

Memoria, cambio conceptual y aprendizaje de las ciencias

José María de Posada

Instituto de Enseñanza Secuaria Miraya del Mar, Torre del Mar, Málaga, España.
E-mail: jmposada45@hotmail.com

Resumen: El estado actual de elaboración de los modelos teóricos sobre el desarrollo y el aprendizaje no permite la elección de un modelo único que pueda dar cumplida cuenta del complejo proceso enseñanza-aprendizaje. Con este artículo presentamos la necesidad y transmitimos la inquietud de perseverar en la búsqueda de un modelo integrador con el que se pueda interpretar las más variadas y diferentes situaciones psico-pedagógicas. Se proponen casos empíricos que justifican la conveniencia e idoneidad de diferenciar el conocimiento declarativo, que los individuos tienen sobre el mundo, en elementos de las memoria: semántica rutinaria, semántica significativa y episódica. Las características de estas memorias son expuestas en el texto. Las concepciones alternativas de los alumnos, que revierten una gran importancia didáctica, son caracterizadas y localizadas en el modelo propuesto. El aprendizaje de las ciencias presenta una visión actual predominantemente epistemológica. Numerosos trabajos recientes de investigación muestran que el modelo de cambio conceptual presenta grandes problemas al ser aplicado en las clases de ciencias; no todos los alumnos modifican sus concepciones y muchos de los que lo hacen vuelven a exhibir sus concepciones alternativas después de algún tiempo. Se interpretan y justifican algunos de estos problemas detectados al enriquecer el modelo de cambio conceptual con oportunas aportaciones psicológicas y pedagógicas.

Palabras clave: teorías constructivistas del aprendizaje, estrategias de aprendizaje, aprendizaje de las ciencias, conocimiento declarativo, memorias, semántica rutinaria, semántica significativa y episódica, modelo de cambio conceptual.

Title: Memory, conceptual change and science learning.

Abstract: The present state of elaboration of theoretical models on the development and learning do not allow the election of a unique model that can give fulfilled account of the complex process of education-learning. With this article we present the necessity and we transmit the restlessness of persevering in the search of an integrating model with which the most varied and different psico-pedagogical situations can be interpreted. We propose empirical cases that justify the convenience and suitability of differentiate the declaratory knowledge that the individuals have on the world, in elements of the memories: routine semantic, significant semantic and episodic. The characteristics of these memories are exposed in the text. The alternative conceptions of the students, who have great didactic importance, are characterized and located in the proposed model. The learning of sciences presents/displays a present vision predominantly

epistemological. Numerous recent works of investigation show that the model of conceptual change presents great problems being applied in the classes of sciences; not all students modify their conceptions and a lot of them return to exhibit their alternative conceptions after some time. We can interpret and justify these problems detected enriching the model of conceptual change with opportune psychological and pedagogical contributions.

Keywords: constructivist theories of the learning, strategies of learning, learning of sciences, declaratory knowledge, memories, routine semantic, semantics significant and episodic, conceptual change model.

Introducción

El marco de referencia psicológico adoptado por numerosas reformas educativas actuales, incluida la LOGSE que regula la reforma educativa en España, establece la "concepción constructivista del aprendizaje escolar y de la enseñanza". De esta frase parece deducirse que existe un cuerpo teórico único coherente bien fundamentado y consensuado, cuando en realidad no es así (Coll, 1990). El constructivismo es, a juicio de numerosos investigadores, el denominador común de un gran número de modelos psicológicos entre los que podemos destacar los de: Wallon, la Gestalt, Piaget, Vygotsky, Kelly, Bruner, Ausubel y una corriente dentro del procesamiento de la información.

De acuerdo con Resnick (en Gil, 1993), los diferentes modelos constructivistas tienen algunas características comunes que pueden resumirse en tres puntos:

- Quien aprende, construye significados, no reproduce simplemente lo que lee o lo que se le enseña.
- Comprender algo supone establecer relaciones con otros elementos. Los fragmentos de información aislados son olvidados o resultan inaccesibles a la memoria.
- Todo aprendizaje depende de conocimientos previos.

A esta escueta lista de acuerdos podríamos agregar, aunque no todas las teorías denominadas constructivistas estarían de acuerdo en ello, el término *aprendizaje significativo* (en contraposición al aprendizaje memorístico rutinario). El concepto *aprendizaje significativo* tiene una larga tradición cuyos ancestros se remontan a los trabajos de Wertheimer (1945), desarrollado posteriormente por Ausubel, Novak y Hanesian (1978) y Novak y Gowin (1988). La actual corriente constructivista dominante acepta este concepto, por lo que podría ser añadido a la lista anterior, completando el segundo punto. Fuera de estas pocas proposiciones, existen numerosas discrepancias y hasta contradicciones entre las diferentes teorías, al menos desde puntos de vista puristas.

Para Coll (1991) ninguna teoría por sí sola proporciona una visión integrada del desarrollo y del aprendizaje escolar suficientemente satisfactoria. Numerosos investigadores (Corral, 1986; Lacasa y García-Madruga, 1987; Pérez-Gómez, 1989; Coll, 1991a) coinciden en destacar la falta de un marco teórico general para la educación. Coll (1996)

recientemente argumentaba que, debido al estado actual de elaboración de las diferentes teorías del desarrollo y del aprendizaje, se produce un riesgo al elegir una de ellas en menoscabo de las demás y este riesgo es ciertamente elevado. En la medida que ninguna teoría es capaz de dar una explicación razonable de los diversos factores y dimensiones del desarrollo y del aprendizaje implicados en los procesos escolares provoca en muchos casos el que se fuerce dicha teoría, ampliando su ámbito hasta dominios muy alejados de los que originalmente estaban previstos por ese modelo.

Tampoco existe un marco general para el campo de investigación más restringido de los esquemas alternativos de los alumnos (Posner *et al.*, 1982; Pozo, 1989, 1996; Giordan y de Vecchi, 1988; Luffiego, *et al.*, 1994). Esta falta de consenso podría explicar la dispersión teórica, metodológica y excesiva proliferación de términos diversos encontrados en este área (Marín y Jiménez, 1992). En la bibliografía se puede encontrar hasta 28 nombres para referirse a las concepciones alternativas de los estudiantes (Giordan y de Vecchi, 1988). La carencia de un marco teórico general ha llevado a usar "marcos teóricos demasiados personales" y de ahí la dispersión encontrada en las diferentes investigaciones realizadas sobre este tema. Crítica que puede hacerse extensiva a la investigación en Didáctica de las Ciencias de modo general (Gabel, 1994; Kyle, 1994). Estamos totalmente de acuerdo con Porlán (1993) cuando afirma que es necesaria una profundización y unificación integradora de los fundamentos psicológicos para la Didáctica de las Ciencias. En mi opinión, creo que se han realizado pocos esfuerzos por intentar agrupar armónicamente los diferentes modelos psicológicos, pedagógicos y filosóficos dentro de un marco teórico más general.

Con este trabajo pretendemos:

- Presentar la necesidad y transmitir la inquietud de perseverar en la búsqueda de un modelo integrador con el que se pueda interpretar las más variadas y diferentes situaciones psico-pedagógicas.
- A continuación presentaremos escuetamente un modelo (de Posada, 1996a) y, propondremos casos empíricos que justifiquen la conveniencia e idoneidad de la diferenciación del conocimiento declarativo para centrarnos posteriormente en las concepciones alternativas de los alumnos.
- Otro objetivo es el de establecer un puente de unión entre dos campos actualmente tan distantes como son el aprendizaje de las ciencias y la psicología cognitiva, con la finalidad de enriquecer la visión actual predominantemente epistemológica de la enseñanza de las ciencias.
- Y finalmente, interpretar y justificar algunos problemas detectados en la aplicación del modelo de cambio conceptual.

