

VALORACIÓN DE LOS MODELOS MÁS USADOS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS BASADOS EN LA ANALOGÍA «EL ALUMNO COMO CIENTÍFICO»

MARÍN MARTÍNEZ, NICOLÁS¹ y CÁRDENAS SALGADO, FIDEL ANTONIO²

¹ Department of Didactics in Mathematics and Experimental Sciences. Faculty of Education. Almería University (Spain)

² Chemistry Department professor. Pedagógica Nacional University. PhD program in Education. Bogotá (Colombia)

nmarin@ual.es

fidelantonio.cardenas@gmail.com

Resumen. En didáctica de las ciencias, agrupar ciertos modelos de enseñanza bajo la analogía del «*alumno como científico*» resulta útil y significativo dado que hace referencia a un modo de fundamentar y argumentar propuestas para la enseñanza de las ciencias. Las premisas de la estructura lógica de esta analogía se toman de la *historia y filosofía de la ciencia* y las conclusiones desembocan en sugerencias didácticas para la clase de ciencias.

En el presente trabajo se estudian los tres modelos de enseñanza más relevantes del ámbito, que tienen como fundamento la mencionada analogía, caracterizándolos por las visiones que mantienen del conocimiento de ciencias y del alumno. Finalmente, considerando tales fundamentos, se analizan las limitaciones de los modelos para la enseñanza de las ciencias marcando a la vez direcciones de trabajo que pudieran solventarlas.

Palabras clave. Revisión, analogía del alumno como científico, concepciones alternativas, cambio conceptual, enseñanza por investigación.

An assessment of the main models used in Science Education based on the analogy «the pupil as a scientist»

Summary. In Science Education, grouping certain models of teaching under the analogy of the «*student as a scientist*» is useful and meaningful, since it has become a powerful way of supporting proposals for Science teaching. The starting point of the logical structure for this analogy is taken from history and philosophy of science and the findings have led to develop teaching strategies for Science classes. The three more important based on the above mentioned analogy teaching models related to the field are explored in this paper; also, their main characteristics are highlighted in terms of the views about knowledge of science and student they postulate. Finally, on the grounds of the above mentioned views, the limitations of these models for effective Science teaching are analyzed and some ways to overcome them are suggested.

Keywords. Review, analogy of the pupil as a scientist, alternative conceptions, conceptual change, learning research.

1. INTRODUCCIÓN

El traslado de las ideas de Kelly (1955) a la clase de ciencias dio lugar a lo que se ha venido denominando analogía de «*el alumno como científico*» –AcC– (Driver, 1983; Claxton, 1994; Solomon, 1994; Duit, 1999; Yang, 1999; Marín, Solano y Jiménez Gómez, 1999; Gil, Carrascosa y Martínez Terrades, 2000).

En general, el transporte de argumentos tomados del plano donde se describe la construcción del conoci-

miento de ciencias (historia y filosofía de las ciencias) al plano didáctico para fundamentar propuestas para la enseñanza de las ciencias es un recurso que se ha venido haciendo con profusión (ver por ejemplo, Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982; Hewson y Thorley, 1989; Duschl y Gitomer, 1991; Cudmani, 1999; Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999) y todo parece indicar, con toda probabilidad, que así continuará en el futuro (Tsai y Wen, 2005).

En el marco de la analogía *AcC* se pueden distinguir varias tendencias según qué parte de la historia y filosofía de las ciencias se enfatiza para dar fundamento a la propuesta didáctica, a los compromisos teóricos y epistemológicos que se asumen y a la metodología de clase que se propone (Yang, 1999; Marín, 2005). En concreto, basados en la analogía *AcC* cabe destacar tres modos o modelos para abordar la enseñanza de las ciencias que han gozado de una amplia aceptación en el ámbito:

- El primero de ellos, muy difundido en la década de los 80, fue denominado por algunos autores como *Movimiento de las Concepciones Alternativas (MCA)* (Gilbert y Swift, 1985; Driver y Oldhan, 1986; Driver, 1988; Driver, Guesne y Tiberghien, 1989). Con compromiso teórico ausente o poco definido (Marín, 2003b; Soto Otero y Sanjosé, 2005), en el marco de este movimiento se han elaborado multitud de trabajos cuya estructura básica presenta dos fases: *a)* se toma cierta información del alumno sobre lo que sabe del contenido de ciencias a enseñar y *b)* se establecen propuestas para la enseñanza de dicho contenido basadas en la información encontrada (Marín, Solano y Jiménez Gómez, 2001).

- El *Modelo de Cambio Conceptual (MCC)* presenta cierta diversidad en sus estrategias de cambio (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982; Hewson y Thorley, 1989; Hewson, Beeth y Thorley, 1998; Strike y Posner, 1992; Duit, 1999), pero en todos ellos contemplan una primera fase, donde se busca debilitar las ideas previas del alumno haciéndolas entrar en conflicto cognitivo con evidencias empíricas o argumentos teóricos y, en una segunda fase, se presentan los conceptos correctos de ciencias como ideas que son más plausibles y útiles para explicar tales evidencias y argumentos. Para realizar los diseños de enseñanza dirigidos a crear los conflictos, se usan modelos sobre la construcción social del conocimiento de ciencias comprometidos teóricamente, al menos en sus orígenes, con las epistemologías propuestas por Toulmin, Kuhn y Lakatos (Soto Otero y Sanjosé, 2005).

- El *Modelo de Enseñanza por Investigación (MEPI)* fundamentado en los modos más usuales con que se desarrolla la actividad científica, propone acometer las clases de ciencias simulando dicha actividad pero adecuándola a los objetivos específicos de la educación científica escolar (ver por ejemplo, Duschl y Gitomer, 1991; Gil, 1993). Aunque existe diversidad de planteamientos, todos perciben necesario aligerar el peso que dan otros modelos (por ejemplo, el tradicional y el del cambio conceptual) a los contenidos conceptuales y aumentarlo con actividades procedimentales realizadas por el alumno (Erazo y Tiusabá, 1995).

El propósito de este trabajo es realizar una evaluación, en tono crítico, de los modelos *AcC*, no tanto observando o reinterpretando los resultados académicos obtenidos en contextos de investigación o docencia, sino desde una perspectiva de coherencia teórica y metodológica. Esta evaluación se realizará en varios pasos:

- Analizar la visión que se sostiene, desde los modelos que siguen la analogía *AcC*, sobre la construcción del conocimiento de ciencias y del alumno.

- Valorar los modelos más relevantes alineados a *AcC* y, si existen, mostrar previsibles limitaciones para la enseñanza de las ciencias, marcando a la vez direcciones de trabajo que pudieran solventarlas.

