

LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

Vicente Mellado Jiménez
Universidad de Extremadura

"Imagínesse 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)

INTRODUCCIÓN

Hace ya 24 años que Busquet formuló la metáfora del nadador para ilustrar el problema de la relación teoría-práctica en la formación del profesorado. Este número de años es un período muy corto en la historia de ciencias consolidadas, pero es un período muy largo para seguir la evolución de la investigación en un campo tan reciente como la formación del profesorado de ciencias experimentales. En la metáfora de Busquet parece que en la escuela de natación faltaría una piscina poco profunda en la que los futuros nadadores se iniciasen en la práctica de la natación sin peligro de ahogarse. Quizá la piscina era lo que intentaba poner el paradigma de racionalidad técnica, por esa época todavía la principal referencia en investigación educativa, que buscaba como conseguir una enseñanza eficaz desarrollando en el profesorado las destrezas esperadas a través de métodos como la enseñanza programada, la microenseñanza, las técnicas de modificación de conducta, etc. En este paradigma, con bases positivistas y conductistas, el profesor era un técnico que aplicaba conocimientos adquiridos en la teoría, y sus metodologías de investigación asociadas eran fundamentalmente de tipo cuantitativo.

En la década de los ochenta se produce un cambio en la investigación sobre el profesorado desde los paradigmas de racionalidad técnica, a paradigmas como el del “pensamiento del profesor” (Marcelo, 1987) que concibe al profesor como un sujeto reflexivo, que tiene concepciones, emite juicios, toma decisiones y genera rutinas y conocimiento práctico propias de su desarrollo profesional, y en el que predominan los métodos cualitativos de investigación. Otra importante línea de investigación, iniciada a partir de los estudios de Shulman (1986) considera que los profesores desarrollan un Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) específico para cada materia, que es elaborado por los profesores de forma personal en la práctica de la enseñanza, constituye un cuerpo de conocimientos que distingue a la enseñanza como profesión, y es una forma de razonamiento y acción pedagógica por medio de la cual los profesores transforman la materia en representaciones comprensibles a los estudiantes.

En didáctica de las ciencias experimentales se produce una consolidación del constructivismo como marco teórico mayoritario, que impregna la investigación del profesorado de ciencias, y comienzan a ponerse en práctica programas de formación del profesorado de ciencias con un fundamento constructivista. Estos programas parten del análisis de las propias concepciones, roles, conocimientos, actitudes y conducta en el aula de los profesores, para a partir de ellos construir nuevo conocimiento profesional.

Destacamos la confluencia que se produce entre la didáctica general y la didáctica de las ciencias en resaltar la importancia del profesorado y de la materia a enseñar, lo que ocasiona desde el final de los años ochenta un desplazamiento de las investigaciones, inicialmente centradas fundamentalmente en problemas de aprendizaje, hacia el profesorado y la enseñanza. Existe un consenso generalizado en que el profesor sigue siendo un elemento decisivo en el aprendizaje del alumnado, y el factor clave que determina el éxito o el fracaso de la puesta en práctica de las innovaciones curriculares y las reformas educativas.

Este, a grandes rasgos, podría ser el escenario sobre el que comenzamos la ponencia, que iniciamos con un resumen de los resultados más significativos de las investigaciones sobre el profesorado de ciencias, seguido de los conocimientos profesionales necesarios para llegar a ser profesor de ciencias, y de las investigaciones propiamente dichas sobre la formación del profesorado de ciencias experimentales. La revisión no pretende ser exhaustiva, sino complementar y actualizar, desde nuestro punto de vista, otras revisiones ya realizadas (Anderson y Mitchener, 1994; Furió, 1994; Mumby y Russell, 1998; Tobin, 1998; Tobin, Tippins y Gallard, 1994).

1. ¿QUÉ SABEMOS DEL PROFESORADO DE CIENCIAS EXPERIMENTALES?

Las investigaciones sobre el profesorado de ciencias han aumentado considerablemente en los últimos años y sus resultados tienen enorme importancia en el diseño y desarrollo de los programas de formación. A continuación resumimos algunos de los resultados y problemas más relevantes, que en un trabajo anterior (Mellado 1998b) hemos desarrollado más extensamente.

1.1 El contenido científico del profesorado de ciencias

En primer lugar señalamos que las estrategias didácticas de los profesores son muy diferentes según la materia que enseñen, y sus actividades y prácticas pedagógicas dependen de la asignatura que imparten.

En segundo lugar, como parece obvio, los profesores que enseñen ciencias tienen que tener un sólido conocimiento de las materias de ciencias. Las investigaciones realizadas con profesores de ciencias de primaria y secundaria nos indican que el bajo conocimiento de la materia del profesorado es una barrera para una eficaz enseñanza de las ciencias. Cuando los profesores tienen bajos conocimientos de ciencias, encuentran dificultades para realizar cambios didácticos, evitan enseñar los temas que no dominan, tienen inseguridad y falta de confianza en la enseñanza de las ciencias, refuerzan los errores conceptuales de los estudiantes, tienen mayor dependencia del libro de texto, tanto en la instrucción como en la evaluación, dependen más de la memorización de la información, y pueden fomentar actitudes negativas hacia la ciencia en los estudiantes. El conocimiento del contenido influye en el discurso en clase del profesor: un mayor conocimiento del contenido hace que los profesores hablen menos y en períodos más cortos, realicen menos preguntas pero de más nivel cognitivo, y evalúen mejor las respuestas de los estudiantes. Los alumnos de los profesores con mayores conocimientos tienen más intervenciones en clase, realizan más preguntas y controlan más sus turnos de intervenciones.

Un tercer grupo de investigaciones tratan de las ideas alternativas del profesorado sobre los temas de ciencias. También los profesores tienen ideas alternativas sobre conceptos científicos, en ocasiones coincidentes con las de los alumnos, lo que demuestra la persistencia de las mismas. Estas ideas científicas alternativas forman auténticos sistemas de creencias que filtran la información recibida y persisten y sobreviven, a pesar de las contradicciones con el conocimiento científico, coexistiendo con él en dominios específicos. Aunque no siempre desde un marco constructivista, se han realizado investigaciones que detectan ideas alternativas en temas de ciencias en profesores de primaria y secundaria, a pesar de tener estos últimos una mayor formación científica. Este aspecto hay

que tenerlo en cuenta no sólo en la formación inicial del profesorado de primaria, que por su propia generalidad profundiza menos en el conocimiento del contenido, sino también en la formación del profesorado de secundaria, actualmente centrada casi exclusivamente en una de las materias.

Un cuarto aspecto es que el conocimiento científico de los profesores de ciencias se organiza de forma diferente que el de los científicos. La estructura inicial del conocimiento del contenido científico de los profesores se va formando en sus experiencias de aprendizaje, pero se modifica al enseñarlo. La visión de cómo los estudiantes aprenden ciencias influye en la propia concepción científica de los profesores y hace que el conocimiento científico de los profesores de ciencias sea más jerarquizado y menos interrelacionado que el de los científicos. Los profesores de ciencias a lo largo de su experiencia profesional integran el conocimiento de la materia y el conocimiento pedagógico en el conocimiento didáctico del contenido, lo que parece indicar que para los profesores de ciencias el conocimiento del contenido está inseparablemente unido con el proceso de enseñarlo. Sin embargo, la transferencia de la estructura del contenido a la práctica del aula no es un proceso automático, incluso para el profesorado de ciencias con experiencia, e influyen factores como las intenciones del profesor, el conocimiento del contenido y el pedagógico, los estudiantes, la autonomía del profesor y el tiempo.

1.2. Los profesores y profesoras de ciencias tienen concepciones y actitudes sobre la ciencia, sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y sobre sí mismos como profesores, algunas de ellas anteriores a su formación inicial, y no siempre relacionadas con su conducta docente en el aula.

El constructo creencia o concepción de los profesores se ha utilizado en la investigación educativa con varias denominaciones y con distintos matices. Entendemos que las concepciones llevan implícitas una convicción o valoración hacia algo, no siempre basada en observaciones o en razonamientos lógicos, y que actúan como un marco o filtro a través del cual se interpretan los hechos y conocimientos. Aunque tanto a las concepciones como a las actitudes se les asigna un componente afectivo podría establecerse la distinción de que las actitudes llevan marcadas una toma de posición y están más directamente relacionadas con las acciones.

a) La formación del profesorado comienza antes de la entrada en la Universidad

Cuando los profesores comienzan su etapa de formación universitaria tienen ideas, concepciones y actitudes sobre la ciencia, y sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, fruto de los muchos años que han pasado como escolares, asumiendo o rechazando, a menudo implícitamente, los roles de los

profesores de ciencias que han tenido en su etapa escolar. La influencia de sus antecedentes escolares se manifiesta en que muchos profesores cuando enseñan favorecen enfoques didácticos muy similares a los que preferían cuando ellos mismos eran aprendices, y a menudo enseñan de la misma forma en que fueron enseñados. Las creencias e imágenes pedagógicas personales de los profesores de ciencias son más estables cuanto más tiempo llevan formando parte del sistema de creencias de la persona y algunas sufren muy pocos cambios durante la formación inicial del profesorado.

b) Concepciones del profesorado sobre la naturaleza de las ciencias

Hay investigaciones que encuadran a la mayoría de los profesores de ciencias en alguna de las formas del positivismo, no encontrándose diferencias significativas en este aspecto entre los profesores expertos y los principiantes. Sin embargo otros trabajos nos muestran que aunque los profesores de ciencias tienen rasgos empiristas, no pueden encuadrarse en un inductivismo ingenuo, sino que un alto porcentaje poseen un punto de vista ecléctico sobre la naturaleza de la ciencia, sus concepciones no están consistentemente asociadas a una orientación filosófica particular, y, además, pueden no formar un sistema conceptual coherente. Un resultado común es que la naturaleza de la ciencia y la propia historia de la ciencia es un tema ausente de la mayoría de los programas de formación del profesorado y de las carreras de Ciencias.