Enfocando el problema

Aunque cada modelo psico-pedagógico nuevo recibe el "testigo" de otros desarrollados con anterioridad, las diferentes teorías suelen centrarse en problemas muy concretos de la enseñanza y aprendizaje, restando explícitamente importancia a otros campos que en consecuencia no abordan de forma satisfactoria. No es nuestra intención realizar una crítica de las principales teorías constructivistas que, por otro lado, puede encontrarse con mayor detalle en, por ejemplo, Pozo (1989). Sin embargo, no podemos dejar de reseñar aspectos no resueltos de dichas teorías, que abordaremos obviamente de forma superficial. La teoría de Ausubel reconoce la importancia que han tenido los trabajos de Piaget en la nueva psicología educativa, pero en el modelo de Ausubel no se aborda adecuadamente el conocimiento de tipo procedimental de los individuos. Vygotsky critica de Piaget su poco interés en el conocimiento escolar como factor propiciador del desarrollo humano. Las diferentes teorías sobre el desarrollo y el aprendizaje suelen dar la supremacía a una de las variables, conceptual, lógica o emotiva sobre las otras dos (Driver, 1983; Leo y Galloway, 1996). El rechazar áreas de investigaciones importantes de teoría precedentes supone tácitamente renunciar a interpretaciones más globales, como veremos a continuación.

Cada teoría es construida a partir del estudio de un dominio concreto (D) del plano de la experiencia (E) mediante complejos sistemas combinados de abstracciones tanto empíricas (A_o) como reflexivas (A_i). Las abstracciones empíricas parten del plano de la experiencia y las abstracciones reflexivas surgen de la teoría. Dicho modelo teórico (T) elige su propio dominio sobre el cual realiza sus abstracciones e inferencias con más o menos éxitos. Una nueva teoría elige su dominio que puede estar escasamente conectado con los dominios de otras teorías precedentes, renunciando por tanto implícitamente a dar una explicación o interpretación de los mismos (Figura 1a). Consecuentemente, no pueden ser teorías que compitan entre sí, ya que sus dominios son diferentes y por tanto sus explicaciones, inferencias y deducciones respectivas no son comparables.

La evolución sufrida por los modelos sobre el desarrollo y el aprendizaje ha sido de naturaleza diferente a la acontecida con otras áreas, como por ejemplo la mecánica clásica. De acuerdo con Piaget y García (1983), los nuevos modelos teóricos de la mecánica (T^j , T^k) deben no sólo interpretar satisfactoriamente nuevos dominios (D^j , D^k , respectivamente) sino también los dominios de los modelos precedentes (D^i) (Fig. 1b, extraída de Piaget y García, 1983, pág. 195). El lector posiblemente reaccione y argumente que el substrato de la experiencia observable (E) relacionado con el desarrollo y el aprendizaje escolar es mucho más complejo que el de la mecánica clásica. Sin embargo, también es cierto que las teorías sobre el desarrollo y el aprendizaje no se suelen plantear como requisito previo la necesidad de explicar dominios de modelos anteriores.

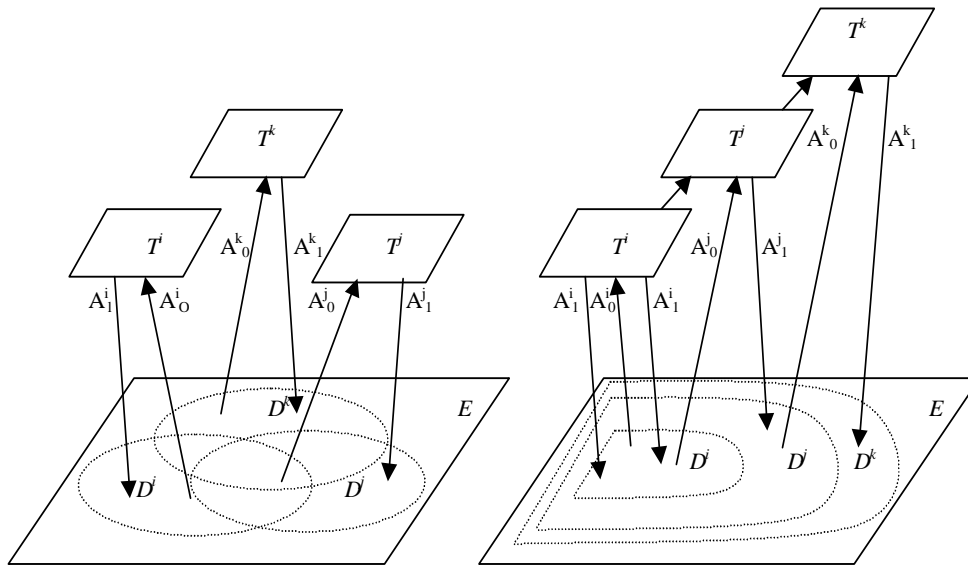


Figura 1a.- Diagrama evolutivo de las teorías del desarrollo y del aprendizaje escolar. Figura 1b.- Esquema de la evolución sufrida por las diferentes teorías mecánicas en la física, de acuerdo con Piaget y García (1983, p. 195). D^i, D^j, D^k = Dominios de estudio o interpretación. E = Plano de la experiencia. Sede de lo "observable". T^i, T^j, T^k = Teorías. A^i_0, A^j_0, A^k_0 = Abstracciones empíricas en relación a las teorías T^i, T^j, T^k . A^i_1, A^j_1, A^k_1 = Abstracciones reflexivas en relación a las teorías T^i, T^j, T^k .

Antecedentes

Ryle (1949) clasifica el conocimiento en dos tipos, conocimiento declarativo y procedural. El declarativo comprende el saber descriptivo o factual susceptible de ser expresado. El conocimiento procedural se describe como todos aquellos procedimientos disponibles por el individuo para actuar sobre su entorno. Por otro lado, Tulving (1972, 1994) introduce la distinción entre memoria semántica y memoria episódica. La memoria semántica tiene una estructura organizada jerárquicamente (Collins y Quillian, 1969) que podría no estar asociada a la estructura lógica (Rips *et al.*, 1973). La memoria semántica comprende los conocimientos permanentes que no se encuentran relacionados con los momentos concretos en los que fueron adquiridos dichos conocimientos. Por el contrario, la memoria episódica no tiene una organización conceptual pero sí espacio-temporal. Esta memoria está relacionada con los recuerdos personales, es por tanto autobiográfica. Ambas memorias, semántica y episódica, pueden ser incluidas en la memoria declarativa (Squire, 1986; Ruíz-Vargas, 1994). Más tarde, Ausubel *et al.*, (1978) consideraron que el aprendizaje, escolar o no, podría ser analizado en un continuo que va del aprendizaje memorístico rutinario al significativo. Este último puede producirse cuando la nueva información se relaciona "de modo no arbitrario y substancial con lo que el alumno ya sabe" (Ausubel *et al.*, 1978, pág. 37 de la traducción castellana). Sin embargo, los términos aprendizaje y memoria han venido siendo utilizados de forma casi sinónima por algunas teorías cuando en realidad se refieren a realidades diferentes (Calfee, 1981; Bereister, 1990; Baddeley, 1994). Aunque algunos puntos de las teorías antes mencionadas han sido ampliamente debatidos,

cuando no polémicos, existen aspectos de dichos modelos que siguen siendo útiles.

Un modelo integrador

Ha sido planteado un modelo (para más detalles sobre sus antecedentes y aspectos generales del mismo ver: de Posada, 1994a; 1996a) que aglutina importantes nociones de las teorías constructivistas y del procesamiento de la información. Aunque este modelo utiliza los términos memoria episódica y semántica¹, inicialmente introducidos por la teoría cognitiva de Tulving, conviene aclarar que la memoria semántica ha sido diferenciada en memoria semántica significativa y memoria semántica rutinaria. De este modo se resuelven algunos de los problemas teóricos y metodológicos relacionados con la organización y diferenciación de la memoria declarativa. Los conocimientos descriptivos o factuales que un individuo tiene sobre el mundo son organizados por la memoria declarativa diferenciada en tres niveles: memoria semántica significativa, memoria semántica rutinaria y memoria episódica.

