

EL PROBLEMA DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS EN LA ACTUALIDAD (PARTE II). EL CAMBIO DE CONCEPCIONES ALTERNATIVAS

Jaime Carrascosa Alís
IES Cid Campeador. Valencia (España).
jcalis@wanadoo.es

RESUMEN

En un trabajo anterior (Carrascosa, 2005) analizábamos el problema de las ideas alternativas que afectan a diversos campos de la ciencia y apuntábamos algunas causas que pueden explicar el origen y/o la persistencia de las mismas. Cabe plantearse ahora la elaboración de unas estrategias de enseñanza adecuadas para cambiar las ideas alternativas de los estudiantes por aquellas ideas científicas que tratamos de enseñarles.

Palabras claves: *cambio de concepciones, concepciones alternativas, errores conceptuales, obstáculos en el aprendizaje.*

EL APRENDIZAJE COMO CAMBIO CONCEPTUAL

Durante una primera etapa los errores conceptuales cometidos por los alumnos fueron vistos como obstáculos a derribar, algo contra lo que luchar, etc. No obstante pronto se constató el fracaso de la enseñanza habitual para superar el problema (Fredette y Lohead, 1981; Halloun y Hestenes, 1985). Así mismo, el estudio de los errores conceptuales pronto fue desplazado al de las concepciones alternativas que llevan a cometerlos. Los resultados obtenidos mostraron que dichas concepciones no constituyen unas cuantas ideas dispersas sino que en general se hallan integradas en la mente formando verdaderos esquemas conceptuales, dotados de una cierta coherencia interna. Estos esquemas ya no son vistos como errores o como algo negativo, sino como estructuras cognitivas que interaccionan con la información que llega desde el exterior y que juegan un papel esencial en el aprendizaje (Driver, 1986). Se habla así de estrategias diseñadas para cambiar los esquemas conceptuales.

Hewson y Thorley (1989), enumeraban las condiciones que se requieren para conseguir cambios conceptuales. Podemos resumirlas diciendo que cualquier concepción tiene un cierto "estatus" caracterizado por el grado de *inteligibilidad*, *plausibilidad* y *utilidad* con que es percibida por quien la detenta. En el momento en que un alumno considera una concepción nueva, que entra en contradicción con alguna de las que ya tiene, su aceptación plena requiere que el estatus de la nueva crezca mientras que el de la antigua disminuya. Para ello es preciso que las concepciones iniciales sean vistas como inadecuadas, como dificultades que bloquean

un mayor aprendizaje. Una cuestión fundamental es pues, cómo conseguir ese cambio de estatus. Según Hewson, es preciso conocer el grado de estatus que una concepción determinada tiene para el alumno en un momento dado, incluyendo no sólo el contenido que para él tiene esa concepción sino también sus opiniones, sentimientos y actitudes en torno a la misma. Una forma de conseguir esto puede ser a través de entrevistas y diálogos en donde cada uno exprese sus ideas y las comente. Los profesores, según este autor, deberían ser capaces de hacer dos cosas: diagnosticar las concepciones que sus alumnos usan para interpretar los fenómenos y controlar el estatus de las viejas y de las nuevas concepciones. Este control, en una fase posterior, convendría que fuese realizado por los mismos estudiantes.

Driver (1988), propuso un modelo para la enseñanza de las ciencias basado en el cambio conceptual. Se halla estructurado en torno a una secuencia de actividades específicamente elaboradas para conseguir dicho cambio. La secuencia constaba esencialmente de 4 fases:

- *Orientación*: Destinada a despertar la atención y el interés de los alumnos por el tema.
- *Explicitación*: Consiste en la exposición por los alumnos de sus ideas.
- *Reestructuración*: Donde han de modificarse las ideas de los alumnos por medio de diferentes estrategias que pueden incluir el uso combinado de contraejemplos o actividades destinadas a provocar insatisfacción con las propias ideas, modelos, analogías, diseño de experiencias para ayudar a clarificar y diferenciar ideas, etc. Dentro de esta fase se incluye también la inclusión de diversas oportunidades para que los alumnos prueben y apliquen sus concepciones revisadas.
- *Revisión del cambio de ideas*: Se trata de comparar las nuevas ideas con las iniciales.

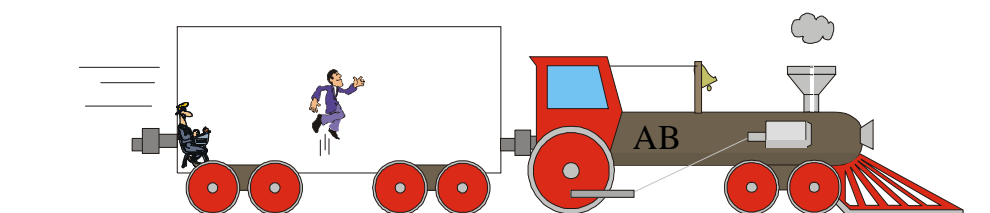
Una cuestión a tener en cuenta es la necesidad de elaborar y de aplicar materiales curriculares concretos a través de los cuales los profesores puedan desarrollar estrategias de cambio conceptual a lo largo del curso, ya que exceptuando algunos casos como el *Children's Learning in Science Project* (Citado en Driver, 1988), los ejemplos a los que referirse no son muy abundantes. Como señalaba Millar (1989):

