

v)

0

ENSEÑANZA - APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

COMO CAMBIO CONCEPTUAL Y METODOLOGICO

Carlos J. Furió Más
I.C.E. de la Universidad
Literaria de Valencia

"ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO CAMBIO CONCEPTUAL Y METODOLOGICO"

Carlos J. FURIO MAS, I.C.E. de la Universidad de Valencia

INTRODUCCION

Un síntoma de que la enseñanza actual de las ciencias "no funciona" es fácil de observar haciendo una valoración cualitativa del proceso de aprendizaje de cualquier nivel educativo que tenga como objetivo comprobar en qué grado se ha conseguido una asimilación de los conceptos o de los principios elementales de las teorías físicas o químicas que se supone se tenían que haber aprendido a lo largo de la historia discente de cualquier ciudadano. Y no digamos si esta evaluación se llevara a efecto sobre el logro conseguido en la realización de las prácticas de laboratorio o en la resolución de problemas presentados a nuestros alumnos, incluso inmediatamente después de haber recibido las oportunas lecciones sobre la temática encuestada.

Ante tales resultados se impone una reflexión, un análisis sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje. Pero, definamos previamente el problema para entrar en su análisis. Vamos a suponer como indica Reif (1983) el aprendizaje como un proceso químico de transformación cognoscitiva del alumno que debe pasar de un estado inicial con sus esquemas conceptuales previos a otro estado final que, por lo menos, implique la asimilación de un cuerpo coherente de conocimientos físico-químicos próximo al estatus teórico de la Física y de la Química del siglo XIX (es decir, del paradigma clásico de las teorías físico-químicas sin entrar en el corpus teórico moderno del siglo XX). Si esta fuera nuestra base de partida, y ante los resultados decepcionantes de aquella evaluación nos vemos en la obligación de discutir y, en su caso modificar los objetivos y el contenido de los currícula en la enseñanza de las ciencias, así como los métodos habitualmente seguido en éstas enseñanzas, teniendo como guías los conocimientos y la comprensión de la historia de la ciencia y las nuevas corrientes de la epistemología y de la filosofía de la ciencia.

Así pues, el objetivo de este estudio consistirá, en esencia, en abrir ciertas perspectivas para incidir en un cambio necesario si queremos obtener un aprendizaje significativo de las enseñanzas que impartimos. Ello nos llevará a proponer modificaciones en la forma ha-

bitual de enseñar ciencia ya que no estamos satisfechos de "nuestra producción docente". Este cambio que vamos a proponer, en lo que se refiere al profesorado ha de ser profundamente metodológico, al propio tiempo que en el alumnado será conceptual y metodológico y, lógicamente, debe tener presentes los resultados de la investigación educativa y, más en concreto, la investigación didáctica de las disciplinas científicas.

Pasemos, pues, a mostrar en primer lugar cual es el resultado de la enseñanza habitual de las ciencias, a través de un problema registrado en la bibliografía didáctica. Me refiero al problema de los errores conceptuales observados en el alumnado, problema íntimamente ligado a la introducción de los conceptos científicos.

1. EL APRENDIZAJE ACTUAL DE LAS CIENCIAS: LOS ERRORES CONCEPTUALES

La frase "aprendizaje significativo" en la enseñanza de las ciencias es un tópico manejado en el terreno psicológico sin que, en realidad, tenga mucho que ver con nuestra realidad escolar. Prueba de ello lo encontramos con solo plantear algunos ítems sobre aspectos cualitativos, pero fundamentales, de conceptos físicos o químicos tales como la caída de los cuerpos, el concepto de fuerza newtoniano, el del calor, etc... o principios básicos como el de acción y reacción, el de conservación de la masa en las reacciones químicas, etc... a un número suficiente de alumnos para darnos cuenta de la gravedad de este problema. Así, por ejemplo, en recientes trabajos llevados a cabo por miembros del Seminario Permanente de Física y Química del ICE de la Universidad de Valencia sobre los aspectos indicados se han obtenido resultados que parecen reforzar esta presentación pesimista de nuestra tarea como enseñantes.

En el cuadro 1 (Carrascosa y Gil, 1982) pueden observarse los porcentajes de respuestas equivocadas a tres cuestiones cualitativas planteadas a alumnos de enseñanza media y universitaria sobre la caída de graves que se adjuntan debajo del cuadro.

CUADRO 1 : CAIDA DE GRAVES

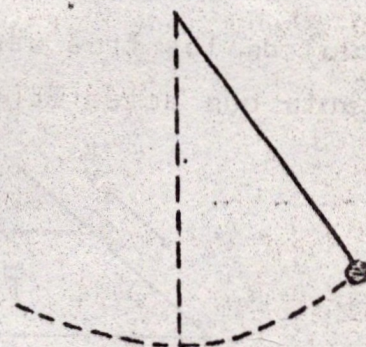
% de respuestas equivocadas

CURSO	Nº RESPUES.	1ª	2ª	3ª	TODAS MAL	ALGUNAS O TODAS MAL
2º BUP	196	73.7 sd (3.1)	83.7 (2.6)	78.2 (2.8)	63.7 (3.4)	97.6 (1.1)
3º BUP	213	70.4 (3.1)	82.6 (2.6)	73.7 (3.0)	55.9 (3.4)	93.4 (1.7)
C.O.U.	181	54.7 (3.7)	65.7 (3.5)	67.9 (3.5)	37.5 (3.6)	88.8 (2.3)
MAGISTERIO	145	66.1 (3.9)	67.8 (3.9)	75.2 (3.6)	47.5 (4.1)	87.6 (2.7)
2º QUIMICAS	140	39.3 (4.1)	66.4 (4.0)	50.0 (4.2)	25.0 (3.7)	79.3 (3.4)

1ª Se deja caer un cuerpo desde una cierta altura y tarda un segundo en llegar al suelo. ¿Cuánto tiempo tardará en caer otro de doble masa dejado caer desde la misma altura?

