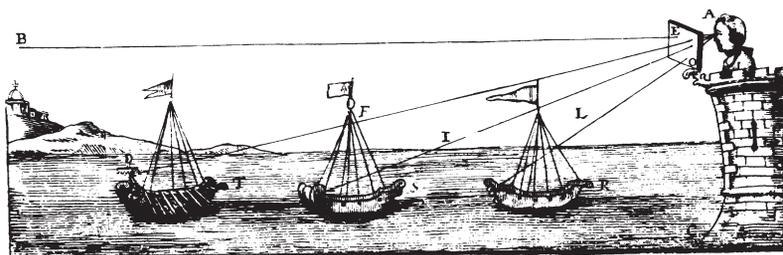


INVESTIGACION DIDÁCTICA



CAMBIO DIDÁCTICO DEL PROFESORADO DE CIENCIAS EXPERIMENTALES Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA*

MELLADO JIMÉNEZ, VICENTE

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas. Facultad de Educación.

Universidad de Extremadura. Badajoz.

vmellado@unex.es

Resumen. La comprensión de los procesos de cambio didáctico del profesorado, así como los aspectos que lo facilitan u obstaculizan, es uno de los temas más relevantes de la agenda internacional de investigación educativa, y un elemento esencial para planificar y llevar a cabo programas de formación inicial y permanente del profesorado. En el artículo revisamos las investigaciones sobre el cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales. Para organizar esta información establecemos una analogía con el proceso de cambio científico, según distintas teorías de la filosofía de la ciencia, analizando y valorando las aportaciones de los distintos modelos.

Palabras clave. Profesorado de ciencias experimentales, cambio didáctico, filosofía de la ciencia, formación inicial y desarrollo profesional.

Summary. One of the most important topics on the international agenda in educational research is to gain an understanding of the educational change processes in the teachers, as well as the factors that favour or hinder it. At the same time, it is an essential element for planning and putting into practice initial and ongoing teacher education programs. In this article we review the investigations on science teachers' educational change. In order to organize this information we establish an analogy with the process of scientific change, according to different theories from philosophy of science, analysing and valuing the contributions of the different models.

Keywords. Science teacher, educational change, philosophy of science, inicial and ongoing teacher education.

INTRODUCCIÓN

La palabra *cambio* es representativa del momento histórico que vivimos. «El cambio es inevitable», «el cambio no es una opción sino una realidad» son frases que estamos habituados a escuchar. Sin embargo, lejos de conformarnos con asumir estos tópicos, intentaremos reflexionar sobre lo que supone el cambio para nosotros, los profesores de ciencias, aun a costa de entrar en un terreno complejo, que no tiene soluciones simples, y que nos generará más preguntas e incertidumbres que certezas.

Vivimos en una época de cambios acelerados, de sociedades interdependientes por la globalización de la economía y el desarrollo de los sistemas de información, aunque siguen existiendo problemas globales como los medioambientales, la superpoblación, la desigualdad, la pobreza y las enfermedades endémicas en muchas zonas del planeta, y aún queda mucho camino por recorrer para que la globalización afecte a aspectos tan importantes como la sanidad, la justicia, la educación o la extensión de la democracia. Muchas de las referencias y asideros morales, políticos y culturales del siglo XX se están modificando y no sabemos hacia qué dirección. La sociedad no mira impasible los acontecimientos y empieza a autoorganizarse en lo que ya se vislumbra como el nacimiento de una nueva superpotencia: la opinión pública mundial.

La ciencia, como una extraordinaria construcción de la inteligencia y creatividad humana, constituye una parte consustancial de la cultura de todos los ciudadanos, y se va alejando de la imagen absolutista que tantas veces se ha transmitido de ella, realizándose una reflexión crítica sobre lo que significa el conocimiento científico a lo largo de la historia y en la actualidad, y sus relaciones con la tecnología y con los acontecimientos sociales: una ciencia y una educación científica para el desarrollo humano, que contribuyan al progreso de los pueblos y al desarrollo integral de todas las personas (Mayor Zaragoza y Bindé, 1999). Recientemente, Prigogine (2001) señalaba, como una de las características de nuestro tiempo, el paso de una ciencia en la que lo importante era el ser y la estabilidad a otra que pone el acento en la evolución y el cambio, aunque éstos son los conceptos de los que menos sabemos.

La escuela es cada vez más compleja y heterogénea, ya que lo son los propios alumnos y el contexto social que la rodea. El aumento de la escolaridad obligatoria, la creciente interculturalidad, la conflictividad en las aulas, la pérdida del rol tradicional de autoridad del profesor y las nuevas tecnologías de la información suponen un reto permanente para los profesores, muchos de los cuales encuentran un desajuste entre su formación y lo que se espera de ellos.

Los sistemas educativos intentan adaptarse a estos cambios realizando reformas curriculares, aunque conservando antiguas estructuras de organización, y con la ingenua pretensión de que los cambios curriculares bastan para producir una mejora en la enseñanza, sin tener en cuenta que el profesorado es la clave en la mejora cualitativa de los sistemas

educativos y lo que verdaderamente determina el éxito o el fracaso de cualquier reforma o innovación curricular (Porlán y Rivero, 1998; Tobin et al., 1994). Como señala Fullan (1991, p. 117), «los cambios en educación dependen de lo que piensan y hacen los profesores, algo tan simple y a la vez tan complejo». Los profesores no son técnicos que se limitan a aplicar las reformas y las instrucciones elaboradas por los expertos, sino que tienen concepciones, actitudes, valores, y toman decisiones en función de múltiples factores y de su propia historia y situación personal, y de los contextos sociales y profesionales en los que trabajan. Esta complejidad hace que las reformas educativas tengan escasa influencia en la vida del aula si no se dedica una atención especial al cambio del profesorado (Delval, 2002).

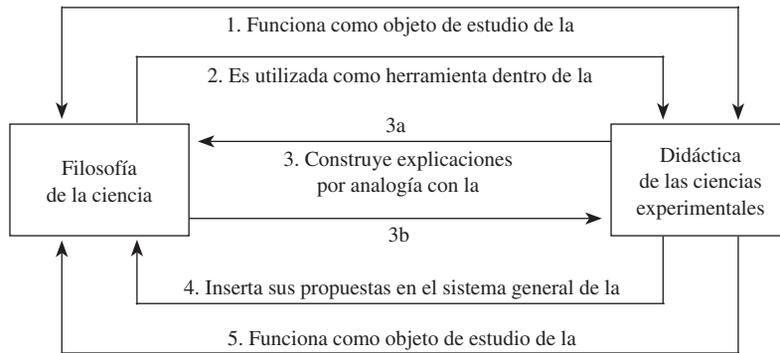
La comprensión de los procesos de cambio del profesorado de ciencias experimentales en sus distintas etapas, así como los aspectos que los facilitan u obstaculizan, son un tema clave en las investigaciones sobre formación del profesorado (Valcárcel y Sánchez, 2000), ya que, como señalan Abell y Pizzini (1992, p. 661), «para mejorar [la enseñanza de las ciencias] los formadores deberían concentrar una considerable porción de sus energías en investigar el cambio de los profesores». Nuestro propósito es intentar comprender el proceso de cambio en el que todos los profesores estamos inmersos, para de este modo poder tomar decisiones racionales sobre lo que conviene cambiar y lo que conviene conservar o mejorar. Para ello nos basaremos en modelos analógicos con el cambio científico, según distintas teorías de la filosofía de la ciencia (Mellado, 2001), a fin de terminar con las implicaciones para la formación inicial y permanente del profesorado.

UNA ANALOGÍA ENTRE LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA Y EL CAMBIO DIDÁCTICO DEL PROFESORADO DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

Hasta la década de los ochenta, la filosofía de las ciencias estuvo prácticamente ausente, tanto de los programas de enseñanza de las ciencias como de la formación del profesorado, asumiéndose implícitamente concepciones inmaduras e incontroladas sobre la naturaleza de la ciencia, en su mayor parte de tipo positivista (Burbules y Linn, 1991). Sin embargo, a partir de esa década, muchos trabajos consideran imprescindible incluir una reflexión sobre la naturaleza de la ciencia, tanto en los programas de enseñanza de las ciencias como en la formación del profesorado (Matthews, 1992).

Son numerosas las líneas de investigación que relacionan la filosofía de la ciencia con la didáctica de las ciencias. Adúriz-Bravo (2001) agrupa estas relaciones en siete clases: dos se refieren a los objetos de estudio compartidos por ambas disciplinas (la fundamentación epistemológica de la ciencia erudita y la fundamentación epistemológica de la ciencia escolar), las cinco restantes se refieren a las posiciones relativas que toman los metadiscursos didácticos y filosóficos (Fig. 1).

Figura 1
Sistema de relaciones discursivas entre la didáctica de las ciencias experimentales y la filosofía de la ciencia.
(Adúriz-Bravo, 2001, p. 487)



Para estudiar el cambio del profesorado de ciencias experimentales, estableceremos una analogía entre el cambio científico según distintas teorías filosóficas y el cambio didáctico de los profesores. Nuestro trabajo se enmarca dentro de la relación 3a que señala Aduriz-Bravo en el esquema, aquella que construye explicaciones de carácter analógico para la didáctica de las ciencias a partir de los modelos y teorías de la filosofía de la ciencia. La analogía con los modelos filosóficos se ha utilizado para fundamentar las teorías del aprendizaje de las ciencias y del cambio conceptual del alumnado (Mellado y Carracedo, 1993; Nussbaum, 1989).