"Muchos profesores están persuadidos del valor de conocer cuales son las ideas previas de sus alumnos en una cierta área de conocimiento, o sobre la necesidad de conocer los instrumentos adecuados para que ellos mismos las expongan, etc. Pero no están tan seguros acerca de cómo deben de actuar ellos una vez conocido todo esto, cuando están enseñando a más de 25 alumnos"

Las estrategias de cambio conceptual propuestas por Driver fueron posteriormente usadas por otros investigadores para introducir en ellas algunos cambios y para hacer sus propias propuestas al respecto. No obstante, cuando se han intentado llevar a la práctica, incorporándolas al proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, suele ocurrir que los resultados no son tan buenos como en principio cabía esperar, ya que el cambio conceptual conseguido es en algunos casos ilusorio o poco duradero, como lo

demuestra el hecho de que poco tiempo después del “tratamiento” los alumnos vuelvan a cometer los mismos errores conceptuales que al principio. Este fenómeno se detecta especialmente cuando se plantean preguntas en las que están involucrados los mismos conceptos científicos pero en contextos o situaciones diferentes a las que se usaron en el tratamiento. A continuación se intenta aclarar lo que estamos diciendo mediante el estudio de un ejemplo concreto.

1ª) Una persona se encuentra en el centro de un vagón de tren que se mueve sobre una vía recta con movimiento uniforme y a gran velocidad. Otro pasajero ve que, en un instante dado, da un salto vertical y hacia arriba. ¿En qué zona del vagón caerá?



a) En el mismo lugar que estaba. b) Más adelante de donde estaba. c) Más atrás de donde estaba

Como es lógico la respuesta correcta a la cuestión anterior es que, en las condiciones que se especifican en el enunciado, la persona caería siempre en el mismo sitio del suelo del vagón donde inició el salto ya que su velocidad horizontal respecto de la vía no se ve alterada por el movimiento vertical respecto del suelo del vagón. No obstante, algunas personas (sobre todo niños), piensan que al perder contacto con el tren el pasajero deja de avanzar inmediatamente, por lo que caerá retrasado respecto del lugar del vagón donde inició el salto (tanto más cuanto más alto salte y más rápido se mueva el tren). Se trata de una idea intuitiva coherente con el esquema conceptual de fuerza como causa del movimiento (de la velocidad) tomando el propio espacio como sistema de referencia en reposo absoluto. La misma idea hace pensar que cuando se suelta un objeto desde un avión en pleno vuelo, dicho objeto quedará retrasado respecto del movimiento horizontal del avión. El razonamiento consiste esencialmente en pensar que perder contacto implica que cesa la fuerza que “lo mantiene en movimiento” y, por tanto, cesa inmediatamente ese movimiento según la horizontal.

Es posible utilizar estos ejemplos del tren o del avión junto con estrategias de enseñanza basadas en el cambio conceptual y pensar que los alumnos, finalmente, admiten que el movimiento rectilíneo y uniforme es un estado tan natural como pueda ser el reposo y que, cuando el pasajero salta hacia arriba desde el centro del vagón, no por ello pierde ni modifica de ninguna manera la velocidad horizontal que llevaba. Sin embargo, también es posible que cuando posteriormente proponemos una cuestión como la que se expone a continuación (Carrascosa y Gíl, 1992), nos veamos obligados a revisar esa conclusión.

2ª) Tres estudiantes van corriendo en línea recta uno detrás de otro. En un instante dado ven que el que va delante lanza una bola verticalmente hacia arriba. ¿De qué dependerá el que ésta sea recogida por uno u otro?



A la pregunta anterior se puede responder aceptablemente de diversas formas. Así, por ejemplo, se puede decir que dependerá del rozamiento con el aire o de si alguno o algunos de los corredores cambian de velocidad, pero también es posible volver a cometer un error conceptual reflejo de una idea alternativa que se creía ya superada. Nos referimos concretamente a quienes afirman que el que la bola sea recogida por uno u otro corredor dependerá de cosas como: "la fuerza con que se lance la bola", "la altura que alcance", el tiempo que permanezca en el aire, etc. Este tipo de respuestas revela que la idea alternativa de fuerza como causa del movimiento todavía sigue vigente, no ha evolucionado de forma efectiva hacia el concepto newtoniano de fuerza según el cual, si se considera el rozamiento con el aire despreciable, no cambiará la componente horizontal de la velocidad de la bola por lo que, independientemente de la velocidad inicial con que se lance, siempre será recogida por el estudiante que la lanzó (si mantienen la velocidad a la que corren constante). El problema planteado en este tipo de cuestiones fue históricamente uno de los argumentos esgrimidos en contra de la Teoría Heliocéntrica de Copérnico, cuando sus detractores afirmaban que, si fuese cierto que la Tierra se mueve alrededor del Sol, cuando dejásemos caer una piedra desde lo alto de una torre, debería caer retrasada respecto de su base.