2ª En el esquema adjunto se ha representado un péndulo simple. Indicar si cabe suponer si el período depende o no de cada uno de los siguientes factores:

- la longitud del hilo.
- la masa del cuerpo.
- el valor de la gravedad.



3ª Se lanza verticalmente un objeto hacia arriba, alcanzando una altura de 6m. ¿Qué altura alcanzará otro cuerpo lanzado con la misma velocidad, si su masa es la mitad que la del primero?

Otro tanto se incluye en el cuadro II relativo al índice de equivocación cuando se les encuesta sobre la influencia de la concepción de la fuerza como "causa del movimiento", enunciado ya famoso en Aristóteles y que todavía está presente en los actuales alumnos.

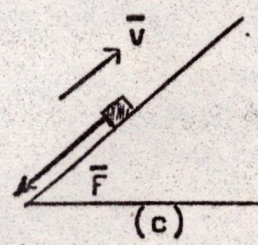
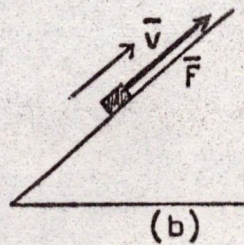
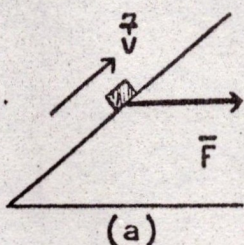
CUADRO 2: CONCEPTO DE FUERZA

% de respuestas equivocadas

CURSO	Nº RESPUES.	1ª	2ª	3ª	TODAS MAL	ALGUNAS O TODAS MAL
2º BUP	196	80.8	69.7	98.0	49.5	100
	Sd(2.4)	Sd(2.4)	(3.2)	(1.0)	(3.6)	(-)
3º BUP	213	89.6	61.5	97.7	52.1	99.5
		(2.1)	(3.7)	(1.0)	(3.4)	(0.8)
C.O.U.	181	79.5	54.7	89.5	50.3	97.8
		(3.0)	(3.7)	(2.3)	(3.7)	(1.1)
MAGISTERIO	145	81.4	71.7	98.7	60.0	100
		(3.2)	(3.7)	(1.4)	(4.1)	(-)
2º QUIMICAS	140	73.5	68.6	90.7	52.9	95.1
		(3.7)	(3.9)	(2.5)	(4.2)	(1.8)

1ª Las observaciones más comunes muestran que para que un cuerpo permanezca en movimiento, es necesario que una fuerza esté actuando sobre él, de forma que si cesa la fuerza, el cuerpo se para. Estas observaciones se deben interpretar correctamente, diciendo que las fuerzas son la causa de

2ª Un cuerpo lanzado hacia arriba por un plano inclinado. Indicar cual de los tres esquemas representa correctamente la fuerza resultante que actúa sobre el mismo, mientras asciende:



3ª Señalar verdadero o falso en las siguientes proposiciones:

- Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o si la fuerza resultante es nula, deberá de estar en reposo.
- El movimiento de un cuerpo siempre tiene lugar en la dirección de la fuerza resultante.
- Si en un instante la velocidad de un cuerpo es nula. La fuerza resultante en ese mismo instante también lo será.

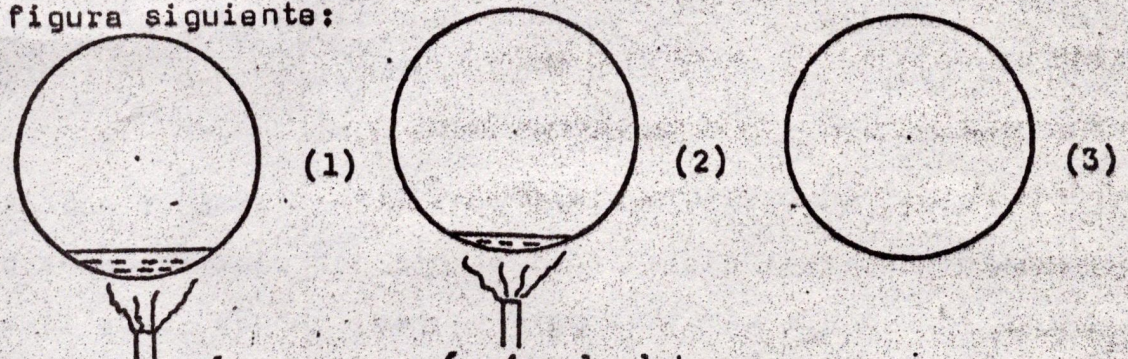
Análogos resultados encontramos al preguntar a los alumnos de E.G.B. y de B.U.P. respecto de la conservación de la masa en aquellos procesos físicos o químicos donde intervienen gases y en que hay una desaparición perceptible de materia como por ejemplo en una vaporización o en una combustión como puede apreciarse en el cuadro 3º (Furió y Hernandez, 1984).