Una analogía es una comparación entre dos situaciones o dominios de conocimiento distintos que mantienen una cierta relación de semejanza entre sí (Aragón et al., 1999). Desde el constructivismo se considera que los significados se construyen de una forma activa, relacionando lo nuevo con las ideas que se poseen, por un proceso generalmente analógico, como también indica la teoría de esquemas o el proceso de equilibración de Piaget. La propia ciencia utiliza habitualmente modelos analógicos en el contexto del descubrimiento, muchos de los cuales permanecen a lo largo del tiempo (p.e., la analogía del modelo planetario para el átomo de Bohr) y cualquier profesor experto conoce la utilidad de las buenas analogías en las clases de ciencias.

Una analogía no es una equivalencia ni una justificación, ya que es una comparación entre dos dominios esencialmente diferentes, y pretender establecer identidades entre los dominios suele acabar ocasionando más problemas que ventajas. Sin embargo, creemos que el aprendizaje analógico, utilizado con las adecuadas limitaciones, tiene un enorme potencial para aprender a partir de lo ya conocido y para relacionar y organizar el nuevo conocimiento. El establecimiento de analogías entre el cambio científico y el cambio cognitivo personal no está exento de críticas (Gilbert, 1999; Marín, 2003), pero, como el propio Gilbert reconoce, tiene la ventaja de relacionar distintos campos científicos en una empresa común, actuando como un antídoto contra la progresiva especialización de la investigación.

De los muchos criterios de clasificación de las distintas teorías filosóficas (Vázquez et al., 2001), tomaremos el que se refiere a la posibilidad de evaluación de las teorías científicas y a las condiciones que causan el cambio y el progreso científico. Basándonos en el esquema de Porlán (1989), hemos seleccionado el grupo de teorías de la figura 2, a partir de las cuales realizaremos la analogía con el cambio didáctico del profesorado. No pretendemos profundizar en la enorme riqueza y complejidad de las teorías filosóficas, sólo abordar esquemáticamente el tratamiento que hacen del progreso científico y del cambio de teorías (Estany, 1990), para realizar la analogía.

MODELOS POSITIVISTAS-FALSACIONISTAS

Aunque el positivismo se ocupa más del contexto de la justificación que del descubrimiento, en el que se desarrolla la construcción y el progreso científico, podemos señalar que las orientaciones positivistas consideran que la ciencia es un cuerpo de conocimiento, formado por hechos y teorías que se consideran verdaderos, en el sentido de estar contrastados con los datos observacionales. El cambio de teorías y el progreso científico se producen cuando existe una verificación experimental de las nuevas teorías, a través de la aplicación de una metodología científica objetiva y universal (Vázquez et al., 2001).

La analogía educativa (Fig. 3) sería el modelo de racionalidad técnica que considera que el cambio no es problemático, ya que los profesores cambian cuando reciben buenos cursos en los que se les transmite por los expertos la mejor forma de enseñar. Paradójicamente, este modelo para el conocimiento académico-proposicional convive en la formación inicial de maestros, como dos partes separadas e independientes, con una orientación artesanal para las prácticas de enseñanza, que considera que el conocimiento práctico de la enseñanza se aprende por observación e imitación, y por ensayo y error.

Figura 2
Teorías filosóficas a partir de las que se realizará la analogía.

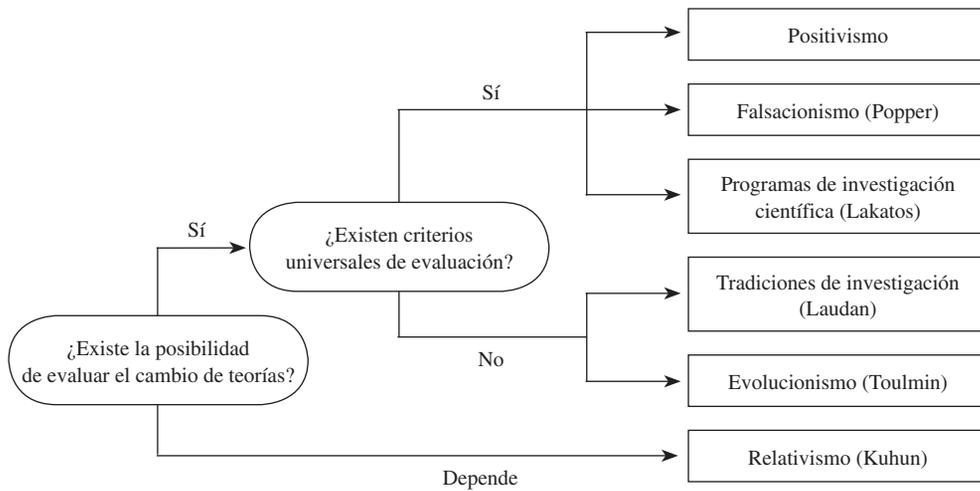


Figura 3
Analogía con el positivismo.

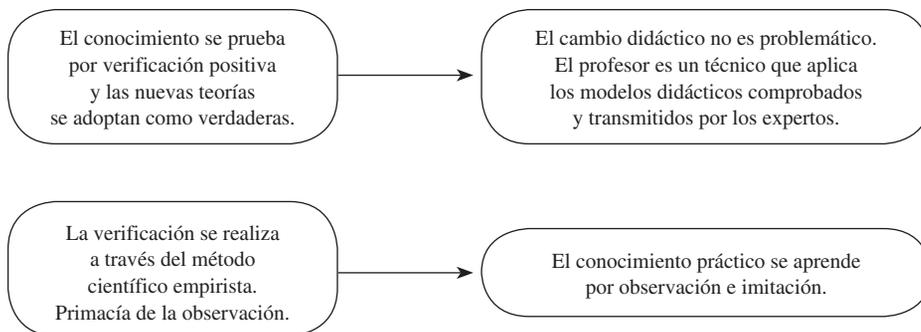
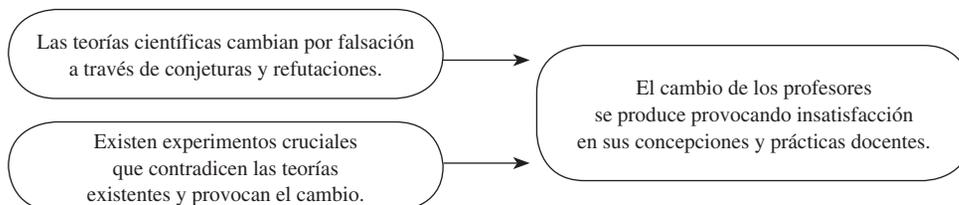


Figura 4
Analogía con el falsacionismo de Popper.



Esta situación tan paradójica para la teoría y para la práctica es la que ilustraba Busquet (1974, p. 50) en la metáfora del nadador: «Imagínese una escuela de natación que se dedicara un año a enseñar anatomía y fisiología de la natación, psicología del nadador, química del agua [...]. Todo esto, evidentemente, a base de cursos magistrales, libros y pizarras, pero sin agua. En una segunda etapa se llevaría a los alumnos-nadadores a observar durante varios meses a nadadores experimentados; y después de esta sólida preparación, se les lanzaría al mar, en aguas bien profundas, en un día de temporal de enero.»

En la formación inicial del profesorado de secundaria en España sigue vigente el modelo academicista, centrada exclusivamente en el conocimiento del contenido, que Giner de los Ríos (Rodríguez de Lecea, 1990, p. 95) denunciara hace ya un siglo: «[...] nuestras facultades de filosofía y letras y ciencias [...] aparte de su labor propiamente técnica, de investigación y educación científicas, no tienen otro fin profesional que preparar a los futuros catedráticos de los institutos y de esas mismas facultades [...] sin embargo, hasta 1904 en esas facultades nada teníamos que se refiriera a la preparación pedagógica del magisterio ni secundario ni universitario».

Para el profesor en ejercicio, la formación basada en cursos y cursillos de perfeccionamiento impartidos por expertos suele ser poco eficaz, excepto para una minoría, que comparta el marco teórico y el discurso y que ya esté dispuesta a cambiar. Los profesores suelen ser bastante escépticos ante las reformas y los modelos ideales de buen profesor que se les transmite en cada momento, pues piensan que se puede ser buen profesor utilizando estilos y estrategias docentes muy diferentes (Wildy y Wallace, 1995). Estas estrategias de formación se han mostrado ineficaces para cambiar las concepciones y más aún las prácticas docentes del profesorado, y, cuando los cambios se producen, lo son más por la discusión y la colaboración entre los participantes que por la transmisión de nuevos modelos por parte de expertos (Garret et al., 1990).

Desde el realismo crítico, Popper (1983) rechaza el principio de inducción empírico del positivismo, destacando el valor de las teorías frente a la observación. Para Popper, una teoría no cambia por verificación, sino por falsación, cuando se encuentra un experimento crucial que la contradice. El progreso científico se produciría por el repetido derrocamiento por falsación de las teorías y su reemplazo temporal por otras más satisfactorias, a través de sucesivas conjeturas y refutaciones.

De forma análoga, el cambio en los profesores se produciría provocando insatisfacción en sus concepciones y prácticas docentes, frente a las nuevas aportaciones de la investigación educativa (Fig. 4). Esta estrategia, que Gil (1993) considera «perversa» por pretender explicitar las ideas y estrategias didácticas del profesorado, para a continuación rechazarlas, provoca más resistencias que estímulos al cambio. ¡Pobre del profesor que sea señalado como «tradicional-transmisivo», con las connotaciones negativas que esto tiene!