La *memoria semántica significativa* acoge los conceptos y relaciones entre conceptos (esquemas) incorporados sustantivamente, de forma no arbitraria y sí jerárquicamente. Aunque algunos autores (Marín, 1999a,b) defienden la idea de que los esquemas tienen al mismo tiempo componentes declarativa y procesual, nosotros diferenciamos ambas por motivos prácticos. Una de las características de la memoria semántica significativa es que los conceptos se encuentran relacionados con hechos, experiencias u objetos conocidos por el alumno. Los conceptos ubicados en la memoria semántica rutinaria pueden pasar a la semántica significativa si el individuo consigue relacionarlos significativamente con los que ya posee. De acuerdo con Novak (1991a), el aprendizaje significativo tiene tres ventajas sobre el rutinario, a) la retención de la información es más duradera, b) puede dar lugar a nuevos aprendizajes interrelacionados y, c) produce cambios más intensos que continuarán incluso después de que los detalles concretos sean olvidados. Si el alumno es capaz de explicar la flotación de objetos diversos haciendo uso de forma espontánea del principio de Arquímedes, podría decirse que dicho principio ha sido aprendido de forma significativa y por tanto se encuentra en la memoria semántica significativa del individuo. No todos los conocimientos allí ubicados pueden ser considerados correctos. Las ideas alternativas de los alumnos (también denominadas "concepciones previas", "ideas intuitivas", "concepciones alternativas", "ciencia de los alumnos", etc.) pertenecen a este grupo (de Posada, 1994a), se encuentran en contradicción con lo que marca la Ciencia y son utilizadas por los alumnos espontáneamente en contextos relacionados con su día a día. Las ideas apuntadas con frecuencia por los alumnos para explicar la flotación de objetos, en términos de estar constituido de madera o ser menos pesados que el agua son ejemplos de concepciones alternativas. Otro es el esquema que tienen algunos estudiantes sobre la electricidad en la que consideran que se produce un flujo de corriente positiva del polo positivo de la pila y otro de corriente negativa del polo contrario y que en la bombilla chocan ambas produciendo energía luminosa (Tasker y Osborne, 1985; Shipstone, 1985).

¹Squire (1986) incluye las memorias semántica y episódica dentro del conocimiento declarativo.

La *memoria semántica rutinaria* alberga el conjunto de conocimientos que fueron adquiridos mediante aprendizajes puramente memorísticos, no sustantivos. Una de sus características es que no se integran adecuadamente esos nuevos conceptos con los que existen previamente en la estructura cognitiva del sujeto. Esos conceptos no se encuentran relacionados con experiencias, hechos u objetos conocidos por el alumno. Resulta bastante fácil observar que los estudiantes reproducen los principios elementales de las ciencias, como los de la Mecánica, leyes como la de Arquímedes, Mendel, ponderales de las reacciones químicas, productos notables matemáticos, etc. generalmente durante cortos periodos de tiempo próximos a los exámenes. Son activados estos conocimientos cuando se pregunta directa y explícitamente a los alumnos. En cambio, si les preguntamos por qué flotan los barcos, las respuestas generalmente no se encuentren relacionadas con el principio de Arquímedes (aunque lo recuerden) y sí con ideas alternativas del tipo "el barco es menos pesado que el agua", "tiene una forma que facilita la flotación", "el barco está fabricado de madera y la madera no se hunde", etc. Otro ejemplo es la memorización de los tres principios de la Dinámica por estudiantes que después no los utilizan para explicar numerosos fenómenos físicos que suceden a su alrededor. El aprendizaje memorístico rutinario es asociativo: ante un estímulo son rememorados sólo aquellos elementos de la memoria directamente relacionados con ese estímulo; reproduciéndose de forma análoga en contextos similares a los que produjo dicho aprendizaje. La enseñanza tradicional desgraciadamente está plagada de ejemplos parecidos a éstos.

La *memoria episódica* comprende los recuerdos, experiencias, etc. sin conexión unos con otros, producto de la práctica diaria de la persona. Estos elementos de la memoria suelen tener una relación espacio-temporal y son autobiográficos. Una niña de corta edad, siguiendo con el mismo tema ilustrador, observa objetos como esponjas, muñecos, botes de gel, etc. flotar o ir al fondo y los trata como hechos sin relación entre sí, pues carece de un esquema integrador. Otro ejemplo puede ser el recuerdo episódico y biográfico guardado por muchos visitantes de museos interactivos de Ciencias que usaron aparatos sin el adecuado conocimiento de los principios que rigen su funcionamiento (Stevenson, 1991). Los individuos tienen contactos muy tempranos con numerosas situaciones estudiadas por las Ciencias que van dejando elementos de memoria episódica. Estos elementos proveen al individuo experiencias personales con las que realizar futuras elaboraciones e interpretaciones (Bloom, 1992). A partir del conocimiento episódico, mediante diversos métodos de análisis y/o ulteriores informaciones proporcionadas al sujeto, se van creando esquemas descriptivos, predictivos y/o actitudinales (de Posada, 1996b). Heisenberg (1955), premio Nobel de Física, solía decir que la mayoría de sus jóvenes estudiantes que se interesaban por la técnica y la ciencia comenzaron jugando con aparatos cuando eran pequeños. Estas actividades "investigadoras" tempranas van creando esquemas actitudinales, conceptuales y metodológicos básicos con los que posteriores informaciones pueden interaccionar. Para un primer acercamiento a un área de las ciencias por parte de niños pequeños podemos estar de acuerdo con Pozo (1999) cuando indica que "*las concepciones alternativas pueden interpretarse (...) como representaciones implícitas generadas por procesos cognitivos*

implícitos, basados en reglas de carácter esencialmente asociativo e inductivo.)(p. 514). En este punto se está refiriendo a la producción de elementos de memoria episódica. Pero estamos en total desacuerdo cuando afirma que "*las concepciones de los alumnos suelen ser implícitas en el sentido que ni siquiera están presentes en su memoria, listas para ser activadas, sino que son verdaderas construcciones situacionales*"(p. 514). Pozo resta importancia a la posibilidad de una evolución de dichas concepciones al minimizar la capacidad del individuo de realizar inferencias sobre sus propias creencias episódicas y extraer conclusiones más elaboradas o abstracciones reflexivas, en términos de Piaget y García (1983).

La naturaleza de la memoria declarativa puede ser inferida haciendo uso de algunas herramientas útiles, como por ejemplo mapas conceptuales (Novak, 1990, 1991b, 1996) o redes semánticas (Bliss *et al.*, 1983) construidas a partir de fragmentos escritos por los estudiantes. Los elementos de memoria semántica rutinaria aparecen como conocimientos aislados. En cambio, los elementos de la memoria semántica significativa se encuentran muy interconectados con otros conocimientos, formando esquemas ricos en conexiones cruzadas con elementos de otros esquemas. Los elementos de la memoria episódica se encuentran asociados a hechos aislados, de naturaleza exclusivamente personal y vivencial. De esta forma nuestro modelo puede justificar el diferente grado de compromiso cognitivo que el alumno mantiene con sus concepciones en distintos casos, apuntado por Oliva (1999). Estas tres memorias no constituyen grupos separados sino gradaciones dentro de la propia memoria declarativa (Figura 2a). Las nociones de los individuos pueden ir evolucionando con el tiempo y desplazarse dentro de este sistema. El aprendizaje de conocimiento declarativo, consecuentemente, puede encontrarse en un continuo que va del aprendizaje asociativo al significativo, como ha sido reconocido por numerosos autores (Ausubel *et al.*, 1978; Karmiloff-Smith, 1992; Coll *et al.*, 1992; Tirosh, 1994; Pozo, 1996a). Podemos realizar una distinción oportuna entre los conocimientos que están de acuerdo con la Ciencia actual² y los que no lo están (Fig. 2b). Son los elementos que se encuentran en la zona delimitada por la memoria semántica significativa y la memoria episódica, y que a su vez contradicen lo establecido por la Ciencia, los que constituyen las concepciones alternativas del individuo (para más detalle ver de Posada, 1996a).

