

Los estudios sobre el cambio conceptual y la enseñanza de las ciencias

María Rodríguez-Moneo¹ y Juan José Aparicio²

Abstract (*The studies about conceptual change and the teaching of sciences*)

In this paper the influence of studies about conceptual change to learning and developmental theories is examined. From this start point, it is acknowledged their impact on instructional science. Further on, the contribution of these studies to the teaching of sciences are analyzed, stressing the importance of conceptual knowledge being in service of procedural knowledge, the discrepancy between academic and real life knowledge, and the sense of science education.

La proliferación de estudios sobre el cambio conceptual que se ha venido produciendo en las dos últimas décadas ha causado un fuerte impacto debido a varias razones (Rodríguez Moneo, 2000). En primer lugar, ha favorecido el desarrollo de las nuevas concepciones sobre el aprendizaje. En segundo lugar; ha propiciado un modelo de desarrollo intelectual distinto del ofrecido desde las concepciones evolutivas clásicas. En tercer lugar y derivado de lo anterior, ha contribuido a la consolidación de las actuales perspectivas sobre el proceso de adquisición de conocimiento en la enseñanza, dando lugar al desarrollo de nuevas aplicaciones didácticas, sobre todo en la enseñanza de las ciencias.

La nueva etapa del aprendizaje

Desde una perspectiva vinculada con la investigación más básica, los trabajos sobre el cambio conceptual han determinado, en parte, que el aprendizaje recupere el protagonismo perdido. Durante el conductismo el aprendizaje fue el tema central de la psicología. Sin embargo, con el comienzo de la psicología cognitiva se produjo una reacción al hasta entonces "tema rey" de la disciplina, y la investigación sobre el aprendizaje cedió terreno al estudio de otros procesos psicológicos básicos como la aten-

ción, la percepción o la memoria (Glaser, 1995; Vosniadou, 1996). Los trabajos sobre el cambio conceptual, junto con el progreso habido en estos campos, han alentado que se vuelva a centrar la atención en el aprendizaje, convirtiéndolo en uno de los campos de investigación más activos en la actualidad (Reimann y Spada, 1996).

Desde los modelos del cambio conceptual se contempla tanto el resultado como el proceso de aprendizaje, ya que el cambio no sólo se refiere al producto de la transformación generada en la estructura de conocimiento de las personas, sino también al proceso por el cual tiene lugar dicha transformación (Chi, 1992). Además, sus análisis parten de los conceptos, que son las unidades elementales de conocimiento (Barsalou, 1992; Rosch, 2000) y están presentes en los restantes tipos de conocimiento de los individuos (Aparicio y Rodríguez Moneo, 2003).

Muy brevemente, los conceptos sirven para organizar la información del entorno, para proporcionar explicaciones sobre la realidad, para hacer predicciones y para poder actuar en el mundo. Imaginemos, por ejemplo, cómo serían las cosas si no discriminásemos entre la gran cantidad de instancias (libros, árboles, caballos...) que existen en el entorno natural en el que nos desenvolvemos. Pensemos también, dentro del dominio de la química, por ejemplo, si no pudiésemos diferenciar entre los distintos tipos de sustancias puras y mezclas, o entre diferentes elementos químicos. No podrían desarrollarse teorías ni principios o leyes.

Resulta necesario organizar la información. Para ello, atendemos a las regularidades o semejanzas entre las instancias y, en función de dichas semejanzas, establecemos clases, o categorías, que dotan de estructura a la información proveniente del medio. Pero el agrupamiento de distintas entidades en una categoría puede hacerse desde diversos criterios de semejanza. La razón última por la que agrupamos las entidades en ciertas categorías y no en otras se debe al uso que hacemos de nuestros conocimientos.

Pues bien, la representación mental de estas clases son los conceptos (Rodríguez Moneo, 1999).

¹ Universidad Autónoma de Madrid.

Correo electrónico: maria.rodriguez@uam.es

² Universidad Complutense de Madrid.

Correo electrónico: jjapar@psi.ucm.es

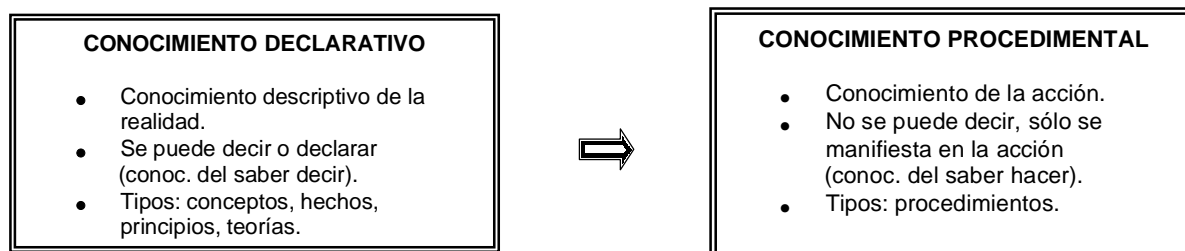


Figura 1. Diferencias entre el conocimiento declarativo y procedimental, y la vinculación entre ambos.

Así, por ejemplo, disponer de los conceptos “elemento químico” y “compuesto químico” significa tener una noción de dos clases que pueden definirse por una serie de rasgos como, por ejemplo, “los elementos químicos son sustancias formadas por átomos del mismo tipo” y “los compuestos químicos están formados por moléculas de dos o más elementos químicos”. Estos conceptos, a su vez, incluyen instancias que responden a los rasgos que definen cada una de las clases.

Además de organizar la información, los conceptos nos sirven para hacer predicciones y para poder actuar. Si, por ejemplo, adjudicamos una instancia a la categoría “metales”, le atribuimos los rasgos de esos elementos químicos, sabemos que tendrá una serie de propiedades y que responderá con un comportamiento determinado que tenemos en cuenta en las acciones que llevamos a cabo.

Por último, como se comentaba con anterioridad, los conceptos están presentes en los otros tipos de conocimiento que poseen las personas. Forman parte de *los hechos*, que pueden ser definidos como un conocimiento concreto; por ejemplo, en el hecho “el agua hierve a 100°C en determinadas condiciones de presión atmosférica” se incluyen conceptos como “agua”, “ebullición”, “grados” y “presión atmosférica”. Además, están vinculados a *los principios*, que podrían caracterizarse por relaciones de cambio entre variables; por ejemplo, en el principio “el agua cambia de estado en función de la temperatura” se incluyen dos variables: los cambios de estado y los cambios de temperatura. Este principio incorpora necesariamente conceptos como “líquido”, “sólido”, “gaseoso” y “temperatura”. Los conceptos forman parte, también, de *las teorías* que son modelos explicativos constituidos por principios, conceptos y hechos. A todo este conocimiento, que tiene como unidad elemental a los conceptos, se le llama *Conocimiento Declarativo* (véase figura 1).