Una cierta insatisfacción y conflicto constituyen elementos necesarios para el cambio, pero pueden volverse en contra cuando la insatisfacción y el desajuste entre las expectativas propias o ajenas y lo que hace son excesivos y no controlados por el profesor, y éste no ve alternativas viables. Los profesores tienen frecuentes motivos de insatisfacción (Hargreaves, 1996): ven cómo se derrumban las antiguas certezas, sus estrategias didácticas son sometidas a crítica, su autoridad es cuestionada, sus roles no se ajustan a lo esperado, las reformas y propuestas de innovación se multiplican creando una sobrecarga añadida que en muchas ocasiones no conducen al cambio sino a la frustración, a la culpabilidad, al desánimo, al retraimiento, al desencanto o, peor aún, al cinismo y a aguantar hasta la jubilación. El psiquiatra Castilla del Pino (2001) se refiere al «sufrimiento» de muchos profesores, especialmente de secundaria, «son juguetes rotos, profesionales frustrados porque no pueden desempeñar su función y vocación y ello les produce deterioros gravísimos de personalidad. Su autoestima cae y difícilmente tiene solución».

MODELOS DE CAMBIO CONCEPTUAL

Las limitaciones del modelo por contradicción han fomentado propuestas de formación que consideran que la insatisfacción y la autocrítica de los planteamientos y prácticas docentes iniciales no implican necesariamente disposición para cambiarlos si no se dispone de alternativas viables y se es capaz de anticipar las acciones para llevarlas a cabo (Lucio, 2001). Los modelos de cambio científico de Lakatos y de Kuhn se han utilizado desde hace años como referente analógico para el aprendizaje de las ciencias por cambio conceptual.

Para Lakatos (1983), todo programa de investigación científica tiene núcleos centrales resistentes al cambio, y a lo más que se llegaría por la falsación sería a rechazar hipótesis auxiliares, que podrían fácilmente sustituirse sin alterar lo esencial. El progreso científico, tanto para Lakatos como para los pragmatistas, se produciría por competencia entre programas, de tal forma que habría que considerar de forma simultánea las desventajas de lo viejo y las ventajas de lo nuevo. Análogamente los aspectos básicos de las teorías y las prácticas de los profesores son fuertemente resistentes al cambio y cuando éste se produce es porque el profesor tiene alternativas en las que se encuentra insatisfecho (Fig. 5).

En muchos programas de formación de profesores de base constructivista se toman como referencia las cuatro condiciones de Posner y otros (1982): conocer y valorar las ideas iniciales de los profesores y, si son insatisfactorias, presentar nuevas ideas que sean inteligibles, plausibles y útiles (Gunstone et al., 1993; Hewson y Hewson, 1989; Stofflett, 1994). El profesor sólo cambiará su teoría personal cuando la perciba irrelevante para su propia práctica y disponga de nuevas estrategias y recursos que les resulten útiles para la enseñanza diaria de sus materias específicas y para el aprendizaje de sus estudiantes (Bell y Gilbert, 1994). En este sentido, el conocimiento

y acción docente de las ideas del alumnado se ha mostrado como un catalizador de la reflexión y cambio del profesor (Hewson et al., 1999; Lucio, 2001). Los propios autores de las cuatro condiciones del cambio conceptual, en posteriores programas de formación del profesorado (Hewson, 1993; Hewson et al., 1999), han ido incorporando nuevos conceptos, como el de *cambio de estatus* de las ideas o el de *ecología conceptual*, así como asumiendo perspectivas compartidas con otros modelos, como la investigación-acción o la metacognición.

De forma análoga a los núcleos centrales resistentes al cambio de Lakatos, los profesores no cambian fácilmente sus concepciones, y menos aún sus prácticas docentes, limitándose los cambios a aspectos secundarios, equivalentes a las hipótesis auxiliares de Lakatos (Blanco y Niaz, 1998). Unas veces porque se muestran satisfechos con unos modelos didácticos consolidados por la experiencia profesional y hay coherencia entre sus metas, sus concepciones, su conducta docente y la percepción de los estudiantes (Ballenilla, 1992; McRobbie y Tobin, 1995), otras, porque en el sistema educativo y en el propio profesorado existen condicionantes que refuerzan los modelos tradicionales y suponen obstáculos para el cambio didáctico (Tobin, 1998), y, en definitiva, porque el cambio didáctico es un proceso complejo en el que intervienen numerosos factores que lo obstaculizan y dificultan (Davis, 2003). Como señala Delval (2002, p. 79), «cambiar los profesores es algo extremadamente difícil. Por una parte, tienen sus hábitos de conducta y de enseñanza bien establecidos. Enseñan, sobre todo, como les enseñaron a ellos y, cuando se tiene una cierta práctica, resulta extremadamente difícil cambiar». Las concepciones pedagógicas personales, adquiridas de forma natural y no reflexiva de las propias experiencias escolares, suponen un obstáculo para la formación y el cambio didáctico del profesorado (Gil, 1991). Si en la formación no se tienen en cuenta los obstáculos y dificultades, es muy posible que los cambios no se consoliden y se vuelva a las prácticas docentes anteriores (Marx et al., 1998).

En otros trabajos hemos señalado los obstáculos al cambio para el profesorado de ciencias experimentales

(Mellado, 2001). En esta ocasión incidiremos en algunos aspectos de la formación inicial que dificultan el cambio. En primaria la escasa formación en contenidos científicos puede generar «analfabetismo funcional» respecto a la cultura científica (Cañal, 2000), lo que supone una limitación para la enseñanza y una barrera para el cambio didáctico, ya que el profesor se muestra más inseguro y con menos autoconfianza en la enseñanza de las ciencias. Esto le hace ser más dependiente del libro de texto, dedicar menos tiempo a los temas que no domina y tener más dificultades para diagnosticar las ideas alternativas y las dificultades de aprendizaje de sus alumnos, así como para realizar cambios y actividades innovadoras (Appleton, 1995; Harlen y Holroyd, 1997).

En secundaria los modelos academicistas de formación se centran en los conocimientos de la materia a enseñar, a los que al final se añaden unos pocos conocimientos didácticos y unas prácticas finalistas. Esta formación no es la más adecuada, ni siquiera para los contenidos científicos, ya que ni están orientados ni son los más relevantes para la enseñanza; suelen impartirse de forma atomizada, estática y no globalizados (Hewson et al., 1999) y sin tener en cuenta que la estructura académica disciplinar no es la misma que la del aprendizaje (Gess-Newsome y Lederman, 1995). El absolutismo epistemológico que a menudo se transmite de la ciencia es otro de los aspectos de la formación que dificulta el cambio didáctico (Porlán et al., 1997; Wamba, 2001). Con una formación didáctica tan escasa, la metodología con la que se imparten los contenidos científicos a los futuros profesores es un importante referente que influirá en su conducta docente (Gess-Newsome, 1999).

En la universidad apenas se presta atención a la formación didáctica del profesorado y es bastante común la concepción simplista de que enseñar es fácil y que para ser profesor es suficiente con tener conocimientos de la materia a enseñar, experiencia, sentido común y cualidades personales innatas (Gil et al., 1991; Perales, 1998). El sistema de recompensas universitario es coherente con esta concepción y está claramente enfocado a la investigación, con escasa valoración e incentivos para la docencia.

Figura 5
Analogía con los programas de investigación científica (Lakatos).

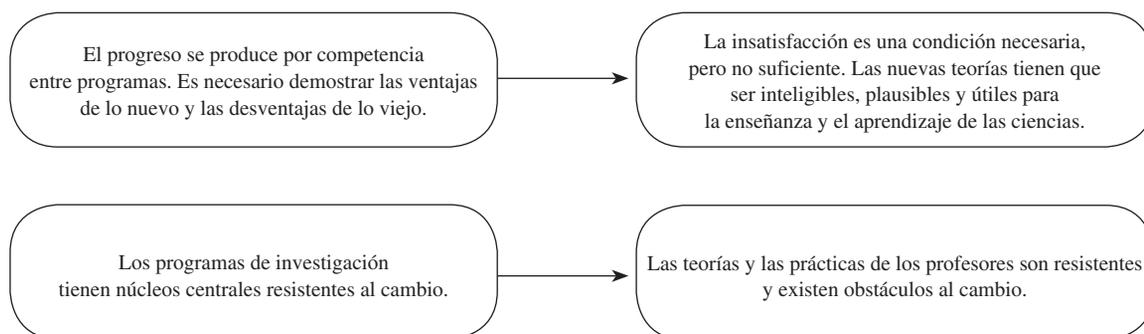
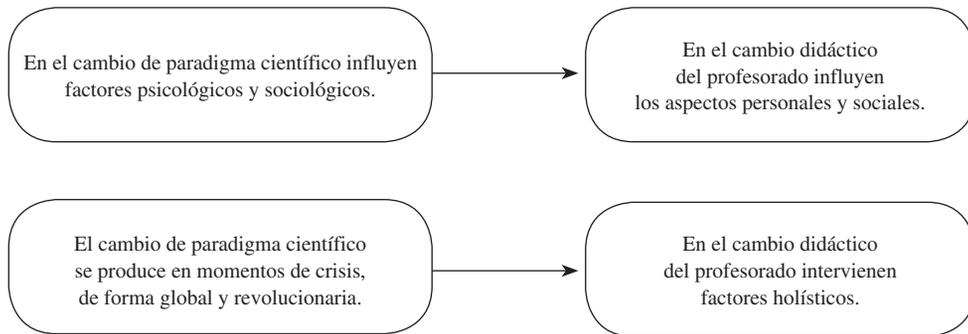


Figura 6
Analogía con el cambio de paradigmas de Kuhn.