De acuerdo con el modelo propuesto, es perfectamente explicable la coexistencia de ideas distintas sobre un mismo tópico gracias a las diferentes formas (autónoma versus mediante instrucción) en las que se adquiere ese conocimiento y los contextos (académico versus experiencial) en que son aprendidas esas ideas. El hecho de que existan numerosas relaciones entre las diferentes concepciones ubicadas en la memoria semántica significativa trae como consecuencia que éstas se soporten y refuercen unas a otras. Esta situación es extensible a las concepciones alternativas³, que como se recordará son una parte de la memoria semántica significativa de importancia didáctica trascendental. A este

²En determinadas áreas científicas existieron posiciones adoptadas por las ciencias de su tiempo que son asumidas por los alumnos actuales y que hoy ya son consideradas concepciones alternativas por la ciencia (Benseghir y Closset, 1996).

³A través de cuestionarios y entrevistas se comprueba que las concepciones alternativas de los alumnos gozan de una gran interrelación con otros elementos de la memoria (de Posada, 1997; Astolfi, 1994).

conjunto de concepciones interdependientes se ha venido en llamar, desde posiciones epistemológicas, *ecología conceptual* (Toulmin, 1972; Strike y Posner, 1992; Hewson y Beeth, 1995), paradigma (Kuhn, 1962) u obstáculo epistemológico (Bachelard, 1938; Santos, 1991), este último si interfiere y dificultaba el aprendizaje de nuevo conocimiento. Hay que destacar que la corriente más importante, con diferencia, en estos momentos en la Didáctica de las Ciencias es la epistemológica, que presenta, como veremos a continuación, una visión sesgada.

Limitaciones del modelo de cambio conceptual

Numerosas investigaciones recientes (Méheut, 1997; Noh y Scharmann, 1997; Basili y Sanford, 1991; Duschl y Gitomer, 1991; Hewson y Torley, 1989; White y Gunstone, 1989; Rogan, 1988; Ben-Zvi *et al.*, 1986; Engel y Driver, 1986) han puesto de manifiesto que a pesar de haber seguido con estudiantes una enseñanza basada en el cambio conceptual, después de algún tiempo han reaparecido ideas alternativas que se creían superadas. Este hecho podría interpretarse como fracasos del propio modelo de cambio conceptual debido a la ausencia de acotación y actuación sobre todas las variables intervinientes en el proceso enseñanza-aprendizaje, o por lo menos las más importantes.

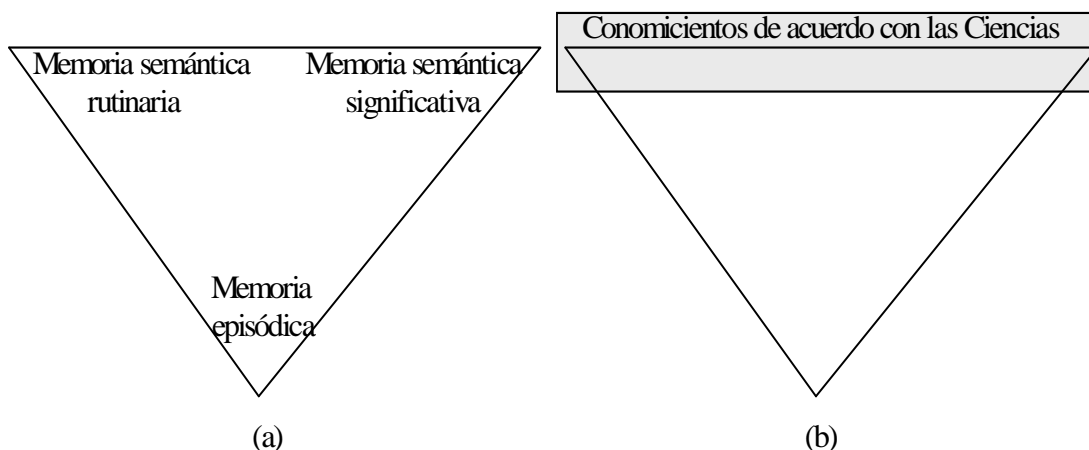


Figura 2a.- Diferenciación del conocimiento declarativo. Figura 2b.- Esquema anterior con área sombreada que representa el conocimiento declarativo de un individuo en consonancia con la ciencia actual.

El modelo de cambio conceptual no consigue explicar por qué pueden coexistir concepciones correctas e incorrectas sobre un mismo tópico en un alumno (Hewson y Thorley, 1989; Demastes *et al.*, 1996). Y sin embargo, la bibliografía expone repetidamente la existencia de esta situación y reclama la falta de criterios puramente racionales en la construcción de esos conceptos.

La orientación fuertemente epistemológica dada hasta ahora al cambio conceptual, a través de la metáfora investigador-alumno, deja de lado vertientes psicológicas y pedagógicas, sin las cuales, y es nuestra creencia, no será superada la cuestión.

Aportaciones psicopedagógicas al cambio conceptual

El proceso de enseñanza-aprendizaje (Figura 3) que tenga en cuenta las ideas alternativas deberá incidir en:

a) Las diferentes formas conceptuales construidas por los alumnos. Con especial atención hacia los tipos y contextos de aprendizajes en los que se adquieren las diferentes concepciones.

b) Deberá tener en cuenta factores procedimentales que hacen surgir las concepciones alternativas cuando son aplicados esos procedimientos a problemas concretos de forma simplista y/o inmediatista.

c) Ha de contemplar factores emotivos muy complejos que lleva consigo el aprendizaje. Por falta de espacio, no podemos desarrollar en profundidad los aspectos de nuestra teoría en relación a los puntos b y c, aquí indicados (para más detalles ver de Posada, 1996a).

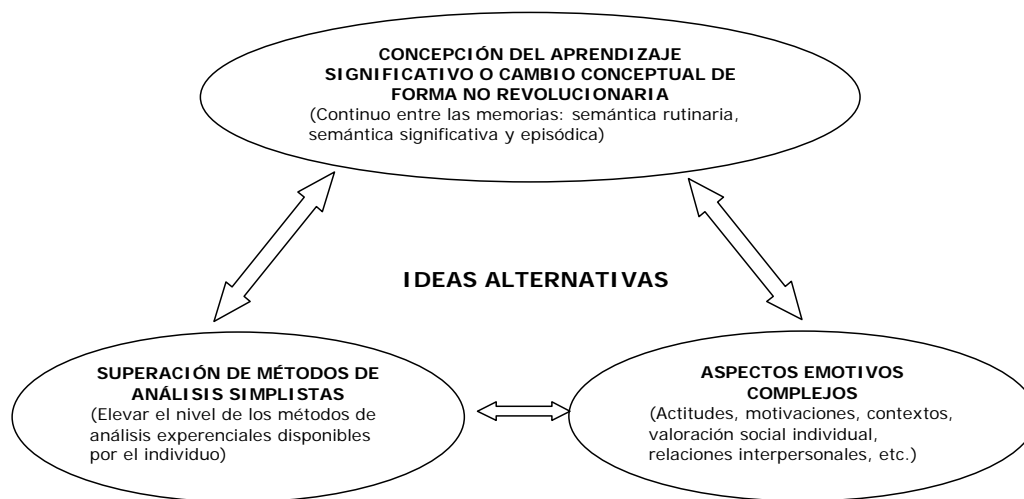


Figura 3.- Sistema de variables interactuantes implicadas en el aprendizaje que tiene como finalidad la superación de las ideas alternativas de los estudiantes.