En cuanto a la influencia de las concepciones sobre la naturaleza de la ciencia en la práctica del aula al enseñar ciencias, existen trabajos que defienden una correlación entre ambas, sin embargo cada vez hay más investigaciones que no encuentran relación entre las concepciones de los profesores sobre la naturaleza de la ciencia y su conducta docente en el aula y consideran que otros muchos factores tienen mayor influencia en la conducta en el aula del profesor. Aún en los casos en que los profesores tienen formación en temas de filosofía de la ciencia, ésta no se refleja en su conducta docente, si los profesores carecen del conocimiento funcional para llevarlo a cabo.

c) Concepciones del profesorado sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias

Un grupo de investigaciones, tanto cuantitativas como cualitativas, sobre las creencias del profesorado de primaria y secundaria sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias asignan a los profesores concepciones tradicionales transmisivas sobre la enseñanza. Sin embargo otros trabajos, tanto con profesores de primaria como de secundaria, muestran que junto a profesores con una orientación tradicional transmisiva, existen otros que conciben al profesor como un guía y al aprendizaje como un cambio del conocimiento existente, aunque el

valor epistemológico que dan a las ideas de los alumnos puede ser muy diferente. En todo caso en cada profesor lo habitual no es encontrar versiones puras sino orientaciones dominantes, con mezcla de rasgos característicos de varias tipologías. También se destaca que los profesores en formación tiene inicialmente menos estructurado su sistema de creencias y teorías, y tienen más contradicciones entre ellas que los profesores con experiencia.

Algunos trabajos realizados con profesores de ciencias con distinto grado de experiencia, tanto de primaria como de secundaria, defienden la consistencia entre las creencias de los profesores y su conducta en el aula al enseñar ciencias. Sin embargo la consideración de la complejidad del aula, lleva a algunos investigadores a matizar la influencia de las creencias de los profesores sobre la ciencia y sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en la conducta en el aula, y a resaltar la importancia del conocimiento práctico, que es el que guía la conducta en el aula y que a menudo no se corresponde con las concepciones explícitas y los conocimientos teóricos. Habitualmente los profesores en formación tienen en el aula conductas más tradicionales que las mostradas en sus creencias. En cambio los profesores con experiencia suelen ser más innovadores en sus clases que las concepciones que manifiestan y suelen mostrar mayor consistencia entre sus concepciones y conductas docentes.

d) La importancia de las actitudes del profesorado de ciencias

En las actitudes de los profesores influyen, entre otros factores, sus expectativas sobre los alumnos, y la percepción y confianza en su propia eficacia como profesores, factores que también repercuten en sus acciones en clase. La confianza de los profesores en su propia eficacia está relacionada con sus conocimientos profesionales de la materia a enseñar y con la percepción que tienen del aprendizaje de los estudiantes. Los profesores dedican más tiempo y más interés a las áreas en las que se sienten más seguros y se creen más eficaces, lo cual influye en su enseñanza y en el aprendizaje de los alumnos.

e) Una línea de investigación importante para el cambio didáctico del profesorado de ciencias

Está relacionada con los roles y metáforas que éstos adoptan. En ocasiones, sus concepciones personales son tácitas y difíciles de articular, y las metáforas utilizadas en el lenguaje se han mostrado como una poderosa herramienta para articular el pensamiento del profesorado. Numerosas investigaciones señalan que los profesores de ciencias conceptualizan sus creencias y roles en términos de metáforas, las cuales tienen un considerable efecto sobre la práctica que llevan a cabo en el aula. Algunos de los roles asumidos por el profesorado de secundaria tienen su origen en los profesores universitarios que han tenido en las

carreras de ciencias. Un aspecto a destacar es que los profesores de ciencias realizan cambios en sus concepciones y prácticas didácticas cuando construyen nuevos roles a través de la reflexión crítica y simultáneamente adoptan o construyen nuevas metáforas compatibles con tales cambios.

1.3. Estudios sobre el conocimiento práctico del profesorado de ciencias

El conocimiento práctico, que puede ser explícito o tácito (Porlán, Rivero y Martín, 1997), es un conocimiento sobre las situaciones de clase que permite a los profesores actuar en la complejidad del aula. Las investigaciones realizadas muestran que los profesores de ciencias construyen en el aula modelos instruccionales de actuación, guiados por principios prácticos y funcionales. Estos modelos no son simples sino complejos y polifacéticos, se desarrollan de forma lenta y gradual a través de la experiencia y de un considerable esfuerzo, y, a veces, son contradictorios con sus creencias explícitas.

Una línea de investigación que nos aporta interesantes datos sobre la evolución del conocimiento práctico de los profesores de ciencias son los estudios de caso de profesores de ciencias considerados excelentes, y los que comparan a los profesores expertos de ciencias con los principiantes y los que se encuentran en el período de formación inicial. Los profesores expertos de ciencias elaboran un cuerpo de conocimientos profesionales sobre la enseñanza de las ciencias que falta o está menos desarrollado en los principiantes. A continuación resumimos algunos de los resultados de estas investigaciones:

Los profesores de ciencias considerados expertos:

- Organizan el contenido con una estructura psicológica significativa para los alumnos.
- Tienen buena dirección y organización de la clase y dedican su tiempo a dirigir el aprendizaje de los alumnos.
- Mantienen el control de la clase por la actividad de los alumnos.
- Mantienen un clima de clase constructivo.
- Tratan diferenciadamente a los individuos, por lo que pueden diagnosticar mejor las dificultades de aprendizaje de cada alumno y dirigir individualmente su aprendizaje.
- Prefieren explicaciones sencillas que ayuden a centrarse en los conceptos importantes.
- Realizan pequeñas pausas, para que los alumnos asimilen mejor las explicaciones.

- Tienen más alternativas para representar los conceptos (ejemplos, analogías, dibujos...).
- Utilizan en sus clases la anticipación de contenidos y los resúmenes.
- Hacen preguntas de alto nivel cognitivo, para mantener la motivación, y para conocer y controlar la comprensión de conceptos científicos por los estudiantes
- En la resolución de problemas usan menos pasos y generan más subrutinas y más soluciones alternativas.
- Revisan su actuación en función del aprendizaje de sus alumnos.
- Los estudiantes de estos profesores
 - Están más motivados para el aprendizaje
 - Participan en clase y saben trabajar individualmente o en grupos
 - Realizan un aprendizaje más comprensivo.

En cambio los profesores de ciencias en formación o principiantes:

- Tienen más problemas de control y de disciplina.
- Son más inestables, y a menudo pasan del descontrol al autoritarismo.
- Organizan el contenido basándose en el libro de texto o, en el caso de secundaria, en sus propias experiencias como estudiantes en la Universidad.
- Piensan generalmente en términos globales sobre el grupo de clase y tienen dificultad para diagnosticar y dirigir los problemas individuales de aprendizaje.
- Muestran mayor preocupación por ellos mismos y por completar todo el contenido que por el aprendizaje efectivo de los alumnos.
- Sus explicaciones son largas, hacen pocas pausas, y el ritmo de clase suele ser excesivo.
- Hacen las clases más lineales (y entonces,... y entonces,...).
- Pocos ejemplos, analogías y formas de representación del contenido.
- Preguntas generales que generan respuestas de bajo nivel cognitivo en el alumnado
- Revisan su actuación en función de su propia percepción.

1.4. Algunos interrogantes

Actualmente contamos con un número considerable de investigaciones sobre el profesorado de ciencias que tienen una sólida fundamentación teórica. Paralelamente los problemas de investigación se han diversificado y tratan de dar respuestas a más preguntas. Sin embargo éste es un campo de investigación todavía reciente, y son muchos los interrogantes aún no resueltos que se nos plantean:

- La propia complejidad de las concepciones y acciones del profesorado. Hay concepciones implícitas, en ocasiones contradictorias con las expuestas, que son muy difíciles de obtener y que pueden tener influencia en la conducta docente (Lyons, Freitag y Hewson, 1997). Por otra parte aún no conocemos bien todos los factores que influyen en las acciones del profesorado en el aula.
- La disparidad de las metodologías de investigación utilizadas hace difícil la comparación de los resultados. Inicialmente la mayoría de las investigaciones se basaban en el cuestionario, mientras en los últimos años es mayoritario el empleo de metodologías de investigación cualitativas, más apropiadas para profundizar en el estudio de las concepciones implícitas o tácitas y en la conducta del profesor en el aula, pero menos generalizables. Hay que seguir insistiendo en algunos aspectos que aumentarían la calidad de los resultados: la selección por criterios de los participantes, los estudios longitudinales y la triangulación metodológica.
- La distinta perspectiva y valoración filosófica, científica y didáctica que tienen los investigadores, y la que pueden atribuir a los instrumentos metodológicos utilizados en la investigación, también dificultan la comparación de los resultados.
- El profesor considera la clase de una forma global, interrelacionando los distintos aspectos, mientras que en la mayoría de las investigaciones se tratan sólo algunas de las variables que intervienen. Por ello es necesario realizar investigaciones globales que tengan en cuenta todos los aspectos interrelacionados que influyen en la complejidad del aula: el profesor y la enseñanza, el tema específico de ciencias y su relación con otros, los alumnos y el aprendizaje, y otros elementos curriculares y de contexto.