Una expresión radical y relativista del cambio de teorías científicas se produciría en el cambio de paradigma de Kuhn (1971), considerando el paradigma como el conjunto de creencias, valores y métodos compartidos por una comunidad científica. En los períodos de ciencia normal, los científicos trabajan dentro de un paradigma compartido, solucionando las anomalías que se producen en el mismo. El cambio de paradigma se produciría en los períodos de ciencia revolucionaria, en momentos de crisis, más por reconstrucción del campo que por acumulación o ampliación del antiguo paradigma, que resultaría inconmensurable con el nuevo.

Aunque no creemos que el cambio del profesorado se produzca de un modo radical, haremos referencia a dos aspectos considerados por Kuhn que nos parecen importantes para establecer la analogía con el profesorado: la importancia de los aspectos personales y contextuales en el cambio científico y el carácter holístico de las teorías científicas. De forma análoga (Fig. 6), el cambio profesional en los profesores es inseparable de los aspectos personales y sociales, y en el cambio didáctico intervienen factores holísticos que hay que analizar de forma global.

Como señala Day (1999), el cambio es un asunto de la cabeza, pero también del corazón y difícilmente se realizan cambios si éstos no compensan afectivamente y contribuyen a dar más satisfacción personal en el trabajo. Si queremos comprender los procesos de cambio del profesorado hay que prestar atención a la dimensión personal (Marcelo, 1994) y contar no sólo con la capacidad de los profesores para cambiar, sino también con sus sentimientos, motivación, disponibilidad, compromiso y estabilidad emocional para hacerlo (Hargreaves, 1996). Cada profesor tiene que identificar los aspectos problemáticos de la propia enseñanza, analizar los efectos psicológicos personales de su situación y tomar conciencia de los riesgos y las dificultades personales que le supone tanto realizar cambios como no hacerlo (Bell y Gilbert, 1994). Estos aspectos están muy relacionados con la autoestima del profesor, ya que cambiar supone reconocer que algo puede hacerse mejor de lo que se está haciendo. Desde la investigación-acción, Elliot (1993) considera que una

condición indispensable para que el profesor inicie cambios en su práctica docente es que aprenda a controlar y a tolerar unas ciertas pérdidas de autoestima. El equilibrio entre la pérdida y el fortalecimiento de la autoestima es muy frágil, por eso creemos que hay que hacer análisis críticos, pero sin caer en reduccionismos, valorando los aspectos positivos del profesor y construyendo el cambio a partir de ellos, pues un fortalecimiento de la autoestima y del autoconcepto suele dar más seguridad para iniciar y consolidar los cambios (Copello y Sanmartí, 2001; Zembylas, 2002). Si se incide sólo en lo negativo y la pérdida de autoestima es excesiva, puede llegarse a una situación paralizante de impotencia y frustración.

También son fundamentales los aspectos sociales, ya que el profesor está integrado en un centro y es muy difícil que el cambio se realice, y sobre todo que se consolide, de una forma individual y a contracorriente de la «cultura» educativa del centro y de las formas socialmente asumidas (Bell, 1998; Sánchez y Valcárcel, 2000). Como señala Hargreaves (1996, p. 280), «el cambio se produce cuando se actúa sobre la cultura, apoyándola, de manera que los profesores, en cuanto comunidad, sean más capaces de efectuar los cambios que redunden en beneficio de los alumnos». Los programas de formación tienen que considerar al profesor como integrante de un grupo y aportar experiencias de desarrollo colectivo, fomentar la colaboración y, en suma, considerar el centro educativo como el lugar más adecuado para el desarrollo profesional y como la unidad del cambio (Anderson y Helms, 2001; Davis, 2003; Valcárcel y Sánchez, 2000). Compartir los problemas y buscar soluciones de forma colaborativa con otros profesores refuerza los aspectos profesionales y proporciona apoyos afectivos y emocionales (Bell y Gilbert, 1994). Sin embargo, para que sea efectiva, la cooperación no puede ser artificial o impuesta, sino que tiene que fomentar la creatividad individual (Hargreaves, 1996) y respetar las distintas prácticas y puntos de vista (Elliot, 1993).

La clase también contribuye al desarrollo social del profesor. La reflexión sobre los logros de los estudiantes y los refuerzos y apoyos que el profesor recibe del alumnado son un importantísimo estímulo para los

cambios (Jiménez y Segura, 2002; Tobin et al., 1994), pues el cambio está muy relacionado con «la recogida de frutos» en el aprendizaje de los estudiantes (Climent, 2002). Finalmente, los padres también pueden estimular los cambios del profesor, o criticarlos y obstaculizarlos si éstos no responden a su concepción de lo que es una buena enseñanza o si los ritmos iniciales de aprendizaje no coinciden con sus previsiones (Anderson y Helms, 2001; Bencze y Hodson, 1999).

Otra característica del cambio científico de Kuhn, que nos permite realizar la analogía, es la importancia de los factores holísticos y no sólo de las partes. El lenguaje que utiliza el profesor para hablar de sus concepciones, roles y de su actividad profesional no suele ser literal y estructurado, sino más bien simbólico y de carácter metafórico. Las metáforas ayudan a organizar y articular de forma global concepciones, roles y conocimiento práctico del profesor, permiten averiguar los referentes implícitos que los sustentan e influyen poderosamente en su conducta docente en el aula (BouJaoude, 2000; Mellado, 2001). Cada profesor va construyendo sus metáforas a partir de su experiencia personal, por lo que tienen un fuerte componente afectivo. Cuando el profesor analizado por Tobin y Tippins (1996) dice que la clase es un «infierno» está expresando no sólo una valoración académica, sino algo que afecta a sus sentimientos, y que marcará su actitud hacia la clase para el resto del curso si no es consciente de lo que significa la metáfora y las consecuencias que puede tener. Un importante aspecto relacionado con el cambio didáctico y avalado por numerosas investigaciones con profesores de ciencias (Martínez et al., 2001; McRobbie y Tobin, 1995; Tobin et al., 1994) es que éstos realizan cambios en sus concepciones y prácticas docentes cuando son capaces de construir nuevos roles a través de la reflexión crítica y, simultáneamente, adoptan o construyen nuevas metáforas compatibles con tales cambios.

Modelos de cambio gradual por desarrollo interno

Aunque los modelos de cambio conceptual han supuesto un considerable avance respecto a los de racionalidad técnica, siguen basándose más en el cambio por sustitución que por crecimiento o desarrollo interno. Los profesores no suelen hacer cambios radicales, sino que van sucesivamente incorporando y poniendo en práctica las ideas que les parecen importantes y asequibles y que al cabo del tiempo consideran positivas (Arora et al., 2000). El cambio suele ser lento, continuo y gradual (Appleton y Asoko, 1996; Tal et al., 2001), y raramente implica el completo abandono de sus modelos didácticos en favor de otros nuevos, sino que más bien son adquisiciones y retenciones parciales (Gunstone y Nothfield, 1994; Valcárcel y Sánchez, 2000). Creemos que los procesos de cambio de los profesores pueden explicarse mejor tomando como referencia las teorías pragmáticas de Laudan y de Toulmin sobre el cambio científico, o las últimas versiones del propio Kuhn, mucho más próximas al evolucionismo que al cambio

revolucionario, aunque destacando los aspectos psicológicos y sociales.

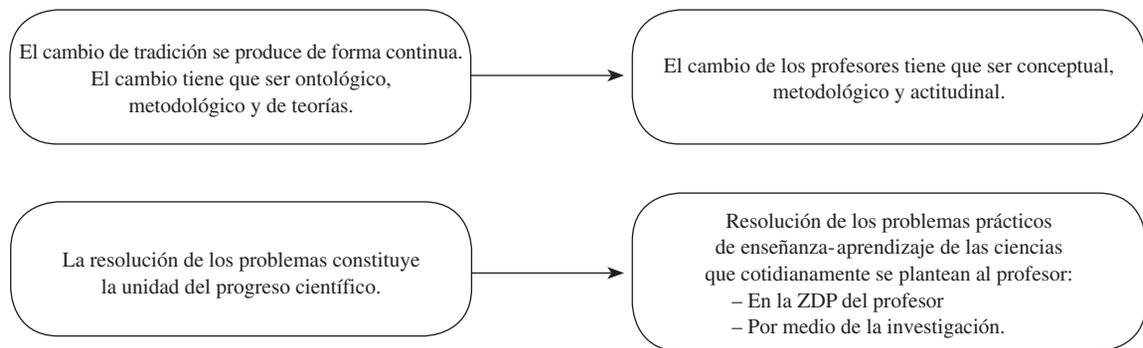
Laudan (1986) establece el concepto de *tradiciones de investigación* (que incluye supuestos, metodologías, problemas y teorías) como semejante a los programas de investigación de Lakatos o a los paradigmas de Kuhn, aunque el cambio científico se produciría de una forma continua al resolver los problemas, de manera que la ciencia progresa sólo si las teorías sucesivas resuelven más problemas que sus predecesoras. El cambio de tradición de investigación se daría cuando exista, además, un cambio ontológico y metodológico, que afectaría a los supuestos básicos, a la naturaleza de las preguntas, a los fines y a los valores.