En general, la perspectiva *AcC* se ha caracterizado desde tres aspectos: la visión que mantiene sobre la enseñanza de las ciencias, del conocimiento de ciencias y del alumno. Los dos primeros, la visión de la enseñanza y de ciencias se han caracterizado ampliamente en otros escritos (ver Izquierdo, 2000; Jiménez Aleixandre, 2000; McComas, Clough y Almazroa, 1998; Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia, 2002; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar y Duschl, 2003; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004; Marín, 2005) por lo que aquí no se insistirá en ellos. Ahora bien, atendiendo al interés de la línea argumental que se va a defender en este trabajo, centraremos la atención, someramente, en caracterizar la visión del conocimiento de ciencias y, más profusamente, en precisar la visión del conocimiento del alumno que se ha usado desde *AcC*.

El hecho de limitar la evaluación de modelos *AcC* a una reflexión teórica, sin consideraciones de los resultados empíricos, no se percibe como una restricción excesiva de este trabajo si se tiene en cuenta que los defensores de los modelos *AcC* prevén las supuestas mejoras de los resultados académicos más desde consideraciones teóricas que a partir de datos empíricos obtenidos de la práctica de clase (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Duit, 1999; Soto Otero y Sanjosé, 2005).

2. VISIÓN DEL CONOCIMIENTO DE CIENCIAS

De forma sintética, se puede precisar los consensos actuales sobre la visión de ciencias que subyace en los modelos *AcC* (McComas, Clough y Almazroa, 1998; Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia, 2002; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar y Duschl, 2003; Mellado, 2003; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004; Acevedo, 2008) combinando una posición epistemológica (*constructivismo*) junto a un modelo holístico (*organicismo*) para entender este conocimiento:

– *Constructivismo*. El conocimiento de ciencias se debe a una continua interacción entre sus construcciones cognitivas y la confrontación empírica. Por un lado, se destaca la importancia de la actividad racional en la construcción de modelos cognitivos, pero en este proceso constructivo intervienen otros factores menos racionales (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Giere, 1999). Las construcciones no pueden ser explicadas desde un *racionalismo extremo*. Y por otro, se percibe necesaria la continua confrontación entre las construcciones teóricas y los datos empíricos, sin que éstos adquieran el valor ontológico que les da el *empirismo* ni su predominio en las construcciones teóricas.

La visión constructivista es coherente con el consenso creciente para negar el principio de correspondencia entre teoría y realidad (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Esta negación se hace evidente en la confrontación permanen-

te entre teorías y datos empíricos y en la clara oposición de que ésta se lleve a cabo por procedimientos neopositivistas (Giere, 1992; Izquierdo, 2000).

Así pues, los criterios de validez de una teoría por su supuesta correspondencia con la realidad se deben sustituir por otros más pragmáticos de utilidad, eficacia, productividad, etc. En este sentido el *pragmatismo* se puede entender como una expresión, entre otras, del marco constructivista. En efecto, actualmente no se considera que la ciencia posea por sí misma un valor cognitivo excepcional o que sea el saber más verdadero que existe (*absolutismo*), sino que su valor es más bien pragmático y relativo a la parcela de la realidad con la que está comprometido (Chalmers, 1984; Giere, 1992; Izquierdo, 2000; Marín, 2003b). Otra expresión más del constructivismo es el *relativismo moderado* cuando se percibe o se entiende que la ciencia es el mejor de los conocimientos para afrontar problemas y conseguir fines vinculados a un determinado contexto social y económico de producción de bienes (Chalmers, 1984), pero se muestra poco comprensivo y torpe para afrontar otros aspectos de la realidad ligados, por ejemplo, a contextos afectivos, familiares, sociales, políticos, religiosos, etc.

– *Organicismo*. Los complejos procesos de regulación de la comunidad de ciencias generan un cuerpo de conocimientos altamente coherente, organizado y consensuado que sólo se puede explicar adecuadamente mediante un modelo orgánico. Éste interpreta el conocimiento con la metáfora de un organismo (Pozo, 1989; Botella, 1994; Luffiego, 2001) donde el todo no se puede reducir a las partes y las relaciones causales no son simples y lineales, como lo haría el *mecanicismo* (Peñalver, 1988). La visión orgánica se aleja de visiones deformadas del conocimiento de ciencias según las cuales:

- la aplicación mecánica de una secuencia de procedimientos (el llamado método científico) puede llevar a crear o construir conocimiento seguro, fiable o verdadero (Bunge, 1981),
- el crecimiento de las ciencias se hace de un modo lineal por acumulación de conocimientos (Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia, 2002).

Nótese que la mayoría de las características del organicismo son también atribuidas a lo que se denomina *holismo* (Botella, 1994).

En definitiva, una visión de las ciencias que está bastante consensuada se podría etiquetar como *constructivismo orgánico*.

3. VISIÓN DEL CONOCIMIENTO DEL ALUMNO

Resulta difícil dibujar la visión cognitiva del alumno que se mantiene desde modelos *AcC*, pues lo usual es que no se pronuncien, guarden silencio, no se perciba conveniente explicarlo o no realicen afirmaciones sobre qué modelo cognitivo del alumno se asume en la

investigación (Marín, Solano y Jiménez Gómez, 1999). Por esto, para indagar sobre las creencias que se mantienen en el ámbito de la didáctica de las ciencias sobre la cognición del alumno se precisa acudir a trabajos que han estudiado, por un lado, el conocimiento del alumno y, por otro, las dificultades de comprensión y aprendizaje de las ciencias (Marín, 2003b). Los resultados encontrados en la revisión de ambos grupos de trabajo son los siguientes.

3.1. Sobre concepciones del alumno

Revisiones realizadas por nosotros (Marín y Benarroch, 1994; Jiménez Gómez, Solano y Marín, 1997; Benarroch, 1998; Marín, Solano y Jiménez Gómez, 2001) ponen de manifiesto que los investigadores mantienen en sus trabajos visiones inadecuadas del conocimiento del alumno, tales como:

- *La organización cognitiva del alumno es asimilada a la estructura y organización conceptual de las ciencias en su versión académica*. Esta visión del conocimiento del alumno se pone de manifiesto cuando, de forma casi sistemática, los contenidos disciplinares constituyen el principal referente para buscar e interpretar las manifestaciones cognitivas del alumno.

El ámbito de la enseñanza de las ciencias ha estado marcado en exceso por un modelo cognitivo del alumno mediatizado por la organización de los contenidos académicos de ciencias en entramados de conceptos, relaciones y teorías (para ejemplos de modelos de entramado conceptual ver, Ausubel, Novak y Hanesian, 1986; Carey, 1991). Esto da una visión demasiado explícita, declarativa y sintáctica de la construcción de los significados individuales.