CUADRO 3º: CONSERVACION DEL PESO EN UN PROCESO EN QUE INTERVIENEN GASES

% de respuestas equivocadas

	7ºEGB n=294	8ºEGB n=236	1ºBUP n=250	2ºBUP n=301	3ºBUP n=209	COU n=199
Conservación del peso en la vaporización de agua	91	90	79	71	58	54
Conservación del peso en la combustión del papel	78	76	77	67	46	44

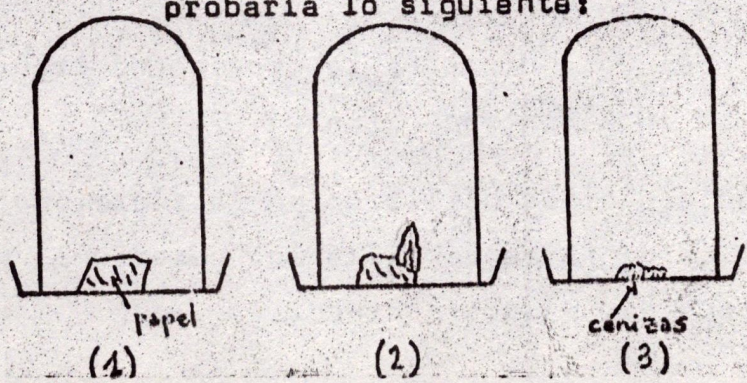
1. Supongamos que calentamos una cantidad de líquido en un balón de vidrio cerrado hasta que se evapore totalmente, como indica la figura siguiente:



Indicar en qué caso pesará más el globo:

-En el caso 1:; -En el caso 2:; -En el caso 3:
-Otra respuesta:

2. En la figura 1 se ha puesto un papel dentro de una campana, después se le prende fuego al papel (fig. 2) hasta que se obtienen sus cenizas (fig.3). Si se hubiera pesado todo (la campana, el plato y la sustancia) en cada uno de los tres casos, se comprobaría lo siguiente:



-El caso 1 sería el de mayor peso:
-El caso 2 sería el de mayor peso:
-El caso 3 sería el de mayor peso:
-Otra respuesta:

Este problema de los mal llamados "errores conceptuales" está más extendido de lo que suponemos, pues, incluso en libros de texto autorizados por el M.E.C. podemos leer de forma explícita muchos de estos razonamientos espontáneos como por ejemplo:

- LA FUERZA COMO CAUSA DEL MOVIMIENTO
- EL CALOR COMO UNA FORMA DE LA ENERGIA

o implícitamente en figuras o dibujos que presentan móviles girando sobre los cuales están aplicadas simultáneamente las fuerzas centrípeta y centrífuga, evidentemente para que se encuentren en equilibrio y así se pueda considerar sin decirlo, al igual que pensaban los griegos, que el movimiento circular es perfecto como todos los supralunares.

Los estudios sobre errores conceptuales han proliferado en la literatura didáctica y para ello no hay más que ver las selecciones bibliográficas publicadas recientemente en las revistas "Enseñanza de las Ciencias" (Carrascosa, 1983) o "Science Education" (Osborne y Wittrock, 1983). En la actualidad constituye este problema un campo de investigación didáctica asumida por la comunidad científica internacional.

Pero, nuestra cuestión fundamental es: ¿por qué ocurre esto después de haber pasado el adolescente por unos estudios primarios y secundarios donde efectivamente se han tratado estas temas? ¿a qué se deben estos alarmantes resultados en el dominio de la enseñanza de las ciencias?

Como cita Helm (1980) la existencia y persistencia de los denominados errores conceptuales no nos estarán indicando algo acerca de nuestros métodos de enseñanza?. Para entrar, pues, en la fase de emisión de hipótesis respecto a las causas de este problema es necesario hacer una breve reflexión respecto del proceso de enseñanza-aprendizaje centrandonos en:

- el alumno, sujeto al cual va dedicado este proceso de transformación que citabamos en la introducción y
- el modo de interacción didáctica utilizado en la clase, lo que nos conducirá a analizar de forma sencilla los paradigmas de enseñanza más utilizados por el profesorado.

2. NECESIDAD DE CONSIDERAR LAS IDEAS INICIALES DEL ALUMNADO EN UNA NUEVA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La persistencia de los errores conceptuales en el alumnado obliga a una reconsideración de las hipótesis, consciente o inconscientemente, manejadas por el profesorado en relación con las ideas previas o el conocimiento anterior del alumnado. Las dos hipótesis más ampliamente aceptadas son, en concreto:

- aquella que considera la mente del alumno como una "tabla rasa" donde se sedimentará el discurso del profesor, es decir, que da por sentada la hegemonía de la ciencia del profesor en la clase y, por consiguiente, como el alumno carece de ideas al respecto, quedará impresionada su mente por los conceptos y principios que aporta la autoridad científica sin discusión alguna,
- otra hipótesis también muy generalizada es la presunción de que en determinados dominios el estudiantado ya tiene asimiladas, por ser muy "sencillas", ciertas ideas o concepciones de forma correcta como, por ejemplo, el carácter material de los gases y su estructura interna.

Los resultados expuestos anteriormente implican la falsación de estas hipótesis y no solamente en los campos reseñados. Aquellos nos indican que un defecto básico a corregir con vistas a una didáctica científicamente fundamentada, consiste en no tener en cuenta los conocimientos previos del alumnado. Es decir, éste nos llega ya con un conjunto de esquemas conceptuales que algunos autores (Gilbert, Osborne y Fensham, 1982) (Hewson y Hewson, 1981) titulan un verdadero cuerpo de conocimientos o paradigma conceptual discente que está fuertemente enraizado en las vivencias personales y que, por ello, va a ser hegemónico sobre lo que el profesor explica o dice en clase, contrariamente a lo que se supone. De tal manera que pueden coexistir los dos edificios conceptuales en el alumno sin producir conflicto cognoscitivo, ahora bien, en situaciones espontáneas los alumnos razonan con el primitivo cuerpo teórico. Estamos aquí de acuerdo con el principal principio enunciado por la psicología cognitiva, representada en Ausubel (1978) cuando en su famosa obra "Psicología educativa: un punto de vista cognitivo", dice así: "Si tuviera que resumir en un solo principio toda la psicología cognitiva diría lo siguiente: averigüese lo que el

alumno ya sabe y actúese en consecuencia". El mismo autor explica que la condición necesaria para una verdadera asimilación de un concepto exige su integración en las estructuras cognoscitivas ya existentes en el alumnado. Es, pues, indispensable para el profesor conocer o estar preparado para conocer los preconceptos o esquemas conceptuales de los estudiantes cuando van a clase.