Análogamente, algunos programas de formación del profesorado de base constructivista (Furió y Carnicer, 2002; Gil, 1993) inciden en que los cambios tienen que afectar tanto a aspectos conceptuales como metodológicos, actitudinales y a los valores, y proponen que el cambio tiene que basarse en la investigación de situaciones problemáticas abiertas de enseñanza y aprendizaje de interés para el profesorado (Fig. 7).

Desde hace años se asume la relación entre las concepciones, las actitudes, los valores y la práctica del aula del profesorado. Sin embargo, los resultados de numerosas investigaciones (Lederman, 1992; Mellado, 1996; Marx et al., 1998; Meyer et al., 1999) indican que, según el profesor y el contexto, se producen frecuentes desfases y contradicciones en estos aspectos, y que cambios en cualquiera de ellos no garantizan un cambio en los demás. Un cambio epistemológico hacia concepciones menos dogmáticas y absolutistas, tanto sobre la ciencia como hacia su enseñanza, puede influir en tener actitudes más abiertas y en explorar nuevas situaciones didácticas; pero un cambio en las concepciones no garantiza la transferencia al aula como conducta docente si el profesor no cambia sus actitudes y no dispone de conocimientos procedimentales y esquemas prácticos de acción en el aula (Furió y Carnicer, 2002; Tobin, 1993). A diferencia de los principiantes, los profesores con experiencia suelen ser más innovadores en lo que hacen en el aula que en lo que dicen que hacen; sin embargo, últimamente se observa como, en algunos casos, se asume aparentemente el discurso de las reformas, sin que ello suponga cambios en la práctica del aula (Freitas, 2000; King et al., 2001; Sancho, 2000). Cada vez hay más resultados que indican que los cambios tienen más posibilidades de consolidarse si relacionan e integran todos los aspectos, incluyendo las actitudes y los valores (Sanmartí, 2001).

Análogamente al modelo de Laudan para el que la resolución de los problemas es la unidad de cambio científico, la mayoría de los profesores considera que el cambio merece la pena si les ayuda a resolver las situaciones prácticas cotidianas que se le plantean con sus alumnos (Hargreaves, 1996; Sancho, 2000), concepto muy relacionado con el de utilidad de los modelos de cambio conceptual. La resolución de las situaciones problemáticas puede abordarse desde tres perspectivas complementarias.

Figura 7
Analogía con las tradiciones de investigación de Laudan.



Una de ellas es que, para un profesor, las actividades y prácticas pedagógicas dependen en gran parte de la asignatura que imparte, y las situaciones problemáticas de enseñanza y aprendizaje lo son sobre la materia que enseña (Stodolsky, 1991). El constructo «conocimiento didáctico del contenido» elaborado por Shulman (1986), un conocimiento específico sobre la forma de enseñar cada materia y una forma de razonamiento y acción didáctica por medio de la cual los profesores transforman la materia en representaciones comprensibles a los estudiantes, ha impulsado numerosos trabajos con el profesorado de ciencias (Gess-Newsome y Lederman, 1999). Esto ha supuesto una consolidación de las didácticas específicas en los estudios del profesorado, ya que los cambios del profesor no se realizan en abstracto, sino sobre contenidos concretos (Gunstone y Northfield, 1994).

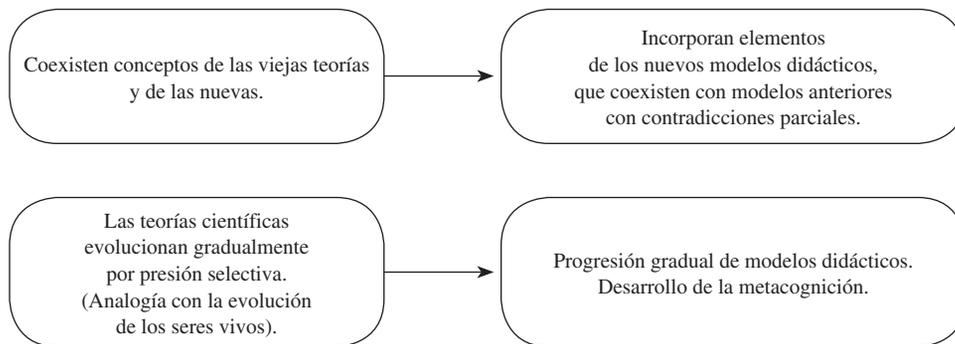
Otra perspectiva, más psicológica, está basada en los estudios de Vygotsky (1979) sobre la zona de desarrollo próximo (ZDP), concepto desarrollado para el aprendizaje, pero con un potencial genérico de aplicación. Las situaciones problemáticas con más capacidad de cambio son las que se encuentran en la ZDP de cada profesor. Sobre estas situaciones, el profesor tiene motivación y expectativas de resolverlas (Ash y Levitt, 2003; Jones et al., 1998; Lucio, 2001) y el proceso de cambio se ve como un desafío estimulante y útil y no como un problema irresoluble y desmotivante (Bell, 1998).

La tercera defiende potenciar la investigación de situaciones y problemas relevantes de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de interés para el profesorado. La relación entre investigación y práctica educativa es un tema central tanto para el desarrollo de la didáctica de las ciencias como para el desarrollo profesional del profesorado (Pro, 1999) y están suficientemente justificados los beneficios de las estrategias de investigación. Sin embargo, hay que señalar que los resultados de las

investigaciones realizadas por expertos ajenos a los centros de primaria y secundaria apenas llegan a las aulas aunque estén realizadas «para» los profesores, pues existe un abismo entre la cultura del investigador y la del práctico. Tampoco llegan las investigaciones realizadas por expertos «sobre» los profesores cuando éstos actúan como simples informantes u objetos de investigación para los investigadores. Las investigaciones que tienen más capacidad formativa y más posibilidad de repercutir en la práctica no son las que se hacen «para» o «sobre» los profesores, sino las realizadas «por» y «con» los profesores en equipos interdisciplinarios e internivelares, en los que el profesor no es un consumidor de conocimientos externos, sino un coproductor y un agente de cambio sobre los problemas que realmente le preocupan en sus clases (Cachapuz, 1995; Gil, 1993; Gil et al., 1998). Los programas de investigación-acción van en esta línea y se han mostrado eficaces para promover el desarrollo del profesorado de ciencias experimentales (Baird et al., 1991).

La filosofía de la ciencia de Toulmin (1977) propone el concepto de *ecología intelectual*, considera que las teorías científicas evolucionan por presión selectiva de las poblaciones conceptuales y establece una analogía entre la evolución biológica y la construcción del conocimiento científico. Las ideas científicas constituyen poblaciones conceptuales en desarrollo histórico y las teorías científicas cambiarían por evolución selectiva de las poblaciones conceptuales. Partiendo de los problemas no resueltos, se producirían unas exigencias intelectuales o unas prácticas específicas, que llevarían a una presión selectiva sobre las poblaciones conceptuales y, finalmente, a un desarrollo por innovación y selección, en el que coexistirían conceptos de las viejas y nuevas teorías (Batista y Porlán, 1999; Porlán, 1989). Análogamente los profesores tienen tendencias y no modelos puros, e incorporan elementos nuevos que coexisten con los anteriores, con contradicciones parciales (Fig. 8).

Figura 8
Analogía con el evolucionismo de Toulmin.



Porlán y Rivero (1998) proponen un marco evolutivo para la formación del profesorado, organizado en torno a problemas relevantes de la práctica de la enseñanza de las ciencias, partiendo de los modelos didácticos tradicionales, pasando por niveles intermedios en que dominan las tendencias espontaneistas y tecnológicas, y teniendo como nivel de referencia los modelos alternativos más innovadores. Valcárcel y Sánchez (2000) también proponen niveles progresivos para la formación: un primer nivel en el que se incida en la motivación, dinamización, cuestionamiento y modelización a través de los estudios de casos; un segundo nivel, con una mayor implicación en el desarrollo curricular y en la investigación educativa; y un tercer nivel de consolidación, con participación en proyectos colaborativos de investigación e innovación. Desde un planteamiento metacognitivo, Lucio (2001) propone la evolución progresiva en la reflexión del profesorado desde niveles acrílicos o con atribuciones externas, pasando por una reflexión cada vez más internalista y comprometida, hasta niveles de reflexión metacognitiva autorreguladora.

La modelización es un extraordinario instrumento que ayuda a comprender y a guiar lo que se piensa y lo que se hace en el aula, pero en mi opinión tiene que evitar la tentación determinista de imponer una dirección externa en la evolución, en cuyo caso, además de no corresponderse con el sentido de la evolución biológica que no es determinista ni finalista, correría el riesgo de estandarizar y etiquetar la buena enseñanza al margen del contexto personal y social de cada profesor individual.

