

INFORMES Y DOCUMENTOS

CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO EN CIENCIAS EXPERIMENTALES Y MATEMÁTICAS Y FORMACIÓN DE PROFESORES

LORENZO J. BLANCO NIETO (*)
VICENTE MELLADO JIMÉNEZ (*)
CONSTANTINO RUIZ MACÍAS (*)

INTRODUCCIÓN

Los trabajos encuadrados en el paradigma del pensamiento del profesor consideran que éste es un sujeto racional y reflexivo que toma decisiones, emite juicios, tiene creencias y genera rutinas propias de su desarrollo profesional. Desde esta perspectiva el profesor no es un técnico que aplica en su actividad diaria recetas aprendidas en contextos similares, sino que sus pensamientos guían y orientan su conducta docente (Marcelo, 1987; Pérez Gómez, 1987).

Los profesores en ejercicio van elaborando, como consecuencia de su práctica docente, un cuerpo de conocimientos profesionales sobre la enseñanza que les sirve de base en las diferentes situaciones que se encuentran en sus aulas. En definitiva, son los sujetos que unen la teoría con la acción práctica (Villar, 1986).

Este conocimiento, que los profesores van adquiriendo como consecuencia de su experiencia docente, les permite tomar decisiones durante el desarrollo de su enseñanza sobre qué desarrollar en clase, cuánto tiempo emplear en un determinado tema, qué tópicos deberán ser enseñados, a quiénes se enseñarán, y qué nivel de aprendizaje se exigirá, etc. Esta perspectiva implica una visión más amplia que la convencional de sujetos que transmiten conocimiento de contenido a los alumnos.

Se han utilizado diferentes expresiones para referirse al conocimiento de los profesores (Marcelo, 1993). A este respecto, señalamos algunas expresiones como «conocimiento práctico personal» (Clandinin y Connelly, 1988), «conocimiento práctico» (Elbaz, 1983), «conocimiento profesional y reflexión en

(*) Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas. Universidad de Extremadura.

la acción» (Schon, 1983), «conocimiento didáctico del contenido» (Shulman, 1986a), etc.

En cualquiera de los casos, podemos señalar que el conocimiento práctico, profesional o pedagógico está relacionado con la acción misma, y tendría fundamentalmente cuatro características (Mingorance, 1989): *experiencial*, ya que el profesor se encuentra con los problemas cotidianos del aula, y día a día va perfilando las estrategias necesarias para su solución; *personal*, puesto que el bagaje de creencias, valores, actitudes y sentimientos es diferente para cada persona; *grupal*, dado que la permanencia con un grupo de compañeros, que viven y participan de una tarea común, les sirve para contrastar las propias ideas, y *contextual*, ya que la experiencia tiene lugar en un contexto social determinado.

Algunos autores (Clift y otros, 1987) señalan que los estudios sobre los profesores no han considerado suficientemente el conocimiento de los mismos sobre los procesos de aprendizaje. Yinger (1986) critica que las investigaciones sobre el pensamiento del profesor son generales y prestan poca atención a las tareas y actividades específicas.

Sin embargo, la mayoría de las críticas al paradigma del pensamiento del profesor y a los programas de formación del profesorado consiguientes (Zeichner, 1987), resaltan la poca atención que, en general, han dispensado al contenido de las disciplinas concretas (Shulman, 1986a). Este olvido de la materia es reiteradamente señalado por Shulman, y se refiere a él como el paradigma olvidado en la investigación sobre la enseñanza y específicamente en los estudios sobre el pensamiento de los profesores. Critica la descontextualización de los modelos educativos e introduce el concepto de conocimiento didáctico del contenido, en el que el contenido específico de la disciplina es considerado un aspecto esencial de la enseñanza.

Para Marcelo (1993), en los últimos años se detecta un cambio de los trabajos encuadrados inicialmente en el paradigma del pensamiento del profesor hacia investigaciones más comprometidas con los contenidos que enseñan los profesores.

1. COMPONENTES DE LOS CONOCIMIENTOS PROFESIONALES DE LOS PROFESORES

La necesidad de identificar las diferentes componentes del conocimiento profesional de los profesores ha estado presente en numerosas investigaciones.

Elbaz (1983), refiriéndose al conocimiento práctico de un profesor de inglés, formulaba cinco categorías: conocimiento de sí mismo, conocimiento del medio de enseñanza, conocimiento de la materia específica, conocimiento del currículo y conocimiento del proceso educativo.

Los profesores expertos, para Bromme (1988), no disponen de más conocimientos que los principiantes, sino más bien de otro tipo de conocimiento, y sostiene que los conocimientos profesionales de los profesores constan de elementos teóricos y reglas empíricas y prácticas.

Tamir (1991) también considera que los profesores tienen un conocimiento práctico, que guía su conducta, y un conocimiento teórico, que constituye parte de su estructura cognitiva, y que puede no afectar a su práctica. La transición del conocimiento teórico al práctico depende, a menudo, de las experiencias personales de cada profesor.

Marks (1990) estudia los conocimientos de profesores de primaria sobre la enseñanza de las matemáticas e identifica las categorías: conocimiento de la materia, conocimiento pedagógico general, conocimiento didáctico del contenido y enseñanza. Ernest (1989), también sobre las matemáticas, propone un modelo analítico de los diferentes tipos de conocimiento, creencias y actitudes de los profesores de esta materia, que condicionarían toda su actividad profesional.

La importancia de las creencias y actitudes sobre la conducta de los profesores de ciencias ya había sido puesta de manifiesto anteriormente por Koballa y Crawley (1985). Entienden por creencia la información que una persona acepta como verdadera, y por actitudes el sentimiento general hacia algo, ya sea positivo o negativo. Las creencias influyen en las actitudes y ambas influyen sobre la conducta del profesor.

También se ha abordado los conocimientos profesionales que deben tener específicamente los profesores de ciencias (Hewson y Hewson, 1988; Smith y Neale, 1991): concepciones adecuadas sobre las ciencias, sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias; conocimiento didáctico del contenido en ciencias, y conocimiento didáctico de la dirección y control de las clases de ciencias.

Shulman y colaboradores consideran que, además del conocimiento de la materia y del conocimiento psicopedagógico general, los profesores desarrollan un conocimiento específico sobre la forma de enseñar su materia, que denominan el conocimiento didáctico del contenido (*Pedagogical Content Knowledge*). Los profesores son los mediadores que transforman la materia en representaciones comprensibles para los alumnos. Consideran siete componentes en los conocimientos de los profesores: conocimiento de la materia, conocimiento didáctico del contenido, conocimiento de otros contenidos, conocimiento del currículo, conocimiento de los alumnos, conocimiento de los fines educativos, y conocimiento pedagógico general (Wilson, Shulman y Richert, 1987).

