

EXPERIENCIAS DE FORMACIÓN DE PROFESORES DE CIENCIAS LATINOAMERICANOS SOBRE MODELOS Y MODELAJE¹

JUSTI, ROSÁRIA¹; CHAMIZO GUERRERO, JOSÉ ANTONIO²; GARCÍA FRANCO, ALEJANDRA³ y FIGUEIRÊDO, KRISTIANNE LINA⁴

¹ Departamento de Química e Programa de Pós-graduação em Educação. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil

² Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México

³ Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa, México

⁴ Departamento de Química. Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

rjusti@ufmg.br

jchamizo@unam.mx

agarcia@correo.cua.uam.mx

kristianne@iceb.ufop.br

Resumen. Este trabajo tiene tres objetivos: i) presentar una propuesta de formación continua que se estructura en tres marcos teóricos: un modelo de razonamiento pedagógico, la investigación acción, y la práctica de actividades de colaboración destinadas a desarrollar el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) de profesores acerca de modelos y modelaje, ii) mostrar cómo la integración de los marcos teóricos apoyó la estructuración de las acciones en el proceso de formación, y iii) examinar la influencia de lo anterior en el desarrollo del CPC de los profesores acerca de modelos y de modelaje. La propuesta de formación ha sido desarrollada en el marco de una perspectiva crítica y reflexiva, que considera a los profesores como aprendices, y con una estrecha colaboración entre los profesores y el especialista, es decir, una situación en la que ambos participantes juegan un papel igualmente importante en el proceso de aprendizaje a través del intercambio mutuo de sus experiencias. La propuesta se desarrolló con dos grupos diferentes de profesores de ciencias en Brasil y México. Los resultados mostraron una tendencia de cambios efectivos en las prácticas de los maestros participantes.

Palabras clave. Formación de profesores, CPC, modelaje.

Experiences concerning the Development of Latin American Science Teachers' Knowledge of Models and Modelling

Summary. This paper has three aims: (i) presenting a proposal for continuous professional development which was built from three theoretical backgrounds: a pedagogical reasoning model, a collaborative action-research, and a teachers' practice aiming at favouring the development of teachers' pedagogical content knowledge (PCK) on models and modelling; (ii) showing how such theoretical backgrounds were integrated in order to support the actions in the projects; and (iii) discussing their role in the development of teachers' PCK of models and modelling. This proposal was developed from a critical-reflective approach, which main premises were the conception of teachers as learners, and a real collaboration between teachers and experts, i.e., an interaction in which both participants play equally relevant roles and learn from the reciprocal sharing of their experiences. The proposal was developed with two different groups of Science teachers in Brazil and Mexico. The analysis of the results showed a tendency to effective changes in teachers' practices.

Keywords. Teachers' education, PCK, modelling

INTRODUCCIÓN

Los modelos y el modelaje en la ciencia y en la enseñanza de la ciencia

Es ampliamente reconocido el papel preponderante que juegan los modelos en la construcción de la ciencia y los distintos roles que éstos pueden tener (Justi y Gil-

bert, 2002b). De acuerdo con Gilbert y Boulter (1998), la producción y uso de los modelos es una de las características de la ciencia y, de hecho, el modelaje puede considerarse como la esencia del proceso dinámico y no lineal mediante el que se desarrolla el conocimiento científico (Vosniadou, 2002). El uso de modelos y mo-

delaje en las clases de ciencias puede favorecer el logro de los propósitos de la educación científica según Hodson (1992): aprender los modelos de la ciencia; aprender sobre la forma en la que se construyen estos modelos; y aprender sobre el papel que los modelos juegan en la diseminación y acreditación del conocimiento científico (Justi y Gilbert, 2002a).

Los modelos se reconocen como centrales en la construcción de la química (Suckling, et al., 1978), proceso que se lleva a cabo con una lógica particular, mediante un lenguaje específico y también bajo ciertos principios filosóficos (Chamizo e Izquierdo, 2007). Por ello, es importante que los profesores que enseñan química puedan enseñar también cómo se construye ésta, cómo se transforma y cómo se comunica dentro de nuestra sociedad. Para todos estos propósitos el uso de los modelos y el modelaje son indispensables pues forman parte central del conocimiento químico y de la forma en la que éste se construye (Chamizo 2009).