Pero ¿cuales son, en general, estas ideas previas tan difíciles de desarraigar con las que nos vamos a encontrar en un grupo de clase? Sería, por nuestra parte, una pretensión inaudita tratar de contestar axiomáticamente a esta cuestión, ahora bien existe toda una potente línea de investigación psicológica al respecto que puede orientarnos en este controvertido asunto, me refiero a la hipótesis principal manejada por la escuela de Epistemología genética, cuyo máximo representante es Piaget y sus colaboradores (1975). Según esta hipótesis, se acepta, de forma general, la existencia de un isomorfismo entre el desarrollo de las funciones cognitivas en el niño y la evolución de los conocimientos científicos a lo largo de la historia de la humanidad. Así por ejemplo ha quedado demostrado que el niño pasa de un egocentrismo absoluto en su primera etapa de la vida, donde no reconoce ni siquiera la permanencia de los objetos, hasta una descentración relativista donde ya admite los puntos de vista de un conversador opuesto, en la etapa de las operaciones formales. ^(De manera paralela y) A grosso modo es conocido que el hombre, en su interpretación del mundo físico, pasó de un antropocentrismo absoluto donde es el ser alrededor del cual gira el universo, hasta una aceptación de la relatividad general donde no se admite el carácter absoluto del espacio y del tiempo (claro está que dentro de la comunidad científica). Sin embargo, entre la comunidad escolar encontraremos interpretaciones físicas pasadas como las ideas aristotélico-escolásticas en el caso de las ciencias y, más en concreto, las relativas a la interpretación mecánica del comportamiento de la materia. Por ello no es de extrañar que, a pesar de haber estudiado la cinemática en clase, sigan afirmando que los sólidos tardan menos tiempo en caer cuanto más masa tengan, ya que su tendencia natural es ir hacia la tierra y cuanto más masa tengan, mayor será esta tendencia gobernada por su fuerza o motor interior. De aquí se deduce, lógicamente, que "la fuerza será la causa del movimiento de los cuerpos" y cuando lleguen a su lugar natural -si no hay otro motor más poderoso-

quedarán en reposo dejando de actuar el motor interior. Ello explica muchos de los resultados encontrados, hoy en día, en nuestras clases. También se justifican los hallados en el caso de la conservación de la masa en aquellos procesos físico-químicos en que intervienen gases. En efecto, es conocida la diferenciación aristotélica entre sólidos, líquidos y gases que es interpretada por la mayor o menor composición de los cuatro elementos infralunares (tierra, agua, aire y fuego) (Aristóteles, 1963). Así se explica la ligereza de los gases que deben ocupar una posición por encima del agua y por debajo del fuego y, en consecuencia, los gases deben subir hacia arriba, de manera que "no pesarán" frente a los sólidos o líquidos, y este resultado lo encontraremos en nuestros alumnos de química que no aceptarán mayoritariamente el principio de conservación de la masa en los procesos o transformaciones físico-químicas cuando desaparezca la materia corpórea (sólidos y líquidos), perceptible, convirtiéndose en gases (Furió y Hernández, 1983). No es de extrañar que en la bibliografía reciente/aparezcan sólo un 20% de alumnos de 15 años que manejan ^{correctamente} la teoría cinética de gases (Driver, 1984) o que el 50% de alumnos entrevistados sobre la transformación de agua líquida en vapor, manifiesten que las burbujas observadas en el interior del agua sean de "aire" (Osborne y Cosgrove, 1983). Todo ello no significa tener que aceptar la tesis piagetiana al pie de la letra, dado que, en general, las preconcepciones de los alumnos no son únicas, ni siquiera en el mismo alumno, pero será una sugerente guía que permitirá el planteamiento del problema de la investigación sobre las ideas iniciales del alumnado por el propio profesorado.

En resumen, en una enseñanza de las ciencias que pretenda transformar las ideas precientíficas de los adolescentes, deberá considerar en primer lugar cuales son aquellas preconcepciones, valorandolas como un cuerpo teórico de conocimientos que interpreta de forma coherente, a veces, pero superficial el mundo que le rodea y al que habrá que provocar contradicciones para llegar a ser sustituido por el cuerpo teórico aceptado por la ciencia actual.

Pero ¿cómo llevar a efecto esta ruptura epistemológica o revolución copernicana, por otra parte, tan difícil de conseguir? Esto nos lleva a plantear el segundo punto que citaba antes: los paradigmas utilizados más frecuentemente en la enseñanza de las ciencias y su imposibilidad en conseguirlo (Gil, 1983).

3. PARADIGMAS USADOS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Analicemos en primer lugar el modo de enseñar más comúnmente aceptado por el profesorado: la transmisión verbal de conocimientos elaborados.