2. CONOCIMIENTOS PROFESIONALES NECESARIOS PARA APRENDER A ENSEÑAR CIENCIAS

El conocimiento profesional del profesor de ciencias es complejo, en parte implícito, integra saberes epistemológicamente muy diferentes (Porlán y otros, 1997), y cada profesor va evolucionando en un continuo desde la etapa escolar hasta el desarrollo profesional.

Durante su etapa de formación inicial el profesor de ciencias tiene que aprender una serie de conocimientos profesionales académicos-proposicionales que incluyen, entre otros, los del contenido de ciencias, los psicopedagógicos generales y los de didáctica de las ciencias. Esta parte constituye un cuerpo de conocimientos, general para todos los estudiantes para profesores y el Centro de Formación debe potenciar metodologías estimulantes y ejemplares para adquirir los conocimientos académicos. La componente académica es una condición necesaria, pero no suficiente para que el profesor aprenda a enseñar, ya que hay aspectos del conocimiento práctico del profesor que pueden no verse afectados por sus conocimientos teóricos o proposicionales.

Además, como ya hemos señalado, el profesorado en formación comienza sus estudios universitarios con unos conocimientos, concepciones, actitudes y roles sobre la ciencia y su enseñanza y aprendizaje, sobre los que es necesario reflexionar durante su etapa de formación inicial, para construir a partir de ellos el nuevo conocimiento. Esta reflexión es una condición necesaria pero todavía insuficiente en el proceso de aprender a enseñar ciencias ya que la conducta docente del profesor puede no corresponderse con sus concepciones previas.

En nuestra opinión, existe una componente profesional de los profesores que denominamos dinámica (figura nº 1), y que tiene un *status* epistemológico diferente que la componente académica tanto del conocimiento del contenido, como del conocimiento psicopedagógico general o del propio conocimiento académico proposicional de didáctica de las ciencias (Mellado, 1996). Aunque la componente dinámica se genera y evoluciona a partir de los propios conocimientos, creencias y actitudes, no es un conocimiento proposicional (Mumby y Russell, 1998) y requiere de la práctica de la enseñanza de la materia específica en contextos escolares concretos (Peterson y Treagust, 1998; Roth, 1998) y de la implicación y reflexión personal en, y sobre, el propio proceso de enseñanza (Schön, 1983). Este proceso dinámico permite al profesor reconsiderar su conocimiento académico y sus concepciones, modificándolos o reafirmando los, así como transformar e integrar los distintos conocimientos en el acto de enseñanza (Osborne, 1998).

La componente dinámica es la más específicamente profesional y la que distingue a los profesores de ciencias expertos 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 formando su propio conocimiento didáctico del contenido (CDC) en ciencias.

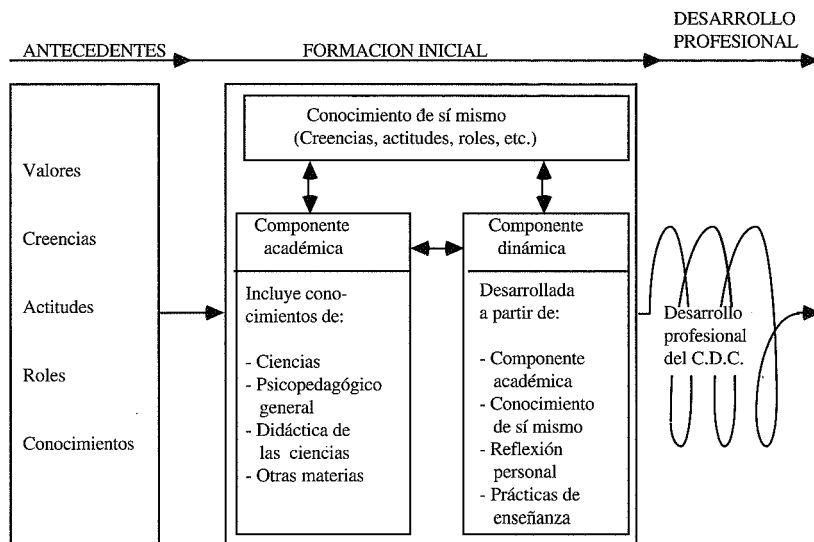


Figura 1. Componentes del conocimiento profesional del profesorado de ciencias

3. INVESTIGACIONES SOBRE LA FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

El paradigma constructivista como referente de reflexión crítica, y no como método de enseñanza, se ha mostrado como un marco teórico adecuado para la investigación en formación del profesorado de ciencias. Sin embargo, la formación del profesorado de ciencias también participa de otros marcos teóricos de la investigación del profesorado en general. En este sentido le son aplicables los avances que han supuesto la aparición del paradigma del pensamiento del profesor, su evolución en torno al descriptor de aprender a enseñar, y, más específicamente en relación a la materia a enseñar, a los estudios sobre el conocimiento didáctico del contenido. También son importantes las aportaciones que se han realizado desde otras perspectivas, como la del práctico reflexivo, la perspectiva crítica, la investigación-acción, etc., o desde la propia historia y filosofía de las ciencias. Muchas de las perspectivas no son incompatibles, sino en muchos aspectos complementarias. Consideramos con Shulman (1986), que en las ciencias sociales no tienen por qué existir paradigmas dominantes, en el sentido kuhniano, y que en educación la coexistencia de escuelas divergentes de pensa-

miento, lejos de ser una debilidad de desarrollo, puede ser más bien un estado natural y una muestra de madurez. Para Tobin (1998) mejor que trabajar en un único marco teórico, tratando de encontrar hechos que lo confirmen, es investigar en una amplia variedad de perspectivas, marcos teóricos y métodos, que permitan comprender los múltiples matices de la complejidad de la enseñanza.

En definitiva, a partir de los resultados de las investigaciones sobre formación del profesorado de ciencias, pretendemos conocer los procesos por medio de los cuales los profesores adquieren y cambian los conocimientos profesionales en sus distintas etapas y su relación con la práctica docente en el aula, así como los aspectos que facilitan u obstaculizan estos procesos.

No trataremos específicamente los contenidos de la componente académica de la formación, aspecto desarrollado para cada nivel de enseñanza en numerosas trabajos en nuestro propio contexto.

3.1. Investigaciones sobre formación inicial

Numerosas investigaciones rechazan los modelos de formación sumativos (contenidos + didácticas + prácticas) y abogan por integrar los distintos tipos de conocimientos (Abd-El-Khalick y BouJaoude, 1997; Pro, 1995). En relación al conocimiento del contenido científico, las investigaciones realizadas señalan la importancia de dos aspectos: la metodología con la que se imparten los contenidos en los centros de formación (Gil, 1993b; Stoddart, Connell, Stofflett y Peck, 1993) y la relación con la propia didáctica de las ciencias. Se trataría de que el conocimiento del contenido que adquiriera el profesorado sea, desde el comienzo de la formación inicial, significativo, útil y relacionado con su profesión de profesores de ciencias (Hauslein et al., 1992). Para ello los contenidos deben impartirse en los programas de formación inicial relacionados con la didáctica de las ciencias y no de una forma fragmentada (Clermont, Borko y Krajcik, 1994; Gess-Newsome y Lederman, 1993). Aprender las dificultades de aprendizaje y de enseñanza de los conceptos científicos ayuda a comprenderlos mejor y a desarrollar esquemas sobre la estructura de la materia.

Desde el final de la década de los ochenta, comienzan a ponerse en práctica programas de formación de profesores de ciencias que tienen un fundamento constructivista. Si los profesores comienzan su formación con conocimientos, creencias y actitudes sobre la ciencia y sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, fruto de sus propios años de escolaridad, la formación tiene que partir de estas concepciones. El conocimiento de sí mismo por parte de los profesores en formación significa la reflexión de sus propias concepciones sobre la ciencia, la naturaleza del conocimiento científico, la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, de sí mismos como aprendices de ciencias y de su propio rol como profesos-

res de ciencias (Abell y Bryan, 1997; Furió et al., 1992; Gil, 1993, Hewson, 1993). La dificultad de diagnosticar las concepciones de los profesores en formación (Sequeira, Leite y Duarte, 1993) obliga a utilizar en los programas de formación metodologías cualitativas de indagación, basadas en las necesidades individuales de los profesores y adaptadas al contexto específico en que se encuentren: entrevistas clínicas, entrevistas sobre ejemplos de situaciones sobre la enseñanza de las ciencias, diarios, estudios de caso grabados en video, mapas conceptuales y cognitivos, cartera pedagógica, metáforas, analogías, relatos, anécdotas, etc.