La estructura cognitiva del alumno no se puede asimilar a una estructura conceptual puesto que buena parte de sus contenidos cognitivos no están relacionados con los contenidos académicos (Marín, 2005), por ejemplo, los de carácter implícito y procedimental (Piaget, 1974; Karmiloff-Smith, 1994), los vinculados fuertemente a lo afectivo (Botella, 1994; Marina, 1998; Pintrich, 1999) o muchos otros construidos por interacción personal con su entorno físico cotidiano. Además, las vivencias de cada sujeto le lleva a establecer sus categorías naturales, lejos de la lógica de clases por las que se rigen las estructuras conceptuales de cada disciplina (Pozo, 1989).

- *Excesiva confianza en creer que las respuestas del alumno representan su conocimiento*. Esto se pone de manifiesto en la ausencia de controles en la toma e interpretación de datos que evalúen el grado de fiabilidad o validez de los mismos. Es discutible este modo de proceder, ya que:

a) Cabe la posibilidad de que el alumno dé respuestas in situ, al azar o inventadas, probabilidad que aumenta cuando las preguntas están demasiado encorsetadas por los conceptos académicos y dan poca oportunidad de que el alumno exprese su conocimiento cotidiano.

b) En ocasiones el significado que asocia el alumno a un buen número de términos académicos es diferente al de los investigadores.

c) No se puede evitar el sesgo del investigador. Es dudoso que la interacción entre los sistemas cognitivos del investigador y del alumno termine ofreciendo datos neutrales que hablan sólo de éste último. Conscientes de que los datos que usa el investigador están necesariamente sesgados, solo queda la posibilidad de minimizar estos «efectos».

Al admitir toda respuesta del alumno como válida, subyace cierto optimismo realista que surge ante la ausencia de considerar modelos más desarrollados sobre la cognición del alumno puesto que el único referente usado es el contenido objeto de enseñanza (Jiménez-Gómez, Benarroch y Marín, 2006).

• *Se percibe el conocimiento del alumno incoherente, fragmentado y confuso.* Sin embargo, desde la perspectiva del propio sujeto, su conocimiento es coherente, útil y eficazmente pragmático para responder a las usuales demandas de su entorno cotidiano (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Desde una perspectiva con intención objetiva, el conocimiento coherente del sujeto es una consecuencia necesaria de la tendencia orgánica de autorregulación por la que se rigen sus construcciones cognitivas y, en general, cualquier organismo vivo (Piaget, 1978).

La incoherencia, fragmentación y confusión son características que surgen al confrontar el conocimiento del alumno con cuestiones académicas y son, la mayoría de las veces, más que atributos cognitivos del sujeto, un «efecto colateral» de determinadas deficiencias de la metodología utilizada (Oliva, 1996; Marín, Benarroch y Jiménez Gómez, 2000). Es normal que un modelo cognitivo «inspirado» en la estructura conceptual de las ciencias perciba el conocimiento del alumno un tanto devaluado en relación con otros modelos mejor fundamentados en datos psicológicos.

3.2. Sobre enseñanza, comprensión y aprendizaje de las ciencias

Los trabajos que abordan problemas sobre la enseñanza de las ciencias, de un modo más o menos implícito, se ven obligados a realizar previsiones sobre sus resultados y, por tanto, a poner de manifiesto ocasionalmente las visiones que se mantienen sobre aprendizaje o sobre los constructos que se deben desarrollar o cambiar en el conocimiento del alumno, así:

• *Se admite que la construcción del conocimiento social de ciencias puede servir de modelo, al menos parcial, de la construcción del conocimiento individual.* Formulados de otro modo, se asume la validez psicológica de un modelo sobre conocimiento externo al sujeto. Consecuentemente, el modelo de alumno que se maneja, respecto a otros más respetuosos con datos psicológicos, es más racional y lógico (Pintrich, 1999) y más declarativo y explícito (Marina, 1998).

Es difícil entonces admitir, como modelo de la actividad cognitiva del alumno, el que ofrece la analogía «*el alumno como científico*», dadas las diferencias notables entre la construcción del conocimiento de ciencias y el del alumno (Marín, 2003a).

• *Se admite correspondencia entre conocimiento y realidad, y entre enseñanza y aprendizaje.* Una posición constructivista coherente asume que la construcción del conocimiento del sujeto siempre es un proceso interno, si bien éste es indirectamente inducido, animado, sugerido o intensificado por la interacción social y natural del sujeto con su medio (Delval, 1997). O dicho de otro modo, las contingencias del medio o la información simbólica que llega al sujeto no pasa directamente a integrarse en su estructura cognitiva, es decir, no existe apropiación directa de la información externa. Esto permitiría hablar figurativamente de que entre el órgano cognitivo y el exterior del sujeto existe una membrana que impide el tránsito cognitivo del medio al sujeto y viceversa. Ahora bien, para no caer en alguna de las posiciones empiristas, no se podría imaginar que la membrana pudiera tener cualquier grado de permeabilidad, y para desmarcarse de la posición del constructivismo radical, dicha membrana no sería rígida sino que su flexibilidad permitiría al sujeto interactuar con su medio y realizar sus construcciones cognitivas con la información que le aporta dicha interacción, pero el no poder salir de ésta explicaría la imposibilidad de hacer comparaciones directas de su conocimiento con la realidad externa o hacer apropiaciones cognitivas directas.

Está bastante consensuado entre las diferentes posiciones constructivistas el admitir que la asignación de significados es un proceso individual, igual que sus construcciones cognitivas. Para no llegar a perder esta coherencia constructivista, admitir la fuerte influencia del entorno social en la construcción cognitiva individual no debería inducir a pensar que el acervo cultural pase sin dificultad a añadirse al conocimiento del sujeto.

Por las razones dadas, se puede afirmar que la posición epistemológica que se mantiene desde los modelos AcC es paradójica, pues por un lado se etiqueta constructivista pero, por otro, en diversas líneas de trabajo, se mantiene la correspondencia entre conocimiento y realidad. Así se explica que:

• Tanto el empirismo como el constructivismo usado bajo la analogía AcC conciben la empresa de la ciencia en términos de individuos que observan el mundo y tratan de comprobar si sus ideas y conceptualizaciones tienen sentido; uno y otro toman la correspondencia entre las ideas y la realidad como el *sine qua non* del conocimiento (Matthews, 1994a).