Los defensores de la transmisión verbal de conocimientos, entre los que se cuentan eminentes *investigadores* como el ya citado Ausubel y Novak, presentan como argumento, cuya solidez es innegable, que en el proceso de interacción didáctica es fundamental la presentación ordenada, coherente y jerárquica del cuerpo organizado de conocimientos a transmitir y que el único que puede realizarla es el profesor, ya que sólo él domina este corpus teórico. Aunque podemos estar de acuerdo en lo esencial de este punto de vista, no lo estamos en los roles principales que corresponden al profesor y al alumnado y no lo estamos por las consecuencias prácticas que se derivan de un tal tipo de interacción didáctica, en la que existe una presentación vertical de la ciencia en forma cerrada, sin debate interno, sin dudas en sus planteamientos que genera, como es lógico, una actitud pasiva en el estudiante, que se siente ajeno a las explicaciones del profesor por mucho que tenga en cuenta sus ideas en la exposición de la temática. Si se admite con Piaget (1970) que la base del conocimiento no es la percepción, no es el conocimiento sensorial, sino la actividad del sujeto, no podemos renunciar a la participación activa del alumnado en la clase, debemos dejar que el propio alumno explore sus puntos de vista (Driver, 1981) y favorecer la reconstrucción parcial pero básica de la ciencia para que el aprendizaje resulte significativo. Se puede argumentar que en una clase expositiva puede haber una recepción activa por el alumno, pero la experiencia nos enseña que no pasarán de 2 o 3 alumnos en una clase de 40, lo que la convierte prácticamente en ineficaz.

este estilo de enseñanza. Por otra parte, los aspectos clave de la enseñanza de las ciencias experimentales tales como la realización de prácticas de laboratorio y la resolución de problemas están planteadas de forma coherente como meros apéndices de este cuerpo organizado y transmitido como teoría. Es decir, como una comprobación de lo que se está indicando en la clase teórica en el caso de las prácticas (Gil y Payá, 1982) y como ejercicios de aplicación en el caso de los problemas (Gil y Martínez, 1984) que vienen en definitiva, a ilustrar lo que afirma la teoría.

Como reacción a este estilo de enseñanza surgió la enseñanza como investigación autónoma del alumnado, que tuvo históricamente su nacimiento en la Conferencia Nacional Americana celebrada en Woods Hole (1959) en cuyo informe Bruner (Cronbach, 1961) resalta la necesidad de huir de la presentación de la ciencia como acabada, se rechaza la enseñanza como aprendizaje de una estructura concebida como agregado de principios y habilidades separadas y se habla de enseñar al alumno a "pensar como un científico". Se inicia un proceso en el que se pierde el interés por los contenidos, centrándolo en el proceso metodológico. Se había llegado a la siguiente conclusión: "el aprendizaje debe basarse en la enseñanza del método científico", cuyo corolario más inmediato supone la acusación a la educación, entonces actual, de su decantación hacia el proceso de enseñar una ciencia verificada, cuando en realidad se debía plantear el proceso por el cual se llegan a las conclusiones, a los principios, etc... La motivación se conseguirá dejando que el alumno como "nuevo científico" practique autonomamente el método científico. A partir de aquí surgieron numerosos proyectos de enseñanza conocidos (PSSC, CBA, CHEM, IPS, etc...) que pretendían conseguir este objetivo en la educación, por supuesto hay que reseñar toda la política de apoyo a estos proyectos derivada, en esencia, de la competitividad científico-técnica con el bloque soviético, pues no hay que olvidar que en 1957 se había lanzado el primer sputnik.

Posteriormente y ante los escasos resultados obtenidos se realizó una crítica muy aguda por los psicólogos partidarios del paradigma de transmisión verbal de conocimientos ya elaborados (Ausubel, 1978) que inclinaron de nuevo la balanza hacia la clase expositiva y de ahí que esta filosofía de enseñanza de las ciencias sea predominante en los nuevos proyectos americanos como el Reception Learning Paradigm de Miller y Novak (1979) o el Verbal Style de Houston (1975).

Como tercer paradigma de enseñanza de las ciencias en el que nos incluimos tenemos la enseñanza por investigación dirigida o por descubrimiento guiado que trata de conjugar la participación activa del alumno con la adquisición de un cuerpo organizado de conocimientos y con un aprendizaje de la metodología científica, dirigido por el profesor. Ahora bien, hace falta que discutamos, aunque sea muy brevemente, la significación de la frase "metodología científica" por las implica-

caciones didácticas a que puedan conducir según sea esta clarificación. Si por método científico entendemos el seguimiento de un conjunto de reglas que nos lleven inexorablemente a la solución de los problemas, como se ha pretendido desde la década de los 60, estaremos en el camino equivocado. Posteriormente ha surgido suficiente literatura que nos indica cuales son las características esenciales de las construcciones científicas (Bunge, 1972) (Nagel y Cohen, 1973) (Hempel, 1976) entre las cuales destacaremos fundamentalmente aquellas que tienen mas relación con nuestra práctica docente (Gil, 1983):

-el punto de partida de cualquier investigación es el cuerpo teórico existente en aquel momento, es decir, en palabras de Kuhn (1971), la ciencia normal aceptada por la comunidad científica en un tiempo histórico que genera un conjunto de problemas y que conducirá, cuando tal cúmulo de problemas no sea resuelto, a la ruptura epistemológica (revolución científica), a una crisis de crecimiento de la que saldrá un nuevo corpus que tendrá como propiedad la de inclusión de la antigua teoría (p.e. la mecánica relativista) o el rechazo de la misma (p.e. la teoría del flogisto). Es digno de destacar la asombrosa generalización entre el profesorado de que una investigación comienza por una fase de observación de datos recogidos o la búsqueda de regularidades de las cuales se inferirán las leyes o principios. Por ello no es raro observar la expropilación de este punto de vista filosófico en nuestras clases, citamos como caso típico la presentación de tablas de datos de concentraciones de sustancias que participan en una reacción para que el alumno redescubra la ley del equilibrio químico. Este es un punto de vista empirista e inductivista de la ciencia que trasciende a la práctica docente como han señalado muchos autores (Driver y Easley, 1978) (Giordan, 1978).

