y AXIOLÓGICO (II)*

---

- ROCARD, M. et al. (2007). *Science education Now: A renewed Pedagogy for the future of Europe*. European Communities: Belgium.  
[http://ec.europa.eu/research/science-society/document\\_library/pdf\\_06/report-rocard-on-science-education\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf)
- SARDÁ, A. y SANMARTÍ, N. (2000). Ensenyar a argumentar científicament: un repte en les classes de ciències. *Enseñanza de las ciencias*, 18 (3), 405-423.
- SANMARTÍ, N. (1997). Enseñar a elaborar textos científicos en las clases de ciencias. *Alambique*, 12, 51-63.
- SANMARTÍ, N. y IZQUIERDO, M. (2001). Cambio y conservación en la enseñanza de las ciencias ante las TIC. *Alambique*, 29, 71-84.
- SOLBES, J. (1999). Los valores en la enseñanza de las ciencias, *Alambique*, 22, 97-109.
- SOLBES, J. (2002). *Les empremtes de la Ciència. Ciència, Tecnologia, Societat: Unes relacions controvertides*. Alzira: Germania.
- SOLBES, J. (2009). Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedural y axiológico (I): resumen del camino avanzado. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6 (1), 2-20. En línea en: <http://www.apac-eureka.org/revista>
- SOLBES, J., LOZANO, O. y GARCÍA, R. (2008). Juegos, juguetes y pequeñas experiencias tecnocientíficos en la enseñanza aprendizaje de la física y química y la tecnología, *Investigación en la escuela*, 65, 71-88.
- SOLBES, J., MONTSERRAT, R. y FURIÓ, C. (2007). El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 21, 91-117.
- SOLBES, J., SOUTO, X., TRAVER, M., JARDÓN, P. y RAMÍREZ, S. (2004). Visión del alumnado de las TIC y sus implicaciones sociales. *Investigación en la Escuela*, 54, 81-93.
- SOLBES, J. y TRAVER, M. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química, *Enseñanza de las ciencias*, 14 (1), 103-112.
- SOLBES, J. y TRAVER, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo la historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas, *Enseñanza de las ciencias*, 19 (1), pp. 151-162.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1995). El profesorado y las actividades CTS, *Alambique*. 3, 30-38
- SOLBES, J. & VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of physics and chemistry. *Science Education*, 81 (4), 377-386.
- TAYLOR, A. P., WILLIAMS, J. P., SARQUIS, J. L. & POTTH, J. (1990), Teaching science with toys: a model program for inservice teacher enhancement, *Journal of Science Teacher Education*, 1(4), 70-73

- TOULMIN, S. (1972). *La comprensión humana: I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*, Madrid: Alianza.
- TOULMIN, S. (2001). *Cosmópolis. El trasfondo de la modernidad*. Barcelona: Península.
- TULVING. E. (1972). Episodic and semantic memory. En E. Tulving and W. Donaldson (comps) *Organization of memory*. New York: Academic Press.
- VALDÉS, P. y VALDÉS, R. (1994). Utilización de los ordenadores en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 12 (3), 412-417.
- VAZQUEZ, A. y MANASSERO, M. A. (2008). El declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes: Un indicador inquietante para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las ciencias*, 5(3), 274-292. En línea en: <http://www.apac-eureka.org/revista>
- VIGOTSKY, L. S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Crítica.
- VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4 (1), 45-69.
- WINNER, L. (1987). *La ballena y el reactor*, Barcelona: Gedisa.
- ZIMAN, J. (2003). Ciencia y sociedad civil. *Revista Iberoamericana de CTS*, 1(1), 177-188.

## **LEARNING DIFFICULTIES AND CONCEPTUAL, METHODOLOGICAL AND AXIOLOGICAL CHANGE (II): NEWS PERSPECTIVES**

### **SUMMARY**

*In this work we will see how the cognitive sciences, the neurosciences, the STS studies, the informal scientific education, etc., offer new possibilities of advance in the field of the concepts, procedures and attitudes learning and we will also see other perspectives that enlarge the usual domain of sciences education. Finally, it is shown how teaching models should have into account these dimensions of sciences learning, to contribute to the solution of the new problems about science education.*

**Key words:** cognitive sciences; neurosciences; STS studies; teaching & learning.