Hoy ya no se sustentan modelos de cambio conceptual que tengan en cuenta razones exclusivamente lógicas por parte de los alumnos en el proceso de aprendizaje (Lee y Brophy, 1996; de Posada, 1996b; Strike y Posner, 1992; Furió, 1996; Pozo, 1996b; Pintrich, Marx y Boyle, 1993; Gil y Carrascosa, 1990). Estamos de acuerdo con Oliva (2001) cuando afirma que el cambio conceptual debe tener en cuenta diversos niveles de estructuración.

a) La primera dificultad para alcanzar el aprendizaje significativo de un determinado concepto o idea procede de la continuidad existente entre la memoria semántica rutinaria y significativa. El aprendizaje significativo no se puede entender como un proceso revolucionario sino evolutivo; especialmente en áreas complejas con múltiples interrelaciones conceptuales. El aprendizaje significativo se produce gradualmente a medida que se realizan nuevas relaciones sustantivas con conceptos, experiencias, hechos y objetos conocidos por el individuo. Aunque resulta poco menos que imposible erradicar todas las ideas alternativas de las personas (incluso los científicos parecen tener concepciones alternativas

sobre Filosofía de las Ciencias en aspectos relacionados con sus tareas de investigadores, Althusser 1985, o exhiben concepciones alternativas en sus propias áreas científicas en momentos de despiste, Stavy y Tirosh, 1996, p. 665), estas concepciones alternativas constituyen rémoras que compiten, desde posiciones ventajosas, con las ideas científicas.

b) La segunda de las dificultades se encuentra relacionada con los métodos de análisis significativos disponibles por el individuo (para más detalles ver de Posada, 1996a). Frecuentemente utilizamos en contextos cotidianos métodos de análisis superficiales, como por ejemplo las reglas de: accesibilidad, contigüidad espacial y temporal, semejanza y covariación (Bullock *et al.*, 1982; Kahneman *et al.*, 1982; Carey, 1985; Andersson, 1986; Pozo *et al.* 1991a,b; Acevedo, 1990; en otros términos pero con pocas diferencias Gutierrez y Ogborn, 1992). En síntesis supone: que los alumnos superen métodos de análisis simplistas, que perciban la necesidad de aplicar métodos más sofisticados y que conozcan los límites de aplicación de estos métodos.

c) La última de las dificultades hace referencia a aspectos emotivos sumamente complejos relacionados con el aprendizaje. Docentes e investigadores desarrollamos modelos o materiales didácticos para la comprensión de conceptos y procesos científicos; y sin embargo, muchos de nuestros alumnos no sienten la inclinación de dar el primer paso para llegar a entenderlos. Tras esta aparente apatía se esconden razones, que podemos denominar afectivas de modo general, que pueden llegar a ser difícilmente modificables. Ausubel *et al.* (1978) apuntaron la necesidad de que los alumnos cuenten con suficiente motivación y actitud positiva para que se pueda producir el aprendizaje significativo. A estos factores hay que agregar la percepción favorable del contexto de aprendizaje por parte del alumno (Wittrock, 1986). Por otro lado, el estudiante no debe tener un apego excesivo a sus ideas previas ya que gran parte de ellas tendrán que ser modificadas y el saberse equivocado puede producir sensación de desazón o hasta angustia en ciertas personas. También son necesarios: cierto grado de autoestima; cierto grado de empatía entre profesor, con actuación constructivista, y alumno (Wildy y Wallace, 1994); afinidades personales entre los alumnos de la clase (Lumpe y Staver, 1995); consideración social e individual positiva del aprendizaje significativo (Wildy y Wallace, 1995); percepción favorable, por parte del alumno, del balance coste-beneficio; etc. Para más detalles ver de Posada, (1996b).

Elementos de la memoria puestos en juego en el aprendizaje significativo y en el cambio conceptual

En este artículo nos limitaremos a desarrollar la componente declarativa que interviene en el proceso de desarrollo y aprendizaje. Los diferentes modelos de cambio conceptual y/o metodológicos (Posner *et al.*, 1982, recientemente revisado por Strike y Posner, 1992; Nussbaum y Novick, 1982; Driver, 1986; Cosgrove y Osborne, 1985; Roth, 1985) suelen comenzar por hacer explícita la concepción alternativa que pretenden superar (C_a). A continuación, intentan crear *insatisfacción* con esa concepción al hacer uso de ella en nuevas situaciones. Hemos desarrollado el esquema de la figura 4 para ilustrar lo que sucede con los elementos de la memoria durante el

proceso de desarrollo y aprendizaje. Se trata de un gráfico excesivamente simplificado pero útil a nuestros fines.

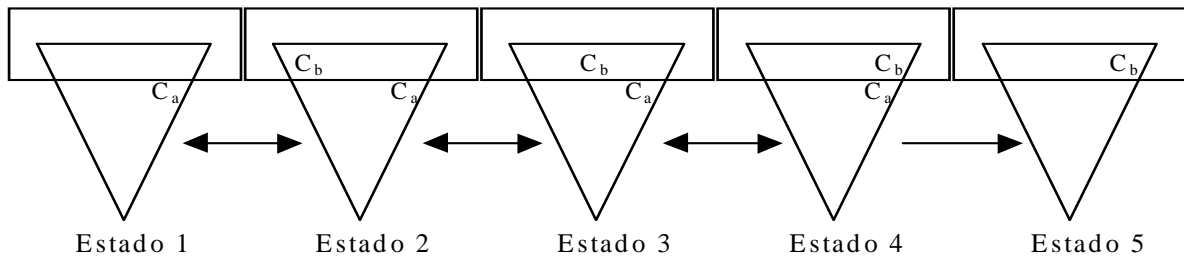


Figura 4.- Fases de interacción por las que pasan las concepciones alternativas y científicas en el proceso de aprendizaje y desarrollo. C_a = Concepción alternativa. C_b = Concepción científica. \leftrightarrow = Proceso potencialmente reversible. \rightarrow = Proceso irreversible.

El primer paso, de hacer explícita la concepción alternativa (C_a), queda reflejado por el estado 1 de la figura 4. Más tarde se introduce la concepción científica (C_b), que aunque potencialmente *comprensible*, es almacenada en la memoria semántica rutinaria del individuo (estado 2), debido a la falta de relaciones iniciales con otros elementos de la memoria semántica significativa. Se pretende finalmente que la nueva concepción sea capaz de justificar y explicar tanto situaciones que la antigua concepción no realizaba adecuadamente como justificar y explicar nuevos hechos y situaciones. Esta verificación pretende demostrar que la concepción científica es *plausible* y *fructífera*. Durante este proceso se intenta relacionar C_b con elementos que ya existían en la memoria semántica significativa del individuo y relacionar, también, con otros nuevos elementos que son introducidos al efecto. Son aquellas relaciones con los elementos bien conocidos por el sujeto las que posibilitan un aprendizaje paulatinamente significativo y consiguientemente producen un desplazamiento de C_b hacia posiciones experienciales (estado 3).

La falta de tiempo y de posteriores revisiones para dedicar al tema, aunque desde posiciones diferentes, hace que el proceso de aprendizaje se abandone prematuramente a la suerte de cada alumno. Los más capacitados continuarán avanzando por sí solos, alcanzando las fases 4 y 5 por ellos mismos al aplicar sus nuevas concepciones científicas a situaciones escolares y extra-escolares. Sin embargo, otros comenzarán a olvidar las diferentes relaciones construidas, regresando a posiciones próximas al estado 2 o incluso olvidando C_b después de algún tiempo (estado 1).

Cambio conceptual duradero

Alcanzar el estado 4 supone para el alumno la capacidad de relacionar C_b espontáneamente con lo que ya sabe, más concretamente con elementos de la memoria semántica significativa. Este proceso se ve facilitado si se promueven numerosas relaciones explicando situaciones comunes en el contexto cotidiano del alumno y que éste así lo perciba. Existen numerosas experiencias, sensaciones cotidianas que cuentan con un potencial didáctico importante y no son suficientemente explotadas.

Para ilustrar este extremo en detalle, analizaremos como ejemplo, la enseñanza elemental del concepto aceleración. Al abordarlo en el curriculum es necesario que existan algunas *ideas inclusoras* previas (Ausubel et al., 1978) en la estructura cognitiva de los alumnos con las que puedan el nuevo concepto aceleración relacionarse. Algunos de estos conceptos son: escalar, vector, tiempo, vector velocidad, etc. El concepto aceleración queda establecido académicamente como un vector que indica el cambio del vector velocidad en función del tiempo. Pero desde el punto de vista experiencial, los alumnos tras años de enseñanza suelen relacionar la aceleración sólo al cambio de rapidez pero no al cambio de su dirección (Hierrezuelo y Montero, 1991). Paralelamente, existen experiencias, las denominamos *factores inclusores*⁴(de Posada, 1994b), que posiblemente no han pasado desapercibidas para los alumnos. Estas experiencias dejan en la mente de los individuos nociones muy elementales próximas a la memoria episódica (Fig. 5). Continuamente sentimos un sin fin de percepciones físicas cuando se: modifica la rapidez en un movimiento rectilíneo, cambia la dirección de la trayectoria en un movimiento circular uniforme, se toma un badén a gran velocidad, etc. Estas experiencias son explicables, a excepción de la primera, asumiendo un cambio en la dirección del vector velocidad en el transcurso del tiempo. Se hace necesario que el nuevo concepto vector aceleración sea relacionado significativamente con las ideas inclusoras; pero esas sensaciones, frecuentemente percibidas, también deben ser conectadas con aquellos conceptos. Si no son las experiencias, objetos, hechos, sensaciones, etc. cotidianos (factores inclusores) reinterpretados a la luz de los nuevos esquemas, se corre el riesgo de producir conocimientos puramente memorísticos desligados del mundo diario, o que así lo perciban los alumnos.