Estos programas han ido evolucionando desde aplicar el constructivismo como un método; por ejemplo proponiendo estrategias de cambio conceptual de formación de profesores aplicando las cuatro condiciones de Posner et al. (1982): conocer y valorar las ideas de los profesores en formación y, si son insatisfactorias, presentar nuevas ideas que sean inteligibles, plausibles y útiles (Gunstone, Slattery, Baird y Northfield, 1993; Hewson y Hewson, 1989; Thorley y Stofflett, 1996), rebajando además el *status* de las ideas anteriores (Hewson, 1993), hasta considerar el constructivismo como un referente de reflexión que permite actuar de forma flexible y plural según las circunstancias.

Sin embargo el cambio en los profesores en formación raramente implica el completo abandono de las viejas ideas en favor de las nuevas, sino que más bien son adquisiciones y retenciones parciales (Gunstone y Northfield, 1994). Porlán et al., (1996) proponen un marco evolutivo para la formación del profesorado, organizado en torno a problemas relevantes de la práctica de la enseñanza de las ciencias (Azcarate, Martín y Porlán, 1998), partiendo de los modelos didácticos tradicionales, pasando por un nivel intermedio en que dominan las tendencias espontaneístas y tecnológicas, y teniendo como nivel de referencia los modelos alternativos más innovadores.

Un aspecto que podríamos asociar con el cambio metodológico es la consistencia entre los principios pedagógicos que se expresan en los programas de formación y la conducta docente de los formadores de profesores (Gunstone et al., 1993; Hewson, 1993; Pomeroy, 1993). 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 etapa escolar, es fundamental que la metodología utilizada durante la formación inicial por los formadores de profesores sea consistente con los modelos teóricos que propugnan. 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; Tobin et al. 1994). De la misma forma que el cambio conceptual de los estudiantes se ve dificultado si no va unido a cambios ontológicos y metodológicos, el cambio de los profesores no sería posible si no va acompañado de cambios metodológicos y actitudinales (Gil, 1993; Neale, Smith y Johnson, 1990).

Otro aspecto importante resaltado en varias investigaciones (Baker y Saul, 1994; Smith, Blakeslee y Anderson, 1993; Summers, 1992) es el diseño de nuevos materiales y recursos de enseñanza durante el programa de formación, ya que se constata que el éxito de las estrategias de cambio conceptual está muy relacionado con el diseño y uso de materiales instruccionales especialmente adaptados para ello, pues los textos y materiales tradicionales no proporcionan oportunidades para desarrollar estas estrategias. Entre los recursos se incluyen ejemplos, analogías, y todo aquello que permita al profesor transformar el contenido de forma que pueda ser más fácilmente aprendido por los alumnos (Geddis, 1993). Con todo el material elaborado el profesor puede ir adquiriendo una cartera pedagógica personal (portafolio) con casos y situaciones de enseñanza y aprendizaje de las ciencias como las descritas por Shulman (1993) y Collins (1993), y que les puede ser muy útil en su futuro profesional.

Sin embargo, aunque el profesor en formación haya reflexionado sobre sus concepciones e iniciado un desarrollo de las mismas, no está garantizada su transferencia al aula como conducta docente porque le faltan esquemas prácticos de acción en el aula (Gess-Newsome y Lederman, 1993; Mellado, 1998a; Tobin, 1993). En consecuencia es necesario que el profesor en formación pueda reconstruir sus propias teorías personales sobre la enseñanza y el aprendizaje en contextos específicos de enseñanza, y que simultáneamente pueda construir más conocimiento procedimental y más esquemas prácticos de acción en el aula (Gunstone y Northfield, 1994; Sanders, Borko y Lockard, 1993). En este proceso, en el que el profesor en formación va adquiriendo la que hemos denominado componente dinámica, las prácticas de enseñanza juegan un papel esencial.

3.1.1. Las prácticas de enseñanza.

La reflexión en y sobre la práctica de la enseñanza permite al profesor en formación analizar su conducta en clase, contrastarla con sus conocimientos y concepciones previos, y con la conducta docente de otros profesores, y, en un proceso de retroacción continuo, redefinir sus conocimientos, concepciones y estrategias de enseñanza y volverlos a poner en práctica.

Este complejo proceso en el que se desarrolla la componente dinámica del conocimiento profesional requiere que las prácticas no sean finalistas, propias de paradigmas caracterizados por la separación y supeditación de la práctica a la teoría, sino secuenciales a lo largo de los estudios e interconectadas con el conocimiento académico. Las asignaturas de didáctica de las ciencias, concebidas en íntima conexión con las prácticas docentes, deberían ser el núcleo integrador de los distintos aspectos de la formación docente en el proceso de aprender a enseñar ciencias (Furió et al., 1992). Los resultados nos indican que un factor importante en la calidad de los programas de formación de profesores es el grado de integración entre la componente académica y las prácticas de enseñanza.

Las investigaciones sobre las prácticas de enseñanza, desde la didáctica de las ciencias, nos aportan numerosos resultados que hay que considerar en el proceso de aprender a enseñar ciencias:

- La necesidad de que haya varios períodos de prácticas, ya que la formación es un proceso lento y continuo, y en un sólo período de prácticas no se consolidan los cambios.
 - En el primer período el profesor en formación adopta el rol de alumno y pasa por una fase de descontrol, como reacción durante el segundo período aumentan las conductas autoritarias de control del aula, y en el tercer período es cuando se produce mayor reflexión y aumento de las actividades de enseñanza de las ciencias (Hacker, 1988).
 - Si en un período se produce el análisis de la conducta en el aula y su comparación con las concepciones previas, es necesaria otra fase en la que, después de una nueva preparación, se pongan en práctica las nuevas estrategias y se evalúen los progresos (Abell y Roth, 1995; Mellado, Ruiz y Blanco, 1997).
- La planificación y actuación de los profesores en formación durante las prácticas es distinta que la que han mostrado en el centro universitario, incluso respecto a anteriores sesiones de microenseñanza (Lederman y Gess-Newsome, 1991).
- Hay aspectos importantes como la secuencia de enseñanza para un determinado contenido, que el profesor en formación organiza desde sus primeras prácticas, y que posteriormente son muy resistentes al cambio en su vida profesional (Gess-Newsome y Lederman, 1995).
- El profesor en formación va definiendo su estilo personal al enseñar ciencias cuando consigue reflexionar sobre los aspectos globales de su práctica de aula al enseñar contenidos concretos (Clarke, 1994). El análisis de sus propias metáforas, y de otras introducidas en los cursos de formación, se ha mostrado como una poderosa herramienta para ayudar al profesor en formación a analizar los aspectos globales de su práctica y a definir y cambiar su propio rol como profesor.
- La necesidad de analizar durante las prácticas las ideas de los alumnos, las estrategias de enseñanza y los progresos en el aprendizaje de los alumnos (Ebenezer y Hay, 1995). La relevancia para su propia práctica y la utilidad de las nuevas estrategias para el progreso de los alumnos es un factor que contribuye al cambio didáctico del profesor en formación.

- Hay que considerar los aspectos sociales en el proceso de aprender a enseñar, por ello se destaca la necesidad de la interacción social con los compañeros y con los demás profesores (Tobin et al., 1994) y la reflexión en grupo, además de la personal (Baird et al., 1991). Las prácticas cooperativas - más de un profesor en formación en el aula- aumentan la confianza en la propia eficacia como profesores (Cannon y Scharmann, 1996).
- Durante las prácticas, los profesores en formación: a) suelen encontrarse en situaciones conflictivas de disciplina y de control, b) tienen tensiones entre sus teorías personales, sus conocimientos académicos y la práctica de la enseñanza, y c) se encuentran con obstáculos que les impiden o dificultan enseñar según su propio punto de vista - falta de tiempo, falta de equipamientos, las directrices curriculares, la presión de los demás profesores, etc. -. Estas circunstancias les pueden hacer generar destrezas de supervivencia más que destrezas instruccionales, que les supongan hábitos negativos para su vida profesional.
- Es fundamental el apoyo que el profesor en formación reciba durante las prácticas del tutor universitario, del tutor del centro y de sus propios compañeros. Los tutores universitarios y los de los centros de prácticas tienen que formarse específicamente para ello, para que puedan articular e interpretar el conocimiento práctico (Sequeira et al., 1993) y ayudar a relacionarlo e integrarlo con el conocimiento académico. El tutor del centro tiene que trabajar entre la responsabilidad que tiene en el aprendizaje de sus alumnos y la libertad que debe dar a los profesores en prácticas para que éstos desarrollen, reflexionen, evalúen y reconstruyan sus propias ideas sobre la enseñanza de las ciencias (Powell, 1994).
- La colaboración entre los profesores universitarios de didáctica de las ciencias, los profesores tutores de los colegios y los propios compañeros de los profesores en formación, es un aspecto que contribuye decisivamente al éxito de los programas de formación inicial de profesores de ciencias (Abell y Roth, 1995; Schoon y Sandoval, 1997). Para ello se programan seminarios conjuntos para coordinar lo aprendido en el centro universitario y el centro de prácticas, que en algunos casos incluyen también a especialistas en contenidos (Shroyer, Wrih y Ramey-Gassert, 1996).