Cuando los profesores de química, por ejemplo,

enseñan conceptos, hechos, principios y teorías a sus alumnos, están intentando que éstos adquieran un conocimiento declarativo, de carácter descriptivo y explicativo, que les permita organizar el saber de la química. Sin embargo, quizá lo más relevante no es tanto que los conceptos formen parte de otros tipos de conocimientos declarativos, sino que todo este conocimiento declarativo tiene sentido en tanto se aplica a las acciones que se llevan a cabo, esto es, en la medida que se pone al servicio del llamado *Conocimiento Procedimental* (véase figura 1). Cuando las personas efectuamos una acción, usamos el conocimiento declarativo relevante que tengamos disponible. Por ejemplo, si un individuo quiere cambiar de estado el agua para pasarla de líquido a sólido, aplica su conocimiento conceptual sobre el agua, sus constituyentes, la relación entre la temperatura y el cambio de estado, etcétera. A toda acción que se lleve a cabo subyace un conocimiento conceptual, sin el cual la acción no podría ejecutarse o se haría sin sentido, tal y como analizaremos más adelante. Como es obvio para todo docente de química, no podría realizarse una sencilla práctica de laboratorio si los alumnos no disponen de ciertos conocimientos conceptuales.

De esta vinculación entre el conocimiento conceptual (declarativo) y el conocimiento procedimental se derivan algunas consideraciones de interés para la enseñanza. En primer lugar, nos lleva a entender que el sentido del conocimiento está en su uso; es relevante adquirir conceptos para emplearlos en las acciones (Aparicio, 1995). En segundo lugar, nos manifiesta que el cambio conceptual está vinculado al aprendizaje de procedimientos. No se puede aprender bien un procedimiento sin una base conceptual adecuada (Aparicio y Rodríguez Moneo, 2000). Así pues, los tipos de conocimiento que poseen las personas y la vinculación entre ellos es un aspecto que ha de tenerse muy en cuenta en la enseñanza de las ciencias, con el fin de poder ade-

cuar los métodos a las características del aprendizaje de los estudiantes y para conferir sentido a nuestra enseñanza.

Una nueva concepción del desarrollo intelectual

El nivel de desarrollo y de adecuación de las estructuras de conocimiento declarativo que poseen las personas en un dominio depende de su pericia, es decir, de lo novato o experto que sea en ese ámbito e conocimiento determinado. A grandes rasgos, en lo que se refiere al conocimiento de base conceptual, los estudios sobre expertos y novatos han puesto de manifiesto que los expertos tienen una estructura de conocimiento más amplia, precisa, organizada, integrada y coherente que los novatos. Por lo tanto, la diferencia entre ambos no es sólo cuantitativa, en el sentido de que los expertos sepan más, sino que también es cualitativa, dado que los expertos poseen una estructura más organizada e integrada (Chi, *et al.*, 1982).

Desde los estudios del cambio conceptual se analizan las transformaciones que van produciéndose en la estructura de conocimiento conforme va adquiriéndose la pericia, o lo que es lo mismo, en tanto que un novato va convirtiéndose progresivamente en experto como producto de su experiencia. Además, los cambios generados en la estructura de conocimiento son específicos de dominio, es decir, se refieren al ámbito de conocimiento concreto en el que se aprende. De esta forma se entiende que un individuo pueda tener un alto nivel de conocimiento, por ejemplo, en el dominio de la química y no así en el de la literatura.

No obstante, los cambios en las estructuras de conocimiento no siempre se han contemplado como cambios en estructuras específicas de dominio. Muy brevemente, desde la teoría evolutiva piagetiana se describe el desarrollo intelectual como una sucesión de estructuras generales de conocimiento, esto es, estructuras que reflejan capacidades intelectuales aplicables a todos los dominios (química, literatura, historia, etcétera). Dichas estructuras se identifican con los estadios evolutivos piagetianos y se suceden cada vez más complejas hasta alcanzar la inteligencia adulta o el pensamiento científico; además, tienen un carácter universal, dado que todos los sujetos siguen la misma secuencia evolutiva.

A partir de los años 70, con el auge de los estudios sobre expertos y novatos en dominios específicos, se multiplicaron las críticas a la teoría de Piaget y empezaron a encontrarse una serie de resul-

tados experimentales que no corroboraban los supuestos estructurales piagetianos. Algunas de las críticas se centran en la existencia de cierta paradoja entre una concepción constructivista, como la de Piaget, y el planteamiento de unas estructuras de conocimiento generales y universales. El constructivismo se caracteriza por describir la adquisición de conocimiento como producto de la acción del sujeto sobre el entorno (o como resultado de la interacción sujeto-objeto) que se da en contextos puntuales o en dominios específicos; sin embargo, los estadios evolutivos describen estructuras universales aplicables a todos los sujetos y generales a todos los dominios, lo que significa que son estructuras independientes de cualquier contexto específico. En consecuencia, como han señalado algunos autores (p. ej., Lawson, 1991; Bidell y Fisher, 1992), en las teorías evolutivas clásicas no se concede peso explicativo suficiente a la experiencia que los sujetos tienen con el mundo físico y social, aunque no deje de mencionarse como uno de los factores explicativos del desarrollo intelectual.

En un estudio que uno de nosotros realizó hace algunos años (Rodríguez Moneo, 1998) intentamos determinar si las explicaciones que los sujetos tenían sobre la flotación de los cuerpos eran debidas a la pericia o a algún otro factor evolutivo. Trabajamos con 135 sujetos distribuidos en cuatro grupos de edad: 5, 10, 14 años, y adultos sin escolarizar con una edad media de 27 años. Se intentó igualar lo máximo posible el nivel de pericia en el dominio de la física y la química. Como puede verse en la figura 2, en todos los grupos la concepción mayoritaria para explicar la flotación de los cuerpos se centraba en torno a la noción de "peso" del objeto. Ello se debía a que los sujetos, aunque pertenecerían a distintos estadios evolutivos según las pautas piagetianas, tenían un nivel de conocimiento similar en física y química. A pesar de que el grupo de cinco años también proporcionó explicaciones mayoritarias focalizadas en el peso, presentó, sin embargo, diferencias significativas con respecto al resto de los grupos debido a que las otras explicaciones dadas para explicar la flotación eran más primarias y ello, en nuestra opinión, no porque estuvieran en periodos evolutivos inferiores, sino porque, como señalan Chi y Rees (1983), los niños son novatos universales, es decir, legos en todos los dominios de conocimiento. No obstante, no hubo diferencias significativas entre los grupos de sujetos de 10 años, 14 años y adultos sin escolarizar. Estos resultados indican que la cons-

trucción de explicaciones sobre el mundo, o las concepciones intuitivas,¹ no son tanto fruto del estadio evolutivo de los sujetos, sino del nivel de pericia que poseen.