Esta dificultad para cambiar ciertas ideas alternativas de los estudiantes, incluso aun cuando se utilizan estrategias de enseñanza orientadas explícitamente al cambio conceptual, ha sido denunciada reiteradamente por distintos autores desde hace ya mucho tiempo (Happs, 1985; citado en Hewson y Thorley, 1989), (Engel y Driver, 1986), (White y Gunstone, 1989) y lo sigue siendo en la actualidad (Campanario y Otero 2000, Pérez y Solbes 2003). Las dificultades encontradas muestran la necesidad de profundizar en el modelo de aprendizaje de las ciencias teniendo en cuenta otros aspectos además de la existencia de ideas alternativas.

EL APRENDIZAJE COMO CAMBIO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

Sabemos que algunas preconcepciones de nuestros alumnos (caída de graves, naturaleza y comportamiento de los gases, concepto de fuerza, origen de ciertos seres vivos, etc.), recuerdan a ciertas ideas que se dieron a lo largo de determinados periodos de la historia de la ciencia. Este paralelismo, puesto de manifiesto reiteradamente por diversos autores, tiene importantes consecuencias didácticas.

En primer lugar, estaría la necesidad de conocer los esquemas conceptuales de los alumnos y diseñar estrategias eficaces para modificarlos, modificación que en algunos casos, al igual que ocurrió con el cambio de paradigma Aristotélico-Escolástico por el Newtoniano (salvando las distancias), resultará difícil y precisará tiempo. Desde este punto de vista, promover el cambio conceptual implicaría situar al estudiante en una nueva y más productiva situación paradigmática (Millar, 1989). En segundo lugar, podemos intentar profundizar un poco más y plantearnos a qué se debe el paralelismo citado y cómo pudo realizarse el cambio de paradigma. Se trata esta de una cuestión que presenta un gran interés ya que no solo puede suministrar una valiosa información acerca del origen de las concepciones alternativas, sino que además puede ser de gran utilidad a la hora de diseñar estrategias adecuadas para conseguir cambios conceptuales más profundos y duraderos.

El hecho de que nuestros alumnos tengan ideas semejantes a las concepciones Aristotélico-Escolásticas, no puede ser en modo alguno fruto de la casualidad, sino que debe responder a causas similares. Estas causas hay que buscarlas, fundamentalmente, en la tendencia a extraer conclusiones precipitadas, hacer generalizaciones acríticas basándose en observaciones meramente cualitativas, realizar análisis superficiales, etc. Es decir, en lo que hemos denominado "metodología de la superficialidad" o "metodología del sentido común". Es precisamente esta metodología la que lleva a Aristóteles a escribir textualmente que:

"Un peso dado cubre una distancia en un tiempo dado, un peso mayor cubre la misma distancia en menos tiempo estando los tiempos en proporción inversa a los pesos. Así si un peso es doble que otro, invertirá la mitad de tiempo en un movimiento dado".

La misma metodología es la que conduce a nuestros alumnos a pensar, análogamente, que los cuerpos cuanto más pesados más aprisa caen o que los gases no pesan, que los cuerpos se mueven siempre en la dirección de la fuerza resultante, que las plantas por la noche respiran al contrario que por el día, etc. Lo esencial, pues, no es que algunas ideas intuitivas de los alumnos tengan un cierto parecido con otras que se dieron históricamente, sino que la metodología que está en el origen de ambas se asemeje.

Esta reflexión tiene una importancia crucial ya que permite profundizar y avanzar en el estudio de las concepciones alternativas. En efecto, no debe olvidarse que las ideas presentes en la física "del sentido común" estuvieron vigentes durante siglos y sólo pudieron ser superadas cuando se produjo un cambio metodológico que vino a superar las evidencias aparentes, introduciendo una forma de pensamiento a la vez más creativa y rigurosa. Una metodología que obligaba a imaginar nuevas posibilidades a título de hipótesis (poniendo en cuestión lo que se daba por obvio), a someter estas hipótesis a su contrastación empírica en condiciones controladas, a analizar cuidadosamente los resultados, etc., es decir, cuando comenzó a aplicarse una forma de trabajo que hoy calificaríamos como metodología científica (Gil y Carrascosa, 1985, 1990).

Históricamente, el cambio a que nos hemos referido en el párrafo anterior no fue en absoluto fácil y es lógico pensar que lo mismo ocurra con nuestros alumnos:

solamente si son puestos reiteradamente en situación de aplicar esta metodología (es decir, en situación de plantearse problemas de interés, construir hipótesis, diseñar experimentos, realizarlos y analizar cuidadosamente los resultados, con una atención particular a la coherencia global, etc.) será posible que superen su metodología del sentido común al tiempo que se producen los profundos cambios conceptuales que exige la construcción del conocimiento científico.