3.1.2. Los estudios de caso

Los estudios de caso, en texto y en video, combinados con las prácticas

de enseñanza se están utilizando en numerosas investigaciones en la formación del profesorado de ciencias. Sin embargo, hay que resaltar que los estudios de caso no nos dan recetas sobre la enseñanza eficaz, como podía esperarse en el paradigma proceso-producto, sino nuevas ideas sobre estrategias de enseñanza (Bell y Gilbert, 1994), así como elementos que ayuden al profesor a reflexionar sobre sus propios conocimientos y creencias y sobre su propia práctica. Sabemos que los contextos de las escuelas y las características motivacionales de los niños son muy diferentes (Martín-Díaz y Kempa, 1991) y que no existe una única estrategia de enseñanza válida para todos. También los profesores en formación son muy diferentes unos de otros y con este proceso no se pretende darles recetas, sino fomentar en ellos la reflexión, la capacidad de formación y desarrollo, y la confianza y motivación que les permita salir de la Universidad con un bagaje profesional mínimo que les ayude en su iniciación docente, a encontrar su propio estilo personal (Abell y Roth, 1994) y a tener la capacidad crítica para reaccionar ante diversos contextos (Lederman y Gess-Newsome, 1991).

Los estudios de caso fomentan el razonamiento práctico del profesorado en formación planteando situaciones problemáticas reales de clase de ciencias sin una solución predeterminada, para que el profesor las analice y resuelva, y posteriormente compare con las soluciones adoptadas en el aula por otros profesores. Sin embargo, hay que tener en cuenta que cuando inicialmente los profesores en formación utilizan los videos de otros profesores para determinar sus propias teorías personales, a menudo se dejan llevar por juicios de valor que no tienen fundamento en lo observado, sino más bien en su propia experiencia como escolares. Otra fuente inicial de inconsistencia es que los profesores en formación al observar los videos combinan tres puntos de vista distintos sobre sí mismos, que van evolucionando en las sucesivas fases de prácticas: como alumnos que aprenden ciencias, como alumnos de didáctica de las ciencias, y como profesores de ciencias (Abell et al., 1998).

En la formación inicial se utilizan estudios de caso de profesores de ciencias del mismo nivel educativo, en distintas etapas de su desarrollo profesional:

- Estudios de caso grabados en video de los propios profesores en formación para que reflexionen y analicen su conducta docente en el aula al enseñar ciencias y la comparen con sus concepciones previas y con los conocimientos académicos adquiridos.
- Estudios de caso de otros profesores en formación y de profesores principiantes para comparar problemas y soluciones en distintos contextos, potenciar el aprendizaje cooperativo y facilitar la socialización de los futuros profesores (Abell y Roth, 1994; Loughram, 1994).
- Estudios de caso de profesores de ciencias considerados excelentes, pa-

ra que a partir de ellos los profesores en formación puedan reflexionar sobre las actividades de clase, el ritmo y la secuencia de la misma, los ejemplos y analogías utilizados, el diagnóstico y la intervención en las dificultades de aprendizaje de los alumnos, la evaluación, etc. Las experiencias ejemplares de enseñanza de otros profesores, les pueden inducir a construir nuevas imágenes y metáforas de sí mismos, a mejorar las actitudes y las creencias en su propia eficacia, y a aumentar su motivación y confianza (Huinker y Madison, 1997).

Una dificultad es la escasez de estudios de caso, especialmente de profesores considerados excelentes, "lo cual condena a cada generación de profesores de ciencias a redescubrir el conocimiento de sus predecesores a través de la experiencia, en vez de construir el conocimiento sobre el éxito de los anteriores profesores de ciencias." (Anderson, 1989, p. 9). Si la investigación no recoge las experiencias de estos profesores para que sean una referencia para los que empiezan en la profesión estaremos perdiendo una de las fuentes más importantes de conocimiento profesional (Abell y Roth, 1995).

3.2. La investigación sobre la iniciación a la docencia del profesorado de ciencias

La formación no termina con la obtención del título de profesor, que no es más que el primer paso de su desarrollo profesional. Hay que prestar una atención especial a la etapa de iniciación a la docencia, ya que en los primeros años continúa realizándose la transición de estudiantes a profesores y es una etapa decisiva por las tensiones a que los profesores principiantes se ven sometidos. La inseguridad de los principiantes se acentúa cuando utilizan una estrategia diferente a la transmisiva (Pavón, 1996), y también ellos pueden dejarse dominar por estrategias de supervivencia y de control. Por eso es fundamental que en los años de iniciación a la docencia los profesores principiantes reciban el apoyo de profesores expertos de su materia que les ayuden en los numerosos problemas de enseñanza y aprendizaje de las ciencias que se le plantean en la clase. Durante los primeros años es cuando los profesores desarrollan más esquemas prácticos de acción y es cuando se reestructura y desarrolla en mayor grado su propio conocimiento didáctico del contenido, que es un importante indicador del tránsito de profesor novel a experto (Clermont et al. 1994). La contradicción entre concepciones y conducta docente, más marcada en la etapa de formación inicial, puede comenzar a resolverse en este período: reconstruyendo e integrando ambas, adaptando la conducta a las concepciones o adaptando las concepciones a las conductas.

Se están llevando a cabo programas de formación en la iniciación docente a profesores de ciencias basados en los paradigmas que hemos señalado

(Adams y Krockover, 1997; Clermont et al., 1994) en los que se tratan distintos aspectos concretos - el tiempo, las demostraciones y explicaciones, etc - . El estudio de los dilemas que se producen en esta etapa entre los sentimientos y las expectativas de los profesores principiantes, así como las metáforas que construyen les ayudan a construir su identidad y a integrar lo que buscan y lo que los demás esperan de ellos (Anderson y Volkman, 1998).

Marcelo (1992) defiende la utilización de los estudios de casos en la formación de profesores principiantes porque: a) les ayudan a desarrollar destrezas de análisis crítico y de resolución de problemas, b) provocan una práctica reflexiva y una acción deliberativa; c) ayudan a familiarizarse con el análisis y la acción en situaciones complejas; d) les implica en su propio aprendizaje; y e) promueve un ambiente de trabajo en colaboración.

3.3. La investigación sobre el desarrollo profesional del profesorado de ciencias con experiencia

Las numerosas investigaciones realizadas sobre el desarrollo profesional del profesorado de ciencias con experiencia nos indican una serie de aspectos que es necesario tener en cuenta para el éxito de los programas de formación:

- La enseñanza es un trabajo duro y difícil para los profesores y la formación es un esfuerzo añadido a la jornada de trabajo. El esfuerzo que esto supone y el poco tiempo disponible son un obstáculo para desarrollar nuevos conocimientos (Anderson 1989).

- Los profesores tienen que percibir la formación como una experiencia educativa que les sea válida para la enseñanza real y diaria de sus materias específicas y para el aprendizaje de sus estudiantes (Gunstone et al., 1993).

- Los profesores de ciencias con experiencia que participan en cursos de formación suelen provenir de contextos muy diferentes, estar en etapas profesionales y ciclos vitales distintos y tener unas motivaciones y expectativas muy variadas de la formación.

- Los profesores con experiencia tienen distintas orientaciones docentes. Hay que hacer análisis críticos, pero huir de reduccionismos, porque los profesores pueden ser excelentes utilizando estilos y estrategias docentes muy diferentes (Tobin y Garnett, 1988; Wildy y Wallace, 1995).

- Los profesores de ciencias a través de sus años de experiencia construyen modelos de actuación docente muy estables y consolidados, que evolucionan y cambian muy lentamente. (Appleton y Asoko, 1996).

- El desarrollo profesional y el cambio didáctico de los profesores puede ser facilitado, pero no impuesto (Mitchel, 1994). Es fundamental la motivación, la disponibilidad y el compromiso de los profesores en su propio desarrollo profesional.
- 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):
 - * Los antecedentes formativos del profesorado desde su etapa escolar hasta la universidad (Huïbregtse, Korthagen y Wubbels, 1994).
 - * Los bajos conocimientos científicos y didácticos (Thomas y Gilbert, 1989; Tobin y Espinet, 1989). Algunos programas se centran en la mejora de los contenidos científicos y su transformación para ser enseñados. En el modelo de Howe y Stubbs (1997) trabajan en colaboración investigadores científicos y profesores para seleccionar, transformar, aplicar y evaluar conocimientos científicos actuales a las aulas.
 - * Las directrices curriculares y la presión ejercida por las demandas de los padres y estudiantes (Bol y Strage, 1996).
 - * La contradicción entre las concepciones conscientes, las concepciones implícitas y las prácticas tradicionales (Lyons, Freitag y Hewson, 1997), que a menudo se asocian a lo que Tobin y McRobbie (1996) denominan mitos culturales de los profesores de ciencias de secundaria: el de la transmisión de conocimientos del profesor a los alumnos, el de la eficacia, el del rigor y el de la preparación para los exámenes.
 - * La idea tan extendida entre el profesorado de que la práctica docente es el factor que más influye en su formación, y que la formación docente juega un papel irrelevante para su práctica diaria en el aula (Martínez, García y Mondelo, 1993; Pavón, 1996; Roth, 1998).
 - * La falta de materiales curriculares adaptados a las nuevas estrategias (Martens, 1992).
 - * Los roles adoptados por los formadores de profesores -transmisores- y por los propios profesores -consumidores de conocimiento-.
- El desarrollo profesional es un proceso a largo plazo que requiere mucho tiempo, muchos apoyos y esfuerzos sostenidos para que el profesor pueda observar la mejora en el aprendizaje de los estudiantes. En caso contrario los obstáculos y limitaciones pueden hacer volver a las prácticas tradicionales (Marx, Freeman, Krajcik y Blumenfeld, 1998).