El cambio se rige por dinámicas internas, complejas, autónomas, muy relacionadas con el contexto y no sometidas a modelos ideales externos. Si tuviera que establecer una analogía con la física, la dinámica del cambio del profesorado me parece más próxima a los procesos de autoorganización de la física del caos que a la física clásica de los modelos ideales deterministas. En este sentido es muy interesante la relación entre metacognición y cambio didáctico del profesorado, en la que se potencia el desarrollo de habilidades metacognitivas, que favorezcan el conocimiento de los propios procesos cognitivos, la reflexión en

y sobre la acción y la toma de conciencia de las causas de las dificultades de la práctica docente y de los obstáculos para el cambio didáctico, a fin de posibilitar así la autorregulación y el control de los cambios (Copello y Sanmartí, 2001; Gunstone y Northfield, 1994; Lucio, 2001). El control y la autorregulación de la propia evolución, de su ritmo y de la naturaleza de los cambios, sin duda requiere mucho más tiempo y apoyos que la puesta en práctica superficial de orientaciones externas, pero se han mostrado como fundamentales para consolidar las mejoras en la práctica del aula (Bell y Gilbert, 1994).

IMPLICACIONES PARA LA FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

Cada vez se reconoce más que la formación y el desarrollo profesional del profesorado y el cambio educativo no son cuestiones independientes, sino una única y misma cosa (Carr, 1990; Marcelo, 1994). Para Delval (2002, p. 8), «si no se trabaja sobre la formación y el cambio de los profesores, todo esfuerzo que se realice para cambiar la escuela será estéril». A continuación destacaré algunos aspectos de la formación inicial y permanente del profesorado de ciencias experimentales relacionados con el cambio didáctico.

La formación inicial

La formación inicial tiene que plantearse como una importante etapa, pero dentro de un continuo. Cuando el profesor en formación comienza su etapa universitaria, lo hace no sólo con un bagaje de conocimientos, sino con unos valores, creencias, roles y actitudes sobre la ciencia, la enseñanza de las ciencias, el profesor, etc., fruto de sus muchos años de escolaridad, de los que hay que partir en la formación inicial. Durante su formación inicial, el profesor tiene que aprender a comprender los cambios de la educación y a comprender y a autorregular los cambios de sí mismo. El reto de esta formación es dotar al profesorado de los criterios, del pensamiento

creativo y crítico y de las herramientas que le ayuden a construir un sistema efectivo de autorregulación que le permitan continuar formándose autónomamente durante toda su vida profesional (Sanmartí, 2001).

La formación inicial tiene que integrar los conocimientos académicos, las concepciones personales y el conocimiento práctico, y contribuir a generar en los profesores en formación su propio conocimiento didáctico del contenido. Los conocimientos académicos proposicionales no se transfieren directamente a la práctica (Bryan y Abell, 1999), por lo que la formación tiene que dar oportunidades a cada profesor de que, por medio de un proceso metacognitivo de reflexión, sea consciente de sus concepciones, actitudes y de sus prácticas de aula al enseñar su materia específica, para que pueda autorregularlas y reestructurarlas y pueda ir desarrollando su modelo didáctico personal (Sanmartí, 2001). Los estudios de casos, tanto los propios como los de otros profesores grabados en vídeo, se han mostrado como un excelente recurso que ayuda a los profesores en formación a reflexionar sobre sus propios conocimientos y creencias y sobre su propia práctica, y a reconstruir sus teorías y estrategias de enseñanza de las ciencias (Abell y Bryan, 1998; Tobin et al., 2001).

Si los profesores en formación toman como referencia, positiva o negativa, para la enseñanza de las ciencias, a los profesores que han tenido a lo largo de su escolaridad, la metodología que se utilice durante la formación inicial por los formadores tiene que ser consistente con los modelos teóricos de formación que propugnan (Gunstone et al., 1993; Hewson, 1993). En caso contrario, los estudiantes para profesores aprenderán más de lo que ven hacer en clase, que de lo que se les dice que hay que hacer (Stoddart et al., 1993). Munby y Russell (1998) señalan la inconsistencia y la escasa repercusión práctica de los programas de formación en los que implícita o explícitamente se transmite el mensaje «haz lo que digo y no lo que hago». Esto implica que, si los formadores de profesores queremos ser consistentes entre lo que decimos y lo que hacemos, antes tenemos que hacer nuestro propio desarrollo profesional (Hardy y Kirkwood, 1994).

Las prácticas de enseñanza en conexión con las asignaturas de didáctica de las ciencias son un componente esencial en el desarrollo del modelo didáctico personal. Pero las prácticas son tan complejas, dependen de tantas personas y de la influencia de tantos factores interrelacionados, que es el fenómeno más incontrolado de la formación. La debilidad puntual en cualquiera de los factores puede hacer que el proceso se resienta en su conjunto o que el profesor en formación adquiera estrategias negativas de enseñanza, dirigidas hacia la supervivencia, que son muy resistentes al cambio en el futuro (Mellado, 2000). De todos los factores destacamos la importancia del tutor, que es un potente modelo de rol para el profesor de ciencias en formación, y puede ejercer una fuerte influencia en la dirección de su futuro desarrollo profesional (Bailey et al., 1999; Hewson et al., 1999). La participación durante las prácticas en actividades de investigación e innovación en equipos de coenseñanza

con profesores experimentados anima a realizar cambios didácticos (Tobin et al., 2001).

Aunque no nos detendremos en ella, otra etapa importantísima es la de iniciación a la docencia durante los primeros años de ejercicio profesional, ya que en ella los profesores se ven sometidos a numerosas tensiones, dilemas y sobrecargas, y es cuando más se fijan las rutinas y estrategias de enseñanza.

El desarrollo profesional

Los profesores con experiencia tienen creencias y conocimientos prácticos personales muy estables y consolidados a lo largo de su actividad profesional y muy resistentes al cambio (Appleton y Asoko, 1996). Además tienen poco tiempo disponible y la formación les supone un esfuerzo añadido y una sobrecarga de trabajo para algo que, en muchas ocasiones, consideran teórico e irrelevante para lo que tienen que hacer diariamente en el aula (Munby y Russell, 1998).

En estos profesores, la formación no hay que plantearla como un «cambio», sino más bien como un proceso interno de «crecimiento» y de «desarrollo» gradual a partir de lo que ya piensan y hacen (Day, 1999), de los problemas reales de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, de las preocupaciones cotidianas del profesor, potenciando y apoyando la motivación, la disponibilidad, la colaboración y el compromiso de los profesores en su propio desarrollo profesional.

El desarrollo profesional tiene que ir unido al personal y social, teniendo en cuenta los aspectos afectivos, fomentando la colaboración constructiva, fortaleciendo la cultura de los centros y construyendo sobre las buenas prácticas que los profesores estén ya realizando (Hargreaves, 1996). Esto requiere más tiempo y muchos apoyos sostenidos para que el profesor pueda observar la mejora en el aprendizaje de los estudiantes y percibir la formación como una experiencia educativa válida para sí mismo, para sus clases y para su centro (Sánchez y Valcárcel, 2000; Tal et al., 2001).

En el desarrollo profesional hay que integrar los conocimientos académicos, las concepciones, las actitudes, los valores y las prácticas docentes del profesor al enseñar su materia, pero el eje de la formación tiene que ser la didáctica de las ciencias, pues el contenido a enseñar condiciona los roles del profesor y las estrategias de enseñanza (Tobin y McRobbie, 1999). La investigación-acción en colaboración con otros profesores de situaciones y problemas relevantes de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias de interés de sus propias clases y, en particular los estudios longitudinales de sus propios casos, es a medio y largo plazo una extraordinaria estrategia de desarrollo profesional (Lyons et al., 1997; Roth, 1998).

El desarrollo profesional se realiza a través de procesos sucesivos de autorregulación metacognitiva del profesor basados en la reflexión, la comprensión y el control de lo que piensa, de lo que siente y de lo que hace en el aula y en el centro y de los propios cambios que realice: tomar

conciencia de los problemas de enseñanza y aprendizaje que pueden ser mejorables, elaborar nuevas actividades, materiales y propuestas de enseñanza, ponerlas en práctica en el propio contexto, reflexionar sucesivamente sobre su enseñanza y sobre los resultados en el aprendizaje de los estudiantes, contrastarlas con otros casos, y volver a revisarlas y a autorregularlas (Marx et al., 1998).

La tutoría de prácticas de profesores en formación o principiantes puede convertirse en una experiencia positiva de formación y de desarrollo profesional para los tutores de los centros de primaria y secundaria y para los universitarios (Roth et al., 2001). Puede significar para los tutores trabajar en colaboración con profesores de distintos niveles, elaborar proyectos conjuntos docentes y de investigación, analizar situaciones de enseñanza y aprendizaje de las ciencias en el contexto real de la clase, y otras muchas actividades que ayudan al profesor a salir del aislamiento y a trabajar en colaboración (Ash y Levitt, 2003).

REFLEXIÓN FINAL

A lo largo del artículo hemos revisado los resultados de distintas investigaciones que nos aportan datos sobre el proceso de cambio del profesorado de ciencias experimentales. Para organizar esta información hemos establecido una analogía con el proceso de cambio científico

según distintas teorías de la filosofía de la ciencia, analizando y valorando las aportaciones de los distintos modelos. Muchas de las características revisadas del cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales no son excluyentes sino complementarias, de modo que van formando una red que, al menos a mí, me ayudan a comprender este complejo proceso. Es posible que ésta sea una solución ecléctica, pero no encuentro una única teoría que explique la complejidad del cambio. Además no creo que esto sea preocupante, ya que, como señala Shulman (1986), en educación no tienen por qué existir paradigmas dominantes y excluyentes, en el sentido kuhniano, y la coexistencia de escuelas divergentes de pensamiento, lejos de ser una debilidad de desarrollo, puede ser más bien un estado natural y una muestra de madurez, que nos permite comprender mejor los múltiples matices de la complejidad de la enseñanza (Tobin, 1998).