La metodología del sentido común se basa en la utilización del pensamiento ordinario. Dicha forma de pensamiento puede ser útil en la mayoría de las situaciones cotidianas pero lo es muy poco para el aprendizaje de los conocimientos científicos. Cuando se utiliza para el aprendizaje de las ciencias se pueden constatar, entre otras, las siguientes características:

- Tendencia a contestar rápidamente, a dar respuestas precipitadas sin analizar el problema realizando una reflexión previa sobre aquello que se pregunta; considerando las distintas variables que intervienen y cómo pueden influir, los conocimientos relacionados con la cuestión, etc.
- Comparar magnitudes distintas. Dicha comparación apoya la existencia de posibles ideas alternativas, así, por ejemplo, si se maneja la idea de fuerza como causa de la velocidad, es habitual que un alumno ante un lanzamiento vertical y hacia arriba razone que subirá si la velocidad inicial con que se lanza es mayor que el peso; o si se maneja la idea de que la presión es una fuerza, se afirme (como se hace en un libro de texto) que un esquiador no se hunde en la nieve porque ... al repartirse el peso en los esquís la presión que ejerce sobre la nieve es menor que el peso.
- Un formulismo y operativismo extremos al intentar resolver problemas, que lleva a buscar fórmulas en las que estén representados los datos y la incógnita, sin plantearse el campo de validez de la misma, realizando cálculos inmediatamente sin plantearse siquiera la posibilidad de un resolución literal y con el fin de llegar a un resultado numérico lo antes posible. Así, por ejemplo, es conocido por muchos profesores el hecho de utilizar la expresión $v = e/t$ en situaciones muy diversas (incluso en movimiento armónico simple). Ello lleva también a no analizar los resultados numéricos y quedar impasible ante conclusiones tales como que una molécula de agua tiene una masa de 18 g o que una persona para combatir la acidez de estómago ha de ingerir diariamente 100 litros de una disolución de hidróxido de aluminio, etc.
- Tendencia a relacionar magnitudes mediante reglas de tres (proporcionalidad directa) en cualquier situación. Es común, por ejemplo, razonar que si un móvil que va a 50 km/h frena con una fuerza constante y consigue pararse en 5 metros, cuando vaya a 100 km/h y frene igual, lo hará en 10 m, cuando sabemos que en este caso no existe una proporcionalidad directa y que lo que ocurrirá es que precisará no doble sino cuatro veces más distancia para pararse.

- Atribuir propiedades anímicas a sistemas que no pueden tenerlas. En el lenguaje cotidiano es frecuente, por ejemplo, afirmar que un coche va con mucha fuerza (por va muy rápido). La propia enseñanza de las ciencias contribuye a ello cuando se manejan acríticamente expresiones tales como "tendencia a adquirir estructura electrónica de gas noble", "apetencia por electrones", "resistencia a cambiar de movimiento", etc.
- Razonamiento local y secuencial. Por ejemplo ignorar la reestructuración que se produce en un circuito eléctrico ante cualquier modificación y pensar que un cambio en un punto del circuito de corriente continua afectará sólo a ese punto y a los posteriores (en el sentido de la corriente). (Pontes y De Pro, 2001).
- Conformarse con explicaciones parciales sin plantearse la búsqueda de coherencia entre lo que se obtiene o se afirma al contestar un problema o una pregunta y el cuerpo de conocimientos teóricos de que se dispone.

Por otra parte, la metodología del sentido común se ve reforzada también por las ideas simplistas existentes respecto a la naturaleza de la ciencia, las características del trabajo científico y los propios científicos (Fernández et al., 2002). En efecto, si un alumno o incluso un profesor de ciencias, piensa que la ciencia se basa en la observación pura y neutral y que en ella no tienen cabida las especulaciones, que la imaginación y la creatividad son cualidades típicas de los artistas pero no de los científicos, que existe un método científico a modo de una serie de pasos a seguir en un orden determinado, etc., la metodología que utilice para aprender o para enseñar ciencias será muy diferente que la que utilizaría si tuviese unas ideas más acordes con las concepciones epistemológicas actuales.

Las consideraciones anteriores permiten comprender que no sea fácil cambiar lo que hemos llamado metodología del sentido común por otra metodología más coherente con la metodología científica.

Una posible explicación de por qué algunas ideas alternativas son tan difíciles de cambiar y de que, a pesar de aplicar en clase estrategias de cambio conceptual, no se consigan cambios más efectivos, sin que los alumnos reviertan al poco tiempo a ideas espontáneas que se creían ya superadas, podría residir en el hecho de que tales modelos de enseñanza no estuviesen convenientemente diseñados para producir el imprescindible cambio metodológico que para ello se requiere. Con ello no estamos afirmando que los modelos de cambio conceptual se reducen únicamente a cambios en el contenido de los conceptos, sino que en dichos modelos no se presta realmente al cambio metodológico la atención necesaria. Pensemos a este respecto que no basta hablar de cambio conceptual para que se tengan en cuenta las exigencias metodológicas y epistemológicas que éste comporta. Por el contrario, cabe temer que, sin una insistencia muy explícita y fundamentada, las actividades más creativas del trabajo científico como la invención de hipótesis, la elaboración de diseños experimentales, el análisis crítico de resultados, la búsqueda de coherencia global, etc., continuarán prácticamente ausentes de las clases de ciencias.