Las propuestas piagetianas fueron muy populares en la enseñanza de las ciencias, sobre todo durante los años sesenta. Aún hoy siguen teniendo un importante impacto en la educación, a pesar de las innumerables críticas que ha recibido la teoría y de las limitaciones que ofrece en su aplicación didáctica (Kitchener, 1992). Como indican Case (1985) y Driver (1986), la aplicación de las ideas piagetianas a la educación consiste en la adecuación del currículo escolar a las capacidades evolutivas de los alumnos (Harlen, 1993). El problema con este enfoque es que, como se ha dicho, no está claro que dichas capacidades sean realmente evolutivas. Parece, más bien, que reflejan el nivel de pericia.

En suma, los estudios sobre el cambio conceptual han permitido proporcionar una visión alternativa al desarrollo intelectual de los sujetos (Hatano, 1994; Vósniadou, 1994). Se trata de una concepción más centrada en el aprendizaje que en el desarrollo de estadios ontogenéticos. Los cambios generados en las estructuras de conocimiento son específicos de dominio, ya que son debidos realmente a la experiencia que se ha tenido en un ámbito determinado y no reflejan las capacidades lógicas de carácter general descritas en los estadios piagetianos. Esta nueva concepción del desarrollo intelectual permite aplicaciones didácticas más prometedoras y sitúa, tanto al alumno como al profesor de ciencias, en un lugar más activo para poder trabajar conjuntamente en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Las nuevas aportaciones de los estudios sobre el cambio conceptual a la enseñanza de las ciencias

Los trabajos del cambio conceptual han estado muy vinculados a los estudios sobre las concepciones

¹ Estas concepciones han recibido distintas denominaciones en función del rasgo que se quiera destacar de ellas. También se han llamado "concepciones alternativas" (por ser alternativas a las concepciones científicas), "concepciones erróneas" (por no ser adecuadas desde la perspectiva científica), "conocimiento informal" o "concepciones caseras" (por construirse en contextos no académicos), "conocimiento previo" o "pre-concepciones" (por referirse al conocimiento con el que los alumnos acuden a clase antes de comenzar el proceso de aprendizaje).

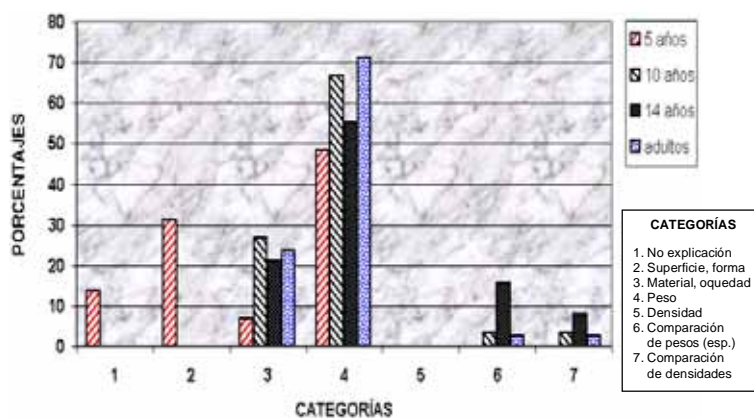


Figura 2. Concepciones empleadas por sujetos de distintas edades al explicar la flotación de los cuerpos.

intuitivas de los individuos que, como se ha insistido, desde los años 70, son vistas como una manifestación del nivel de pericia, más que como un reflejo del estadio evolutivo (Rodríguez Moneo, 1999). Esta nueva aproximación a las concepciones alternativas despertó un gran interés entre los educadores y psicólogos de la educación, dado que estas nociones pueden representar un obstáculo para la enseñanza de las concepciones científicas. Las concepciones más analizadas han sido las de los dominios de ciencias y, más específicamente, las físicas, químicas y biológicas (Pfund y Duit, 1994).

Entre las características de estas nociones intuitivas está su carácter erróneo o incompleto desde la perspectiva científica y su condición de previas al proceso de aprendizaje de las concepciones científicas en la enseñanza. Además, estudios detallados sobre las concepciones intuitivas de los sujetos han puesto de manifiesto cómo estas concepciones se mantienen incluso después de la enseñanza de las explicaciones científicas. Finalmente, la discrepancia entre las concepciones intuitivas y las científicas está relacionada con la discrepancia entre el conocimiento cotidiano y el conocimiento académico y, en último término, con el sentido de la enseñanza. Todo ello contribuye a que se haya concedido un gran interés a los estudios del cambio conceptual para proporcionar directrices sobre el modo en que puede tener lugar el aprendizaje de las ciencias (Aparicio y Rodríguez Moneo, 2000).

Dichas directrices las vamos a organizar en tres apartados: las razones que explican la resistencia al cambio conceptual, propuestas didácticas para producir el cambio conceptual y la necesidad de una enseñanza conceptual de las ciencias.

La resistencia al cambio conceptual en la enseñanza de las ciencias

Para poder explicar por qué no se produce en los alumnos el deseado cambio conceptual habría que acudir a ciertas consideraciones que podrían hacerse desde dos perspectivas: la perspectiva del alumno y la perspectiva del profesor de ciencias.

Con respecto *al alumno*, como se ha dicho, inicia su aprendizaje de las ciencias con ciertas nociones intuitivas sobre las que deberían hacerse algunas puntualizaciones. Los estudiantes se desenvuelven en un entorno físico, químico o biológico en el que tienen que actuar mucho antes de que los profesores de ciencias les enseñen las concepciones científicas. Por ello, necesitan construir explicaciones (también llamadas concepciones, miniteorías o teorías) para poder organizar, predecir, resolver problemas y, en definitiva, actuar en el entorno.

La construcción de estas explicaciones pone de manifiesto la necesidad de un conocimiento conceptual (declarativo) para poder desenvolverse y actuar en el entorno (procedimental). Como ya se ha señalado, esta vinculación entre el conocimiento declarativo y procedimental nos lleva al reconocimiento de que el sentido del conocimiento está en su uso. Pues bien, los novatos, cuando construyen explicaciones intuitivas, están dando al conocimiento su máximo significado: construir conocimiento conceptual para aplicarlo en las acciones. Sin embargo, como son novatos, las explicaciones elaboradas son incorrectas desde la perspectiva científica, aunque suelen guardar una alta correlación con los fenómenos observables, se basan en lo perceptivo y suelen ser útiles cuando se aplican. Por ejemplo, es cierto que el peso no explica la flotación de los cuerpos, pero también es cierto que los objetos ligeros suelen flotar y los pesados hundirse; además, el peso es fácilmente perceptible mientras que la densidad no puede percibirse directamente.