Grossman (1990) y Marcelo (1993) consideran que el conocimiento de los profesores tiene cuatro categorías básicas: el conocimiento del contenido, que incluye el sustantivo y el sintáctico; el conocimiento pedagógico general, relativo a los aspectos referentes a los alumnos y al aprendizaje, a la gestión de la clase, al currículo y a la enseñanza; el conocimiento didáctico del contenido relacionado con las concepciones de los profesores, el conocimiento de cómo aprenden los

alumnos, el conocimiento curricular y los conocimientos de las estrategias de enseñanza del contenido; por último, el conocimiento del contexto que incluye los aspectos concretos de los alumnos, la escuela, la comunidad en la que se inserta.

2. EL CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO

Shulman señala que los profesores desarrollan un nuevo tipo de conocimiento de la materia que es alimentado y enriquecido por otros conocimientos, tales como el conocimiento de los alumnos, del currículo, del contexto y de la pedagogía. A esta forma de conocimiento la denomina conocimiento didáctico del contenido:

«Dentro de la categoría del conocimiento didáctico del contenido incluyo los tópicos que se enseñan de forma más regular en un área, las formas más útiles de representación de estas ideas, las más poderosas analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones; en una palabra, las formas de representar y formular la materia para hacerla comprensible a otros... También incluyo la comprensión de lo que hace fácil o difícil el aprendizaje de tópicos específicos: las concepciones y preconcepciones que tienen los estudiantes de diferentes edades y antecedentes» (Shulman, 1986b, p. 9).

Para Reynolds (1991) el conocimiento didáctico del contenido sería la intersección del conocimiento cultural general, de los principios generales de enseñanza y aprendizaje y del conocimiento del contenido de la materia específica. Es decir, el conocimiento didáctico del contenido no es independiente del conocimiento de la materia ni del conocimiento pedagógico general.

Marks (1990) identifica cuatro componentes básicos en el conocimiento didáctico del contenido: los propósitos para la instrucción de la materia, la comprensión por los estudiantes de la materia, los medios para la instrucción de la materia, y los procesos instruccionales de la materia.

Shulman y col. (Shulman, 1993; Wilson y otros, 1987) distinguen tres aspectos en el conocimiento didáctico del contenido:

- a) Es una forma de conocimiento que poseen los profesores y que distingue su conocimiento de la materia del que tienen los expertos. Es el conocimiento elaborado de forma personal en la práctica de la enseñanza.
- b) Es una parte del conocimiento base para la enseñanza adquirido desde la práctica de la enseñanza pero, a diferencia del anterior, trasciende al profesor individual y forma un cuerpo de conocimientos, destrezas y disposiciones que distingue a la enseñanza como una profesión y que puede encontrarse en textos, revistas especializadas, etc.

- c) Es una forma de razonamiento y de acción pedagógica con cinco fases que se suceden de una manera cíclica: conocimiento comprensivo, transformación, instrucción, evaluación, reflexión y nuevo conocimiento comprensivo.

El modelo recoge las propuestas de Schön (1992) sobre la importancia de la reflexión en la acción para la formación de profesores. Marcelo (1998) destaca la importancia de la fase de transformación, señalando además la escasa atención que se le ha dedicado en la investigación educativa.

Esta aportación de Shulman y colaboradores, nos parece de enorme interés para intentar clarificar el estatus del conocimiento didáctico del contenido que, a nuestro juicio, es distinto del conocimiento de la materia, del conocimiento psicopedagógico general y del simple conocimiento académico proposicional de didáctica de las ciencias y de las matemáticas.

3. CONOCIMIENTOS PROFESIONALES DE LOS PROFESORES DE CIENCIAS EXPERIMENTALES O MATEMÁTICAS

En los conocimientos profesionales de los profesores de ciencias experimentales o matemáticas englobaremos todos los aspectos relacionados con la enseñanza y aprendizaje de las ciencias o las matemáticas. Estos conocimientos profesionales tienen dos aspectos diferenciados, aunque estrechamente relacionados entre sí, y que vamos a denominar componente estática y componente dinámica.

a) *Componente estática*

En la componente estática tendremos en cuenta aquellos aspectos de interés independientes de la persona concreta que enseña, y del contexto específico donde se desarrolla la actividad docente. Así podemos referirnos al conocimiento del contenido de las ciencias experimentales o matemáticas, conocimientos específicos sobre su enseñanza y aprendizaje, o conocimientos de psicopedagogía general, entre otros conocimientos.

Esta parte del conocimiento la llamamos *estática* porque es impersonal y puede ser encontrada, y, por tanto, adquirida, en materiales escritos o audiovisuales sin implicación personal directa, y en consecuencia, puede ser desarrollada en los Centros de Formación inicial del profesorado y «transmitida» a los profesores en formación.

En lo sucesivo nos referiremos, fundamentalmente, al conocimiento del contenido y al conocimiento de didáctica de las ciencias experimentales o de las matemáticas, ya que el conocimiento de psicología y de pedagogía general escapa al objetivo de nuestro trabajo.

Los profesores de ciencias y matemáticas tienen que tener un profundo conocimiento de la materia. Este conocimiento debe incluir el conocimiento sustantivo: hechos, conceptos, leyes, teorías, aplicaciones, etc.; el conocimiento procedimental: métodos, procedimientos, etc.; conocimientos sobre historia y filosofía de la ciencia, y relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, que incluya aplicaciones a la vida diaria. En definitiva, los profesores tienen que tener un conocimiento «de» y «sobre» las ciencias y las matemáticas, considerando que este conocimiento no está anclado en el pasado sino que hay que conocerlo desde la perspectiva de su aparición y desarrollo.

En numerosas investigaciones con profesores se ha comprobado que el conocimiento de la materia influye para que los profesores desarrollen una enseñanza más eficaz, y que un bajo conocimiento de la materia supone un inconveniente para que los profesores de ciencias diseñen nuevas estrategias de enseñanza (Abell y Roth, 1992; Glasson y Lalik, 1993; Smith y Neale, 1991). Los profesores con bajos conocimientos de la materia tienen también más dependencia del libro de texto (Hashwet, 1987; Lee y Porter, 1993). Sin embargo, el conocimiento de la materia para un profesor de ciencias es distinto que para un especialista, ya que el conocimiento del contenido de los profesores está relacionado con el contexto y con el propio proceso de enseñanza del contenido (Hauslein y otros, 1992; Lederman, Gess-Newsome y Latz, 1994; Llinares, 1994; Pomeroy, 1993).