• Exista una versión del constructivismo que sólo acepta cierto compromiso con el principio «*el conocimiento es construido activamente por el sujeto*». A éste se tacha de *trivial* para enfatizar su carácter superficial (Glaserfeld, 1991). Esta posición trivial es la más usual en los trabajos alineados con los modelos AcC (Matthews, 1994b).

- Se percibe coherente la posibilidad de reconstruir un modelo de la actividad cognitiva del alumno desde el plano de la organización y construcción del conocimiento de ciencias. Sin embargo, esto rompe con la coherencia constructivista si se tiene en cuenta la forma como se produce la mecánica de construcción de significados individuales y se admite una correspondencia exterior-interior del sujeto, al menos a nivel de reconstrucción de sistemas simbólicos creados por el hombre.

- Se admitan ciertos vínculos causales entre enseñar y aprender (para ejemplos ver, Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982; Gil, Carrascosa, Dumas-Carré, Furio, Gallego, Gené y otros, 1999; Duit, 1999; Cudmani, Pesa, Salinas, 2000; Gobert, 2000, Clement, 2000). Si la construcción cognitiva es individual entonces, para mantener la coherencia constructivista, la membrana que separa al sujeto del medio debe persuadir de cualquier intento de vincular causalmente las condiciones de enseñanza con el posible aprendizaje del sujeto, por muy favorables que éstas sean. El aprendizaje que puede ocasionar determinadas condiciones de enseñanza debería verse como especulativo y tratar los previsibles efectos en el sujeto como posibilidad (Delval, 1997; Pozo y Scheuer, 1999). Además, el posible vínculo entre enseñar y aprender es aún más discutible cuando se diseña la enseñanza con modelos de construcción de conocimientos externos al sujeto.

- Se admita la posibilidad de que el alumno puede aprender el significado del contenido de enseñanza, ya sea de un modo inmediato (visión directa del aprendizaje) o mediado y trabajado (visión interpretativa) (Pozo, Scheuer, Pérez Echeverría, Mateos, Martín y De la Cruz, 2006).

En pocas palabras, las propuestas didácticas basadas en AcC mantienen su coherencia constructivista para los diferentes contextos de la construcción del conocimiento de ciencias, pero rompen tal coherencia cuando abordan cuestiones sobre conocimiento y aprendizaje del sujeto. Ante el aprendiz, parecen estar comprometidas superficialmente con la frase «*el alumno construye sus conocimientos*», lo cual es poco bagaje para afrontar cualquier investigación dado que carecen de los detalles psicológicos que podría aportar un modelo sobre la construcción del conocimiento individual (Pozo, 1996; Marín, 2003b).

4. VALORACIÓN DE LOS MODELOS DEL AcC

Puesto que los resultados académicos de los modelos AcC han sido previstos por sus defensores desde una argumentación más teórica que práctica (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Duit, 1999; Soto Otero y Sanjosé, 2005), parece lógico que se puedan debatir con la misma dialéctica argumental. Dicho esto, no es difícil mostrar que los puntos débiles de la analogía AcC residen en las creencias que se suelen manejar sobre cómo organiza y adquiere el alumno su conocimiento. Mostremos esto para cada uno de los modelos:

4.1. Sobre el Modelo de las Concepciones Alternativas (MCA)

Vistas las creencias sobre la visión del alumno, el modo de proceder del MCA presenta dos deficiencias notables:

- La información tomada del alumno esta seriamente limitada (se obvian aspectos relevantes del conocimiento del alumno: ideas sobre el entorno cotidiano, habilidades procedimentales, contenidos implícitos, estructuras cognitivas generales, operaciones mentales, etc.) y sesgada, puesto que la búsqueda e interpretación de datos está guiada por un contexto inapropiado (Marín, Solano y Jiménez Gómez, 2001). Las estrategias didácticas que se apoyen en esta información podrán heredar también estas deficiencias como se muestra a continuación:

- Es usual que buena parte de la información obtenida se refiera al desconocimiento del alumno de las cuestiones planteadas, dado que están formuladas a un nivel académico excesivo. Diseñar cuestiones con un gradiente de dificultad variado permite tomar datos donde es posible tomar información del alumno por lo que sí conoce (Marín, Jiménez-Gómez y Benarroch, 2004). Esta información permite adoptar nuevas medidas didácticas (Marín, 2005).

- En un buen número de ocasiones, el alumno intenta comprender la explicación del profesor desde sus esquemas de conocimiento construidos en su entorno cotidiano; en estos casos el MCA carece de respuestas didácticas adecuadas al disponer de poca o ninguna información sobre la componente cotidiana del conocimiento del alumno (Marín, Solano y Jiménez Gómez, 2001).

- Además de conocimientos específicos, el alumno posee estructuras cognitivas de carácter general que le permiten procesar información tanto simbólica como empírica (clasificar, medir, inferir, combinar, deducir, controlar variables, etc.). La importancia de estas estructuras en una enseñanza procedimental es indudable; sin embargo, el MCA, centrado en aspectos específicos del conocimiento, parece obviarlas (Marín, Solano y Jiménez Gómez, 2001).

- La consideración de que el aprendizaje se da cuando se vincula en un solo paso el conocimiento del alumno y sus implicaciones para la enseñanza presenta limitaciones (Viennot, 1985; Hewson, Beeth y Thorley, 1998). Por ejemplo:

- La anterior idea sugiere que se puede lograr buenos aprendizajes por el simple hecho de que el docente considere las ideas previas del alumno; como si la mecánica de aprendizaje del sujeto se redujera a establecer relaciones o asociaciones sencillas entre ideas previas y nuevas. Esta imagen del aprendizaje choca con la dificultad manifiesta del alumno para adquirir o comprender los diferentes contenidos de ciencias y con diversos tipos de aprendizaje mejor fundamentados psicológicamente (Piaget, 1978; Claxton, 1987; Pozo, 1989; García Madrugas, 1990; Pozo y Gómez Crespo, 1998).

– El conocimiento del alumno presenta cierta estructura organizada y desde luego no es una dispersión heterogénea de ideas (Pozo y Gómez Crespo, 1998), así que las estrategias de enseñanza deberían organizarse más para modificar esquemas de conocimiento, en algunos casos fuertemente arraigados, que pequeñas ideas dispersas (Oliva, 1999; Taber, 2000; Vosniadou, 1999). Existen esquemas específicos, conceptuales, implícitos, con importante carga procedimental, más o menos ricos en significados, más o menos ligados al sistema afectivo del sujeto; en cada caso, la mecánica de aprendizaje para modificarlos es diferente (Claxton, 1987) y tan importante como tener información sobre las ideas académicas del alumno es conocer los diferentes tipos y estilos de aprendizaje así como qué tipo de elementos de la organización cognitiva se pretenden modificar (Viennot, 1985; Marín, 1997; Hewson, Beeth y Thorley, 1998; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Oliva, 1999; Cárdenas, 2006).