Así pues, las concepciones resultan muy adaptativas y funcionales, lo que explica, por un lado, la motivación de los alumnos por mantenerlas y, por otro, nos permite entender otras características de estas nociones (Rodríguez Moneo, 1999; Rodríguez Moneo y Rodríguez, 2000; Rodríguez Moneo y Huertas, 2000). En relación con esta segunda cuestión de las características de las nociones alternativas, muy brevemente, la *funcionalidad* explica, en primer lugar, que estas concepciones sean *espontáneas y personales*; los sujetos las elaboran sin enseñanza formal, lo hacen de forma natural ante la necesidad que

tienen de ellas para actuar y, en este sentido, se consideran espontáneas. Además, son personales porque es el propio individuo el que las construye en función de su experiencia previa. En segundo lugar, justamente porque se trata de nociones funcionales que se construyen para aplicarlas en las acciones, *son implícitas*, se expresan en la acción y el sujeto no tiene plena conciencia de que las posee, sólo las emplea. En tercer lugar, como son necesarias desde muy temprana edad y previas al aprendizaje de las concepciones científicas, han sido originariamente elaboradas por novatos y están *cargadas de sesgos* que proceden básicamente de la percepción y del lenguaje vulgar. Wandersee, *et al.* (1994) han destacado que, en ocasiones, los libros de texto y las explicaciones de los profesores inducen a la construcción de concepciones alternativas en los estudiantes por proporcionar explicaciones ambiguas o, incluso, porque los profesores explicitan sus propias concepciones alternativas pensando que, de ese modo, van a enlazar más fácilmente con el conocimiento previo de sus alumnos. Al final, justamente porque son funcionales y adaptativas, los alumnos se *resisten a cambiarlas*, pero esta resistencia se explica, también, atendiendo a otras cuestiones que tienen que ver con el profesor de ciencias y, de modo más general, con la enseñanza de las ciencias que proporcionamos a nuestros alumnos.

En relación con *el profesor* de ciencias y el tipo de conocimiento que pretende que sus alumnos adquieran, cabría hacer dos consideraciones. La primera es que el conocimiento que se proporciona en la enseñanza de las ciencias es, en términos generales, correcto desde la perspectiva científica; sin embargo, con mucha más frecuencia de la que sería deseable, se enseña como un conocimiento sin sentido. A menudo el conocimiento conceptual que se enseña en los contextos académicos no se usa, ni en el contexto académico ni en el contexto cotidiano del alumno; otras veces sólo se emplea en clase y/o en los exámenes². Podría decirse que el sentido de este conocimiento es conseguir una calificación. Estas condiciones presentes en el proceso de adquisición del conocimiento científico no contribuyen a potenciar la motivación de los estudiantes por apren-

² Aunque suele creerse que en la enseñanza de las ciencias los alumnos aplican su conocimiento conceptual en los procedimientos mucho más de lo que sucede en otras disciplinas, en realidad, como se indicará más adelante, esto no es exactamente así.

der ciencias (Rodríguez Moneo y Rodríguez, 2000) y dista mucho de la situación de construcción de conocimiento intuitivo que se describía más arriba. La comparación de la adquisición de conocimientos que se produce en ambos contextos da lugar a lo que hemos llamado “la paradoja del conocimiento situado” y queda reflejada en la figura 3.

La segunda consideración referida al profesor tiene que ver con los objetivos educativos presentes en la enseñanza. Con frecuencia ocurre que el cambio conceptual no se contempla entre los objetivos educativos y, en consecuencia, no se siguen las indicaciones didácticas que pudieran propiciarlo.

Desde los trabajos clásicos de Ausubel, *et al.* (1978) se ha puesto de manifiesto la importancia del conocimiento previo en el aprendizaje posterior, dado que siempre aprendemos sobre la base de lo que ya sabemos. Se señala que los profesores han de detectar el conocimiento previo de los alumnos y actuar en consecuencia.

Para conocer las preconcepciones se dispone de una gran cantidad de métodos de evaluación (véase, p. ej. Rodríguez Moneo, 1999), de modo que la actuación didáctica posterior debería estar determinada por las peculiaridades del conocimiento previo evaluado (véase Aparicio y Rodríguez Moneo, 2003). Si éste es adecuado pero incompleto, no distorsionará el aprendizaje posterior, en cuyo caso puede comenzar a enseñarse el contenido, siguiendo la primitiva propuesta instruccional ausubeliana (Aparicio y Rodríguez Moneo, 2003).

Sin embargo, en ocasiones, el conocimiento previo de los estudiantes se considera claramente erróneo, de forma que, si se vincula con el contenido a enseñar, contribuirá a generar un aprendizaje deficiente. En este caso, no puede iniciarse el proceso de enseñanza basado en la metodología del aprendizaje significativo, sino que debe producirse un cambio conceptual previo en las preconcepciones de los estudiantes (Aparicio y Rodríguez Moneo, 2003) para posteriormente pasar a enseñar el contenido.

En definitiva, si los profesores de ciencias toman en consideración el nivel de conocimiento previo de los alumnos y si, además, entienden que el sentido del conocimiento académico está en el uso que de él se haga en la realidad académica y cotidiana, contribuirán a: 1) que se produzca una mayor permeabilidad entre los contextos cotidianos y académicos, minimizando la posibilidad de un aprendizaje compartimentalizado; 2) que se dote de una mayor funcionalidad al conocimiento conceptual, y 3) que se

| CONTEXTO | TIPO DE CONOCIMIENTO | ADECUACIÓN | SENTIDO DEL CONOCIMIENTO |
|-----------|--------------------------|----------------------------|---|
| COTIDIANO | Concepciones intuitivas | Incorrecto científicamente | Útil y aplicable al contexto cotidiano |
| ACADÉMICO | Concepciones científicas | Correcto científicamente | Poco o nada aplicable al contexto cotidiano |

Figura 3. Características y sentido del conocimiento intuitivo y científico adquirido en distintos contextos.

favorezca un aprendizaje de las ciencias con más sentido.