-la otra circunstancia que tratamos de resaltar es la sacralización que se hace del experimento como motor fundamental de la metodología científica. Esta supervaloración del experimento hace relegar a segundo plano aspectos más esenciales como la emisión de hipótesis -generalmente fundamentada en el cuerpo teórico de partida- así como el propio diseño experimental para contrastarla. Es cierto que no puede despreciarse la reali-

zación del experimento, en cuyo análisis de resultados se confirmará o no la hipótesis emitida, pero también lo es que el procedimiento por el que avanza la ciencia, en palabras de Hempel, es el método de las hipótesis. Es decir, el experimento, siendo necesario, es un paso más dentro de las etapas de verificación o falsación de las hipótesis.

En definitiva, si se desea el aprendizaje de la metodología científica se habrá de facilitar la participación del alumno, mejor trabajando en pequeños grupos de discusión, no ya solo para explorar su conocimiento inicial que queremos transformar sino que habrá que facilitar en el proceso didáctico, la emisión de hipótesis y el diseño experimental como etapas previas a la realización del experimento y sólo cuando este experimento tenga un sentido de verificación para el alumnado, será cuando estará reconstruyendo o redescubriendo la ciencia.

4. HACIA UNA NUEVA TEORIA DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS COMO CAMBIO CONCEPTUAL Y METODOLOGICO

Las disquisiciones anteriores conducen a un nuevo planteamiento del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual que hace pocos años viene siendo explicitado en trabajos de investigación didáctica de estas disciplinas (Hewson, 1981) (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982) (Strike y Posner, 1982).

En efecto, frente al punto de vista empirista de Locke y Hume con su hipótesis de la tabla rasa, hace falta concebir el aprendizaje como un proceso de cambio conceptual, en el sentido de admitir una existencia de una física infantil o una física del adolescente que será el estado inicial del alumno que indicábamos. Si se supone que este paradigma conceptual discante, extraído de sus vivencias anteriores, interpreta el mundo que le rodea de forma superficial y que está profundamente enraizado en la cultura popular y que constituye un verdadero cuerpo organizado de conocimientos, se comprenderá la dificultad de producir tal cambio en el sentido de aproximarle, al menos, al paradigma clásico como cuerpo coherente alternativo de conocimientos que explica con mayor profundidad la realidad. Para efectuar tal cambio conceptual es preciso echar mano de la historia y de las nuevas corrientes de la filosofía de la ciencia para presentar en el terreno pedagógico

gico las incoherencias de la física precientífica, planteando actividades de conflicto cognoscitivo que hagan ver las insuficiencias de aquel edificio teórico. Será necesaria la presentación de la nueva concepción del mundo de forma inteligible y verosímil, haciendo ver las ventajas de la misma.

Pero todo ello no basta y no basta por que este cambio conceptual debe ir necesariamente acompañado de un cambio metodológico (Gil, 1984) cuando se abundan situaciones de aprendizaje. En efecto, si aceptamos el paradigma de enseñanza que se basa en el paralelismo entre el desarrollo cognitivo del alumno y el de la historia de la ciencia, podemos fácilmente extraer que el cambio que hizo posible el paso de la física aristotélico-escolástica a la física clásica fué un cambio metodológico junto, por supuesto, con el cambio de marco epistémico (Piaget y García, 1982). Es decir, la presentación de nuevos problemas que no resolvía el edificio teórico manejado engendró nuevas formas de abordar estos problemas. En efecto, el derrumbamiento de la física escolástica y el paso a la clásica solo fué posible venciendo la tendencia a extraer de forma acrítica generalizaciones de observaciones cualitativas o de experimentaciones no controladas. No en balde a este cuerpo teórico aristotélico se le califica de "física del sentido común".

Las consecuencias didácticas de esta lección histórica significan la aplicación, en nuestras clases, de aspectos clave de la metodología científica desafortunadamente relegados como se ha indicado anteriormente debido a una concepción empirista e inductivista del método científico del profesorado. Favoreciendo en la clase el pensamiento divergente a través de la emisión de hipótesis, del diseño experimental, del análisis crítico y riguroso de los resultados encontrados, etc... se conseguirá eliminar en los alumnos los hábitos, claramente asumidos, de extraer conclusiones de forma precipitada e irreflexiva que es antagónica con un pensamiento científico. Bajo esta perspectiva hay que reconsiderar críticamente como se realizan las prácticas de laboratorio así como la resolución de problemas, pues tienen que servir también para efectuar este cambio metodológico. Es decir, la realización de los trabajos prácticos y la resolución de problemas tienen que ser ocasión para la práctica de la metodología científica en clase. Ello, supone, evidentemente, una redefinición de la actividad experimental,

diferenciandola de la actividad manipulativa en el caso de las prácticas así como una definición del problema que no es, obviamente, el de ejercicio de aplicación, sino el de un verdadero problema del que se desconoce la solución. En este sentido, hemos intentado y realizado la traducción tanto de las prácticas (Calatayud, Furió et al, 1980) (Calatayud, Gil et al, 1980) como de los problemas (Gil y Mtez. Torregrosa, 1983) en el sentido de aproximarnos a la consecución de este cambio metodológico que es necesario para el cambio conceptual.