4.2. Sobre el Modelo del Cambio Conceptual (MCC)

La crítica más consensuada al MCC es que es una propuesta de enseñanza basada en supuestos de aprendizaje discutibles, dado que están tomados de modelos sobre la construcción social del conocimiento de ciencias que en muchos casos chocan frontalmente con los modos con que el sujeto «cambia» o «sustituye» su conocimiento o parecen desconocer o descuidar otros tipos de aprendizaje (Claxton, 1987; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Oliva, 1999; Marín, 1999; Pozo, 2007; Nersessian, 2008).

La visión que maneja el MCC del aprendizaje se aleja del constructivismo para acercarse a lo que se denomina *realismo interpretativo*, incluso al *positivismo*, cuando centran sus esfuerzos en cambiar las ideas de los alumnos por las de ciencias que juega el papel de conocimiento correcto, verdadero y aceptado (Pozo y Gómez Crespo, 1998).

4.3. Sobre el Modelo de Enseñanza por Investigación (MEPI)

Las propuestas basadas en *AcC* que fomentan una clase de ciencias usando procedimientos característicos de la actividad científica (ver por ejemplo, Duschl y Gitomer, 1991; Gil, 1993) muestran cierta debilidad cuando obvian o no hacen intervenir adecuadamente las capacidades y limitaciones procedimentales de los alumnos (Piaget, 1977; Shayer y Adey, 1984; Lawson 1993). Esto es un requisito básico para evitar que el alumno se frustre intentando desarrollar actividades con un nivel de exigencia por encima de sus capacidades procedimentales.

Los defensores del MEPI deberían tener en cuenta que poco más del 20% de los alumnos de secundaria alcanzan algunas habilidades del pensamiento formal (Shayer y Adey, 1984; Marín, 1986); si se les exige afrontar una y otra vez problemas mediante estrategias hipotético-deductivas donde deben controlar variables o saber contrastar una de ellas dejando constante el resto

(Inhelder y Piaget, 1972), es muy previsible el fracaso continuado si antes no se fomenta el desarrollo formal de su pensamiento.

Así, las propuestas sobre resolución de problemas o de laboratorio usando procedimientos de la actividad científica (ver por ejemplo Gil, Dumas-Carré, Caillot, Martínez Torregrosa y Ramírez, 1988) podrían matizarse y ampliarse estableciendo nuevas condiciones de enseñanza que consideren factores tan significativos como el nivel operacional, la capacidad de la memoria operativa o el estilo cognitivo, etc. (Roth, 1990; Niaz, 1991; Shayer y Adey, 1993).

Además, de forma implícita, el MEPI asume cierto isomorfismo entre las actividades de clase por investigación y la mecánica de aprendizaje del alumno. Es dudoso que los procesos constructivos del aprendizaje sean similares a los que aparecen en la construcción social de ciencias si se tienen en cuenta las diferencias notables entre unos y otros (Pozo y Gómez Crespo, 1998), ya nos centremos en los escenarios donde se hacen las construcciones cognitivas (Rodrigo, 1997) o en las mecánicas de construcción de ambos conocimientos (Marín, 2003a).

Está tan fuertemente arraigado entre los autores alineados a MEPI el isomorfismo entre aprendizaje de los alumnos y actividad de los científicos que llegan a afirmar que «la metáfora que contempla a los alumnos como *investigadores noveles* proporciona una mejor apreciación de la situación de aprendizaje» (ver Gil, Guisáosla, Moreno, Cachapuz, Pessoa de Carvalho, Martínez Torregrosa y otros, 2002). Las clases de ciencias, ya se estructuren como investigación autónoma o dirigida por el profesor, están dentro del marco de la analogía *AcC* y, por tanto, les afecta las limitaciones apuntadas sobre ésta.

5. CONCLUSIONES

A pesar de las limitaciones mostradas en el párrafo anterior, los modelos basados en la analogía *AcC* suponen un progreso respecto a otros modelos que son usuales en las clases de ciencias, y sus fundamentos se han mostrado necesarios para desarrollar una enseñanza coherente con los modos de construcción de este conocimiento. Cabe entonces preguntarse ¿hasta dónde llegan los modelos *AcC*? y sobre todo ¿qué falta por recorrer?, o quizá mejor preguntarse ¿se puede precisar qué falta por recorrer?

No es fácil precisar hasta dónde llegan los modelos *AcC*, entre otras razones, porque desde una estricta perspectiva constructivista no se pueden establecer vínculos causales sencillos o lógicos entre enseñar y aprender, lo que hace percibir como especulativas las previsiones que se hagan desde cualquier modelo de enseñanza. Para delimitar el alcance de *AcC* se dan dos posiciones extremas:

- La posición más optimista la mantienen los defensores de los modelos *AcC* (Jiménez Aleixander, 2000; Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia, 2002; Gil, Guisáosla, Moreno, Cachapuz, Pessoa de Carvalho, Martínez Torregrosa y otros, 2002). En general, esta posición

admite que la aplicación de éstos en la clase de ciencias *a*) permite el diseño de una enseñanza coherente y bien estructurada que va más allá de la enseñanza de contenidos conceptuales, ligando consecuentemente éstos con la metodología utilizada para producirlos; *b*) evita las típicas visiones deformadas del conocimiento de ciencias que con tanta frecuencia se inducen en el alumnado; *c*) supone una mejor comprensión de los contenidos y la posibilidad de ser transferidos al entorno cotidiano y para resolver problemas auténticamente nuevos.

- La posición menos optimista admite todos los logros que se refieren a la enseñanza (*a*, incluso *b*) pero pone en duda los referidos al aprendizaje (*c*). Y es que como hemos defendido en otro trabajo (Marín, 2003b) «*no se debe confundir un mayor acuerdo entre enseñanza de ciencias y quehacer científico con una mayor comprensión del alumno de los contenidos*».

En general, por lo que se percibe en la literatura, los modelos del *AcC* han dedicado casi todo su esfuerzo en disponer de una visión de la ciencia bien desarrollada y consensuada a la vez que han descuidado hacer algo semejante con la visión del alumno que, como se ha visto, es pobre, sesgada y, en ocasiones, errónea. Es ahí por donde le vienen las limitaciones a los modelos *AcC* pero también por ahí están las claves para buscar

soluciones didácticas que complementarían y que, presumiblemente, permitirían superar las debilidades de estos modelos.