Si los modelos son tan importantes en la construcción y comprensión del conocimiento científico, deberían ser igualmente importantes en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la ciencia, para lo cual sería necesario que los profesores contaran con un conocimiento tanto de los modelos en la ciencia como del proceso de modelaje.

Formación docente para la enseñanza de modelos y modelaje

La formación docente ha adquirido relevancia como uno de los factores más importantes a considerar dentro de cualquier proceso de mejora educativa. La transformación de la noción de aprendizaje, hacia un modelo basado en la perspectiva constructivista, y los cambios curriculares que requieren promover una visión humana de la naturaleza de la ciencia y del trabajo científico (SEP, 2006; NRC, 1996) presentan un desafío importante para la formación docente. Se espera que los docentes asuman su papel de manera completamente diferente a la de la enseñanza tradicional (Chamizo, 2004), pero éstos suelen tener resistencias al cambio (Bordieu, 1979), y se ha mostrado que suelen filtrar la información recibida sobre nuevos métodos de enseñanza para adaptarla a su contexto, con pobres resultados para el aprendizaje (Marx, Freeman, Krajcik y Blumenfeld, 1998; Supovitz y Turner, 2000) y para el desarrollo de habilidades de pensamiento científico de sus alumnos (Chamizo e Izquierdo, 2007). El uso de aproximaciones pedagógicas novedosas, como los modelos y el modelaje, pone demandas nuevas sobre los docentes e implica que éstos utilicen formas de enseñar que sean congruentes, tanto con la visión de la naturaleza de la ciencia, como con las aproximaciones pedagógicas señaladas. La propuesta de formación que aquí se presenta muestra cómo se pueden integrar marcos teóricos sobre la formación docente con el desarrollo del conocimiento específico sobre modelos y modelaje en un proceso de reflexión que privilegia el cambio en la práctica docente.

Esta postura teórico-conceptual de orientación crítica y reflexiva ha sido identificada por diversos estudios como la más susceptible de favorecer un cambio en la práctica docente (Silva y Araújo, 2005). De acuerdo con ésta, se abandona la idea tradicional de formación de maestros mediante la adquisición de conocimientos específicos, conocimientos didácticos y aspectos psicopedagógicos descontextualizados de los docentes y se asume que la formación consiste en construir conocimientos sobre la práctica docente a partir de la reflexión crítica sobre ésta. Esta postura reflexiva requiere que el profesor no sólo conozca profundamente los contenidos que desea enseñar sino también que se pueda explicar a sí mismo, y a los demás, tanto sus prácticas escolares como las decisiones que toma alrededor de ellas, y pueda reconocer si éstas son las mejores para promover el aprendizaje de sus alumnos (Silva y Araújo, 2005).

Desde esta perspectiva, consideramos conveniente la participación de maestros en un ambiente de aprendizaje constructivista, lo cual significa una participación activa de los profesores en su formación, en la que exponen y discuten sus ideas y conocimientos previos, analizan y reflexionan críticamente su práctica en busca de cambios y mejoras en ella a través de la construcción consciente de nuevos conocimientos basados en su experiencia y creencias.