El cambio metodológico es un proceso complejo que contiene toda una serie de dificultades. Lo que hoy denominamos como metodología científica supuso históricamente un cambio drástico en la forma de abordar los problemas, una verdadera revolución. De la misma forma el desarrollo de una metodología similar en los alumnos tampoco puede considerarse como un proceso natural. Por el contrario supone una ruptura -necesaria pero difícil- con hábitos de pensamiento muy enraizados, fruto de la forma común (y ordinariamente efectiva) de abordar e interpretar las situaciones de la vida cotidiana.

Por otra parte conviene llamar la atención sobre la necesidad de plantear la familiarización con la metodología científica como un objetivo explícito pero no autónomo, sino íntimamente ligado a la adquisición de conocimientos (Coll, 1987). Sin cambio metodológico no puede haber cambio conceptual pero las investigaciones científicas se suelen realizar dentro del marco de paradigmas teóricos que juegan un papel muy importante desde el inicio hasta el término de las mismas. Análogamente, sin una atención a los contenidos o con tratamientos puntuales y desconexos de los mismos, la metodología científica queda desvirtuada, no es tal (Gil, 1986).

La historia de la Ciencia contiene numerosos ejemplos en donde se muestra que una teoría científica nunca desaparece del todo hasta que no se dispone de otra que la pueda sustituir con ventaja. Dentro de una teoría, los conceptos científicos tienen inicialmente el carácter de hipótesis y no se definen arbitrariamente sino que responden a alguna necesidad. Sólo su funcionamiento correcto, el que no lleven a contradicciones al ser utilizados en situaciones diversas, etc., dará finalmente cuenta de su validez. Paralelamente, los cambios conceptuales efectivos en los alumnos, exigen la construcción de cuerpos globales y coherentes de conocimientos. No se pueden plantear cambios puntuales y desconexos. Así por ejemplo es posible aplicar estrategias de cambio conceptual para modificar la creencia de los alumnos de que existe una relación inversamente proporcional entre la duración de la caída desde una cierta altura y la masa de los cuerpos. Se les puede someter a situaciones de *conflicto cognoscitivo*, e incluso hacer que emitan hipótesis, diseñen y realicen experimentos, etc., acerca del problema. Sin embargo es probable que si lo único que se estudia de mecánica es la caída de graves, el cambio conceptual sea tan solo aparente. En efecto, una de las causas de la preconcepción citada sobre la caída de graves, es que para muchos alumnos doble fuerza implica doble velocidad y por lo tanto mitad de tiempo. Así pues, mientras no sean capaces de entender y manejar aceptablemente el concepto newtoniano de fuerza, difícilmente podrá afirmarse que han conseguido un cambio conceptual efectivo en relación al tema de la caída de graves. Naturalmente entender y manejar aceptablemente el concepto de fuerza (y en general cualquier otro), implica hacerlo dentro de un cuerpo global y coherente de conocimientos (en este caso la mecánica), dándose cuenta de la potencia de los nuevos conceptos, cuando estos son utilizados para enfrentarse con éxito a muchas de las situaciones novedosas que puedan plantearse (White y Gunstone, 1989). En definitiva pues, se trata de conciliar el énfasis que se pone para que en la enseñanza se tengan en cuenta las ideas de sentido común de los alumnos, con el hecho de que la Ciencia está organizada en torno a cuerpos de conocimientos.

A veces puede dar la impresión de que el cambio conceptual se centra sistemáticamente en escoger como contenidos del currículum un conjunto de conceptos en donde los alumnos tengan preconcepciones 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.

El proceso anterior presenta serios inconvenientes y quizás uno de los más importantes sería el de su carácter artificial, que puede llegar a producir en los alumnos que lo sufren actitudes de cansancio y de rechazo al verse forzados de forma sistemática -sin que en principio vean una razón para ello- a exponer cuales son sus ideas de partida, para que luego resulte que éstas (como se encarga de mostrar el profesor), son casi siempre equivocadas. Se trata pues de una estrategia cuando menos "perversa". ¿Qué sentido tiene hacer que los alumnos expliciten y afiancen sus ideas para seguidamente cuestionarlas? ¿Cómo no ver en ello un artificio que aleja la situación de lo que constituye la construcción de conocimientos? 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 y trata de resolverlo científicamente, en general ha de emitir unas hipótesis, elaborar unas estrategias de resolución, etc., y analizar cuidadosamente los resultados. Es precisamente en este proceso, adecuadamente impulsado y orientado por el profesor, cuando pueden aparecer (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.

Finalmente es preciso resaltar que la familiarización de los alumnos con la metodología científica, no puede resolverse de manera parcelada. 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.

¿Qué criterios deberíamos de tener en cuenta a la hora de decidir si un alumno ha conseguido o no, avanzar de forma significativa en el objetivo de conseguir un determinado cambio conceptual? La cuestión no es obvia puesto que en muchos casos no resulta complicado diseñar cuestiones o actividades problemáticas relacionadas con un tema, de forma que por mucho que se sepa sobre el mismo, al tratar de contestar se cometa algún error conceptual importante. Piénsese, por ejemplo, en la siguiente cuestión:

¿Por qué las moléculas de los gases que forman el aire no se "caen" al suelo con la aceleración de la gravedad, como lo hacen el resto de los cuerpos cuando se sueltan desde una cierta altura?