Propuestas didácticas para producir el cambio conceptual

Los modelos del cambio conceptual generados a partir de los años 80 han sido muy numerosos. Detallar las características de cada uno de ellos excede los límites de este trabajo; no obstante, sí resulta interesante indicar las categorías que hemos propuesto en otro lugar para organizarlos.³ Por un lado, los modelos fríos explican el cambio en las estructuras conceptuales de las personas atendiendo a cuestiones puramente cognitivas y racionales; por otro, los modelos calientes describen el cambio en dichas estructuras de conocimiento tomando en consideración tanto los elementos cognitivos, como los afectivos y motivacionales. La denominación de frío o caliente se debe a que es lo emocional y lo motivacional lo que proporciona temperatura al cambio. Finalmente, los modelos situados no sólo tienen en cuenta los cambios en las estructuras de conocimiento declarativo, sino que ponen un especial énfasis en el uso del conocimiento, esto es, en los aspectos más procedimentales. De ahí que tiendan a destacar el papel que desempeña el contexto en la adquisición y en el uso del conocimiento. Desde los diferentes modelos se han analizado los mecanismos del cambio que explican qué es lo que desencadena y cómo se produce el cambio conceptual. El análisis de estos mecanismos es de indudable valor didáctico para la enseñanza de las ciencias.

El mecanismo más mencionado y empleado para generar el cambio conceptual es el *conflicto*. Este

³ Una descripción pormenorizada de los distintos modelos de cambio conceptual puede encontrarse en Rodríguez Moneo (1999).

mecanismo descansa sobre la idea fundamental de que hay que debilitar la concepción alternativa del estudiante que, como se ha visto, es resistente a ser modificada debido a su funcionalidad y al hecho de haberse empleado repetidamente (véase figura 4). Con este fin, se recomienda presentar datos anómalos o realidades (realidad 2) que la concepción alternativa no puede explicar. Por ejemplo, si los estudiantes piensan que la flotación se explica en función del peso del objeto, se pueden presentar datos anómalos tales como que dos objetos de igual peso, uno flote y otro se hunda; o dos objetos que pesando uno tres veces más que el otro, los dos floten.

No obstante, si sólo se presentan datos anómalos y no se ofrece como alternativa ninguna teoría científica, es probable que los alumnos no cambien sus nociones porque preferirán tener una concepción, incluso con ciertas anomalías, a no tener explicación (Chinn y Brewer, 1993). En ocasiones se ha indicado que el conflicto no produce el deseado cambio conceptual, dado que la mera presencia de datos anómalos no lo genera (p. ej., Caravita y Halldén, 1994; Dreyfus, *et al.*, 1990). También se ha señalado cómo suministrar datos anómalos puede derivar hacia nuevas explicaciones incorrectas en los estudiantes.

Desde el modelo inicial del cambio conceptual (Posner, *et al.*, 1982) se puso de manifiesto que para generar el cambio era necesario, además de la presencia de datos anómalos, que se cumplieran otros requisitos consistentes en proporcionar una nueva concepción científica que resulte inteligible, fructífera y plausible, aspectos que se explicarán a continua-

ción y quedan reflejados en la figura 4.

Junto a los datos anómalos, los profesores de ciencias deben proporcionar a los alumnos una concepción científica que resulte inteligible o comprensible, esto es, encajable en sus propias estructuras de conocimiento. Para ello, el alumno ha de resolver una serie de conflictos en el mundo de las ideas y el profesor debe colaborar para que se planteen y resuelvan favorablemente. Además, como se observa en la figura 4, la nueva concepción científica debe ser plausible, o lo que es lo mismo, deberá ser coherente con otras creencias que posea el estudiante de manera que pueda explicar la realidad que explicaba la concepción alternativa (R1) y la que no explicaba (R2 –dato anómalo). Finalmente, la nueva concepción ha de ser fructífera en la medida en que se aplique a nuevas realidades (R3...) y aborde nuevas líneas de pensamiento. Así las cosas, es más probable que los estudiantes modifiquen sus concepciones alternativas. En un experimento realizado hace algunos años (Rodríguez Moneo, 1998) pudimos constatar cómo la mera presencia de datos anómalos no generaba cambio conceptual, pero cuando éstos iban acompañados de una nueva concepción que resultaba comprensible, entonces sí se producía el cambio.

La presentación de las concepciones científicas en términos inteligibles resulta esencial para que haya cambio conceptual. Paradójicamente, sin embargo, puede llegar a constituir uno de los problemas capitales en la enseñanza de las ciencias, debido a que, como se explicará más adelante, cuando los profesores se centran en la enseñanza de procedimientos, bien sean de solución de problemas o de uso del conocimiento en general, pueden llegar a descuidar el desarrollo en los estudiantes de estructuras de conocimiento conceptual bien organizadas y dotadas de poder explicativo.

Para facilitar la comprensión de las nuevas concepciones científicas puede acudirse a otro mecanismo de cambio conceptual: *la analogía*. Básicamente, el mecanismo analógico consiste en recurrir a un contenido familiar, llamado “análogo” o “fuente”, para explicar un contenido nuevo o desconocido, llamado “diana”. Desde el contenido familiar se establecen una serie de proyecciones que facilitan la comprensión del contenido nuevo o diana. Como señalan Tobin y Tippins (1996), la analogía responde perfectamente a los planteamientos constructivistas porque pone de manifiesto que los individuos aprenden sobre la base de lo que ya saben.

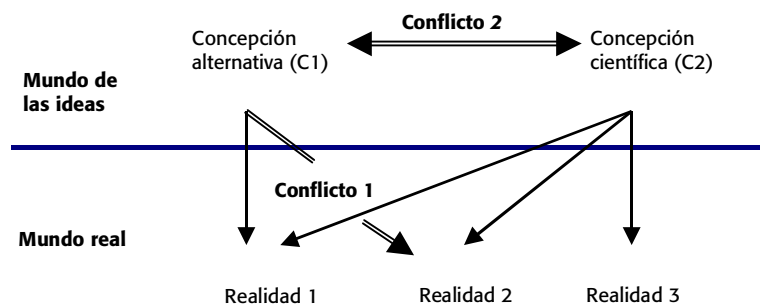


Figura 4. Conflictos producidos en el proceso de cambio conceptual (tomado de Hashweh, 1986).