Otro aspecto a tener en cuenta es el contexto en el que se produce el aprendizaje. Muchos alumnos aún habiendo aprendido conceptos físicos independientes de la acción de la Tierra, suelen asociar sus efectos a la acción de la gravedad terrestre o al efecto del aire sobre los objetos. Descontextualizar el conocimiento adquirido debe ser un objetivo importante, para ello se deberán plantear situaciones físicas similares a las explicadas anteriormente, pero con otra gravedad (por ejemplo en la Luna) y otras situaciones sin gravedad ni atmósfera (fuera de la acción de cualquier planeta.)

Veamos la influencia de los factores inclusores con un nuevo ejemplo. Si enseñamos el concepto de presión de vapor, previamente deberán encontrarse algunas ideas inclusoras en la estructura cognitiva del individuo: líquido, vapor, temperatura, presión de un gas, equilibrio, etc. En cambio, los factores inclusores son hechos, experiencias, sensaciones, etc. próximos a la memoria episódica. Como por ejemplo, experiencias

⁴Los *factores inclusores* son de naturaleza distinta a las *abstracciones primarias* de Ausubel et al., (1978). Mediante las abstracciones primarias se forman los conceptos previos que estos autores consideran centrales y típicos de los niños en edad preescolar. Estos conceptos son entendidos como el producto de una abstracción de atributos esenciales de los datos inmediatos o experiencias directas. Los factores inclusores no son productos de análisis, son experiencias, hechos, objetos, etc. que tienen una finalidad didáctica (utilizable a lo largo de toda la vida del sujeto) y no epistemológica. El individuo puede o no, haber dado sentido a los factores inclusores y por tanto el producto de su análisis puede o no, estar integrados en la estructura cognitiva del sujeto. Pero su valor didáctico radica en hacer notar su existencia para aquellos que lo dejan pasar inadvertidos y reconducir su análisis para los que han construido concepciones alternativas a partir de ellos.

adquiridas en ambientes con gran humedad (observación de la condensación en los azulejos de cocinas cerradas en las que se está cocinando alimentos) o sensaciones físicas producidas en ambientes con gran sequedad (fosas nasales y ojos resecaos). Si conseguimos relacionar esas experiencias, hechos, sensaciones, etc. cotidianos a una alta o baja presión de vapor de agua en el aire, conseguiremos un aprendizaje más significativo. Además, éste estará más interrelacionado y será capaz de producir conexiones con conceptos y esquemas de otras materias, como la Biología. Sin referentes experienciales inmediatos los nuevos conceptos académicos introducidos serán olvidados tarde o temprano por la mayoría de nuestros alumnos.

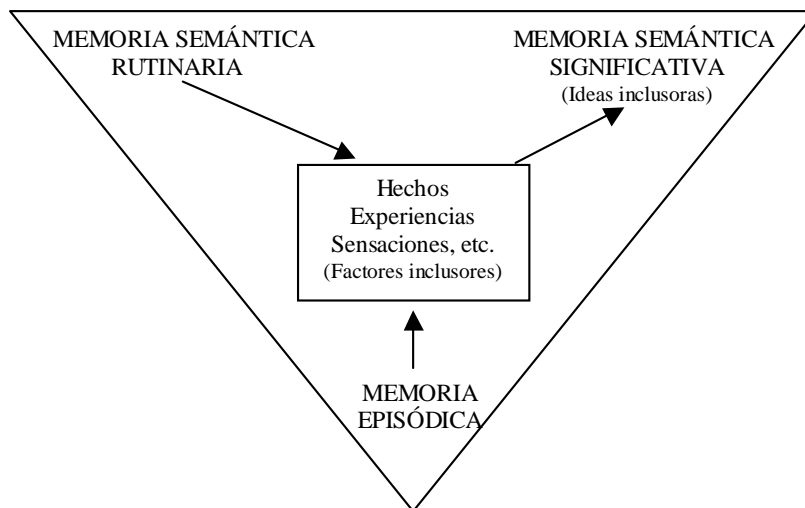


Figura 5.- Influencia de las ideas y factores inclusores en la producción de conocimientos semánticos significativos.

Los factores inclusores son importantes en el proceso E/A, al menos en los primeros contactos con las ciencias, para que el aprendizaje sea verdaderamente significativo. Si no se abordan los factores inclusores en el proceso de enseñanza estará faltando una reinterpretación del entorno experiencial del individuo que fue el que originó las ideas alternativas. Por más que se tengan en cuenta las ideas inclusoras, sin esa reinterpretación del contexto experiencial, el aprendizaje no dejará de ser fundamentalmente academicista. Si no se conectan con los factores inclusores, la mayor parte de los alumnos supondrán que se está trabajando en un entorno alejado de sus experiencias cotidianas y por tanto no asocien activamente con lo que ya saben.

Cuando el alumnos es capaz de explicar espontáneamente con las concepciones científicas toda la zona experiencial que hizo surgir la concepción alternativa, sin necesidad de hacer uso de éstas, se habrá alcanzado finalmente el estado 5. Creemos que este proceso es irreversible, al menos para la situación concreta explicada a la luz de la concepción científica. Por el contrario, los procesos anteriores son susceptibles de invertir su sentido, iniciando el camino del olvido mediante la pérdida de relaciones con otros elementos de la memoria semántica significativa. Sin duda la gran variedad y frecuencia de las experiencias relacionadas con la cinemática y dinámica, así como la cantidad de variables implicadas en

muchas de ellas, hace que estas áreas sean especialmente complicadas para producir cambio conceptual en los alumnos. Pero es bastante probable que una vez reinterpretadas correctamente un número limitado de experiencias (situaciones cruciales; Villani y Orquiza, 1997), los alumnos vayan dando sentido correcto a otras situaciones comunes que sean conceptualmente próximas a medida que éstas aparezcan, reforzando las concepciones científicas.

Conclusiones y comentarios finales

El conocimiento declarativo que tenemos sobre el mundo es susceptible de ser dividido en elementos de memoria semántica rutinaria, memoria semántica significativa y memoria episódica. Esta distinción ayuda a resolver algunos problemas teóricos y metodológicos. También permite clasificar, de acuerdo a estas tres memorias, las concepciones y esquemas que los alumnos tienen sobre su entorno y sobre las ciencias.

La diferenciación de la memoria semántica en rutinaria y significativa permite, razonablemente, explicar y justificar el hecho bastante aceptado en la pedagogía Vygotskyana de la ley de la doble formación (duplo aprendizaje) (Vygotsky, 1962) relacionado con el conocimiento declarativo. El aprendizaje rinde inicialmente elementos de memoria semántica rutinaria, éstos pueden volverse a reelaborar para producir conocimientos semánticos significativos posteriormente. El modelo propuesto permite, así mismo, la coexistencia de ideas diferentes sobre un mismo tema como consecuencia de las formas en que fueron aprendidas y de los contextos en los que se realizaron. Esta propuesta no plantea simplemente un cambio de denominaciones, por el contrario se trata de una nueva forma de conceptualizar, globalizando y permitiendo un puente de unión entre programas de investigación diferentes.