- El desarrollo de los profesores de ciencias con experiencia es un proceso de aprendizaje de adultos que tiene tres componentes: el profesional, el personal y el social (Bell y Gilbert, 1994). Este modelo es el que nos va a servir de referencia para ordenar algunos resultados de las investigaciones.

a) Desarrollo social que implica ver el aislamiento como problemático y valorar el trabajo en colaboración. Una dificultad para el desarrollo profesional de los profesores es la soledad en la que muchos de ellos se encuentran para resolver los numerosos problemas que se presentan en cada clase. El programa de formación tiene que considerar al profesor integrante de un grupo (Centro, Departamento, etc), aportar experiencias de desarrollo colectivo y fomentar la colaboración con el resto de los profesores (Briscoe y Peters, 1997). Roth (1998) aborda una experiencia de desarrollo profesional cooperativo en el aula y defiende la coenseñanza como un poderoso método de formación para los profesores de ciencias con experiencia.

La tutoría de prácticas de enseñanza se ha mostrado como un buen elemento formativo en el propio Centro para los profesores de ciencias con experiencia que ejercen como tutores de prácticas (Abell y Roth, 1994; Heikkinen, McDevitt y Stone, 1992). Tener estudiantes para profesores en prácticas puede significar para los tutores trabajar en colaboración con otros compañeros del Centro, con profesores universitarios y con profesores en formación, elaborar proyectos docentes conjuntos, analizar situaciones de enseñanza y aprendizaje de las ciencias en el contexto real de la clase, y otras muchas actividades que ayudan al profesor de un Centro a salir del aislamiento y a trabajar en colaboración.

b) Desarrollo personal que afecta a los sentimientos del profesor e implica:

- * Aceptar como problemáticos algunos aspectos de la propia enseñanza y tomar conciencia de la dificultad de cambiar las concepciones y prácticas de aula (Smith y Neale, 1991).
- * Tratar los riesgos y las dificultades personales que supone realizar cambios: miedo a perder control, conocer y planificar nuevos contenidos, relación con los estudiantes, evaluación, etc.
- * Aumentar los sentimientos de confianza en sí mismos como profesores de ciencias (Baker y Saul, 1994). Un efecto que comienza a considerarse es que los estudios de caso pueden abrir la “caja negra”, hacer a los profesores copartícipes en la investigación, y aumentar la autoestima en su propio trabajo. La publicación de los informes también puede fomentar el interés y la motivación por el desarrollo profesional (Mitchel, 1994).

c) Desarrollo profesional, que afecta tanto a los conocimientos y concepciones como a la práctica del aula. El profesor reconstruye sus concepciones y conocimientos profesionales integrando las nuevas ideas a través de la reflexión de la práctica de la enseñanza de las ciencias en contextos concretos. Los programas con fundamento constructivista parten del análisis previo de las concepciones y conocimientos de los profesores y/o de la práctica del aula sobre la enseñanza y aprendizaje de un tema, al objeto de analizar y reflexionar conjuntamente sobre los mismos. La metodología utilizada combina varias estrategias - cuestionario, grabaciones en video de clases, entrevista individual en profundidad, entrevista sobre ejemplos, anécdotas y episodios de clase, etc. - .

- * Hay programas que parten de los problemas reales del aula y los profesores llevan preparadas al curso las dificultades e incidencias de aprendizaje de sus alumnos sobre un tema determinado y las estrategias de enseñanza que aplican en sus clases, que son posteriormente analizadas y discutidas con sus colegas (Neale et al.,1990; Smith y Neale, 1991). Watts, Alsop, Gould y Walsh (1997) analizan el desarrollo de los profesores a partir de las preguntas en clase de los alumnos. Van Driel, Verloop y De Vos (1998) destacan la necesidad de centrarse y profundizar en como los profesores transforman los contenidos de temas concretos - en su caso el equilibrio químico - en conocimiento didáctico del contenido.
- * Una estrategia utilizada es el cuestionamiento de las concepciones y estrategias tradicionales, mostrando sus inconvenientes. Sin embargo el profesor no cambia fácilmente sus concepciones (Cronin-Jones, 1991), especialmente si se muestra satisfecho con ellas y hay coherencia entre sus metas, sus concepciones, su conducta docente y la percepción de los estudiantes (McRobbie y Tobin, 1995). Este es el caso del profesor estudiado por Ballenilla (1992) que sigue en el aula un modelo didáctico tradicional, y que cuenta con el apoyo de sus alumnos que lo percibían como competente, porque sus explicaciones eran buenas y ordenadas.
- * La insatisfacción sería una condición necesaria, pero no suficiente para el cambio didáctico ya que el profesor sólo cambiará su teoría personal cuando la perciba irrelevante para su propia práctica y disponga de nuevas estrategias que les resulten útiles para la práctica de la enseñanza y para el progreso de los estudiantes. En los cursos de formación los profesores necesitan reflexionar sobre nuevas ideas y estrategias de enseñanza más que fuentes documentales (Bell y Gilbert, 1994). Los cambios se producen por la discusión y colaboración entre los participantes y no por la transmisión de nuevos modelos por los expertos (Garret, Satterly, Gil y Martínez, 1990).

- * La utilización de las metáforas ya hemos indicado más extensamente que son una herramienta para conocer las concepciones y roles de los profesores y para estimular el cambio docente de los profesores con experiencia (Hand y Treagust, 1997). Mitchener y Anderson (1989), en un curso sobre ciencia tecnología y sociedad, señalan que los profesores de secundaria que se perciben así mismos como educadores y como mediadores del aprendizaje, están más motivados por los cursos de formación y más dispuestos a aplicar en el aula las innovaciones curriculares. En cambio los profesores que se ven a sí mismos más como científicos que como educadores rechazan el curso, y piensan que la presentación de los contenidos son el principal objetivo de la enseñanza. El proceso de cambio es particularmente difícil cuando los referentes de los profesores son mitos culturales, con sus creencias y metáforas asociadas (Briscoe, 1993). Cuando cambian los objetivos generales, cambian los roles asociados al profesor y a los estudiantes y se producen cambios significativos en las acciones del profesor y de los estudiantes (Tobin y Tippins, 1996). También los dilemas que se plantea cada profesor pueden servir como elemento de reflexión durante la formación (Brickhouse, 1993).

- * A través de los estudios de caso de los propios profesores participantes se estudian los mecanismos de la práctica del aula (Lyons et al., 1997; Roth, 1998) y su relación con las concepciones y el conocimiento proposicional de los profesores. También las clases de profesores considerados excelentes de su mismo nivel educativo se utilizan en la formación permanente: a) Durante las sesiones del curso los profesores participantes visionan lecciones grabadas en video de profesores expertos sobre la enseñanza del tema, y las comparan con las soluciones que ellos mismos han adoptado en el aula, reflexionando y analizando las distintas estrategias didácticas empleadas, para finalmente elaborar de forma individual y conjunta actividades y materiales de enseñanza que puedan resultar útiles para sus propias clases. b) En el programa de Luft y Pizzini (1998) los profesores participantes preparan las clases con profesores considerados expertos en la enseñanza de las ciencias, asisten en pequeños grupos a las clases de los expertos, y finalmente analizan conjuntamente el desarrollo de las clases.

- * Un aspecto destacado es la planificación de unidades didácticas y nuevos materiales y la puesta en práctica por cada profesor en su aula de las estrategias y los materiales curriculares elaborados (Marx et al., 1998; Porlán y García, 1992), que posteriormente son discutidos y evaluados con el resto de los profesores participantes.

- * La participación en proyectos de investigación es también un elemento

destacado en el desarrollo profesional del profesorado. Cachapuz (1995) señala que para que la investigación repercuta en la práctica habrá que pasar de una investigación para y sobre los profesores de ciencias a una investigación por y con los profesores de ciencias realizada en equipos interdisciplinarios e internivelares. En la realizada para/sobre los profesores hay un enfoque analítico de los factores, el investigador está desligado del profesor, la teoría determina la práctica, el profesor es un mediador y consumidor del conocimiento producido por otros, y hay una escasa articulación entre investigación, formación e innovación. En cambio en la investigación realizada con/por los profesores el objeto de estudio es el proceso de enseñanza/aprendizaje, las componentes están más integradas, el profesor se considera un coproductor de conocimiento y agente de cambio, y hay una elevada articulación entre investigación, formación e innovación.

- * La coherencia entre lo que se propugna en el curso de formación y la metodología realmente utilizada es un aspecto clave para la eficacia de la formación permanente (Rivero, Porlán y Martín, 1998).

3.4. La formación del profesorado universitario

De las dos funciones básicas del profesorado universitario, la docencia y la investigación, es la segunda la que al profesor le reporta los mayores beneficios para su promoción, prestigio académico y para su economía. En este contexto, no es de extrañar que, con la excepción de las áreas directamente relacionadas con la educación, la docencia tenga menos atractivos que la investigación en la Universidad y que exista poca preocupación por la formación docente. Además, la creencia todavía dominante en muchos profesores universitarios es que para ser profesor es suficiente con tener conocimientos de la materia a enseñar, y llegar a ser un buen profesor se asocia con la experiencia, el sentido común y las cualidades personales, desarrollados a través de un proceso autodidacta de ensayo y error. Recientemente Dearing (1998) autor del informe sobre la educación universitaria en Gran Bretaña señalaba que “La paradoja es que para ser profesor de primaria o secundaria hay que haber pasado por años de aprendizaje en el oficio de enseñar, mientras en las universidades, tan pronto como uno ha conseguido graduarse puede ponerse a dar clases. Esto tiene que cambiar.”