NOTAS

* Texto actualizado de la ponencia presentada al VI Congreso Internacional sobre la Investigación en la Didáctica de las Ciencias. Retos de la Enseñanza de las Ciencias en el siglo XXI, celebrado en Barcelona del 12 al 15 de septiembre de 2001.

* Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Proyecto de Investigación BSO2003-03603 del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELL, S.K. y BRYAN, L.A. (1998). Investigating preservice elementary science teacher reflective thinking using integrated media case-based instruction in elementary science teacher preparation. *Science Education*, 82(4), pp. 491-509.
- ABELL, S.K. y PIZZINI, E.L. (1992). The effect of a problem solving in-service program on the classroom behaviors and attitudes of middle school science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(7), pp. 649-667.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2001). Relaciones entre la didáctica de las ciencias experimentales y la filosofía de la ciencia, en Perales, F. J. et al. (eds.). Congreso Nacional de Didácticas Específicas. Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI (vol. I), pp. 478-491. Granada: Grupo Editorial Universitario.
- ANDERSON, R.D. y HELMS, J. V. (2001). The ideal of standards and the reality of schools: Needed research. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(1), pp. 3-16.
- APPLETON, K. (1995). Student teachers' confidence to teach science: is more science knowledge necessary to improve self-confidence? *International Journal of Science Education*, 19(3), pp. 357-369.
- APPLETON, K. y ASOKO, H. (1996). A case study of a teacher's progress toward using a constructivist view of learning to inform teaching in elementary science. *Science Education*, 80(2), pp. 165-180.
- ARAGÓN, M.M., BONAT, M., OLIVA, J.M. y MA-TEO, J. (1999). Las analogías como recurso didáctico en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 22, pp. 109-115.
- ARORA, A.G., KEAN, E. y ANTHONY, J.L. (2000). An interpretative study of a teacher's evolving practice of elementary school science. *Journal of Science Teacher Education*, 11(1), pp. 1-25.
- ASH, D. y LEVITT, K. (2003). Working within the Zone of Proximal Development: Formative assessment as professional development. *Journal of Science Teacher Education*, 14(1), pp. 23-48.
- BAILEY, B.L., SCANTLEBURY, K.C. y JOHNSON, E.M. (1999). Encouraging the beginning of equitable science teaching practice: Collaboration is the key. *Journal of Science Teacher Education*, 10(3), pp. 159-173.
- BAIRD, J.R., FENSHAM, P.J., GUNSTONE, R.F. y WHITE, R.T. (1991). The importance of reflection in improving science teaching and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(2), pp. 163-182.
- BALLENILLA, F. (1992). El cambio de modelo didáctico, un proceso complejo. *Investigación en la Escuela*, 18, pp. 43-68.
- BATISTA, J. y PORLÁN, R. (1999). La epistemología evolucionista de Stephen Toulmin y la enseñanza de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 39, pp. 17-26.
- BELL, B. (1998). Teacher development in science education, en Fraser B.J. y Tobin K. (eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 681-694. Dordrecht: Kluwer A.P.
- BELL, B. y GILBERT, J. (1994). Teacher development as professional, personal and social development. *Teaching and Teacher Education*, 10(5), pp. 483-497.
- BENCZE, L. y HODSON, D. (1999). Changing practice by changing practice: Toward more authentic science and science curriculum development. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(5), pp. 521-539.
- BLANCO, R. y NIATZ, M. (1998). Baroque tower on a Ghotic base: A Lakatosian reconstruction of students' and teachers' understanding of structure of the atom. *Science and Education*, 7(4), pp. 327-360.
- BOUJAOUDE, S. (2000). Conceptions of science teaching revealed by metaphors and answers to open-ended questions. *Journal of Science Teacher Education*, 11(2), pp. 173-186.
- BRYAN, L.A. y ABELL, S.K. (1999). Development of professional knowledge in learning to teach elementary science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(2), pp. 121-139.
- BURBULES, N.C. y LINN, M.C. (1991). Science education and philosophy of science: congruence or contradiction? *International Journal of Science Education*, 13(3), pp. 227-241.
- BUSQUET, J. (1974). ¿Pueden fabricarse profesores?, en Busquet, J. (ed.). *La problemática de las reformas educativas*. Madrid: INCIE.
- CACHAPUZ, A. (1995). Da investigação sobre e para professores à investigação com e pelos professores de Ciências, en Blanco L.J. y Mellado V. (eds.). *La formación del profesorado de ciencias y matemáticas en España y Portugal*. Badajoz, Diputación Provincial, pp. 243-254.
- CAÑAL, P. (2000). El conocimiento profesional sobre las ciencias y la alfabetización científica en primaria. *Alambique*, 24, pp. 46-56.
- CARR, W. (1990). Cambio educativo y desarrollo profesional. *Investigación en la Escuela*, 11, pp. 3-11.
- CASTILLA DEL PINO, C. (2001). Patología de la identidad y función docente. Congreso sobre conflictos escolares en los centros docentes. Mérida, 12-19 de mayo.
- CLIMENT, N. (2002). «El desarrollo profesional del maestro de primaria respecto de la enseñanza de la matemática. Un estudio de caso». Tesis doctoral inédita. Universidad de Huelva.
- COPELLO, M.I. y SANMARTÍ, N. (2001). Fundamentos de un modelo de formación permanente del profesorado de ciencias centrado en la reflexión dialógica sobre las concepciones y las prácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), pp. 269-283.
- DAVIS, K.S. (2003). «Change is hard»: What science teachers are telling us about reform and teacher learning and innovative practices. *Science Education*, 87(1), pp. 3-10.
- DAY, C. (1999). *Developing teachers, the challenges of lifelong learning*. Londres: Falmer Press.
- DELVAL, J. (2002). Entrevista a Juan Delval, realizada por P. Cañal. *Investigación en la Escuela*, 43, pp. 71-80.
- ELLIOT, J. (1993). *El cambio educativo desde la investigación-acción*. Madrid: Morata.

- ESTANY, A. (1990). *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Crítica.
- FREITAS, I. (2000). «El papel de la resolución de problemas en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias: concepciones y prácticas de profesores con y sin experiencia en la docencia». Tesis doctoral. Universidad de Huelva.
- FULLAN, M. (1991). *The new meaning of educational change*. Chicago: Teacher College Press.
- FURIÓ, C. y CARNICER, J. (2002). El desarrollo profesional del profesor de ciencias mediante tutorías de grupos cooperativos. Estudio de ocho casos. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(1), pp. 47-73.
- GARRET, R.M., SATTERLY, D., GIL, D. y MARTÍNEZ, J. (1990). Turning exercises into problems: An experiments study with teachers in training. *International Journal of Science Education*, 12(1), pp. 1-12.
- GESS-NEWSOME, J. (1999). Secondary teachers' knowledge and beliefs about subject matter and their impact on instruction, en Gess-Newsome J. y Lederman N. (eds.). *Examining Pedagogical Content Knowledge*, pp. 51-94. Dordrecht: Kluwer, A.P.
- GESS-NEWSOME, J. y LEDERMAN, N.G. (1995). Biology teachers' perceptions of subject matter structure and its relationship to classroom practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(3), pp. 301-325.
- GESS-NEWSOME, J. y LEDERMAN, N.G. (1999). *Examining Pedagogical Content Knowledge*. Dordrecht: Kluwer A.P.
- GIL, D. (1991) ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), pp. 69-77.
- GIL, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), pp. 197-212.
- GIL, D., BELÉNDEZ, A., MARTÍN, A. y MARTÍNEZ, J. (1991). La formación del profesorado universitario de materias científicas: contra algunas ideas y comportamientos de «sentido común». *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 12, pp. 43-48.
- GIL, D., FURIÓ, C. y GAVIDIA, V. (1998). El profesorado y la reforma educativa en España. *Investigación en la Escuela*, 36, pp. 49-64.
- GILBERT, J.K. (1999). On the explanation of change in science and cognition. *Science and Education*, 8(5), pp. 543-557.
- GUNSTONE, R.F. y NORTHFIELD, J.R. (1994). Metacognition and learning to teach. *International Journal of Science Education*, 16(5), pp. 523-537.
- GUNSTONE, R.F., SLATTERY, M., BAIRD, J.R. y NORTHFIELD, J.R. (1993). A case study exploration of development in preservice science teachers. *Science Education*, 77(1), pp. 47-73.
- HARDY, T. y KIRWOOD, V. (1994). Towards creating effective learning environments for science teachers: The role of a science educators in the tertiary setting. *International Journal of Science Education*, 16(2), pp. 231-251.
- HARLEN, W. y HOLROYD, C. (1997). Primary teachers' understanding of concepts of science: impact on confidence and teaching. *International Journal of Science Education*, 19(1), pp. 93-105.
- HARGREAVES, A. (1996). *Profesorado, cultura y modernidad*. Madrid: Morata.
- HEWSON, P.W. (1993). Constructivism and reflective practice in science teacher education, en Montero L. y Vez J.M. (eds.). *Las didácticas específicas en la formación del profesorado*, pp. 259-275. Santiago: Tórculo.
- HEWSON, P.W. y HEWSON, M.G. (1989). Analysis and use of a task for identifying conceptions of teaching science. *Journal of Educational for Teaching*, 15(3), pp. 191-209.
- HEWSON, P.W., TABACHNICK, B.R., ZEICHNER, K.M. y LEMBERGER, J. (1999). Educating prospective teachers of biology: Findings, limitations, and recommendations. *Science Education*, 83(3), pp. 373-384.
- JIMÉNEZ, E. y SEGURA, P. (2002). Ideas de los profesores de física sobre la enseñanza y la solución de problemas en el bachillerato, pp. 164-172. *XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. La Laguna.
- JONES, M.G., RUA, M.J. y CARTER, G. (1998). Science teachers' conceptual growth within Vygotsky's Zone of Proximal Development. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), pp. 967-985.
- KING, K., SHUMOW, L. y LIETZ, S. (2001). Science education in an urban elementary school: Case studies of teacher beliefs and classroom practices. *Science Education*, 85(2), pp. 89-110.
- KUHN, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- LAKATOS, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza Editorial.
- LAUDAN, L. (1986). *El progreso y sus problemas. Hacia una teoría del progreso científico*. Madrid: Ediciones Encuentro.
- LEDERMAN, N.G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), pp. 331-359.
- LUCIO, R. (2001). «La actividad metacognitiva como desencadenante de procesos autorreguladores en las concepciones y prácticas de enseñanza de los profesores de ciencias experimentales». Tesis doctoral inédita. Universitat Autònoma de Barcelona.
- LYONS, L.L., FREITAG, P.K. y HEWSON, P.W. (1997). Dichotomy in thinking, dilemma in actions: researcher and teacher perspectives on a chemistry teaching practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(3), pp. 239-254.
- MARCELO, C. (1994). *Formación del profesorado para el cambio educativo*. Barcelona: PPU.
- MARÍN, N. (2003). Conocimientos que interaccionan en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), pp. 65-78.
- MARTÍNEZ, M.A., SAULEDA, N. y HUBER, G.H. (2001). Metaphors as blueprints of thinking about teaching and learning. *Teaching and Teacher Education*, 17(8), pp. 965-977.