Para nosotros, lo que permitiría afirmar que un alumno ha progresado sustancialmente en la consecución de un cambio conceptual dado, no estaría sólo en el hecho de que dicho alumno contestara correctamente la mayoría de las cuestiones sencillas que se le planteasen sobre el tema, sino también, y fundamentalmente, en que cuando se enfrente a una situación nueva que es problemática para él y que de entrada desconoce, proceda a una reflexión detenida respecto a lo que se plantea a la luz de los conocimientos teóricos pertinentes, y construya una respuesta aceptable dentro del marco de dichos conocimientos o bien si, después de varios intentos serios, no lo consigue, concluya que de momento no encuentra una solución que le satisfaga, pero -y esto es lo esencial- no revierta (como lo harían otros) a formas de pensamiento espontáneas, que le lleven a dar respuestas rápidas y seguras, basadas en generalizaciones acríticas, aparentes evidencias de "sentido común", etc. Así, en la cuestión propuesta es posible que muchos alumnos no sepan responderla. Pero si han "progresado adecuadamente", no encontraremos explicaciones del tipo: porque los gases no pesan o porque no tienen masa.

Por otra parte, el cambio conceptual y metodológico en un campo determinado se trata de un proceso indefinido. Esto no supone que sea algo vago, con unas características poco claras, sino que más bien consiste en un proceso que -coherentemente con la infinita complejidad de la materia- no termina nunca, en el que siempre es posible encontrar un problema nuevo que no pueda explicarse a través de nuestros conocimientos anteriores y nos obligue a modificaciones más o menos profundas de éstos. Sin embargo también hemos insistido que el aprendizaje de la Ciencia ha de hacerse mediante la construcción de cuerpos globales y coherentes de conocimientos. Los alumnos a través de un proceso largo, han de cambiar, por ejemplo, sus esquemas conceptuales iniciales sobre mecánica por otros más acordes con las ideas newtonianas. Pero el proceso no se detiene ahí y es muy posible que más adelante tengan que hacer algo similar cuando comiencen a estudiar la física moderna. (Pérez y Solbes, 2003).

LA INTRODUCCIÓN DE CONCEPTOS

Las estrategias de enseñanza que acabamos de describir forman parte de un modelo de enseñanza coherente con las características esenciales de la investigación científica el cual se puede esquematizar de acuerdo con el siguiente proceso (Gil-Pérez et al. 1999).

1. *Plantear situaciones problemáticas* que, teniendo en cuenta las ideas, visión del mundo, destrezas y actitudes de los estudiantes, puedan *generar interés* proporcionen una concepción preliminar de la tarea a realizar.
2. Proponer el *estudio cualitativo de las situaciones problemáticas* planteadas y la toma de decisiones, con la ayuda de las necesarias búsquedas bibliográficas, para acotar problemas precisos (oportunidad para que los estudiantes comiencen a hacer explícitas de manera funcional, sus ideas previas, acertadas o no, y sus formas de pensamiento).

3. *Orientar hacia el tratamiento científico de los problemas planteados* (cambio metodológico) lo que conlleva, entre otros aspectos:

La *construcción de conceptos y de hipótesis*, lo que implica la utilización de las ideas que cada uno tenga en ese momento para elaborar definiciones, proponer expresiones operativas o realizar predicciones.

El *diseño de posibles estrategias de resolución* (incluyendo, en su caso, diseños experimentales) para la contrastación de las hipótesis a la luz del cuerpo de conocimientos de que se dispone.

La *resolución propiamente dicha y el análisis de los resultados*, cotejándolos con los obtenidos por otros grupos de alumnos y por la comunidad científica. Ello puede convertirse en ocasión de *conflicto entre distintas concepciones*, tomadas todas ellas como hipótesis, y obligar a considerar otras hipótesis diferentes a las que se tenían inicialmente.

4. Plantear el manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones, para hacer posible la *profundización y afianzamiento* de los mismos, poniendo un énfasis especial en las relaciones existentes entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente, que tengan que ver con los conocimientos considerados (propiciando a este respecto, la toma de decisiones). *Proponer actividades específicamente diseñadas para detectar la permanencia de posibles ideas alternativas*, comparando las respuestas con las que podrían darse si dichas ideas no hubieran sido ya cambiadas (favorecer la autoestima al darse cuenta del progreso alcanzado en el aprendizaje).

5. Diseñar los contenidos a desarrollar y su secuenciación, de manera que permitan mostrar el carácter de *cuerpo coherente de conocimientos* que tiene toda ciencia. Favorecer, en particular la resolución de problemas concretos mediante estrategias diferentes (lo que permite darse cuenta de la validez de los conceptos manejados) y la elaboración de modelos teóricos (modelo cinético-corpúscular, modelos atómicos, modelo ondulatorio, etc.) analizando su funcionamiento para explicar toda una serie de hechos, predecir otros nuevos y también los cambios que pueden experimentar (su evolución), desarrollando así una imagen más dinámica de la ciencia.