Las orientaciones de esta nueva enseñanza concebida como cambio conceptual y metodológico tiene implicaciones en la elaboración y desarrollo de los currícula del alumnado de Enseñanza Media a los que queremos referirnos brevemente para concluir. En este campo y preocupados por combatir una enseñanza que utiliza la metodología de la superficialidad realizamos una investigación (Carrascosa, Furió y Gil, 1984) con objeto de fundamentar unos criterios que sirvieran para elaborar un curriculum de Física y Química para los estudios medios. Se procedió a analizar las aportaciones de la investigación didáctica semejantes a las aquí presentadas y se sometió a consulta al profesorado un cuestionario con diferentes opciones que tienen que ver con los diferentes paradigmas de enseñanza presentados. Los resultados encontrados han mostrado una clara discriminación entre las diferentes opciones y una concordancia con las implicaciones de la investigación didáctica, así como la conveniencia de orientar la enseñanza como cambio conceptual y metodológico. De manera que los criterios que deberían presidir la elaboración de un curriculum serían:

-El rechazo de los habituales currícula inabordables, completamente obligatorios que condicionan al profesorado a centrarse en los contenidos de forma superficial y a olvidar los aspectos metodológicos. Por el contrario, se antepone la profundización a la extensión, eligiendo la idea de un curriculum organizado alrededor de un núcleo o "core" como se viene proponiendo recientemente en Inglaterra. Además este curriculum debe tener un carácter cíclico sobre todo para los temas fundamentales con vistas a un afianzamiento y profundización de aquel edificio teórico mínimo.

-En segundo lugar se opta por un curriculum que conjugue una verdadera aplicación de la metodología científica junto con una adquisición de un cuerpo coherente de conocimientos. Se rechaza el paradigma

de enseñanza basado en la transmisión/recepción de conocimientos ya elaborados, así como el descubrimiento inductivo y autónomo, defendiéndose el papel del profesor como organizador del aprendizaje y director del trabajo de investigación del alumnado.

Este proceso de aprendizaje-enseñanza tiene que ser organizado como proceso de cambio conceptual y metodológico, teniendo en cuenta tanto los esquemas conceptuales del alumnado como los hábitos adquiridos que conducen a interpretaciones superficiales. Se resalta el papel de la historia de las ciencias en contra de una visión ahistórica y acumulativa. Hace falta, a nuestro entender, "humanizar" las enseñanzas de las ciencias en el sentido de introducir nuevos aspectos que hasta ahora no se reconocen a nivel oficial como sus dimensiones históricas, sociológicas, tecnológicas, etc... que favorezcan una actitud positiva hacia la ciencia y su aprendizaje.

En resumen se postula un curriculum flexible -solo sería obligatorio un núcleo básico- con predominio de la profundidad sobre la extensión que valore los aspectos metodológicos junto con la adquisición de un cuerpo coherente de conocimientos. En este curriculum debe tenerse en cuenta los esquemas conceptuales del alumnado como estado inicial a transformar mediante el consiguiente cambio que se ajuste en cierta manera a las grandes revoluciones científicas. El desarrollo concreto de este curriculum basado en los criterios mencionados supone establecer en qué debe consistir el "core" obligatorio de manera que el profesorado pueda elegir opcionalmente otros aspectos que considere convenientes según su conocimiento del medio escolar. Ahora bien, este núcleo debería incluir explícitamente los aspectos clave metodológicos evitando que se reduzca, como es habitual, a un simple temario de contenidos.

5. CONCLUSIONES

Las aportaciones de la investigación didáctica en el campo de la enseñanza de las ciencias presentadas nos muestran la existencia de un fracaso generalizado en cuanto a la transformación de las ideas previas del alumnado, incluso aquél que ha pasado sucesivamente por largos períodos de discencia. Este es, precisamente, un dominio de la investigación didáctica en el que hay que implicar al profesorado para efec-

tuar un salto cualitativo en la enseñanza de las ciencias (Tyler, 1979).

Hemos tratado de mostrar la necesidad de un nuevo enfoque del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias que tenga en cuenta las ideas iniciales del alumnado con el fin de conseguir el conveniente cambio conceptual que debe ir íntimamente ligado con un profundo cambio metodológico, análogamente a como han tenido lugar las revoluciones científicas en la historia de la ciencia. Este cambio metodológico implica una calificación previa de las características esenciales de la metodología científica entre el profesorado con el fin de su aplicación en el terreno pedagógico y, al propio tiempo, la conversión de la clase receptiva/expositiva en una clase en pequeños grupos de investigación, orientada y dirigida por el profesorado.

También se ha propuesto una enseñanza de las ciencias basada en la presentación de un curriculum flexible (solo sería obligatorio un "core") que contenga un cuerpo básico y coherente de conocimientos, junto con el desarrollo del aprendizaje de la metodología científica donde se destaquen aspectos esenciales como la emisión de hipótesis, el diseño experimental, el análisis de resultados, etc... Un curriculum que tenga en cuenta la historia de la ciencia, no para repetirla sino para crear situaciones de aprendizaje próximas a un verdadero clima de investigación, rechazándose una investigación autónoma, incidental e inductiva. En consecuencia, se propugna una enseñanza por investigación dirigida en forma de pequeños grupos donde se debatan, discutan y critiquen los problemas de interpretación física de la realidad, a través de actividades preparadas por el profesorado. No debe olvidarse la inclusión en el curriculum de las componentes sociológicas, tecnológicas, y humanísticas de la ciencia en este trabajo si queremos conectar con los intereses del alumnado y así provocar lo que hoy, por desgracia, no logramos: una actitud positiva de nuestros alumnos hacia la ciencia y el estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARISTOTELES (1973)

"Obras. Física" (Aguilar S.A.: Madrid)

AUSUBEL D.P. (1978)

"Psicología educativa. Un punto de vista cognitivo"

(Trillas: México)

BUNGE M. (1972)

"La investigación científica" (Ariel: Barcelona)

CALATAYUD M.L., FURIO C. et al. (1980)

"Trabajos prácticos de Química como pequeñas investigaciones"
(I.C.E. de la Universidad de Valencia: Valencia)

CALATAYUD M.L., GIL D. et al. (1980)

"Trabajos prácticos de Física como pequeñas investigaciones"
(I.C.E. de la Universidad de Valencia: Valencia).