Las didácticas de las ciencias experimentales y de las matemáticas se han desarrollado de forma espectacular en los últimos quince años, y ya se consideran disciplinas propias con comunidades científicas que van generando un cuerpo teórico emergente de conocimientos, y que cuentan con unos objetivos y métodos de investigación (Aliberas *et al.*, 1989; Rico y Sierra, 1994). A este respecto, incluimos en la componente estática diferentes aspectos que se relacionan con la enseñanza y aprendizaje de los contenidos, siempre en relación con los alumnos a los que específicamente van dirigidos. Así, contemplamos las teorías del aprendizaje de las ciencias y matemáticas, estrategias de enseñanza de ciencias y matemáticas, resolución de problemas, trabajos prácticos de ciencias y de laboratorio escolar, cambio conceptual y metodológico, ideas intuitivas de los estudiantes de distintas edades sobre cada tópico específico, características de los alumnos (actitudes, motivación, nivel de maduración, etc.), conocimiento del currículo escolar específico, organización del aula (principios, reglas y rutinas, uso del tiempo, etc.), los recursos (textos, medios audiovisuales, materiales didácticos, etc.), la evaluación, etc.

En la componente estática también podemos considerar el conocimiento y análisis de la enseñanza desarrollada anteriormente por profesores expertos y en formación, y reflejada fundamentalmente en documentos escritos o audiovisuales de estudios de casos. Este material puede ser analizado desde una perspectiva general o en apartados específicos para cada tópico concreto.

Hay que destacar, sin embargo, que de forma análoga al conocimiento del contenido, el conocimiento de didáctica de las ciencias y de las matemáticas sue-

le impartirse a los profesores en formación de una forma teórica y proposicional, y como una forma más de conocimiento académico estático.

b) Componente dinámica

A diferencia de otras profesiones, cuando el profesor comienza su formación inicial universitaria tiene una serie de concepciones, actitudes y valores sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y de las matemáticas adquiridos durante su larga escolaridad como alumno. Desde el paso por la enseñanza primaria y secundaria todos hemos recibido una información-formación sobre contenidos específicos de las diferentes materias. En esta etapa, no sólo hemos aprendido conceptos, procesos, formas de representación de tópicos específicos, etc., sino que también hemos asimilado una concepción de la materia que perdurará en nuestra memoria más que los contenidos específicos aprendidos. Estas concepciones influyen en el aprendizaje de los estudiantes para profesores, así como en el desarrollo de su futura práctica docente, tanto en la elección de contenidos como en la forma de enseñarlos.

Desde la perspectiva constructivista (Hewson y Hewson, 1989), se considera que los profesores tienen concepciones sobre la ciencia, y sobre la forma de aprenderla y enseñarla, fruto de sus propios años de escolaridad, que está profundamente arraigada y que no siempre coinciden con las más apropiadas.

El estudio de las propias concepciones, conocimientos y actitudes de los profesores cobra así una especial importancia, como un primer paso para generar en ellos mismos unas concepciones y prácticas más adecuadas. Sin embargo, para los profesores en formación o principiantes, el conocimiento de sus concepciones sobre las ciencias y las matemáticas, o sobre la enseñanza y aprendizaje de las mismas no garantiza de forma automática su transferencia a la práctica del aula, si los profesores no han adquirido esquemas prácticos de acción en el aula (Mellado, 1994).

Surge, por tanto, la necesidad de un «conocimiento de sí mismo» en relación con cada uno de los apartados reseñados para la componente estática. Este conocimiento deberá permitirnos ser conscientes de nuestras teorías explícitas o implícitas, tanto en relación a perspectivas teóricas que pudiéramos mantener, como en su relación con la práctica docente.

Llamamos componente dinámica a la parte del conocimiento profesional que se genera y evoluciona a partir de los propios conocimientos, creencias y actitudes, que requiere una implicación personal, y que evoluciona mediante un proceso dialéctico entre la teoría asimilada y la práctica desarrollada, todo ello en un proceso de reflexión-acción. Su desarrollo se ve favorecido por métodos cualitativos y participativos que permiten una interacción constante entre las concepciones propias, nuevas y viejas, en contextos concretos de enseñanza.

El conocimiento es dinámico en función de que la práctica docente y la reflexión-acción permiten al profesor reconsiderar su conocimiento estático, modificando o reafirmando parte del mismo. Sólo se hace visible a partir de la implicación personal, a través de los métodos cualitativos de reflexión y observación, y necesita de la práctica de la enseñanza de la materia específica en un contexto escolar concreto.

La componente dinámica incluye el conocimiento práctico sobre la enseñanza de la materia y el modelo de razonamiento y acción pedagógica del conocimiento didáctico del contenido de Shulman y colaboradores citado anteriormente.

La componente dinámica es la más específicamente profesional y la que distingue a los profesores expertos de ciencias experimentales o matemáticas de los principiantes. A lo largo de sus años de enseñanza el profesor experto va desarrollando la componente dinámica e integra en una estructura única las diferentes componentes del conocimiento. Coincidimos con Gess-Newsome y Lederman (1993), Hauslein *et al.* (1992) y Lederman *et al.* (1994) cuando consideran que esta estructura única es el conocimiento didáctico del contenido.

4. LA FORMACIÓN INICIAL Y PERMANENTE DEL PROFESORADO DE CIENCIAS EXPERIMENTALES Y MATEMÁTICAS

¿Puede hacerse algo más desde la formación inicial del profesor que tenga que impartir ciencias experimentales o matemáticas, para que vaya desarrollando desde su formación inicial un conocimiento profesional específico? ¿O acaso en la formación de profesores tiene que seguir vigente la metáfora del nadador que hace veinte años señalara Busquet (1974)?

«Imagínese una escuela de natación que se dedicara un año a enseñar anatomía y fisiología de la natación, psicología del nadador, química del agua y formación de los océanos, costes unitarios de las piscinas por usuarios, sociología de la natación, antropología de la natación y, desde luego, la historia mundial de la natación, desde los egipcios hasta nuestros días. 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» (Busquet, 1974, p. 50).