6. Proponer actividades de *síntesis* (esquemas, memorias, mapas conceptuales...), la elaboración de *productos* (susceptibles de romper con planteamientos excesivamente "escolares" y de reforzar el interés por la tarea) y favorecer el planteamiento de *nuevos problemas* de interés siguiendo el hilo conductor establecido.

El proceso a que nos hemos referido no puede quedarse en unas orientaciones teóricas generales. Es preciso ir más allá y plantearse la elaboración de unidades didácticas o temas concretos que cubran el programa de un curso académico y cuyos contenidos se desarrollen de acuerdo con las características anteriores, llenando así ese gran vacío que, desafortunadamente, se da entre los resultados de la investigación didáctica y la existencia de materiales de trabajo para el aula. Es en ese contexto y no en otro en el que se puede analizar realmente en qué medida se producen los cambios conceptuales y metodológicos más o menos efectivos en nuestros alumnos.

Cuando se trata de elaborar un tema (unidad) de ciencias para desarrollarlo en clase con nuestros alumnos, de acuerdo con lo visto hasta aquí, conviene tener en cuenta toda una serie de aspectos concretos en el momento de introducir un concepto nuevo. Entre dichos aspectos podemos referirnos a los siguientes:

- Evitar la introducción arbitraria de los conceptos científicos. Por el contrario conviene siempre que sea posible, tratar de hacer ver su necesidad, para lo cual el planteamiento de actividades problemáticas de interés en donde los conceptos vayan a ser utilizados, tiene un papel fundamental.
- No realizar definiciones operativas de entrada (como por ejemplo aquella que comienza definiendo el trabajo como el producto de la fuerza por el desplazamiento). Conviene utilizar primeramente definiciones e introducciones cualitativas, aunque al principio sean simples aproximaciones, que posteriormente se vayan precisando y finalmente se traduzcan en expresiones o relaciones de carácter operativo.
- Tener en cuenta la necesidad de que los alumnos manejen los conceptos introducidos en situaciones diversas, ya que precisamente será el hecho de que funcionen correctamente en la resolución de diferentes problemas, lo que permitirá comprender su utilidad en la construcción de cuerpos globales y coherentes de conocimientos, que es lo que les confiere validez en cada momento.
- Justificar las expresiones operativas que se van a utilizar de forma que los alumnos no tengan la sensación de que las definiciones se establecen porque sí. En este sentido es importante recurrir a plantear actividades en donde los alumnos tengan que analizar una definición operativa determinada, como por ejemplo la de densidad como cociente entre masa y volumen, comparándola con otras alternativas (como podría ser el producto masa por volumen o el cociente entre volumen y masa), lo que obliga a centrarse en la forma en que influyen en cada caso las magnitudes consideradas.
- Otra cuestión importante es resaltar el campo de validez de cada una de las expresiones operativas introducidas. Así por ejemplo, el concepto de trabajo definido operativamente como fuerza por desplazamiento tiene un campo de validez muy delimitado (fuerza constante, tangente a la trayectoria y del mismo sentido que el desplazamiento). O la conocida expresión $v=e/t$ (válida únicamente en movimientos uniformes en los que e_0 y t_0 valgan cero). Es preciso insistir en este razonamiento cada vez que se manejen expresiones de este tipo, saliendo al paso de la tendencia de los alumnos a hacer generalizaciones que utilizan en todos los casos.
- Referirse al significado físico de las unidades de medida utilizadas, huyendo de definiciones meramente operativas como: "El julio es el newton por metro" y dar otras con más sentido físico como por ejemplo "Cuando una fuerza constante de un newton actúa sobre un objeto a lo largo de un metro de recorrido, con la misma dirección y sentido en que se desplaza el objeto, decimos que dicha fuerza ha realizado un trabajo de un julio".