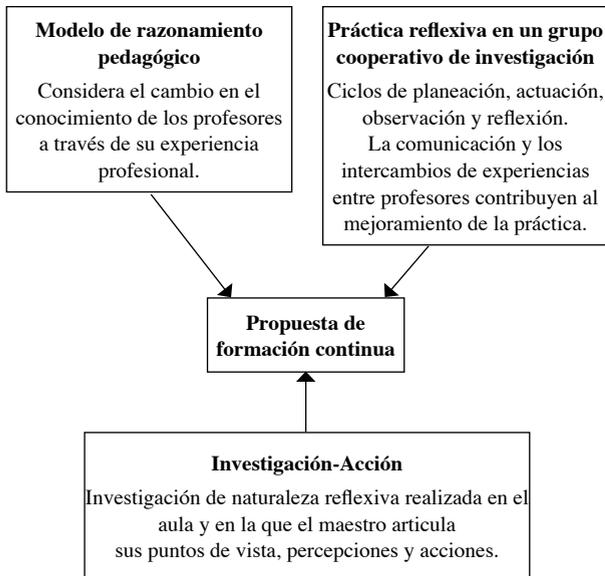
Como ya ha analizado Shulman (1986, 1987), los conocimientos de los profesores pueden referirse a distintos aspectos (curricular, de contenido, contextual, entre otros); sin embargo, de acuerdo con el enfoque de este trabajo, centrado en la enseñanza de las ciencias, el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) es especialmente importante. La propuesta de Shulman, que está de acuerdo con la de otros autores, como Magnusson, Krajcik y Borko (1999), Borko y Putnam (1996) y Gess-Newsome (2003), considera que el CPC tiene dos componentes:

«Formas de representar y formular los contenidos para que puedan ser entendidos por otros» y «la comprensión de los factores que contribuyen para que el aprendizaje de un tema sea fácil o difícil» (Shulman, 1986, p. 9).

El CPC es el principal mediador entre lo que el maestro sabe y lo que moviliza en el aula y cómo lo hace. Así, es un conocimiento complejo, resultado de una transformación de los conocimientos de otras áreas, que, a su vez, están influidos por las creencias de los profesores, el contexto en que se desarrollan y sus experiencias personales (formación, reflexión y práctica).

Para construir este escenario, que alienta a los maestros a construir su CPC, entender la práctica y reflexionar sobre nuevas estrategias de enseñanza, en esta propuesta se integraron tres marcos teóricos: de razonamiento pedagógico, de investigación-acción cooperativa y de práctica reflexiva. En la figura 1 se presenta un diagrama en el que se da cuenta de los tres referentes teóricos que dieron origen a la propuesta de formación continua que se utilizó en las investigaciones que aquí se presentan.

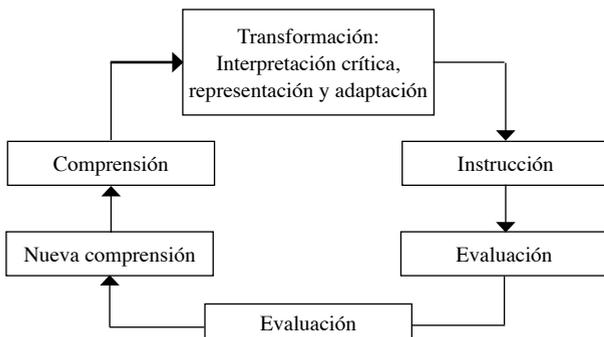
Figura 1
Referentes teóricos del proceso de formación.



Marcos teóricos para el desarrollo de la propuesta

Shulman y sus colegas sugirieron el modelo de razonamiento pedagógico con el que explican el cambio en el conocimiento de los maestros a través de su experiencia profesional (Wilson, Shulman y Richert, 1987, citado en Feldman, 1996). El proceso descrito por este modelo se puede resumir en el diagrama que se muestra en la figura 2.

Figura 2
El modelo de razonamiento pedagógico (Feldman, 1996, p. 518).

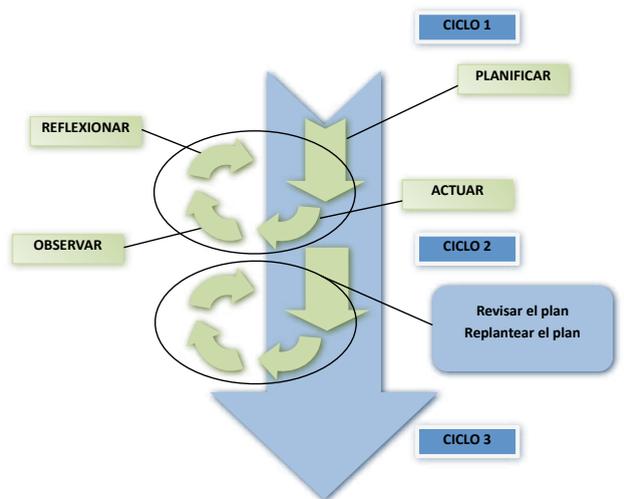


De acuerdo con el esquema, el proceso comienza cuando la comprensión inicial de los maestros se transforma a través de: a) la revisión crítica de los materiales curriculares considerando su posible comprensión y uso por los alumnos (interpretación crítica); b) el estudio