Usando el acrónimo *AcA* para aquellas orientaciones didácticas basadas en el aprendizaje de ciencias, valdría decir que si las orientaciones didácticas *AcC* se deducen de una visión adecuada de cómo se construye el conocimiento de ciencias, las orientaciones didácticas *AcA* se deducen de una visión adecuada sobre cómo se construye el conocimiento del alumno.

Si denominamos a la expresión *AcC + AcA* *visión complementaria de la enseñanza de las ciencias* ¿la suma *AcC + AcA* garantiza entonces la adquisición de conocimientos de ciencias por parte del alumno? No. Insistimos en que no se pueden establecer vínculos causales sencillos o lógicos entre enseñar y aprender, así pues, sólo es posible afirmar que los diseños de enseñanza *AcC + AcA* tienen más probabilidades de crear aprendizaje que los diseños *AcC*.

Exponer aquí las orientaciones didácticas *AcA* extralimitaría el espacio de publicación de este trabajo y bien podría formar parte del contenido de uno nuevo. Mientras, aunque la lista de orientaciones didácticas puede ser mayor, se pueden leer algunas de ellas en Marín (2005, §2.2.3.1).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, J.A. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), pp. 134-169.
- AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D. y HANESIAN, H. (1986). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- BENARROCH, A. (1998). *Las explicaciones de los estudiantes sobre las manifestaciones corpusculares de la materia*. (tesis inédita), Facultad de Educación (Universidad de Granada).
- BOTELLA, L. (1994). *Constructivismo y Desarrollo del Conocimiento: Procesos Ortogenéticos de Evolución de las Teorías Personales*. Tesis doctoral no publicada. Disponible en <<http://fpce.blanquerna.edu/constructivisme>>.
- BUNGE, M. (1981). *La investigación científica*. Barcelona: Ariel.
- CAREY, S. (1991). *Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change?*, en Carey, S. y Gelman, R. The epigenesis of mind. Erlbaum: Hillsdale, N.J.
- CÁRDENAS, S. F. A. (2006). *Dificultades de aprendizaje en química, caracterización y búsqueda de alternativas para superarla: Ampliación y continuación*. Centro de Investigaciones. Bogotá: Universidad de La Salle.
- CLAXTON, G. (1987). *Vivir y aprender*. Madrid: Alianza Editorial.
- CLAXTON, G. (1994). *Educación mentes curiosas. El reto de la ciencia en la escuela*. Madrid: Visor.
- CLEMENT, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 1041-1053.
- CUDMANI, L.C. (1999). Ideas epistemológicas de Laudan y su posible influencia en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 327-332.
- CUDMANI, L.C., PESA, M.A. y SALINAS, J. (2000). Hacia un modelo integrador para el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), pp. 3-13.
- CHALMERS, A.F. (1984). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Madrid: Siglo XXI.
- DELVAL, J. (1997). *Tesis sobre el constructivismo*, pp.15-24, en Rodrigo, M.J. y Arnay, J. (comp.). La construcción del conocimiento escolar. Barcelona: Paidós.

- DRIVER, R. (1983). *The pupil as scientist*. Milton Keynes, UK: Open University Press.
- DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículum en Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(6), pp. 109-120.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHIE, A. (1989). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata/M.E.C. (Ver. orig. 1985. Children's ideas in science. Londres: Open University Press).
- DRIVER, R. y OLDFHAM, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in Science. *Studies in Science Education*, 13, pp. 105-122.
- DUIT, R. (1999). Conceptual change approaches in Science Education, en Schnotz, W., Vosniadou, S. y Carretero, M. (eds.). *New perspectives on conceptual change*, pp. 263-282. Londres: Elsevier.
- DUSCHL, R.A. y GITOMER, D.H. (1991). Epistemological Perspectives on Conceptual Change: Implications for Educational Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), pp. 839-858.
- ERAZO P. M. y TIUSABÁ, B. E. (1995). Hacia una enseñanza de las ciencias por investigación. *Educación y cultura. FEODE*, 38, pp. 37-44.
- FERNÁNDEZ, I., GIL, D., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, A. y PRAIA, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp. 477-488.
- GARCÍA MADRUGA, J.A. (1990). *Aprendizaje por descubrimiento frente a aprendizaje por recepción. La teoría del aprendizaje verbal significativo*, en Coll, C., Palacios, J. y Marchesi, A. Desarrollo psicológico y Educación, II, pp. 81-93. Madrid: Alianza Editorial.
- GIERE, R. (1992). *Cognitive Models of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- GIERE, R. (1999). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra. pp. 63-70.
- 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(2), pp. 197-212.
- GIL, D., DUMAS-CARRÉ, A., CAILLOT, M., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y RAMÍREZ, L. (1988). La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación. *Investigación en la Escuela*, 6, pp. 3-20.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., DUMAS-CARRÉ, A., FURIO, C., GALLEGO, R. GENÉ, A., GONZÁLEZ, E., GUIASOLA, J., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., PESSOA DE CARVALHO, SALINAS, J., TRICÁRICO, H. y VALDÉS, P. (1999). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), pp. 503-512.
- GIL, D., CARRASCOSA, J. y MARTÍNEZ TERRADES, F. (2000). Una disciplina emergente y un campo específico de investigación, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp.11-34. Alcoy: Marfil.
- GIL, D., GUISÁOSLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA DE CARVALHO, A.M., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ DUCH, A., DUMAS-CARRÉ, A., TRICÁRICO, H. y GALLEGO, R. (2002). Defending Constructivism in Science Education. *Science & Education*, 11(6), pp. 557-571.
- GILBERT, J.K. y SWIFT, D.J. (1985). Towards a lakatosian analysis of the piagetian and alternative conceptions research programs. *Science Education*, 69(5), pp. 681-696.
- GLASERSFELD, E. VON. (1991). Constructivism in Education, en Lewy, A. *The International Encyclopedia of Curriculum*. Oxford: Pergamon Press.
- GOBERT, J.D. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 891-894.
- HEWSON, P.W., BEETH, M.E. y THORLEY, N.R. (1998). Teaching for Conceptual Change, en Fraser, B.J. y Tobin, K.G. (eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 199-218. Londres: Kluwer.
- HEWSON, P.W. y THORLEY, R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. *Internacional Journal of Science Education*, 11(5), pp. 541-553.
- INHELDER, B. y PIAGET, J. (1972). *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós. (Ver. orig. 1955. *De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent*. París: Presses Universitaires de France).
- IZQUIERDO, M. (2000). Fundamentos Epistemológicos, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 35-64. Alcoy: Marfil.
- IZQUIERDO, M., SANMARTÍ, N. y ESPINET, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 45-60.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2000). Modelos Didácticos, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp.165-186. Alcoy: Marfil.
- JIMÉNEZ GÓMEZ, E., SOLANO, I. y MARÍN, N. (1997). Evolución de la progresión de la delimitación de las «ideas» de alumno sobre fuerza. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), pp. 309-328.
- JIMÉNEZ-GÓMEZ, E., BENARROCH, A. y MARÍN, N. (2006). The coherence of conceptions: a study concerning the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Education*, 43(6), pp. 577-598.
- KARMILOFF-SMITH, A. (1994). *Más allá de la modularidad*. Madrid: Alianza.
- KELLY, G. (1955). *The psychology of personal constructs*. Nueva York: Norton.
- LAWSON, A.E. (1993). Deductive reasoning, brain maturation, and science concept acquisition: Are they linked? *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), pp. 1029-1051.
- LUFFIEGO, M. (2001). Reconstruyendo el constructivismo: hacia un modelo evolucionista del aprendizaje de conceptos. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), pp. 377-392.