Las analogías que se emplean en la enseñanza de las ciencias son muy variadas (Aparicio y Rodríguez Moneo, 2003; Rodríguez Moneo, 1999). Pueden referirse a aspectos estructurales y/o funcionales de los elementos que se comparan, pueden ser más abstractas o más concretas, pueden ser verbales, pictóricas o una combinación de ambas. Sin embargo, la distinción más relevante para los profesores hace alusión al nivel de enriquecimiento que permite distinguir entre tres tipos de analogías (Thiele y Treaguts, 1994). En “la analogía simple” se establece tan sólo la comparación entre un análogo y un diana (p. ej., la luna refleja la luz del sol como un espejo refleja la luz de una linterna). En “la analogía extendida” se utilizan varios análogos o fuentes para comprender un contenido nuevo o diana (p. ej., diversos espejos, vidrios, minerales pulidos que reflejen la luz). Finalmente, en “la analogía enriquecida” se establece una proyección entre el análogo y el diana y, además, se proporciona información adicional sobre lo que éstos comparten y no comparten (p. ej., explicaciones adicionales del tipo “la luna no tiene espejos en la superficie”, “el sol no proporciona un único haz de luz”, etcétera). Se recomienda a los profesores utilizar este último tipo de analogías, porque ayudan a fijar los límites de la comparación y ésta no se generaliza sobre los elementos que el análogo y el diana no comparten. En otras palabras, la analogía enriquecida reduce la posibilidad de generar ideas erróneas que podría derivarse de la utilización incorrecta de este mecanismo.

La analogía puede emplearse como mecanismo de cambio conceptual en combinación con el conflicto. En este caso, su función se centra en la inteligibilidad de la concepción científica, resolviendo los conflictos que se producen en el mundo de las ideas (véase figura 4). También, la analogía puede utilizarse en solitario para producir cambio conceptual y ello es recomendable cuando el conocimiento previo de los alumnos no es muy extenso, coherente e integrado, sino que, más bien, se trata de un conocimiento más fragmentado y no muy consolidado. En estos casos emplear el conflicto puede generar más confusión que claridad y se recomienda utilizar la analogía (Srike y Posner, 1992).

Otro mecanismo, que ha recibido una gran aceptación en los últimos años, es el de *la aplicación multicontextual*, cuya propuesta procede de los modelos situados. La aplicación multicontextual consiste en emplear el conocimiento en distintos contextos, de forma que se aprende a identificar cuáles son las

concepciones adecuadas para aplicar en los contextos pertinentes. El cambio conceptual, en realidad, se concibe como la delimitación o extensión de las concepciones a distintos contextos. La aplicación multicontextual permitirá detectar en qué contextos las concepciones alternativas no son pertinentes (R2) y en qué contextos (R1, R2, R3, ...) las concepciones científicas son adecuadas (véase figura 4). En este sentido, la aplicación multicontextual es útil para generar el cambio conceptual en combinación con otros mecanismos, pero, como ocurriera con la analogía y el conflicto, también puede aplicarse en solitario. Así, por ejemplo, se ha puesto de manifiesto (Roth, *et al.*, 1993) que la aplicación del conocimiento a contextos reales es muy favorable para el aprendizaje de las ciencias.

Los enfoques situados y el mecanismo de aplicación multicontextual merecen, en nuestra opinión, una cierta reflexión aparte. Por un lado, es necesario aclarar que, efectivamente, tal y como se propone desde estos modelos, la adquisición y el uso del conocimiento está determinado en gran parte por el contexto. Como ya se ha hecho notar, en los contextos cotidianos se adquiere un conocimiento más intuitivo, mientras que en los académicos se adquiere un conocimiento más científico. La cuestión es que el conocimiento intuitivo que se genera y se usa en los contextos cotidianos tiende a ser incorrecto.

Derivado de lo anterior, debe reconocerse que, aunque un sujeto sea experto, se desenvuelve en un entorno cotidiano guiado por la percepción y, a menudo, en estos contextos emplea concepciones implícitas erróneas científicamente para desarrollar sus acciones. Por ejemplo, un experto astrónomo al colocar en la playa una toalla para tomar el sol, la sitúa basándose en la idea implícita de que es el Sol el que se mueve, aunque sepa que, en realidad, la que gira es la Tierra (Aparicio y Rodríguez Moneo, 2000).

En un trabajo reciente (Rodríguez Moneo, 1998; Carretero y Rodríguez Moneo, 2004) presentamos a licenciados en física y química, que cursaban un Postgrado de Formación Inicial del Profesorado en física y química, dos problemas iguales que consistían en predecir la flotación de los cuerpos. Uno de los problemas se ubicaba en un contexto cotidiano y el otro en un contexto académico. Hubo diferencias significativas en el uso del conocimiento que estos expertos hicieron en los distintos contextos. Como puede apreciarse en la figura 5, en el contexto académico, el 88.5% de los expertos aplicaron las

concepciones científicas para resolver el problema de flotación; sin embargo, en el contexto cotidiano, casi la mitad de los sujetos expertos (42.3%) aplicaron la concepción alternativa basada en el peso del objeto para resolver el problema de la flotación; el 53.8% empleó la noción de la densidad del objeto y sólo un 3.8% utilizó una concepción científica. Desde la cognición situada podría argumentarse que el sesgo perceptivo del entorno cotidiano hizo que los expertos resolvieran el problema empleando una concepción errónea basada del peso del objeto para ajustarse a las limitaciones impuestas por ese particular contexto.

De todos modos, el uso de concepciones alternativas que, en ocasiones, hacen los expertos en los contextos cotidianos, no debe hacer que los profesores sean permisivos con las concepciones intuitivas en los contextos académicos. Por el contrario, debe llevarles a realizar un considerable esfuerzo para mostrar la utilidad de las concepciones científicas en los contextos cotidianos. Exagerando un poco las cosas, no podría admitirse que un alumno, después de la enseñanza del sistema planetario, siga pensando que es el Sol el que se mueve y no la Tierra.

Otros mecanismos como *la metacognición y la elaboración*, que pueden ser promovidos por los profesores de ciencias, también son determinantes en el proceso de cambio conceptual. La metacognición se refiere al conocimiento de los propios procesos de conocimiento. La conciencia por parte de los alumnos de sus preconcepciones, de la presencia de datos anómalos, de las características de las nuevas teorías

científicas, etcétera, favorece el cambio conceptual (Gunstone, 1994; Hewson, 1996). Por último, la elaboración, producto de contemplar los problemas desde varias perspectivas, se ha mencionado frecuentemente como uno de los factores más importantes en la adquisición del conocimiento y está también presente en el proceso de cambio.

Conocer los distintos mecanismos de cambio conceptual ha permitido formular modelos didácticos concretos en la enseñanza de las ciencias para favorecer el aprendizaje (véase Rodríguez Moneo, 1999). Sin embargo, desde los estudios sobre la enseñanza de las ciencias, con frecuencia se pone de manifiesto que los alumnos no aprenden las concepciones científicas que se les enseña. Por ejemplo, Pozo y Gómez Crespo (2000) han detectado cómo los estudiantes universitarios de la licenciatura de química siguen teniendo una concepción alternativa según la cual la materia es continua. Éste y otros muchos datos de la misma naturaleza nos obligan a seguir profundizando en los motivos que explican por qué los alumnos no aprenden las concepciones científicas.