sobre el uso de metáforas, analogías, ilustraciones, actividades, tareas y ejemplos que los profesores usan para transformar los contenidos en materiales y actividades de enseñanza (representación); y c) los debates sobre la adaptación de las representaciones de los estudiantes (adaptación). Después de interactuar con los estudiantes a través de la instrucción y utilizar múltiples instrumentos de evaluación (Chamizo y Hernández, 2000), los profesores pueden tener alguna evidencia sobre la utilidad y eficacia de la instrucción, y del grado de comprensión o incomprensión de los alumnos, lo cual permite que se manifieste una nueva comprensión sobre el proceso de transformación y entendimiento de sus estudiantes asociada al desarrollo del conocimiento de los maestros (Wilson et al., 1987, citado en Feldman, 1996).

Con el fin de fomentar este desarrollo hemos elegido la participación de los docentes en grupos cooperativos de investigación-acción que se ha señalado (Burbank y Kauchak, 2003) como una alternativa para fomentar el aprendizaje de nuevos métodos de enseñanza o extensión de los existentes, para docentes en servicio. Para explicar y sistematizar el desarrollo de una investigación-acción, consideramos la espiral de los ciclos de acciones e investigaciones (Figura 3) propuesto por Kemmis en 1989 (Latorre, 2004).

Figura 3
El modelo de razonamiento pedagógico (Feldman, 1996, p. 518).



Este diagrama considera dos ejes: uno estratégico guiado por la acción a través de la acción y la reflexión, y otro organizativo, impulsado por la investigación a través de la planificación y la observación. Cada ciclo debe integrar estos cuatro momentos relacionados entre sí, dado que el plan comprende una propuesta de acción, la acción implica una retrospectiva guiada por la planificación, la observación consiste en la proyección para la reflexión, la reflexión implica una mirada retrospectiva a la observación y una perspectiva para una nueva planificación, y así sucesivamente.

Considerando principalmente los pasos de planificación y reflexión, la comunicación entre los profesores y los intercambios de experiencias son factores que contribuyen de forma sinérgica con las estrategias de cambio y mejoramiento de la práctica, lo que motivó la propuesta de investigación-acción dentro de un grupo de colaboración. Algunos reportes en la literatura (por ejemplo, Feldman, 1993, 1996, Campos y Diniz, 2001) sostienen que la interacción entre los maestros es una fuente significativa de sus conocimientos, porque el intercambio de conocimientos sobre la enseñanza, los alumnos y el contenido seleccionado favorece una profunda reflexión de los docentes que los alienta y los motiva a correr el «riesgo» de incorporar innovaciones en la educación. La colaboración ofrece ventajas (Henson, 1996) que favorecen el éxito del profesor como investigador como la promoción y mejora de la autoestima del docente. El investigar y compartir sus propias prácticas permite a los profesores adquirir más confianza y una comprensión más profunda de lo que es significativo en el proceso educativo (McConaghy, 1987, citado en Henson, 1996).

Aunque los dos marcos teóricos ya discutidos presentan momentos de reflexión en algunos de sus pasos, se destaca la práctica reflexiva (Schön, 1983, 1987) como una tercera referencia para resaltar un modelo de reflexión más sistematizada. Según Silva y Araújo (2005), los cuatro conceptos básicos del modelo de reflexión serían:

- *Conocimiento en acción*, un conjunto de conocimientos interiorizados que se adquieren mediante la experiencia y la actividad intelectual, utilizados mecánicamente en las acciones cotidianas del docente en su práctica profesional.
- *Reflexión en la acción*, la reflexión sobre el conocimiento que está implícito en la acción, y que se dispara durante el curso de la acción pedagógica.
- *Reflexión sobre la acción*, la reflexión sobre esa acción y el conocimiento implícito en esta acción, desencadenada después de que ha finalizado la acción pedagógica.
- *Reflexión para la acción*, reflexión iniciada con anterioridad a la acción pedagógica, a través de la toma de decisiones en la planificación de la acción a desarrollar.