- MARÍN, N. (1986). *Estudios sobre las S.R.T de M. Shayer*. Comunicación presentada a los VII Encuentros de Didáctica de la Física y Química, Jaén.
- MARÍN, N. (1997). *Fundamentos de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Almería: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería.
- MARÍN, N. (1999). Del cambio conceptual a la adquisición de conocimientos. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 109-114.
- MARÍN, N. (2003a). Conocimientos que interaccionan en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), pp. 65-78.
- MARÍN, N. (2003b). Visión constructivista dinámica para la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra, pp. 43-55.
- MARÍN, N. (2005). *La enseñanza de las ciencias en Educación Infantil*. Grupo Editorial Universitario: Granada.
- MARÍN, N., BENARROCH, A. y JIMÉNEZ GÓMEZ, E. (2000). What is the relationship between Social Constructivism and Piagetian Constructivism? An analysis of the characteristics of the ideas within both theories. *International Journal of Science Education*, 22(3), pp. 225-238.
- MARÍN, N., SOLANO, I. y JIMÉNEZ GÓMEZ, E. (2001). Characteristics of the methodology used to describe students' conceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), pp.663-690.
- MARÍN, N., SOLANO, I. y JIMÉNEZ GÓMEZ, E. (1999). Tirando del hilo de la madeja constructivista. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), p. 479-492.
- MARÍN, N. y BENARROCH, A. (1994). A comparative study of Piagetian and constructivist work on conceptions in science. *International Journal of Science Education*, 16(1), pp. 1-15.
- MARÍN, N., JIMÉNEZ-GÓMEZ, E. y BENARROCH, A. (2004). How to identify replies that accurately reflect students' knowledge? A methodological proposal. *International Journal of Science Education*, 26(4), pp. 425-445.
- MARINA, J.A. (1998). *La selva del lenguaje*. Barcelona: Anagrama.
- MATTHEWS, M.R. (1994a). Vino viejo en botellas nuevas: un problema con la epistemología constructivista. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), pp. 79-88.
- MATTHEWS, M.R. (1994b). *Science Teaching. The role of history and Philosophy of Science*. Routledge: Londres.
- MELLADO, V. (2003). Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (3), pp. 343-358.
- MCCOMAS W.F., CLOUGH, M.P. y ALMAZROA, H. (1998). *The Role And Character of The Nature of Science in Science Education*, en McComas, W.F. (eds.). *The Nature Of Science In Science Education. Rationales and Strategies*, pp. 3-39. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- NERSESSIAN, N. (2008). Mental Modeling in Conceptual Change, en Vosniadou, S. (ed). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. pp. 391-416.
- NAIAZ, M. (1991). Correlates of formal operational reasoning: a neo-piagetian analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), pp. 19-40.
- OLIVA, J.M. (1996). Estudios sobre consistencia de las ideas de los alumnos en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), pp. 87-92.
- OLIVA, J.M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 93-108.
- OSBORNE, J.F., COLLINS, S., RATCLIFFE, M., MILLAR, R. y DUSCHL, R. (2003). What «Ideas-about-Science» Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, pp. 692-720.
- PEÑALVER, C. (1988). El pensamiento sistémico: del constructivismo a la complejidad. *Investigación en la Escuela*, 5, pp. 11-16.
- PIAGET, J. (1974). *El estructuralismo*. Barcelona: Oikos-tau.
- PIAGET, J. (1977). *Epistemología genética*. Argentina: Solpin. (Ver. orig. 1970. L'epistemologie génétique. París: Presses Universitaires de France).
- PIAGET, J. (1978). *La equilibración de las estructuras cognitivas, «Problema central del desarrollo»*. Madrid: Siglo XXI.
- PINTRICH, P.R. (1999). Motivational Beliefs as Resources for and Constraints on Conceptual Change, en Schnotz, W., Vosniadou, S. y Carretero, M. (eds.). *New perspectives on conceptual change*, pp. 33-50. Londres: Elsevier.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. y GERTZOG, W.A. (1982). Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), pp. 211-227.
- POZO, J.I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
- POZO, J.I. (1996). No es oro todo lo que reluce ni se construye (igual) todo lo que se aprende: contra el reduccionismo constructivista. *Anuario de Psicología*, 69, pp. 127-139.
- POZO, J.I. (2007). Ni cambio ni conceptual: la reconstrucción del conocimiento científico como un cambio representacional, en Pozo, J.I. y Flores, F. (eds.). *Cambio conceptual y representacional en la enseñanza de la ciencia*. Antonio Machado Libros, Madrid: OREALC-UNESCO/Universidad de Alcalá.
- POZO, J.I. y GÓMEZ CRESPO, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- POZO, J.I. y SCHEUER, N. (1999). *Las concepciones sobre el aprendizaje como teorías implícitas*, pp. 87-108, en Pozo, J.I. y C. Monereo. *El aprendizaje estratégico*. Madrid: Aula XXI/Santillana.
- POZO, J.I., SCHEUER, N., PÉREZ ECHEVERRÍA, M.P., MATEOS, M. y DE LA CRUZ, M. (2006). *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje*. Barcelona: Graó.