- MARX, R.W., FREEMAN, J., KRAJCIK, J. y BLUMENFED, P. (1998). Professional development of science education, en Fraser B.J. y Tobin K. (eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 667-680. Dordrecht: Kluwer A.P.
- MATTHEWS, M.R. (1992). History, philosophy and science teaching: A present rapprochement. *Science and Education*, 1(1), pp. 11-47.
- MAYOR ZARAGOZA, F. y BINDÉ, J. (1999). Siglo XXI: ¿un mundo mejor o un mundo feliz? *El País*, 22 de octubre, p. 15.
- McROBBIE, C. y TOBIN, K. (1995). Restraints to reform: The congruence of teacher and students actions in a chemistry classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(4), pp. 373-385.
- MELLADO, V. (1996). Concepciones y prácticas de aula de profesores de ciencias, en formación inicial, de primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), pp. 398-302.
- MELLADO, V. (2000). Las prácticas de enseñanza en la Facultad de Educación de Badajoz en el período 1970-2000. Problemas y perspectivas. *Campo Abierto*, 18, pp. 47-67.
- MELLADO, V. (2001). ¿Por que a los profesores de ciencias nos cuesta tanto cambiar nuestras concepciones y modelos didácticos? *Alambique*, 40, pp. 17-30.
- MELLADO, V. y CARRACEDO, D. (1993). Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), pp. 331-339.
- MEYER, H., TABACHNICK, B.R., HEWSON, P.W., LEMBERGER, J. y PARK, H. (1999). Relationship between prospective elementary teachers' classroom practice and their conceptions of biology and of teaching science. *Science Education*, 83(3), pp. 323-346.
- MUNBY, H. y RUSSELL, T. (1998). Epistemology and context in research on learning to teach science, en Fraser B.J. y Tobin K. (eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 643-665. Dordrecht: Kluwer A.P.
- NUSSBAUM, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11, pp. 530-540.
- PERALES, F.J. (1998). La formación del profesorado universitario en didáctica de las ciencias experimentales. Desde el inmovilismo a la búsqueda de alternativas. *Revista de Educación de la Universidad de Granada*, 11, pp. 345-354.
- POPPER, K.R. (1983). *Conjeturas y refutaciones. El desarrollo del pensamiento científico*. Buenos Aires: Paidós.
- PORLÁN, R. (1989). «Teoría del conocimiento, teoría de la enseñanza y desarrollo profesional. Las concepciones epistemológicas de los profesores». Tesis doctoral inédita. Universidad de Sevilla.
- PORLÁN, R. y RIVERO, A. (1998). *El conocimiento de los profesores*. Sevilla: Díada.
- PORLÁN, R., RIVERO, A. y MARTÍN, R. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores, I: teoría, métodos e instrumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), pp. 155-171.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. y GERTZOG, A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), pp. 211-277.
- PRIGOGINE, I. (2001). Conferencia en la Escuela de Verano de la Universidad de Extremadura. Badajoz, 28 de junio.
- PRO, A. (1999). ¿Qué investigamos? ¿Cómo lo hacemos? ¿A qué conclusiones llegamos?: tres preguntas que hacen pensar, en Martínez, C. y García, S. (eds.). *La didáctica de las ciencias. Tendencias actuales*, pp. 19-43. Coruña: S. P. Universidad de Coruña.
- RODRÍGUEZ DE LECEA, T. (1990). *Francisco Giner de los Ríos. Escritos sobre la universidad española*. Madrid: Espasa Calpe Austral.
- ROTH, W.M., (1998). Science teaching as knowledgability: a case study of knowing and learning during coteaching. *Science Education*, 82(3), pp. 357-377.
- ROTH, W.M., TOBIN, K., ZIMMERMANN, A., BRYANT, N. y DAVIS, C. (2001). Lessons on and from the dihybrid cross: An activity-theoretical study of learning in coteaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(3), pp. 253-282.
- SÁNCHEZ, G. y VALCÁRCEL, M.V. (2000). ¿Qué tienen en cuenta los profesores cuando seleccionan el contenido de enseñanza? Cambios y dificultades tras un programa de formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), pp. 423-437.
- SANCHO, J.M. (2000). Los docentes ante los cambios sociales y en la educación. Red europea-cono sur: educación, formación y calidad. *Revista de Educación*, 322, pp. 355-370.
- SANMARTÍ, N. (2001). Enseñar a enseñar ciencias en secundaria: un reto muy completo. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 40, pp. 31-48.
- SHULMAN, L.S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), pp. 4-14.
- STODDART, T., CONNELL, M., STOFFLETT, R. y PECK, D. (1993). Reconstructing elementary teacher candidates' understanding of mathematic and science content. *Teaching and Teacher Education*, 9(3), pp. 229-241.
- STODOLSKY, S.S. (1991). *La importancia del contenido en la enseñanza. Actividades en las clases de matemáticas y ciencias sociales*. Madrid: MEC-Paidós.
- STOFFLETT, R.T. (1994). The accommodation of science pedagogical knowledge: the application of conceptual change constructs to teacher education. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(8), pp. 787-810.
- TAL, R.T., DORI, Y.J., KEINY, S. y ZOLLER, U. (2001). Assessing conceptual change of teacher involved in STES education and curriculum development. The STES project approach. *International Journal of Science Education*, 23(3), pp. 247-262.
- TOBIN, K. (1993). Referents for making sense of science teaching. *International Journal of Science Education*, 15(3), pp. 241-254.
- TOBIN, K. (1998). Issues and trends in the teaching of science, en Fraser, B.J. y Tobin, K. (eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 129-151. Dordrecht: Kluwer A.P.

- TOBIN, K. y McROBBIE, C. (1999). Pedagogical Content Knowledge and co-participation in Science Classrooms, en Gess-Newsome, J. y Lederman, N. (eds.). *Examining Pedagogical Content Knowledge*, pp. 215-234. Dordrecht: Kluwer A.P.
- TOBIN, K., ROTH, W.M. y ZIMMERMANN, A. (2001). Learning to teach science in urban schools. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(8), pp. 941-964.
- TOBIN, K. y TIPPINS, D.J. (1996). Metaphors as seeds for conceptual change and the improvement of science education. *Science Education*, 80(6), pp. 711-730.
- TOBIN, K., TIPPINS, D.J. y GALLARD, A.J. (1994). Research on instructional strategies for teaching science, en Gabel, D. (ed.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, pp. 3-44. Nueva York: Macmillan.
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana, I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Universidad.
- VÁZQUEZ, A., ACEVEDO, J.A., MANASSERO, M.A. y ACEVEDO, P. (2001). Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia. *Argumentos de Razón Técnica*, 4, pp. 135-176.
- VALCÁRCEL, M.V. y SÁNCHEZ, G. (2000). La formación del profesorado en ejercicio, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 557-581. Alcoy: Marfil.
- VYGOTSKY, L. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Grijalbo.
- WAMBA, A.M. (2001). «Modelos didácticos personales y obstáculos para el desarrollo profesional: estudios de caso con profesores de ciencias experimentales en educación secundaria». Tesis doctoral inédita. Universidad de Huelva.
- WILDY, H. y WALLACE, J. (1995). Understanding teaching or teaching for understanding: Alternative frame works for science classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(2), pp. 143-156.
- ZEMBYLAS, M. (2002). Constructing genealogies of teachers' emotions in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), pp. 79-103.