En general la didáctica de las ciencias es considerada un área de segundo orden por los Departamentos clásicos de ciencias de las Universidades y son numerosas las barreras y prejuicios que hay que vencer. A pesar de estas dificultades, en algunas Universidades se están iniciando experiencias de formación didáctica para el profesorado universitario, tanto generales como en los propios departamentos, que pueden servir de referencia para el futuro.

REFLEXIONES FINALES

1. Aunque el constructivismo es un referente para la investigación del profesorado de ciencias, no puede hablarse de un marco teórico único, y también se trabaja con otros paradigmas que aportan perspectivas complementarias para comprender mejor la complejidad de los procesos de aprendizaje y cambio en el profesorado de ciencias.

2. Cada vez más la formación del profesorado es un proceso continuo e inacabado. El reto de la formación es dotar al profesorado de los criterios, del pensamiento creativo y crítico y de las herramientas que le permita continuar formándose durante toda su vida profesional.

3. Existen serios obstáculos que dificultan la puesta en práctica de los resultados de la investigación en los programas de formación del profesorado.

* Aún es una realidad el poco valor social que se da al conocimiento profesional de los profesores, y no suele valorarse el trabajo que hay detrás de una buena enseñanza (Mumby y Russell, 1998).

* Los modelos de formación sumativos, basados fundamentalmente en el conocimiento de los contenidos son todavía una realidad muy extendida.

* Los problemas institucionales y organizativos. Aún en los casos en que el modelo no es sumativo hay dificultades para coordinar a los Departamentos y profesores universitarios dedicados a los contenidos científicos y a la didáctica de las ciencias. Más problemática es aún la escasa relación entre los centros universitarios y los no universitarios, escenario en el que los profesores adquieren una parte importante de su conocimiento profesional.

* La incoherencia en los centros de formación entre la metodología utilizada y la que propugnan. El mensaje que a veces se transmite de: "haz lo que digo y no lo que hago", invalida cualquier programa.

4. ¿Quién forma a los formadores?. Sequeira et al., (1993) señalan que en ocasiones los formadores de profesores no estamos suficientemente preparados para las estrategias por las que aboga la investigación. Los formadores de profesores tenemos que reflexionar y analizar nuestra propia docencia, siendo conscientes de que también estamos sometidos a un proceso de aprendizaje, de cambio de roles, creencias y actitudes, y de desarrollo profesional dentro de nuestro campo (Hardy y Kirkwood, 1994) y que intentar enfoques innovadores en instituciones tradicionales implica riesgos personales y profesionales (Ebenezer y Hay, 1995).

5. Es posible revisar lo que sabemos sobre la formación del profesorado, pero ¿y lo que no sabemos?. Tenemos que hacer el esfuerzo de plantearnos nuevas preguntas a nuevos problemas (la interculturalidad, preparar a profesores para enseñar ciencias a alumnos con necesidades educativas especiales, el papel de Internet y de la sociedad global de la información en la formación del profesorado, etc.)

REFERENCIAS

- Abd-El-Khalick, F. y BouJaoude, S. (1997). An exploratory study of the knowledge base for science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(7), 673-699.
- Abell, S.K. y Bryan, L.A. (1997). Reconceptualizing the elementary science methods course using a reflection orientation. *Journal of Science Teacher Education*, 8(3), 153-166.
- Abell, S.K. y Roth, M. (1994). Constructing science teaching in the elementary school: The socialization of a science enthusiast student teacher. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(1), 77-90.
- Abell, S.K. y Roth, M. (1995). Reflections on a fifth-grade life science lesson: Making sense of children's understanding of scientific models. *International Journal of Science Education*, 17(1), 59-74.
- Adams, P.E. y Krockover, G.H. (1997). Beginning science teacher cognition and its origins in the preservice secondary science teacher program. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(6), 633-653.
- Anderson, C.W. (1989). Policy implications of research on science teaching and teachers' knowledge. In *Competing Vision of Teacher Knowledge*, East Lansing National Center for Research on Teacher Education, 1-28.
- Anderson, M.A. y Volkmann, M.J. (1998). Creating professional identity: dilemmas and metaphors of a first-years chemistry teacher. *Science Education*, 82(3), 293-310.
- Anderson, R.D. y Mitchener, C.P. (1994). Research on science teacher education. In D. Gabel (ed.): *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Mcmillan. New York. 3-44.
- 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), 165-180.
- Azcárate, P.; Martín, R. y Porlán, R. (1998). Una perspectiva epistemológica para analizar y transformar la formación inicial del profesorado. En E. Banet y A. de Pro (eds.): *Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias*. vol.I. DM, Murcia. 171-177.
- 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), 163-182.

- Baker, L. y Saul, W. (1994). Considering science and language arts connections: a study of teacher cognition. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), 1023-1037.
- Ballenilla, F. (1992). El cambio de modelo didáctico, un proceso complejo. *Investigación en la Escuela*, 18, 43-68.
- Bell, B. y Gilbert, J. (1994). Teacher development as professional, personal and social development. *Teaching & Teacher Education*, 10(5), 483-497.
- Bol, L. y Strage, A. (1996). The contradiction between teachers' instructional goals and their assessment practices in high school biology courses. *Science Education*, 80(2), 145-163.
- Brickhouse, N.W. (1993). What counts as successful instruction? An account of a teacher's self-assessment. *Science Education*, 77(3), 115-129.
- Briscoe, C. (1993). Using cognitive referents in making sense of teaching: A chemistry teacher's struggle to change assesment practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 971-987.
- Briscoe, C. y Peters, J. (1997). Teacher collaboration across and within schools: supporting individual change in elementary science teaching. *Science Education*, 81(1), 51-65.
- Busquet, J. (1974). ¿Pueden fabricarse profesores? En J. Busquet (ed.): *La problemática de las reformas educativas*. INCIE. Madrid.
- Cachapuz, A. (1995). Da investigação sobre e para professores à investigação com e pelos professores de Ciências. En L.J. Blanco y V. Mellado (eds): *la Formación del Profesorado de Ciencias y Matemáticas en España y Portugal*. Diputación Provincial. Badajoz. 243-254.
- Cannon, J.R. y Scharmann, L.C. (1996). Influence of cooperative early field experience on preservice elementary teachers' science self efficacy. *Science Education*, 80(4), 419-436.
- Clarke, A. (1994). Student-teacher reflection: developing and defining a practice that is uniquely one's own. *International Journal of Science Education*, 16(5), 497-509.
- Clermont, CH. P.; Borko. H. y Krajcik, J.S. (1994). Comparative study of the pedagogical content knowledge of experienced and novice chemical demonstrators. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(4), 419-441.
- Collins, A. (1993). Performance-based assessment of biology teachers: Promises and pitfalls. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), 1103-1120.
- Cronin-Jones, L. L. (1991). Science teaching beliefs and their influence on curriculum implementation: Two case studies. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3),235-250.
- Dearing, D. (1998). Entrevista en *El País. Educación*. 26 de Mayo de 1998. p.35.
- Ebenezer, J.V. y Hay, A. (1995). Preservice teachers' meaning-making in science instruction: a case study in Manitoba. *International Journal of Science Education*, 17(1), 93-105.
- Furió, C. (1994). Tendencias actuales en la formación del profesorado de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 188-199.

- Furió, 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, 7-21.
- Garret, R.M.; Satterly, D.; Gil, D. y Martínez, J. (1990). Turning exercises into problems: An experiments study with teachers in trainig. *International Journal of Science Education*, 12(1), 1-12.
- Geddis, A.N. (1993). Transforming subject-matter knowledge: The role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching. *International Journal of Science Education*, 15(6), 673-683.
- 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), 25-45.
- Gess-Newsome, J. y Lederman, N.G. (1995). Biology teachers' perceptions of subject matter estructura and its relationship to classroom practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(3), 301-325.
- Gil, D. (1993). Contribucion de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.
- Gil, D. (1993b). Aportaciones de la didáctica de las ciencias a la formación del profesorado. En L. Montero y J.M. Vez (eds.): *Las didácticas específicas en la formación del profesorado*. Tórculo. Santiago. 277-293.
- Gunstone, R.F. y Northfied, J.R. (1994). Metacognition and learning to teach. *International Journal of Science Education*, 16(5), 523-537.
- Gunstone, R.F.; Slattery, M.; Bair, J.R. y Northfield, J.R. (1993). A case study exploration of development in preservice science teachers. *Science Education*, 77(1), 47-73.
- Hacker, R.G. (1988). A model for the professional development of student teachers of science. *International Journal of Science Education*, 10(2), 203-210.
- Hand, B. y Treagust, D.F. (1997). Monitoring teachers' referents for classroom practice using metaphors. *International Journal of Science Education*, 19(2), 183-192.
- Hardy, T. y Kirkwood, V. (1994). Towards creating effective learning environments for science teachers: the role of science educators in the tertiary setting. *International Journal of Science Education*, 16(2), 231-251.
- 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), 939-964.
- Heikkinen, H.W. (1992). Classroom teachers as agents of reform in university teacher preparation programs. *Journal of Teacher Education*, 43(4), 283-289.
- Hewson, P.W. (1993). Constructivism and reflective practice in science teacher education. In M.L. Montero y J.M. Vez (eds.): *Las didácticas específicas en la formación del profesorado*. Tórculo. Santiago. 259-275.