La necesidad de una enseñanza conceptual de las ciencias

A lo largo de este artículo se han analizado algunos elementos que explican la relativa falta de eficacia de la enseñanza, en general, y de la enseñanza de las ciencias, en particular. En primer lugar, no se tiene el objetivo educativo de generar el cambio conceptual en los estudiantes. En segundo lugar, no se considera el conocimiento previo de los alumnos para favorecer un adecuado aprendizaje. En tercer lugar, no se llevan a cabo procedimientos didácticos centrados en los mecanismos de cambio conceptual para debilitar las nociones intuitivas, generar una mayor comprensión de las concepciones científicas, y aprender a aplicar el conocimiento científico en distintos contextos. En cuarto lugar, no se enseña a aplicar el conocimiento científico en la realidad cotidiana de los alumnos; el sentido del conocimiento científico que se adquiere en clase está en los exámenes. Todo ello, contribuye a un desinterés por aprender ciencia que, aunque no se dé en todos los casos, se produce con una cierta frecuencia.

Hay, por último, dos problemas presentes en la enseñanza de las ciencias que no han sido analizados a lo largo del artículo y, sin embargo, son de gran importancia, dado que afectan a la dificultad de los estudiantes para comprender las concepciones y

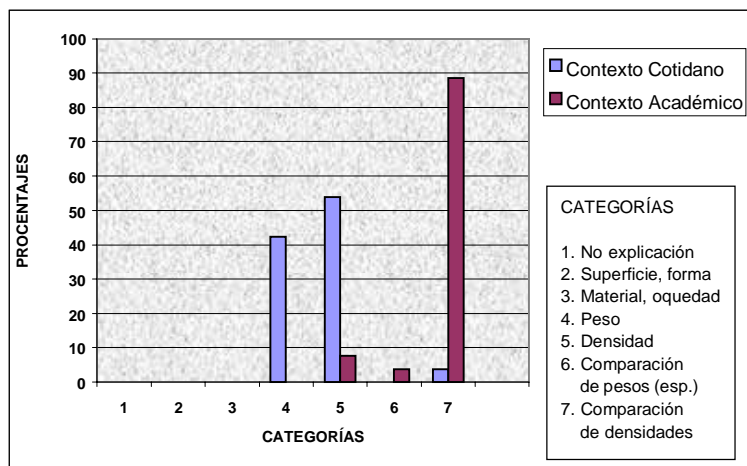


Figura 5. Distintas concepciones empleadas por expertos en física y química al resolver un problema de flotación en el contexto cotidiano y en el contexto académico.

los procedimientos científicos. El primero de ellos se refiere a que no se enseña una ciencia conceptual, sino, más bien, una ciencia matematizada. En la enseñanza raramente se explican las teorías y principios científicos conceptualmente, sin necesidad de acudir a formulaciones matemáticas. No se enseñan unas ciencias conceptuales que, posteriormente, pueden ilustrarse matemáticamente, sino que el proceso es inverso, las explicaciones conceptuales a menudo se consideran como una mera ilustración verbal de demostraciones y procedimientos de solución de problemas formalizados matemáticamente.

El segundo problema al que nos referíamos tiene que ver con el aprendizaje de procedimientos. Como se ha reiterado a lo largo de este artículo, el conocimiento declarativo debe ponerse al servicio del conocimiento procedimental. Cuando se analiza este punto en otras disciplinas o áreas curriculares, por ejemplo la historia o la literatura, se observa que con frecuencia se enseñan conceptos, hechos o principios que no se aplican ni en los contextos académicos ni tampoco en los contextos cotidianos. Los profesores de ciencias, sin embargo, saben que las asignaturas que imparten tienen un alto componente procedimental y creen librarse de esta crítica.

Es cierto que las asignaturas de ciencias tienen un carácter altamente procedimental, pero, dado que no se enseñan unas ciencias conceptuales ni tampoco se produce el cambio conceptual, sucede que los alumnos, a menudo, aprenden procedimientos sin sentido. Se ha demostrado cómo los profesores enseñan y los alumnos aprenden procedimientos como una sucesión lineal de pasos carente de estructura. Ésta es la razón por la que no se produce transferencia del conocimiento procedimental y probablemente sea uno de los factores más importantes que determinan que los procedimientos aprendidos en la escuela sean tan poco usados en la vida. Los alumnos adquieren distintas destrezas para poder hacer desarrollos matemáticos sin saber, en realidad, qué están haciendo. Por este motivo, en ciencias suele suceder que los alumnos cambian unidades de medida, obtienen resultados imposibles sin ser conscientes del error, o no saben interpretar un resultado.

El aprendizaje de procedimientos exige un conocimiento conceptual, porque, de lo contrario, el conocimiento procedimental que se adquiere es deficiente y se restringe a la aplicación superficial y sin sentido. Para conferir una estructura adecuada a los procedimientos es necesario que dichos procedi-

mientos se deriven de una base conceptual adecuada. Por esta razón, el aprendizaje procedimental exige un cambio conceptual (Aparicio y Rodríguez Moneo, 2000). Desafortunadamente, la profundización en los mecanismos de aprendizaje procedimental que justificara plenamente nuestro aserto excedería los límites de este artículo. Por ahora, baste con decir que es necesario enseñar unas ciencias conceptuales para promover el cambio conceptual con el fin de que los alumnos adquieran explicaciones científicas que les permitan interpretar mejor el mundo, pero también con objeto de que se produzca en ellos un adecuado aprendizaje de procedimientos científicos. ■