- RODRIGO, M.J. (1997). *Del escenario sociocultural al constructivismo episódico: un viaje al conocimiento escolar de la mano de las teorías implícitas*, en Rodrigo, M.J. y Arnay, J. (comp.). *La construcción del conocimiento escolar*, pp.177-194. Barcelona: Paidós.
- ROTH, W.M. (1990). Neo-piagetian predictors of achievement in physical science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(6), pp. 509-521.
- SHAYER, M. y ADEY, P.S. (1984). *La ciencia de enseñar Ciencia*, «Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículum». Madrid: Narcea.
- SHAYER, M. y ADEY, P.S. (1993). Accelerating the development of formal thinking in middle and high school students IV: three years after a two years intervention. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(4), pp. 351-366.
- SOLOMON, J. (1994). The rise and fall of constructivism. *Studies in Science Education*, 23, pp. 1-19.
- SOTO, C., OTERO, J. y SANJOSÉ, V. (2005). A review of conceptual change research in science education. *Journal of Science Education*, 6 (1), p 5-8.
- STRIKE, K.A. y POSNER, G.J. (1992). A Revisionist Theory of Conceptual Change, en Duschl, R. y Hamilton, R. (eds.). *Philosophy of Science, Cognitive Science and Educational Theory and Practice*. Albany (NY): SUNY Press.
- TABER, K.S. (2000). Multiple frameworks?: Evidence of manifold conceptions in individual cognitive structure. *International Journal of Science Education*, 22(4), pp. 399-417.
- TSAI, C. y WEN, M.L. (2005). Research and trends in science education from 1998 to 2002: a content analysis of publication in selected journals. *International Journal of Science Education*, 27(1), pp. 3-14.
- VÁZQUEZ, A., ACEVEDO, J.A. y MANASSERO, M.A. (2004). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: evidencias e implicaciones para su enseñanza. *Revista Iberoamericana de Educación*, edición electrónica De los Lectores, <<http://www.campus-oei.org/revista/deloslectores/702Vazquez.PDF>>.
- VIENNOT, L. (1985). Analysing students' reasoning in science: a pragmatic view of theoretical problems. *European Journal of Science Education*, 7(2), pp. 151-162.
- VOSNIADOU, S. (1999). Conceptual change research: state of the art future directions. pp. 3-14, en Schnotz, W., Vosniadou, S. y Carretero, M. (eds.). *New perspectives on conceptual change*. Londres: Elsevier.
- YANG, W.G. (1999). An Analysis of «Pupil as Scientist» Analogies. Paper presented at 5th International History, Philosophy and Science Teaching Conference: Science as Culture. Bicentenary of the Invention of the Battery by Alessandro Volta. Lake Como, Italy. (September, 15-19).

[Artículo recibido en febrero de 2009 y aceptado en octubre de 2009]

An assessment of the main models used in Science Education based on the analogy «the pupil as a scientist»

MARÍN MARTÍNEZ, NICOLÁS¹ y CÁRDENAS SALGADO, FIDEL ANTONIO²

¹ Department of Didactics in Mathematics and Experimental Sciences. Faculty of Education. Almería University (Spain)

² Chemistry Department professor. Pedagógica Nacional University. PhD program in Education. Bogotá (Colombia)

nmarin@ual.es

fidelantonio.cardenas@gmail.com

Summary

Gathering certain educational models based on the «pupil as a scientist» analogy (*AcC*) in science didactics becomes useful and significant since it is a way of supporting proposals for science education. The logical structure premises of this analogy are taken from the *history and philosophy of science*, and the conclusions provide didactic suggestions for science lessons.

Particularly, the three groups of models analyzed which are based on the «*pupil as a scientist*» analogy are:

- The first one, very popular in the eighties, was called by some authors as the *Movement of Alternative Conceptions (MCA)* (Gilbert and Swift, 1985; Driver and Oldhan, 1986; Driver, 1988; Driver, Guesne and Tiberghien, 1989).
- The *Model of Conceptual Change (MCC)* presents certain diversity in terms of its change strategies (Posner, Strike, Hewson and Gertzog, 1982; Hewson y Thorley, 1989; Hewson, Beeth and Thorley, 1998; Strike and Posner, 1992; Duit, 1999).
- The *Model of Teaching through research (MEPI)*, based on the main ways for developing scientific work, proposes to undertake science lessons by stimulating that work adapting it to the specific objectives of school scientific education (see for example, Duschl and Gitomer, 1991; Gil, 1993).

In this work, a critical assessment of *AcC* models is carried out, not by observing or reinterpreting the academic results obtained in research or educational contexts, but from a perspective of theoretical and methodological coherence. This assessment will be conducted in two steps:

- Analyzing the view that is supported, from the models that follow the *AcC* analogy, related to science and pupil's knowledge construction.
- Assessing the models lined up with *AcC*, always precisising from a coherent theoretical stance, the predictable limitations for science teaching.

Based on this review of beliefs or epistemological views that underlie the didactic proposals in *AcC*, related to science knowledge and the pupil, we consider that the constructivist coherence is maintained for the different contexts of science knowledge construction, but those perspectives break that coherence when they deal with issues about the individual's knowledge and learning. As far as pupils are concerned, they seem to be committed

superficially to the sentence «*the pupil builds his knowledge*», which is not enough background to face any research since there is a lack of psychological details that a model could provide in terms of the construction of individual knowledge (Pozo, 1996; Marín, 2003b).

Since the academic results of the *AcC* models have been foreseen by their defenders from more theoretical than practical support (Pozo and Gómez Crespo, 1998; Duit, 1999; Soto Otero and Sanjosé, 2005), it seems to be logical that they can be discussed with the same argumentative dialectics. Based on this, it is not difficult to show that the weak points of the models based on the *AcC* analogy lie in the beliefs that usually deal with how the pupil organizes and acquires his knowledge. As it is shown below:

- The structure and conceptual organization of science is a deficient model of the pupil's cognitive structure, which is perceived as more rational and declarative than the way it is in reality (Pintrich, 1999; Marina, 1998). The organization of pupil's knowledge, with a strong cognitive-affective relationship and implicit contents, cannot be assimilated to the cognitive organization of science.
- The relationship between teaching and learning that is kept from *AcC* is biased, since teaching designs foresee more mobility and cognitive value in pupil's learning than what academic results or other models for teaching sciences, which are better psychologically supported, reflect.

- In the process of teaching, particular ways of learning among individual knowledge, which are not involved in the knowledge of science or in any individual's external knowledge, are not taken into account. It is not considered, for example: a) the awareness of the implicit cognitive structures typical of pupil's daily knowledge that imply constructive processes (Piaget, 1978) or b) the processes of reflective abstraction that allow the construction of procedural structures or mental operations.

Using the *AcA* acronym for those didactic orientations based on the pupil of science, it is important to say that if *AcC* didactic orientations are deduced from an adequate view about how to construct science knowledge, the *AcA* didactic orientations are deduced from an adequate view about how to construct pupil's knowledge. The stance that we defend could be called a **complementary view of science education** and it can be expressed with the *AcC + AcA* formula. Although it does not guarantee the pupil's acquisition of science knowledge, it is likely to be a way for going beyond the *AcC* models.