Las concepciones alternativas de los alumnos ocupan un lugar importante en el modelo presentado. Son elementos de la estructura cognitiva del individuo próximos a la zona comprendida entre las memorias semántica significativa y episódica. Las concepciones alternativas fueron adquiridas a través de aprendizaje significativo, en algunos casos de forma social y en otros autónoma. De este modelo pueden deducirse actuaciones didácticas con el fin de que las concepciones alternativas de los alumnos pierdan su papel predominante, interfiriendo frecuentemente de forma negativa en el aprendizaje de nuevas concepciones científicas. Dichas actuaciones deberán realizarse socavando los fundamentos experienciales que hicieron surgir a las concepciones alternativas. A tal fin se propone un aprendizaje que tenga en cuenta las *ideas inclusoras* y los *factores inclusores*. Con la ayuda de las ideas inclusoras se facilita el aprendizaje que podemos denominar descendente y, con el uso didáctico de los factores inclusores se facilita y promueve un aprendizaje ascendente, desde un punto de vista conceptualmente jerarquizado.

Hemos pretendido con este artículo completar, en lo posible, la visión metafórica excesivamente simplista alumno-investigador. El foco de atención debe ser desplazado hacia el alumno, su medio y cómo se produce el aprendizaje. Tres variables básicas modulan el desarrollo y aprendizaje de los alumnos, 1) La existencia de un continuo entre el aprendizaje

memorístico rutinario y significativo, 2) Los métodos de análisis disponibles por el individuo y 3) Factores emotivos complejos relacionados con el contexto y el proceso mismo de aprendizaje. Esta visión nos ayuda a comprender mejor las dificultades relacionadas con el aprendizaje en determinadas áreas donde convergen impedimentos conceptuales, procedimentales y actitudinales. Un caso paradigmático es el de la mecánica⁵. A pesar de los grandes esfuerzos de investigadores y profesores en desarrollar materiales didácticos capaces de eliminar errores conceptuales de los alumnos en mecánica, los logros hasta el momento son bastante modestos y sus resultados a largo plazo son inciertos.

Se hace cada vez más necesario y urgente la necesidad de acercar posiciones epistemológicas, psicológicas y pedagógicas, con el fin de mejorar nuestra comprensión de cómo nuestros alumnos aprenden ciencias. A partir de este conocimiento integrado, podremos proponer modelos de enseñanza y confeccionar mejores materiales. Éstos serán más adecuados y adaptados a las necesidades individuales de los estudiantes, las características específicas del contenido a aprender y los alumnos lo deberán percibir de una forma más próxima a su entorno experiencial.

Referencias bibliográficas

Acevedo, J.A. (1990). Razonamiento causal en una tarea de contexto natural. Un estudio evolutivo con estudiantes de Bachillerato, *Investigación en la Escuela*, 10, 61-70.

Althusser, L. (1985). *Curso de Filosofía para científicos*. Barcelona: Planeta-Agostini.

Andersson, B. (1986). The experiential gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8, 155-171.

Astolfi, J.P. (1994). El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, 206-216.

Ausubel, D.P.; Novak, J.D. y H. Hanesian (1978). *Educational Psychology*. 2ª ed. New York: Holt, Rinehart y Winston. (Traducción Castellana Ausubel, D.P. et al.. (1983) *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas)

Bachelard, G. (1986). *La formation de l'esprit scientifique*. 13º ed. París: PUF.

Baddeley, A. (1994). Las memorias humanas. *Mundo Científico*, 150, 802-807.

Basili, P.A. y J.P. Sandford (1991). Conceptual change strategies and cooperative group work in chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 293-304.

⁵Los conceptos construidos por la mecánica se encuentran alejados de sus referentes cotidianos, debido al alto grado de abstracción utilizado. Los métodos de análisis empleados son sofisticados; las relaciones entre causas y efectos suelen ser graduales, rara vez son instantáneas. Los problemas actitudinales suelen proceder de la insuficiente motivación de algunos alumnos a adoptar disposiciones más reflexivas, autocríticas, lógicas, de menor apego a sus concepciones alternativas, etc

Benseghir, A. y J.L. Closset (1996). The electrostatics-electrokinetics transition: historical and educational difficulties. *International Journal of Science Education*, 18, 179-191.

Ben-Zvi, R.; Eylon, B. y J. Silberstein (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, 63, 64-66.

Bereister, C. (1990). Aspects of an educational learning theory. *Review of Educational Research*, 60, 603-624.

Bliss, J.; Monk, M. y J. Ogborn (1983). *Qualitative data analysis for educational research*. London: Biddles Ltd. Guilford and King's Lynn.

Bloom J.W. (1992). The development of scientific knowledge in elementary school children: A context of meaning perspective. *Science Education*, 76, 399-413.

Bullock, M.; Gelman, R. y R. Baillargeon (1982). The development of causal reasoning. En W.J. Friedman (Ed.), *The developmental psychology of time* (pp. 209-254). London: Academic Press.

Calfee, R. (1981). Cognitive psychology and educational practice. En D.C. Berliner (Ed.), *Review on research in education*, 9, (pp. 3-73). Washington, DC: America Educational Research Association.

Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: M.I.T Press.

Coll, C. (1990). *Aprendizaje escolar y construcción del conocimiento* Barcelona: Paidós.

Coll, C. (1991). Concepción constructivista y planteamiento curricular. *Cuadernos de Pedagogía*. 188, 8-11.

Coll, C. (1996). Constructivismo y educación escolar: Ni hablamos de lo mismo ni lo hacemos siempre desde la misma perspectiva epistemológica. *Anuario de Psicología*, 69, 153-178.

Coll, C.; Pozo, J.I., Sarabia, B. y E. Valls (1992). *Los contenidos de la reforma*. Madrid: Santillana, Aula XXI.

Collins, A.M. y M.R. Quillian (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8, 240-247.

Corral, A. (1986). *El funcionamiento cognitivo del adulto*. Madrid: I.C.E. de la U.N.E.D.

Cosgrove, M. y R. Osborne (1985). Lesson frameworks for changing children's ideas. En R. Osborne y F.P. Freyberg (Eds.), *Learning in Science* (pp. 101-111). Hong Kong: Heinemann.

Demastes, et al., (1996). Patterns of conceptual change in Evolution. *Journal of Research in Science Teaching*. 33, 407-431.

Driver, R. (1983). *The pupil as scientist?* Suffolk: Open University Press.

Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4, 3-15.

Duschl, R. y D. Gitomer (1991). Epistemological Perspectives on Conceptual Change: Implications for Educational Practice. *Journal of Research in Science Education*, 28, 839-858.

Engel, E. y R. Driver (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70, 473-496.

Furió, C. (1996). Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. *Alambique*, 7, 7-17.

Gabel, D.L. (1994). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Nueva York: Macmillan.

Gil, D. (1993). Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 197-212.

Gil, D. y J. Carrascosa (1990). What to do about science misconceptions? *Science Education*, 74.

Giordan, A. y G. de Vecchi (1988). *Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos*. Sevilla: Diada.

Gutiérrez, R. y J. Ogborn (1992). A causal framework for analyzing alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, 14, 210-220.

Heisenberg, W. (1955). *Das Naturbild der heutigen Physik*. Traducción española Heisenberg, W. (1993). *La imagen de la Naturaleza en la Física actual*. Barcelona: Planeta-Agostini.

Hewson, P.W. y M.E. Beeth (1995). Enseñanza para un cambio conceptual: Ejemplo de fuerza y de Movimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 13, 25-35.

Hewson, P.W. y N.R. Thorley (1989). The conditions of conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11 (Edición especial), 541-553.

Hierrezuelo, J. y A. Montero (1991). *La ciencia de los alumnos*. Vélez-Málaga: Elzevir.

Kahneman, D.; Slovic, P. y A. Tversky (1982). *Judgment under uncertainty: heuristic and biases*. Cambridge: Cambridge University Press.

Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity*. Cambridge, MA: MIT Press. Trad. Cast. De J.C. Gómez y M. Núñez: *Más allá de la modularidad*. Madrid: Alianza, 1994.

Kuhn, T.S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press. (Traducción castellana Kuhn, T.S. (1990) *La estructura de las revoluciones científicas*. Madrid: Fondo de cultura económica).

Kyle, W.C.Jr. (1994). Editorial: A cornerstone for a new vision. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 695-696.