Creemos que es posible hacerlo y que la formación de profesores debe contribuir a generar en los mismos la componente dinámica, a partir del análisis por parte de los profesores de sus conocimientos, creencias y actitudes en relación a la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y de las matemáticas y de su propia práctica de enseñanza de estas materias.

La formación inicial debe procurar que cuando los profesores en formación finalicen el período de ésta cuenten con un mínimo bagaje inicial, teórico y práctico, que les permita acceder a la práctica docente sin excesiva dificultad. Debemos impedir que adquieran su conocimiento práctico principalmente mediante la técnica del «ensayo y error», tan perjudicial para los alumnos de primaria o secundaria que la padecen, como para los profesores noveles que, durante un cierto período, ven frustradas sus expectativas y sus ilusiones. La preocupación que tienen los profesores en formación o principiantes por sobrevivir en el ambiente del aula puede restarles capacidad para reflexionar sobre cuestiones educativas fundamentales (Zeichner, 1987). La falta de los elementos prácticos necesarios para desenvolverse en el aula, así como de los suficientes apoyos, hace que los profesores principiantes olviden muchos de los conocimientos teóricos que han adquirido en los Centros de Formación del Profesorado y que consideren irrelevantes el contenido de los programas de formación recibidos.

Los Centros de Formación de profesores no pueden limitarse a transmitir conocimiento proposicional —la que hemos denominado componente estática—, sino que tienen que introducir más conocimiento procedimental y esquemas estratégicos de acción-componente dinámica, así como utilizar una metodología adecuada para que dicho conocimiento pueda ser efectivamente asimilado por los profesores en formación (Blanco, 1994; Kagan, 1992; Llinares, 1991; Mellado, 1994).

4.1. *¿Qué enseñar-aprender en la formación de profesores?*

Tradicionalmente se han considerado tres aspectos en la formación de los profesores de ciencias experimentales y matemáticas: conocimientos de la materia, conocimientos de psicopedagogía y prácticas de enseñanza como lugar donde se podrían integrar y aplicar las dos formas de conocimiento anteriores. Para el profesor de los niveles elementales había una cierta compensación entre los conocimientos científicos y los conocimientos psicopedagógicos. En cambio, para el profesor de secundaria el conocimiento de la materia dominaba ampliamente sobre los conocimientos psicopedagógicos. Este modelo sumativo (contenidos científicos + contenidos didácticos + prácticas de enseñanza) ha sido criticado desde diferentes perspectivas (Marcelo, 1989; McDermott, 1990; Pro, 1990) porque no facilita que el futuro profesor relacione los diferentes ámbitos de información.

En los últimos años se ha producido una mayor integración entre el contenido y la didáctica con la incorporación de las didácticas específicas como un cuerpo propio de conocimiento, constituyendo con los anteriores un elemento básico del currículum de formación del profesorado.

Las prácticas de enseñanza no conducen necesariamente a formar mejores profesores, y es un mito el pensar que el profesor aprende a enseñar de cual-

quier práctica (Zeichner, 1980). A pesar de que la mayoría de los profesores tanto en formación como con experiencia coincide en señalar que las prácticas es el factor que más ha influido en su formación (Zabalza y Marcelo, 1993), los resultados de la investigación muestran que las creencias e imágenes de los profesores en formación cambian muy poco durante su formación universitaria, e, incluso, después de las prácticas de enseñanza los profesores pueden adoptar creencias más tradicionales (Marcelo, 1994b). Una de las causas es que en los Centros de Formación de profesores, las prácticas de enseñanza han estado a menudo separadas del resto de conocimientos, y enmarcadas, en la mayoría de los casos implícitamente, en paradigmas y modelos de formación tradicionales para los que la clase se concibe como un contexto de aplicación de conocimientos y no como una fuente de conocimientos (Mellado y González, 1992; Villar, 1986).

Otro aspecto que resulta necesario incluir en la formación de profesores de ciencias experimentales y matemáticas es la reflexión sobre las propias creencias del profesor sobre las ciencias o las matemáticas, y sobre la enseñanza y aprendizaje de las mismas. Si los profesores comienzan su formación con creencias y actitudes sobre las ciencias y las matemáticas, así como sobre su enseñanza y aprendizaje, la formación tiene que partir del análisis de estas concepciones y del propio rol del profesor; esto conduce a que en los programas de formación se utilicen metodologías cualitativas de indagación. Es necesario cuestionar en la formación el pensamiento docente espontáneo de los profesores de ciencias y matemáticas (Furió *et al.*, 1992; Gil, 1993). Otros muchos autores consideran imprescindible para el éxito de la enseñanza de las ciencias el previo cambio conceptual de los profesores (Driver, 1988; Hewson y Hewson, 1989; Smith y Neale, 1991; Villani, 1992; Newson, 1993).

Sin embargo, los profesores en formación no transfieren a la práctica del aula de forma automática sus concepciones sobre la naturaleza de la ciencia y sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Gess-Newsome y Lederman, 1993; Mellado, 1994), y en el aula, los profesores de ciencias aplican modelos didácticos prácticos que le resultan cómodos para solventar las situaciones de la clase (Freire y Choraó, 1992; Wallace y Loudén, 1992).

El conocimiento de sus propias concepciones es un aspecto importante del conocimiento profesional de los profesores, pero sigue siendo una fase de diagnóstico estática. Es necesario después del diagnóstico realizar una formación que desarrolle la componente dinámica.

La práctica de la enseñanza cobra una enorme importancia en el proceso de reflexión de los profesores sobre sus propias creencias (Trindade y Oliveira, 1993), ya que para el desarrollo de la componente dinámica, la formación tiene que tener una componente individual y clínica basada en las necesidades individuales de los profesores y adaptada al contexto específico en que se encuentren (Marcelo, 1989).

Las prácticas permiten analizar a través de observaciones de aula la conducta de los profesores en formación y contrastarlas con sus concepciones previas. Por otra parte, permiten describir y analizar críticamente la transformación del contenido realizada por ellos mismos y por sus profesores tutores (Marcelo, 1993). El profesor sólo cambiará su teoría personal cuando la perciba irrelevante para su propia práctica (Buitink y Kemme, 1986) y las nuevas estrategias les resulten útiles para la práctica de la enseñanza.