Referencias

- Aparicio, J.J., El conocimiento declarativo y procedimental que encierra una disciplina y su influencia sobre el método de enseñanza, *Tarbiya, Revista de Investigación e Innovación Educativa* 10, 23-38, 1995.
- Aparicio, J.J. y Rodríguez Moneo, M., Los estudios sobre el cambio conceptual y las aportaciones de la Psicología del Aprendizaje, *Tarbiya, Revista de Investigación e Innovación Educativa*, 26, 13-30, 2000.
- Aparicio, J.J. y Rodríguez Moneo, M., Aprendizaje significativo y aprendizaje con sentido, www.webar.net/campusflasco/html/site/clase_9_01.asp, FLACSO, Buenos Aires, 2003.
- Ausubel, D.P., Novak, J.D. y Hanesian, H., *Educational Psychology. A Cognitive View*. Holt, Rinehart y Winston, New York, 1978. Trad. cast., M. Sandoval y M. Botero, *Psicología Educativa. Un Punto de Vista Cognoscitivo*, Trillas, México, 1983.
- Barsalou, L.W., *Cognitive Psychology. An Overview for Cognitive Scientists*, LEA, Hillsdale, NJ, 1992.
- Bidell, T.R. y Fischer, K.W., Cognitive development in educational contexts: implications of skill theory. En: A. Demetriou, M. Shayer y A. Efklides (eds.), *Neo-Piagetian Theories of Cognitive Development. Implications and Applications for Education*, Routledge, London, 1992.
- Caravita, S. y Hallén, O., Re-framing the problem of conceptual change, *Learning and Instruction*, 4, 89-111, 1994.
- Case, R., *Intellectual Development: Birth to Adulthood*, Academic Press, New York, 1985. Trad. Cast. I. Menéndez: *El Desarrollo intelectual. Del Nacimiento a la Edad Adulta*, Paidós, Barcelona, 1989.
- Carretero, M. y Rodríguez Moneo, M. The use of knowledge about flotation in different contexts: A situated approach of the model of conceptual change. En: S. Vóniadou, C. Stathopoulou, X. Vamvakoussi y N. Mamalougos (eds.) *Abstracts of the 4th European Symposium Conceptual Change*, Delphi, Grecia, 2004.
- Chi, M., Conceptual Change within and across Ontological Categories: Examples from Learning and Discovery in Science. En: R.N. Giere (ed.), *Cognitive Models in Science*, University of Minnesota Press, Minnesota, 1992.
- Chi, M. y Rees, E.T., A learning framework for development. En: M. Chi (ed.), *Trends in Memory Development*, Karger, New York, 1983.
- Chi, M., Glasser, R. y Rees, E., Expertise in Problem Solving. En:

- R.J. Sternberg (ed.), *Advances in the Psychology of Human Intelligence*, Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1982
- Chinn, C.A. y Brewer, W.F., The role of anomalous data in the knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction, *Review of Educational Research*, **63**, 1-49, 1993.
- Dreyfus, A., Jungwirth, E. y Eliovitch, R., Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change—Some implications, difficulties, and problems, *Science Education*, **74**, 555-569, 1990.
- Driver, R., Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos, *Enseñanza de las Ciencias*, **4**, 3-15, 1986.
- Glaser, R. Application and theory: Learning theory and the desing of learning environments. Conferencia Invitada. *International Congress of Applied Psychology*, Madrid, España, 1995.
- Gunstone, R.F., The importance of specific science content in the enhancement of metacognition. En: P. Fensham, R. Gunstone y R. White (eds.), *The Content of Science*. The Falmer Press, London, 1994
- Harlen, D., *Teaching and Learning Primary Science*, Paul Chapman Publishing, London, 2ª ed., 1993.
- Hashweh, M. Z., Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, **8**, 229-249. 1986.
- Hatano, G., Introduction, *Human Development*, **37**, 189-197, 1994.
- Hewson, P.W., Teaching for conceptual change. En: D.F. Treagust, R. Duit y B.J. Fraser (eds.), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*, Teacher College Press, New York, 1996.
- Kitchener, R., Piaget's genetic epistemology: epistemological implications for science education. En R.A. Duschl y R.J. Hamilton (eds.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice*, State University of New York Press, New York, 1992.
- Lawson, A.E., Is Piaget's epistemic subject dead?, *Journal of Research in Science Teaching*, **28**, 581-591, 1991.
- Pfund, H. y Duit, R. *Bibliography: Students' Alternative Frameworks and Science Education*, IPN at the University of Keil, Keil, Germany, 4ª ed., 1994.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. y Gertzog, W.A., Accommodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change, *Science Education*, **66**, 211-227, 1982.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A., Las teorías sobre la estructura de la materia: discontinuidad y vacío, *Tarbiya. Revista de Investigación e Innovación Educativa*, **26**, 117-139, 2000.
- Reimann, P. y Spada, H., Towards an interdisciplinary learning science. En: P. Reimann y H. Spada (eds.), *Learning in humans and machines: Towards an interdisciplinary learning Science*. Pergamon, Oxford, 1996.
- Rodríguez Moneo, M., *Las concepciones alternativas y el proceso de cambio conceptual. La influencia del conflicto y el contexto en el dominio de la física*. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 1998.
- Rodríguez Moneo, M., *Conocimiento previo y cambio conceptual*, Aique, Buenos Aires, 1999.
- Rodríguez Moneo, M., Estado actual y nuevas direcciones en el estudio del cambio conceptual, *Tarbiya. Revista de Investigación e Innovación Educativa*, **26**, 5-11, 2000.
- Rodríguez Moneo, M. y Carretero, M., Adquisición del conocimiento y cambio conceptual. Implicaciones para la enseñanza de la ciencia. En: M. Carretero (ed.), *Construir y Enseñar las Ciencias Experimentales*, Aique, Buenos Aires, 1996.
- Rodríguez Moneo, M. y Huertas, J.A., Motivación y cambio conceptual, *Tarbiya. Revista de Investigación e Innovación Educativa*, **26**, 51-71, 2000.
- Rodríguez Moneo, M. y Rodríguez, C., La construcción del conocimiento y la motivación por aprender, *Psicología Educativa*, **6**, 129-149, 2000.
- Rosch, E., Reclaiming concepts, *Journal of Consciousness Studies*, **6**, 61-77, 2000.
- Roth, W.M. y Roychoudhury, A., The development of science process skills in authentic contexts, *Journal of Research in Science Teaching*, **30**, 127-152, 1993.
- Strike, K.A. Posner, G.J., A revisionist theory of conceptual change. En: R.A. Duschl y R.J. Hamilton (ed.) *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice*, State University of New York Press, New York, 1992.
- Thiele, R.B. y Treagust, D.F., An interpretive Examination of high school chemistry teachers' analogical explanations, *Journal of Research in Science Teaching*, **31**, 227-242, 1994.
- Tobin, K. y Tippins, D.J., Metaphors as seeds for conceptual change and the improvement of science teaching, *Science Education*, **80**, 711-730, 1996.
- Vosniadou, S., Commentary, *Human Development*, **37**, 242-245, 1994.
- Vosniadou, S., A cognitive Psychological approach to learning. En: Reimann y H. Spada (eds.) *Learning in humans and machines: Towards an interdisciplinary learning Science*. Pergamon, Oxford, 1996.
- Wandersee, J.H., Mintzes, J.J. Y Novak, J.D., Research on alternative conceptions in science. En: D.L. Gabel (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, Macmillan Publishing Company, New York, 1994.