CARRASCOSA J. (1983)

"Los errores conceptuales en la enseñanza de las Ciencias: Selección bibliográfica" (Enseñanza de las Ciencias, 1,1, 63-65)

CARRASCOSA J., FURIO C. y GIL D. (1983)

"Criterios para el establecimiento de un curriculum de Física y Química en el Bachillerato" (Comunicación presentada en el I Congreso de los Movimientos de Renovación Pedagógica, Barcelona, diciembre de 1983).

CARRASCOSA J. y GIL D. (1982)

"Los errores conceptuales en la enseñanza de la Física. I. Un estudio de su persistencia" (1ª Jornadas de Investigación didáctica de Física y Química en el Bachillerato, Valencia)

COHEN M.R. y NAGEL E. (1972)

"Introducción a la lógica y al método científico" (Amorrortu: Buenos Aires).

CRONBACH L.J. (1961)

(Documento presentado en la Conferencia Nacional sobre Experiment. Curricular, Minesota).

DRIVER R. (1981)

"Pupils' Alternative Frameworks in Science"
(Eur. J. of Sci. Educ., V.3, No. 1, 93-101)

DRIVER R. (1984)

"An approach to documenting the understanding of 15 years old British children about the particulate theory of matter" (an Research on Physics Education: proceedings of the first international workshop, La Londe les Maures, 1983).

DRIVER R. y EASLEY J. (1978)

"Pupils and Paradigms" (Studies in Science Educ., 5, 61-84)

FURIO C. y HERNANDEZ J. (1983)

"Ideas sobre los gases en alumnos de 10 a 15 años"

(Enseñanza de las Ciencias, V.1, No. 2, p.83-91)

FURIO C. y HERNANDEZ J. (1984)

"Paralelismo entre la concepción material de los gases en adolescentes y la historia de la Química" (en preparación).

GIL D. (1983)

"Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias"

(Enseñanza de las Ciencias, V. 1, No. 1, p. 26-33)

GIL D. (1984)

"El aprendizaje de las ciencias como cambio conceptual y metodológico" (comunicación presentada en el III Simposio "La nueva enseñanza de las Ciencias experimentales", Madrid, marzo 1984).

GIL D. y MARTINEZ J. (1983)

"A model for problem-solving in accordance with scientific methodology" (European Journal of Science Education, V. 5, pp. 447-455).

GIL D. y MARTINEZ J. (1984)

"Problem solving in Physics: a critical analysis" (en Research on Physics Education: proceedings of the first international workshop, La londe les Maures, 1983).

GIL D. y PAYA J. (1982)

"Los trabajos prácticos en la enseñanza de la Física. I Un análisis crítico" (1ª Jornadas de Investigación didáctica de la Física y Química en el Bachillerato, Valencia)

GILBERT J.K, OSBORNER.J. y FENSHAM D.J. (1982)

"Children's Science and its consequences for teaching" (Science Educ., V. 66 (4), pp. 623-633).

HELM H. (1980)

"Misconceptions in Physics amongst South African Students" (Physics Education, 15, pp 92-97).

HEWSON P.W. y HEWSON M.E. (1981)

"Effect of Instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on Science learning. Part I: Development Application and Evaluation of Instruction" (trabajo presentado en el Annual Meeting de la NARST, Ellenville, N.Y.)

HEMPEL C.G. (1976)

"Filosofía de la ciencia natural" (Alianza, Madrid)

HOUSTON J. (1975)

"The effects of Verbal Style in Physics Teaching"
(Physics Education, V. 10, pp. 38-41)

KUHN T.S. (1971)

"La estructura de las revoluciones científicas"
(Fondo de Cultura Económica: México)

NAVARRO BROTONS V. (1983)

"La Historia de las Ciencias y la Enseñanza"
(Enseñanza de las Ciencias, V.1, No. 1, pp 50-53).

NOVAK J. D. (1979)

"The Reception Learning Paradigm"
(J. Res. Sci. Teaching, V. 16, pp 481)

OGBORN J. (1983)

"Difficulties of Dynamics and Some Uses for Microcomputer"
(ponencia presentada en los Coloquios Internacionales Universidad-Enseñanza Media, Madrid, octubre, 1983)

OSBORNE R.J. y WITTROCK M. G. (1983)

"Learning Science: A Generative Process"
(Science Educ., V. 67, No. 4, pp 489-508)

OSBORNE R.J. y COSGROVE M.M. (1983)

"Children's Conceptions of the Changes of State of Water"
(J. of Res. in Sci. Teach., V. 20, No. 9, pp 825-838)

PIAGET J. (1969)

"Psicología y Pedagogía" (Ariel: Barcelona)

PIAGET J. (1975)

"Introducción a la Epistemología Genética"
(Paidós: Buenos Aires)

PIAGET J. y GARCIA R. (1982)

"Psiconología e historia de la ciencia" (Siglo XXI: México)

POSNER G.J., STRIKE K.A., HEWSON P.W. y GERTZOG W.A. (1982)

"Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change" (Science Educ., V.66, No. 2, pp 211-227)

REIF F. (1987)

"How can chemists teach problem solving?"

(Journal of Chemical Education, V. 60, No. 11, pp.948-953)

STRIKE K.A. y POSNER G.J. (1982)

"Conceptual Change and Science Teaching"

(Eur. J. of Sci. Educ., V. 4, No. 3, pp 231-240)

TYLER R.W. (1979)

"How Schools Utilise Educational Research and Development"

en R. Glaser Ed., "Research and Development and School Change"

(Lawrence Erlbaum Associates: New Jersey).