Sin embargo, para que los profesores de ciencias en formación puedan sacar consecuencias de la reflexión de su conducta en el aula, las prácticas tienen que ser secuenciales para que el profesor en formación pueda de forma reiterada volver al Centro de formación, reflexionar con sus supervisores, tutores y compañeros, y redefinir sus estrategias de enseñanza. Hacker (1988) señalaba que al menos se necesitan tres períodos de prácticas para que el profesor de ciencias en formación aumente sus conductas intelectuales profesionales.

Existen programas de formación de profesores de ciencias que llevan a cabo estrategias constructivistas de cambio conceptual y metodológico en las concepciones y en la práctica de los profesores (Clermont *et al.*, 1993; Gunstone, *et al.*, 1993; Hewson y Hewson, 1989; Smith y Neale, 1991; Thomas y Gilbert, 1989). Un aspecto importante que se ha resaltado en varias investigaciones (Hewson y Hewson, 1988; Kruger *et al.*, 1992; Smith *et al.*, 1993) es el diseño de materiales de enseñanza específicos durante el programa de formación.

Shulman (1993) da una enorme importancia al estudio de casos para que el profesor vaya adquiriendo una cartera pedagógica *«portfolio»*. Los profesores en formación observan, discuten e informan los casos de profesores expertos, profesores noveles y los propios casos de los profesores en formación (Blanco, 1994; Collins, 1993). El contraste entre los profesores en formación y los profesores expertos en la enseñanza de los temas más relevantes de ciencias y matemáticas en contextos concretos es un aspecto esencial para que los profesores de ciencias y matemáticas puedan desarrollar su propia componente dinámica. Una dificultad para llevar esto a cabo es la escasez de estudios de caso de profesores de ciencias expertos en la enseñanza de cada tema en cada nivel (Anderson, 1989).

Finalmente, como la componente dinámica es específica para cada materia, las didácticas de las ciencias experimentales y de las matemáticas no puede limitarse a transmitir un conocimiento proposicional, sino que debe contribuir a fomentar en los profesores el conocimiento didáctico del contenido. Las asignaturas de didáctica de las ciencias y de las matemáticas pueden cumplir un papel clave en la formación del profesorado (Furió *et al.*, 1992): centradas en el cuerpo de conocimiento de la didáctica específica; planteadas como cambio didáctico del pensamiento y comportamiento docentes espontáneo; orientadas para favorecer la vivencia de proyectos innovadores y la reflexión didáctica específica; diseñadas para iniciar a los profesores en la investigación e innovación en la didáctica de las ciencias y de las matemáticas; concebidas, en íntima conexión con las prácti-

cas docentes, como núcleo integrador de los distintos aspectos de la formación docente incluidos en la especialidad.

En el cuadro siguiente se muestran las componentes de los conocimientos profesionales en la formación.

4.2. *¿Cómo enseñar-aprender en la formación de profesores?*

Un aspecto importante consiste en que tiene que haber una coherencia entre la metodología enseñada en los Centros de formación y la utilizada por los formadores de profesores. (Blanco, 1991; Gunstone *et al.*, 1993; Hewson, 1993; Marcelo, 1994a), ya que los profesores aprenden a enseñar más de los métodos que les han aplicado los formadores de profesores que de los métodos que les han predicado (Fernández Pérez, 1994). En nuestra reflexión hacemos una doble referencia metodológica para la formación del profesorado.

a) Metodología para la componente estática

En cualquier contenido es necesario aplicar en la formación del profesorado una metodología activa y variada, en cierto sentido, isomorfa a la que deseamos que sea la desarrollada en el futuro por los profesores en el aula. La información aportada debe serlo dentro de unas pautas metodológicas que traten de superar la contradicción entre la formación recibida por el profesor y el tipo de educación que posteriormente se le pedirá que desarrolle.

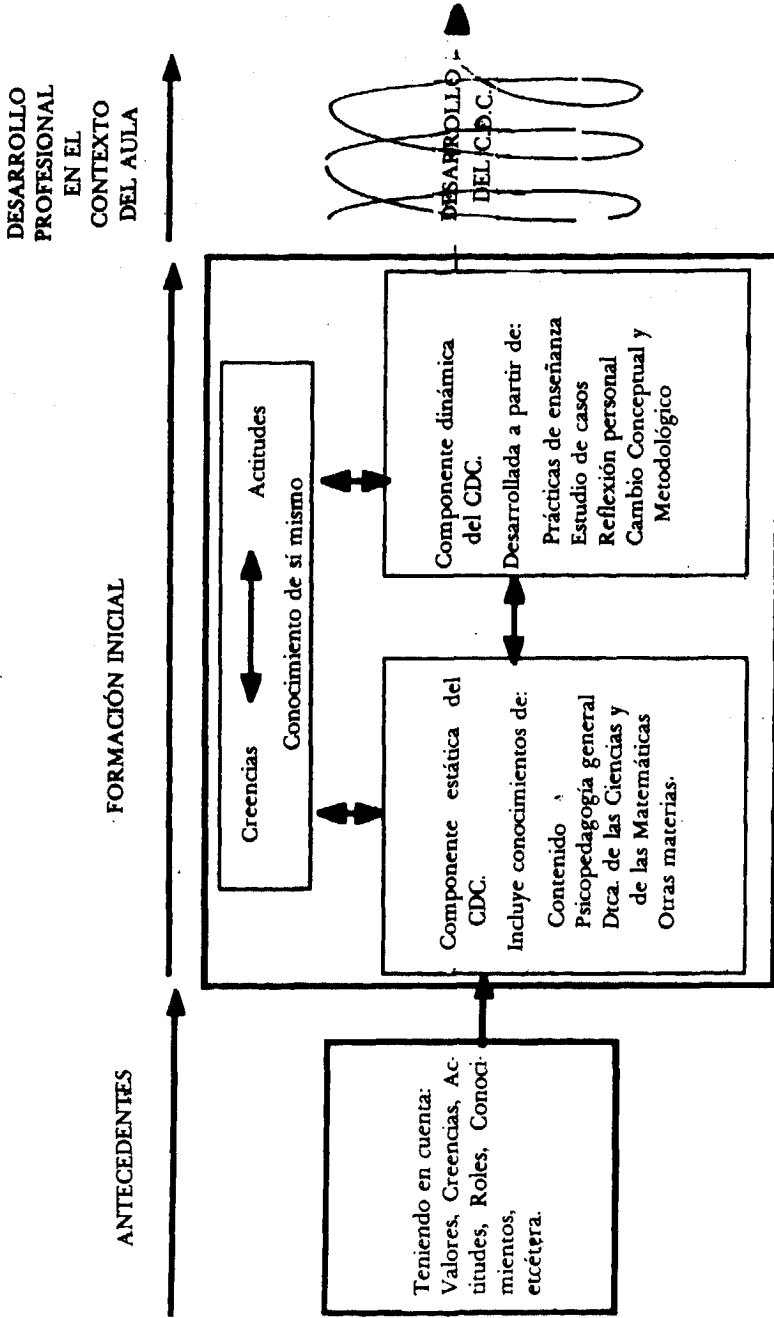
También, se incluirán estudios de casos de profesores expertos donde pueda observarse la enseñanza desarrollada, así como analizar los diversos componentes del conocimiento didáctico del contenido. El análisis de la enseñanza desarrollada por los profesores expertos puede ser una actividad previa a la realización de las prácticas docentes para permitir a los estudiantes para profesores adquirir referencias que les ayuden a aprender de su propia experiencia. Consideramos dos formas de estudio, necesarias y complementarias. De una parte, el análisis global de las observaciones realizadas, que permita obtener una visión global de la enseñanza desarrollada por los expertos. De otra, un análisis pormenorizado de situaciones específicas de enseñanza de tópicos concretos que lleve a los profesores en formación a tener una visión de la transformación de los contenidos específicos en formas asequibles para los alumnos.