- Hewson, P.W. y Hewson, M. G. (1989). Analysis and use of a task for identifying conceptions of teaching science. *Journal of Education for Teaching*, 15(3), 191-209.
- Howe, A.C. y Stubbs, H.S. (1997). Empowering science teachers: a model for professional development. *Journal of Science Teacher Education*, 8(3), 167-182.
- Huibregtse, I.; Korthagen, F. y Wubbels, T. (1994). Physics teachers' conceptions of learning, teaching and professional development. *International Journal of Science Education*, 16(5), 539-561.
- Huinker, D. y Madison, S.K. (1997). Preparing efficacious elementary teachers in science and mathematics: the influence of methods course. *Journal of Science Teacher Education*, 8(2), 107-126.
- 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), 331-359.
- Lederman, N.G. y Gess-Newsome, J. (1991). Metamorphosis, adaptation, or evolution? Preservice science teachers' concerns and perceptions of teaching and planning. *Science Education*, 75(4), 443-456.
- Loughram, J. (1994). Bridging the gap: an analysis of the needs of second-years science teachers. *Science Education*, 78(4), 365-386.
- Luft, J.A. y Pizzini, E.L. (1998). The demonstration classroom in-service: Changes in the classroom. *Science Education*, 82(2), 147-168.
- 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), 239-254.
- Marcelo, C. (1987). *El pensamiento del profesor*. Barcelona. CEAC.
- Marcelo, C. (1992). *Aprender a enseñar: Un estudio sobre el proceso de socialización de profesores principiantes*. CIDE-MEC. Madrid.
- Martens, M.L. (1992). Inhibitors to implementing a problem-solving approach to teaching elementary science: case study of a teacher in change. *School Science and Mathematics*, 92(3), 150-156.
- Martín-Díaz, M.J. y Kempa, R.F. (1991). Los alumnos prefieren diferentes estrategias didácticas de la enseñanza de las ciencias en función de sus características motivacionales. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 59-68.
- Martínez, C., García, S. y Mondelo, M. (1993). Las ideas de los profesores de ciencias sobre la formación docente. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 26-32.
- Marx, R.W., Freeman, J.G., Krajcik, J.S. y Blumenfeld, P.C. (1998). Professional development of science education. En B.J. Fraser y K. Tobin (eds.): *International Handbook of Science Education*., Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 667-680.
- 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), 398-302.

- Mellado, V. (1998a). Preservice teachers' classroom practice and their conceptions of the nature of science. En B.J. Fraser y K. Tobin (eds.): *International Handbook of Science Education*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 1093-1110.
- Mellado, V. (1998b). La investigación sobre el profesorado de ciencias experimentales. En E. Banet y A. de Pro (eds.): *Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias*. vol.I. DM. Murcia. 272-283.
- Mellado, V., Ruiz, C. y Blanco, L. (1997). Aprender a enseñar ciencias experimentales en la formación inicial de maestros. *Bordón*, 49(3), 275-288.
- Mitchel, I. (1994). School-tertiary collaboration: a long-term view. *International Journal of Science Education*, 16(5), 599-612.
- Mitchener, C.P. y Anderson, R. D. (1989). Teachers' perspective: developing and implementing an STS curriculum. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(4), 351-369.
- Mumby, H. y Russell, T. (1998). Epistemology and context in research on learning to teach. En B.J. Fraser y K. Tobin (eds.): *International Handbook of Science Education*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 643-665.
- Neale, D.C.; Smith, D.C. y Johnson, V.G. (1990). Implementing conceptual change teaching in primary science. *The Elementary School Journal*, 91(2), 109-131.
- Osborne, M.D. (1998). Teacher as knower and learner: reflections on situated knowledge in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(4), 427-439.
- Pavón, F. (1996). *Conocimiento profesional de los profesores de física y química de Bachillerato principiantes y con experiencia, en la provincia de Cádiz*. Tesis Doctoral inédita. Universidad de Sevilla.
- Peterson, R.F. y Treagust, D.F. (1998). Learning to teach primary science through problem-based learning. *Science Education*, 82(2), 215-237.
- 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), 261-278.
- Porlán, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 175-185.
- Porlán, R.; Azcárate, P.; Martín, R.; Martín, J. y Rivero, A. (1996). Conocimiento profesional deseable y profesores innovadores: fundamentos y principios formativos. *Investigación en la Escuela*, 29, 23-38.
- Porlán, R. y García, M.S. (1992). The change of teachers' conceptions: a strategy for inservice science teachers' education. *Teaching and Teacher Education*, 8(5/6), 537-548.
- 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), 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), 211-227.
- Powell, R. (1994). From field science to classroom science: A case study constrained emergence in a second-career science teacher. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(3), 273-291.
- Pro, A.de (1995). ¿Formación de profesores de secundaria vs. profesor tutor de prácticas de secundaria? En L. Blanco y V. Mellado (eds), *La Formación del Profesorado de Ciencias y Matemáticas en España y Portugal*. Diputación Provincial. Badajoz. 375-398.
- Rivero, A.; Porlán, R. y Martín, J. (1998). Una propuesta de formación permanente de profesores de ciencias innovadores. En E. Banet y A. de Pro (eds.): *Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias*. vol.I. DM. 304-315.
- Roth, W-M., (1998). Science teaching as knowledgability: a case study of knowing and learning during coteaching. *Science Education*, 82(3), 357-377.
- Sanders, L.R.; Borko, H.y Lockard, J.D. (1993). Secondary science teachers' knowledge base when teaching science courses in and out their area of certification. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), 723-736.
- Schön, D. (1983). *The reflective practitioner*. Basic Book. New York.
- Sequeira, M.; Leite, L. y Duarte, M.C. (1993). Portuguese science teachers' education. attitudes, and practice relative to the issue of alternative conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 845-856.
- Schoon, K.J. y Sandoval, P.A. (1997). The seamless field experience model for secondary science teacher preparation. *Journal of Science Teacher Education*, 8(2), 127-140.
- Shroyer, M.G., Wrigh, E.L. y Ramey-Gassert, L. (1996). An innovative model for collaborative reform in elementary school science teaching. *Journal of Science Teacher Education*, 7(3), 151-168.
- Shulman, L.S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L.S. (1993). Renewing the pedagogy of teacher education: the impact of subject-specific conceptions of teaching. En L. Montero y J.M. Vez (eds.): *Las Didácticas Específicas en la Formación del Profesorado*. Tórculo. Santiago. 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*, 2, 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 Teaching*, 30(2), 111-126.
- Stoddart, T.; Connell, M.; Stofflett, R. y Peck, D. (1993). Reconstructing elementary teacher candidates' understanding of math and science content. *Teaching and Teacher Education*, 9(3), 229-241.

- Summers, M. (1992). Improving primary school teachers' understanding of science concept-theory into practice. *International Journal of Science Education*, 14(1), 25-40.
- Thomas, M.F. y Gilbert, J.K. (1989). A model for constructivist initial physics teacher education. *International Journal of Science Education*, 11(1), 35-47.
- Thorley, N.R. y Stofflett, R.T. (1996). Representation of the conceptual change model in science teacher education. *Science Education*, 80(3), 317-339.
- Tobin, K. (1993). Referents for making sense of science teaching. *International Journal of Science Education*, 15(3), 241-254.
- Tobin, K. (1998). Issues and trends in the teaching of science. En B.J. Fraser y K. Tobin (eds.): *International Handbook of Science Education*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 129-151.
- Tobin, K. y Espinet, M. (1989). Impediments to change: applications of coaching in high school science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(2), 105-120.
- Tobin, K. y Garnett, P. (1988). Exemplary practice in science classrooms. *Science Education*, 72(2), 197-208.
- Tobin, K. y Fraser, B.J. (1990). What does it mean to be an exemplary science teacher? *Journal of Research in Science Teaching*, 27(1), 3-25.
- Tobin, K. y McRobbie, C.J. (1996). Cultural myths and constraints to the enacted science curriculum. *Science Education*, 80(2), 223-241.
- Tobin, K. y McRobbie, C.J. (1997). Beliefs about the nature of science and enacted science curriculum. *Science and Education*, 6(4), 355-371.
- Tobin K. y Tippins, D.J. (1996). Metaphors as seeds for conceptual change in the improvement of science teaching. *Science Education*, 80(6), 711-730.
- Tobin, K.; Tippins, D.J. y Gallard, A.J. (1994). Research on instructional strategies for teaching science. In D.L. Gabel (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, MacMillan P.C., New York, 45-93.
- Van Driel, J.H.; Verloop, N. y De Vos, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673-695.
- Watts, M.; Alsop, S.; Gould, G. y Walsh, A. (1997). Prompting teachers' constructive reflection: pupils' questions as critical incidents. *International Journal of Science Education*, 19(9), 1025-1037.
- Wildy, H. y Wallace, J. (1995). Understanding teaching or teaching for understanding: an alternative frameworks for science classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(2), 143-156.