Lacasa, P. y J.A. García-Madruga (1987). Algunos modelos teóricos recientes en el estudio del desarrollo cognitivo. En H. Pereira (Coord.), *Psicología cognitiva y ciencia cognitiva* (pp. 205-248). Madrid: U.N.E.D.

Lee, O., y J. Brophy (1996). Motivational patterns observed in sixth-grade science classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 303-318.

Leo, E.L. y D. Galloway (1996). Conceptual links between cognitive acceleration through science education and motivational style: a critique of Adey and Shayer. *International Journal of Science Education*, 18, 35-49.

Luffiego, M.; Bastida, M.F.; Ramos, F. y J. Soto (1994). Systemic model of conceptual evolution., *International Journal of Research in Science Teaching*, 16, 305-313.

Lumpe, A.T. y J.R. Staver (1995). Peer collaboration and concept development: Learning about photosynthesis. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 71-98.

Marín, N. y E. Jiménez (1992). Problemas metodológicos en el tratamiento de las concepciones de los alumnos en el contexto de la filosofía e historia de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 10, 335-339.

Marín, N. (1999a). Delimitando el campo de aplicación del cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias* 17, 80-92.

Marín, N. (1999b). Del cambio conceptual a la adquisición de conocimientos: Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual de J. M. Oliva. *Enseñanza de las Ciencias*. 17, 109-114.

Méheut, M. (1997). Designing a learning sequence about a pre-quantitative kinetic model of fuses: the parts played by questions and by a computer-simulation. *International Journal of Science Education*, 19, 647-660.

Noh, T. y L.C. Scharmann (1997). Instructional Influence of a molecular-level pictorial presentation of matter on students' conceptions and problem-solving ability. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 199-217.

Novak, J.D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 937-949.

Novak, J.D. (1991a). Ayudar a los alumnos a aprender cómo aprender. La opinión de un profesor-investigador. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, 215-228.

Novak, J.D. (1991b). Clarify with concept maps. *The Science Teacher*, 58, 45-49.

Novak, J.D. (1996). Concept mapping: A tool for improving science teaching and learning. En D.F. Treagust, R. Duit, y B.J. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 32-43). New York: Teachers College.

Novak, J.D. y D.B. Gowin (1988). *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Ed. Martínez Roca, S.A.

Nussbaum, J. y S. Novick (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200.

Oliva, J.M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*. 17, 93-107.

Oliva, J.M. (2001). Distintos niveles de análisis para el estudio del cambio conceptual en el dominio de la Mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*. 19, 89-102.

Pérez-Gómez, A.I. (1989). *Análisis didáctico de las Teorías del Aprendizaje*. Secretaría de publicaciones. Universidad de Málaga.

Piaget, J. y R. García (1983). *Psychogenèse et Histoire des Sciences*. París: Flammarion. (Traducción portuguesa Piaget, J. y García, R. (1987) Psicogénesis e História das Ciências. Lisboa: Dom Quixote).

Pintrich, P.R.; Marx, R.W. y R.A. Boyle (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63, 167-199.

Porlán, R. (1993). La Didáctica de las Ciencias. Una disciplina emergente. *Cuadernos de Pedagogía*, 210, 68-71.

Posada, J.M. de (1994a). Toward an agglutinative constructivist theory of the pupils' conceptions in Science. *Proceedings of the International Conference "Science and Mathematics Education for the 21 st. Century: Towards innovatory approaches"*. Universidad de Concepción (Chile). 503-512.

Posada, J.M. de. (1994b). Un punto no resuelto en la teoría de Ausubel: La relación entre elementos experienciales y aprendizaje significativo. *Proceedings of the International Conference "Science and Mathematics Education for the 21 st. Century: Towards innovatory approaches"* (pp. 513-516). Universidad de Concepción (Chile).

Posada, J.M. de. (1996a). Hacia una teoría sobre las ideas científicas de los alumnos: Influencia del contexto. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 303-314.

Posada, J.M. de. (1996b). Un modelo psico-pedagógico aglutinador para el aprendizaje de la Física. *Revista de enseñanza de la Física*. 9, 7-24.

Posada, J.M. de. (1997). Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: Structure and evolution. *Science Education*, 81, 445-467.

Posner, G.; et al., (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.

Pozo, J.I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.

Pozo, J.I. (1996a). No es oro todo lo que reluce ni se construye (igual) todo lo que se aprende: contra el reduccionismo constructivista. *Anuario de Psicología*, 69, 127-139.

Pozo, J.I. (1996b). Las ideas del alumnado sobre ciencias: de dónde vienen, a dónde van ... y mientras tanto qué hacemos con ellas. *Alambique*, 7, 18-26.

Pozo, J.I.; Gómez, M.A.; Limón, M. y A. Sanz (1991a). *Procesos cognitivos en la comprensión de la Ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la Química*. Madrid: C.I.D.E. Centro de publicaciones del M.E.C.

Pozo, J.I.; Sanz, A.; Gómez, M.A. y M. Limón (1991b). Las ideas de los alumnos sobre la Ciencia: una interpretación desde la Psicología Cognitiva, *Enseñanza de las Ciencias*, 9, 83-94.

Pozo, J.I. (1999). Más allá del cambio conceptual: El aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 513-520.

Rips, L.J.; Shoben, E.J. y E.E. Smith (1973). Semantic distance and the verification of semantic relations. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 12, 1-20.

Rogan, J.M. (1988). Development of a conceptual framework of heat. *Science Education*, 72, 103-113.

Roth, K.J. (1985). Conceptual change learning and students processing of science texts. Artículo presentado en *The annual meeting of the American Research Association*, Chicago, IL.

Ruiz-Vargas, J.M. (1994). *Psicología de la memoria*. Madrid: Alianza editorial.

Ryle, G. (1949). *The concept of mind*. Nueva York: Penguin Books.

Santos, M.E. (1991). *Mudança conceptual na sala de aula: Um desafio pedagógico*. Lisboa: Livros Horizonte.

Shipstone, D. (1985). Electricity in simple circuits. En *Children's ideas in Science*. Glasgow: Open University Press.

Squire, L.R. (1986). Mechanisms of memory. *Science*, 232, 1612-1619.

Stavy, R. y D. Tirosh (1996). Intuitive rules in science and mathematics: The case of 'more of A - more of B' *International Journal of Science Education*, 18, 653-667.

Stevenson, J. (1991). The long-term impact of interactive exhibits. *International Journal of Science Education*, 13. Edición especial, 521-532.

Strike, G. y G. Posner (1992). A revisionist theory of conceptual change. En R.A. Duschl y R.J. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice* (pp.148-176). Albany, NY: State University of New York Press.

Tasker, R. y R. Osborne (1985). Science teaching and science learning. En *Learning in Science: The implications of children's science*. Auckland: Heinemann.

Tirosh, D. (1994). *Implicit and explicit knowledge: an educational approach*. Norwood, N.Y.: Ablex.

Toulmin, S. (1972). *La comprensión humana I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza.

Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. En E. W. Tulving, y W. Donaldson (Eds.). *Organization of Memory*. Nueva York: Academic Press.

Tulving, E. (1994). *Memory systems*. Cambridge, MA: MIT press.

Villani, A. y L. Orquiza (1997). Evolución de las representaciones mentales sobre colisiones. *Enseñanza de las Ciencias, 15*, 91-102.

Vygotsky, L.S. (1962). *Thought and language*. Cambridge: M.I.T. Press. (Traducción portuguesa Vygotsky, L. S. (1991). *Pensamento e linguagem*. San Pablo (Brasil): Martins Fontes).

Werthheimer, M. (1945). *Productive thinking*. Chicago: The University of Chicago Press.

White, T.R. y F.R. Gunstone (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education, 11* (Edición especial), 577-586.

Wildy, H. y J. Wallace (1994). Relearning to Teach Physics: In the midst of change. *Research in Science and Technological Education, 12*, 63-75.

Wildy, H. y J. Wallace (1995). Understanding teaching or teaching for understanding: Alternative frameworks for science classrooms. *Journal of Research in Science Teaching, 32*, 143-156.

Wittrock, M.C. (1986). Student's Thought Processes. En M. C. Wittrock (comp.), *Handbook of Research on Teaching* (pp. 297-314). Nueva York: MacMillan.