b) Metodología para la componente dinámica

Los profesores en formación comienzan con un escaso desarrollo del conocimiento didáctico del contenido, y tienen dificultades para aprender efectivamente de la práctica (Blanco, 1991; Borko *et al.*, 1992; Livingston y Borko, 1989). Durante la formación hay que darles oportunidades para que examinen y

CUADRO 1

Componentes de los conocimientos profesionales en la formación de profesores de ciencias y matemáticas



cuestionen sus concepciones sobre el papel del profesor, así como para que desarrollen su conocimiento didáctico del contenido (Ball y Wilson, 1990).

Los métodos cualitativos son un instrumento adecuado para la formación inicial y permanente de profesores, que les permiten reflexionar y profundizar sobre sus pensamientos y actividad docente. Así, las entrevistas, observaciones de clase, diarios, etc., son algunas de las técnicas más comúnmente utilizadas que han servido, en algún caso, para comprender y aprender de la experiencia ajena y, en otros, para reflexionar sobre la propia: «La construcción del conocimiento didáctico del contenido resulta de múltiples oportunidades para enseñar, para observar y para reflexionar sobre la propia enseñanza y la de otros en áreas específicas de contenido» (Cochran *et al.*, 1991, p. 17).

La práctica de la enseñanza es esencial para que los profesores en formación construyan su propio conocimiento didáctico del contenido. La utilización de la metodología cualitativa durante el período de las prácticas docentes es un instrumento adecuado que ayuda a esos profesores a profundizar en sus pensamientos y acciones docentes, permitiéndoles un cambio en sus creencias, actitudes, y conocimientos sobre las enseñanza-aprendizaje de las matemáticas y de las ciencias experimentales, a través de la reflexión y de estrategias de cambio conceptual y metodológico de sus propias concepciones y acciones.

Diversas técnicas, como cuestionarios, entrevistas y observaciones permiten explorar las ideas, sentimientos y concepciones de los estudiantes para profesores sobre las diferentes materias, su naturaleza, su enseñanza y aprendizaje, sobre los estudiantes y sus estrategias de aprendizaje de contenidos específicos, etc., dibujando para cada uno de ellos un mapa característico de donde partir para favorecer el desarrollo de su conocimiento didáctico del contenido.

Un procedimiento que nos permite observar, analizar y comprender los pensamientos y acciones en la actividad docente es la comparación entre expertos y profesores en formación o principiantes. Los expertos aportan el conocimiento didáctico del contenido desarrollado en su práctica profesional, basado en la reflexión-acción sobre la realidad escolar; en cambio, los noveles sólo se han situado, hasta ese momento de las prácticas docentes, en su experiencia propia de alumnos, única vivida.

Son diversas las actividades que se sugieren para esta comparación que tomamos de diferentes estudios realizados. De este modo, podemos buscar estímulos visuales, por ejemplo, a través de diapositivas tomadas del desarrollo de una clase, para evaluar las percepciones de los estudiantes para profesores en comparación con los expertos (Berliner y Carter, 1986); presentar documentos escritos o grabados de diferentes acontecimientos del desarrollo de una clase (Ball y Wilson, 1990), o establecer la comparación global entre ambos grupos partiendo del análisis de actuaciones en el aula (Blanco, 1991). Este último procedimiento permitió establecer diferencias significativas en relación a los objetivos, estructura de las clases, relación con los alumnos, etc., que sirvieron de punto de parti-

da para el cambio en las concepciones, creencias y actitudes de los alumnos hacia la enseñanza de las matemáticas.

5. CONCLUSIONES

Los estudios sobre el conocimiento didáctico del contenido ponen de manifiesto la cantidad de variables que determinan el conocimiento profesional de los profesores. Esta complejidad podría, por sí sola, justificar las dificultades que los profesores en formación tienen para aprender a enseñar.

En nuestra opinión, la descripción y caracterización realizada sobre el conocimiento didáctico del contenido debe implicar un cambio en nuestra actividad profesional como formadores de profesores de ciencias y de matemáticas, que no sólo afecta a la modificación de los contenidos o de la metodología. Creemos que estamos hablando de un tipo de conocimiento de diferente naturaleza. Un conocimiento que no se construye sólo a partir de una información que se proporciona a los profesores en formación, sino que tiene una componente personal y de reflexión individual sobre sí mismo y sobre la propia experiencia docente. Consecuentemente, el currículo de los Centros de Formación de profesores tienen que fomentar el desarrollo de este conocimiento.

Finalmente, creemos que uno de los retos inmediatos para la investigación educativa en ciencias experimentales y matemáticas es la elaboración de nuevos materiales curriculares que faciliten a los profesores el desarrollo de las dos componentes del conocimiento didáctico del contenido, teniendo en cuenta el resultado de las investigaciones que sobre este tema se están realizando, y que ahí han sido expuestas.