- Apoyar, siempre que sea posible, las unidades que se manejen, con sensaciones físicas o ejemplos ilustrativos adecuados, que hagan notar a los alumnos si se trata de unidades grandes o pequeñas (en relación a determinadas medidas de las más usuales a las que ellos puedan referirse o tener acceso). Así por ejemplo es posible que pocos sepan cómo de grande es un julio de trabajo, pero posiblemente si lo sabrían si en la clase hacen estimaciones sobre la cantidad de julios que suponen la realización de determinados trabajos sencillos, como levantar a un compañero, subir unas escaleras, elevar un metro el borrador, etc.
- Considerar el significado físico de determinadas constantes que aparecen en diferentes expresiones básicas, como por ejemplo $F=m \cdot a$; $\Delta e = v \cdot \Delta t$; $V=I \cdot R$; $F = GMm/r^2$, etc. Ello constituye un excelente instrumento para comprender mejor algunos conceptos y debería de ser una práctica habitual en la enseñanza. Así, por ejemplo, en la definición operativa del concepto de fuerza como una magnitud directamente proporcional a la aceleración según $\vec{f} = m \cdot \vec{a}$ podemos preguntarnos acerca de cuál es el significado físico de la constante m de proporcionalidad, pidiendo a los alumnos que consideren lo que supondría que para un cuerpo dado m tuviese un valor muy grande o muy pequeño y lo mismo podría hacerse con R en $R=V/I$, etc.
- Se ha dicho también que, fundamentalmente, lo que confiere validez y aceptación a los conceptos científicos, es su buen funcionamiento dentro del marco teórico vigente. Esto, entre otras cosas, supone que dichos conceptos continuamente se están probando y utilizando en diferentes situaciones. Consecuentemente, un criterio a seguir sería dar prioridad a los conceptos claves que se utilizan frecuentemente en distintas situaciones, frente a la introducción esporádica de otros conceptos que luego no vayan a ser utilizados.
- Respecto a la necesidad de que el profesor conozca las *concepciones alternativas* de sus alumnos y las tenga en cuenta, se trata de un aspecto fundamental al que es preciso conceder la necesaria atención, proponiendo actividades problemáticas en donde los alumnos tengan que emitir hipótesis (al emitir hipótesis han de hacer uso de sus ideas sean o no equivocadas), utilizando adecuadamente la historia de la Ciencia (llena de ejemplos en donde se muestra el surgimiento y evolución de determinados conceptos), haciendo algún comentario crítico respecto al significado que en lenguaje cotidiano se da a determinados conceptos científicos, proponiendo el análisis crítico de cuestiones y ejemplos en los que se cometen errores conceptuales, etc.
- Antes de introducir conceptos (y en general nuevos conocimientos), tener en cuenta los prerrequisitos de todo tipo (contenidos propiamente dichos, habilidades matemáticas, etc.) que fundamentalmente se precisan para que los alumnos puedan trabajar con éxito y en caso de ausencias notables en la generalidad de la clase, dedicar el tiempo necesario para solucionar el problema, ya que dar por supuesto que el alumno posee todos los conocimientos básicos pertinentes antes de comenzar algo, aduciendo que ya se vieron anteriormente es una práctica que no suele dar buenos resultados.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En este trabajo se han analizado algunas propuestas metodológicas para tratar el problema que supone, para el aprendizaje de las ciencias, la existencia de ideas alternativas que afectan a conceptos científicos fundamentales. Ello nos ha llevado a plantear un modelo de enseñanza y aprendizaje de las ciencias basado en el cambio conceptual y metodológico.

También se ha mostrado la necesidad de que estas propuestas no se limiten a unas orientaciones más o menos fundamentadas sino que se traduzcan en materiales de trabajo adecuados para el aula, es decir: que se plasmen en los temas de que consta un curso de física y/o química y que se experimenten y se evalúen los resultados.

Es pues necesario un esfuerzo por acercar las propuestas innovadoras surgidas de la investigación didáctica a la práctica diaria del aula que es donde, en definitiva, se van a poder evaluar sus virtualidades y limitaciones.

En el caso de los errores conceptuales, a menudo se utilizan cuestiones que se pasan a los alumnos en un momento dado como una forma de averiguar si han superado o no determinadas ideas alternativas. No obstante, es posible también otra estrategia: utilizar los errores conceptuales existentes en cómics, prensa escrita, novelas y libros de texto, como materiales de trabajo para que los alumnos (o mejor los alumnos distribuidos en pequeños grupos) los analicen críticamente, tal y como intentaremos mostrar en un próximo trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPANARIO, J.M. y OTERO, J.C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 18(2), pp. 155-169
- CARRASCOSA, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que las originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), pp. 183-208. En línea en: http://www.apac-eureka.org/revista/Volumen2/Numero_2_2/Vol_2_Num_2.htm.
- COLL, C. (1987). *Psicología y Currículo*. Barcelona: Laia.
- DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), pp. 3-15.
- DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), pp. 109-120.
- ENGEL, E. y DRIVER, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70(4), pp. 473-496.
- FERNÁNDEZ, I., GÍL-PÉREZ, D., CARRASCOSA J, et al. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*. 20(3), pp. 477-488

- FREDETTE, N. y LOCHHEAD, J. (1981). Students conceptions of electric current. *The Physics Teacher*, 18, pp. 194-198.
- GIL, D. (1986). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), pp. 111-121.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1985). Science Learning as a Conceptual and Methodological Change. *European Journal of Science Education*, 7(3), pp. 231-236.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1990). What to do about science misconceptions? *Science Education*. 74(5), p531-540.
- GIL D, CARRASCOSA J FURIO C y MTNEZ-TORREGROSA J, 1991, *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.
- GIL-PÉREZ, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ, J., GUIASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS, A., GOFFARD, M. y PESSOA A. M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 311-320.
- HALLOUN, I.A. y HESTENES, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Science Education*, 7(3), pp. 231-236.
- HEWSON, P.W. y THORLEY, N.R. (1989). The conditions of conceptual change. *International Journal Science Education*. 11, special issue, pp. 541-553.
- MILLAR, R. y DRIVER, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, pp. 33-62.
- PÉREZ, H. y SOLBES, J. (2003). Algunos problemas de la enseñanza de la relatividad. *Enseñanza de las ciencias*, 21(1), pp. 135-146
- PONTES, A. y DE PRO A. (2001). Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre electrocinética: consecuencias para la enseñanza y formación de profesores. *Enseñanza de las ciencias*, 19(1), pp. 103-121.
- WHITE, T.R. y GUNSTONE, F.R. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal Science Education*, 11, pp. 577-586.