BIBLIOGRAFÍA

- ABELL, S. K. y ROTH, M. (1992): «Constraints to teaching elementary science: a case study of science enthusiast student», *Science Education*, 76 (6), pp. 581-595.
- ALIBERAS, J.; GUTIÉRREZ, R. e IZQUIERDO, M. (1989a): «La didáctica de las ciencias: Una empresa racional», *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), pp. 277-284.
- ANDERSON, C. W. (1989): «Policy implications of research on science teaching and teacher' knowledge», en *Competing Vision of Teacher Knowledge*, East Lansing National center for Research on Teacher Education, pp. 1-28.
- BALL, D. L. y WILSON, S. (1990): *Knowing the subject and learning to teach it: Examining assumptions about becoming a mathematics teacher*. Research report. NCRTE.
- BLANCO, L. (1991): *Conocimiento y acción en la enseñanza de las matemáticas, de profesores de EGB, y estudiantes para profesores*. Cáceres, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Extremadura.

- (1994): «Initial training and teaching practice», *Methodological issues in learning to teach. First Italian-Spanish research symposium on mathematics*. Universitá di Modena (Italia), Dpto. di Matemática.
- BERLINER, D. y CARTER, K. (1986): *Differences in processing classroom information by expert and novice teachers*. Leuven. ISATT.
- BORKO, H. y otros (1992): «Learning to teach hard mathematics: do novice teachers and their instructors give up too easily?», *Journal for Research in Mathematics Education*, vol. 23, 3, pp. 194-222.
- BROMME, R. (1988): «Conocimientos profesionales de los profesores», *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), pp. 19-29.
- BUITINK, J. y KEMME, S. (1986): «Changes in student-teacher thinking», *European Journal of Teacher Education*, 9 (1), pp. 75-84.
- BUSQUET, J. (1974): «¿Pueden fabricarse profesores?», en BUSQUET: *La problemática de las reformas educativas*. Madrid, INCIE.
- CLANDININ, J. y CONNELLY, F. M. (1988): «Conocimiento práctico personal de los profesores: imagen y unidad narrativa», en VILLAR: *Conocimiento, creencias y teorías de los profesores*. Alcoy, Marfil, pp. 39-61.
- CLERMONT, CH. P.; KRAJCIK, J. S. y BORKO, H. (1993): «The influence of an intensive in-service workshop on pedagogical content knowledge growth among novice chemical demonstrators», *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (1), pp. 21-43.
- CLIF, R. T.; GHATALA, E. S. y NAUS, M. M. (1987): *Exploring Teachers' Knowledge of Strategic Study Activity*. Chicago, Paper AERA.
- COCHRAN y otros (1991): *Pedagogical content knowledge: a tentative model for teacher preparation*. Chicago, AERA.
- COLLINS, A. (1993): «Performance-based assessment of biology teachers: Promises and pitfalls», *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (9), pp. 1103-1120.
- COONEY, T. (1985): «A beginning teacher's view of problem solving», *Journal for Research in Mathematics Education*, 16 (5), pp. 324-336.
- DRIVER, R. (1988): «Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo de ciencias», *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), pp. 109-120.
- ELBAZ, F. (1983): *Teacher thinking: A study of practical knowledge*. London, Croom-Helm.
- ERNEST, P. (1989): «The knowledge, belief and attitudes of the mathematic teacher. A model», *Journal of Educational for Teaching*, 15 (1), pp. 13-33.
- FERNÁNDEZ PÉREZ, M. (1994): *Las tareas de la profesión de enseñar*. Madrid, Siglo XXI.
- FREIRE, A. M. y CHORAO, M. F. (1992): «Elements for a typology of teachers' conceptions of physics teaching», *Teaching and Teacher Education*, 8 (5/6), pp. 497-507.

- FURIO, C.; GIL, D.; PESSOA DE CARVALHO, A. M. y SALCEDO, L. E. (1992): «La formación inicial del profesorado de educación secundaria: papel de las didácticas especiales», *Investigación en la Escuela*, 16, pp. 7-21.
- GESS-NEWSOME, J. y LEDERMAN, N. G. (1993): «Preservice biology teachers' knowledge structures as a function of professional teacher education: A year-long assessment», *Science Education*, 77 (1), pp. 25-45.
- 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.
- GLASSON, G. E. y LALIK, R. V. (1993): «Reinterpreting the learning cycle from a social constructivist perspective: A qualitative study of teachers beliefs and practices», *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (2), pp. 187-207.
- GROSSMAN, P. (1990): *The making of a teacher: Teacher Knowledge & Teacher Education*. New York, Teacher College Press.
- GUNSTONE, R. F.; SLATTERY, M.; BAIR, J. R. y NORTHFIELD, J. R. (1993): «A case study exploration of development in preservice science teacher», *Science Education*, 77 (1), pp. 47-73.
- HACKER, R. G. (1988): «A model for the professional development of student teachers of science», *International Journal of Science Education*, 10 (2), pp. 203-210.
- HASWETH (1987): «Effects of subject-matter knowledge in the teaching of biology and physics», *Teaching and Teacher Education*, 3 (2), pp. 109-120.
- HAUSLEIN, P. L.; GOOD, R. G. y CUMMINS, C. L. (1992): «Biology content cognitive structure: From science student to science teacher», *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (9), pp. 939-964.
- HEWSON, P. (1993): «Constructivism and reflective practice in science teacher education», en MONTERO y VEZ, *Las didácticas específicas en la formación del profesorado*. Santiago, Tórculo, pp. 259-275.
- HEWSON, P. y HEWSON, M. (1988): «An appropriate conception of teaching science: a view from studies of science learning», *Science Education*, 72 (5), pp. 596-614.
- (1989): «Analysis and use of a task for identifying conceptions of teaching science», *Journal of Education for Teaching*, 15 (3), pp. 191-209.
- KAGAN, D. (1992): «Professional growth among preservice and beginning teachers», *Review of Educational Research*, 62 (2), pp. 129-170.
- KOBALLA, T. R. y CRAWLEY, F. E. (1985): «The influence of attitude on science teaching and learning», *School Science and Mathematics*, 85, pp. 222-232.
- KRUGER, C.; PALACIO, D. y SUMMERS, M. (1992): «Surveys of English Primary Teachers' conceptions of force, energy, and materials», *Science Education*, 76 (4), pp. 339-351.

- LEE, O. y PORTER, A. C. (1993): «A teacher's bounded rationality in middle school science», *Teaching and Teacher Education*, 9 (4), pp. 397-409.
- LEDERMAN, N. G.; GESS-NEWSOME, J. y LATZ, M. S. (1994): «The nature and development of preservice science teachers' conceptions of subject matter and pedagogy», *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (2), pp. 129-146.
- LIVINGSTON, C. y BORKO, H. (1989): «Expert-Novice differences in teaching: a cognitive analysis and implications for teacher education», *Journal of Teacher Education*, 40 (4), pp. 36-43.
- LLINARES, S. (1991): *La Formación de profesores de matemáticas*. Sevilla, GID.
- (1994): «El profesor de Matemáticas. Conocimiento base para la enseñanza y desarrollo profesional», en SANTALO y otros, *La enseñanza de las Matemáticas en la educación intermedia*. Madrid, Ed. RIALP, pp. 296-337.
- MARCELO, C. (1987): *El pensamiento del profesor*. Barcelona. CEAC.
- (1989): *Introducción a la formación del profesorado. Teorías y métodos*. Universidad de Sevilla, Servicio de Publicaciones.
 - (1993): «Cómo conocen los profesores la materia que enseñan. Algunas contribuciones de la investigación sobre conocimiento didáctico del contenido», en MONTERO y VEZ (ed.), *Las didácticas específicas en la formación del profesorado*. Santiago, Tórculo, pp. 151-186.
 - (1994a): *Formación del Profesorado para el Cambio Educativo*. Barcelona, PPU.
 - (1994b): *Investigaciones sobre prácticas en los últimos años: Qué nos aportan para la mejora cualitativa de las prácticas*. III Symposium Internacional sobre Prácticas Escolares. Poio, junio 1994.
- MARKS, R. (1990): «Pedagogical content knowledge: From a mathematical case to modified conception», *Journal of Teacher Education*, 41 (3), pp. 3-11.
- MCDERMOTT, L. C. (1990): «A perspective on teacher preparation in physics and other sciences: The need for special science course for teachers», *American Journal of Physics*, 58 (8), pp. 734-742.
- MELLADO, V. (1994): «Análisis del conocimiento didáctico del contenido en profesores de ciencias de primaria y secundaria en formación inicial». Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- MELLADO, V. y GONZÁLEZ, T. (1992): «Las prácticas de enseñanza en la Escuela de Magisterio de Badajoz», *Campo Abierto*, 9, pp. 281-301.
- MINGORANCE, P. (1989): «Análisis del pensamiento profesional de los profesores. Un estudio a través de la metáfora». Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- PÉREZ GÓMEZ, A. (1987): «El pensamiento del profesor. Vínculo entre la teoría y la práctica», *Revista de Educación*, 284, pp. 199-221.

- POMEROY, D. (1993): «Implications of teachers' beliefs about the nature of science: Comparison of the beliefs of scientist, secondary science teachers, and elementary teachers», *Science Education*, 77 (3), pp. 261-278.
- PRO, A. (1990): «La didáctica de las ciencias experimentales en el contexto de la Reforma», *Publicaciones*, 18, pp. 65-86.
- REYNOLDS, A. (1991): *Getting to the core of the apple: A teoretical view of the knowledge base of teaching*. AERA.
- RICO, L. y SIERRA, M. (1994): *Educación Matemática e Investigadora*. Madrid, Síntesis.
- ROMBERG, T. A. (1991): «Características problemáticas del currículo escolar en Matemáticas», *Revista de Educación*, 294, pp. 323-406.
- SCHON, D. A. (1983): *The reflective practioner*. New York, Basic Book.
- (1992): *La formación de profesores reflexivos*. Madrid, Paidós-MEC.
- SHULMAN, L. S. (1986a): «Paradigms and Research programs in the study of teaching: A contemporary perspective». Versión española de 1989. *Paradigmas y programas de investigación en el estudio de la enseñanza: una perspectiva contemporanea*, en WITTROCK: *La investigación de la enseñanza, I. Enfoques, teorías y métodos*. Barcelona, Paidós.
- (1986b): «Those who understand: Knowledge growth in teaching», *Educational Researcher*, 15 (2), pp. 4-14.
- (1993): «Renewing the pedagogy of teacher education: The impact of subject-specific conceptions of teaching», en MONTERO y VEZ, *Las Didácticas Específicas en la Formación del Profesorado*. Santiago, Tórculo, pp. 53-69.
- SMITH, D. C. y NEALE, D. C. (1991): «The construction of subject-matter knowledge in primary science teaching», *Advances in Research on Teaching*, vol. 2, pp. 187-243.
- SMITH, E. L.: BLAKESLEE, T. D. y ANDERSON, CH. W. (1993): «Teaching strategies associated with conceptual change learning in science», *Journal of Research in Science Education*, 30 (2), pp. 111-126.
- TAMIR, P. (1991): «Profesional and personal knowledge of teachers and teacher educators», *Teaching and Teacher Education*, 7 (3), pp. 263-268.
- THOMAS, M. F. y GILBERT, J. K. (1989): «A model for constructivist initial physics teacher education», *International Journal of Science Education*, 11 (1), pp. 35-47.
- TRINDADE, V. y OLIVEIRA, V. (1993): «A formação, inicial dos professores e as disciplinas de didactica das ciencias na Universidade de Evora», *Revista de Educação*, 3 (2), pp. 77-82.
- VILLANI, A. (1992): «Conceptual change in science and science education», *Science Education*, 76 (2), pp. 223-237.
- VILLAR, L. M. (1986): *Formación del profesorado. Reflexiones para una reforma*. Valencia, Promo-libro.

- WALLACE, J. y LOUDEN, W. (1992): «Science teaching and teachers' knowledge: Prospect for reform of elementary classrooms», *Science Education*, 76 (5), pp. 507-521.
- WILSON, S. M.; SHULMAN, L. S. y RICHERT, E. R. (1987): «"150 different ways" of knowing: Representations of knowledge in teaching», en CALDERHEAD (ed.), *Exploring teachers' thinking*. New York. Taylor & Francis.
- YINGER, R. J. (1986): «Investigación sobre el conocimiento y pensamiento de los profesores. Hacia una concepción de la actividad profesional», en VILLAR, *Pensamiento de los profesores y toma de decisiones*. Universidad de Sevilla, Servicio de Publicaciones, pp. 113-141.
- ZABALZA, M. A. y MARCELO, C. (1993): *Evaluación de prácticas. Análisis de los procesos de formación práctica*. Sevilla, GID.
- ZEICHNER, K. M. (1987): «Enseñanza reflexiva y experiencias de aula en la formación del profesorado», *Revista de Educación*, 282, pp. 161-189.
- (1980): «Myths and realities: Field-based experiences in preservice teacher education», *Journal of Teacher Education*, 31 (6), pp. 45-55.