Así la acción es cualquier actividad de los profesores, y la naturaleza reflexiva es inherente al proceso de pensamiento del maestro que articula sus puntos de vista, percepciones y acciones.

El desarrollo del conocimiento pedagógico de los profesores sobre los modelos y el modelaje

La investigación ha mostrado que el conocimiento de los maestros y los alumnos, en cuanto a la importancia de los modelos y el modelaje en la ciencia, y acerca de la forma en la que los científicos utilizan los modelos, es bastante limitado (Justi y Gilbert, 2002a; Justi y van

Driel, 2005; van Driel y Verloop, 1999; Grosslight, et al., 1991). En su estudio sobre las actitudes de los profesores hacia el uso de los modelos y el modelaje en la enseñanza, Justi y Gilbert (2002b) encontraron que los profesores reconocen el valor de los modelos en el aprendizaje de la ciencia pero no reconocen su valor en el aprendizaje acerca de la ciencia y que el modelaje no es una actividad que se practique comúnmente en el salón de clases, aun cuando unos pocos estudiantes identifican los modelos y el modelaje como partes fundamentales del quehacer científico.

Algunos estudios han mostrado que cuando hay una enseñanza explícita sobre los modelos y el modelaje se obtienen resultados exitosos, siempre y cuando los docentes cuenten con una comprensión válida de los modelos y el modelaje y acerca de su relevancia en la construcción y aprendizaje de la ciencia (Justi y Gilbert, 2002b). Por ejemplo, Henze, van Driel y Verloop (2007) encontraron que cuando los profesores trabajan con un currículo que tiene a los modelos como un componente central sí es frecuente que utilicen las estrategias de modelos y modelaje en el salón de clases. De ahí la importancia de proponer un programa de formación para docentes que tiene en su centro las ideas de los modelos y el modelaje y que promueve la reflexión continua de los profesores respecto a estos temas.

Las experiencias muestran que aprender a enseñar mediante el uso de modelos y modelaje es una tarea compleja y dinámica que requiere de diversas aproximaciones y que es un proceso lento. En este proceso es central el conocimiento de los docentes respecto a los modelos y el modelaje y las oportunidades que éstos tienen para llevar a cabo actividades que los involucren de forma explícita. La práctica reflexiva (praxis) propuesta por Schön (1983), y cuyos elementos se han descrito anteriormente, es indispensable para que los profesores desarrollen su conocimiento respecto a los modelos y al modelaje, pero sobre todo para que puedan integrar éste a su práctica cotidiana.

De acuerdo con la literatura (Crawford y Cullin, 2004; Justi y Gilbert 2002a, b; van Driel y Verloop, 1999), algunos de los objetivos que se esperaría conseguir con un programa de formación de docentes que considere los modelos y el modelaje de forma explícita son:

- Que los docentes tengan una comprensión de la naturaleza de un modelo en general, lo cual incluiría aspectos como qué es un modelo, para qué puede usarse, las entidades de las que consiste, su unicidad relativa, el tiempo histórico en el que fue válido, su capacidad para hacer predicciones y las bases para la acreditación de su existencia y su uso.
- Que los docentes tengan la habilidad para desarrollar buenas estrategias de enseñanza, es decir, aquellas que facilitan la comprensión de los estudiantes sobre los modelos.
- Que los docentes tengan la habilidad para llevar a cabo actividades de modelaje en sus aulas.

La evolución de los docentes en relación con los dos primeros objetivos está relacionada con el desarrollo del CPC sobre los modelos, mientras que la capacidad de realizar actividades de modelaje se asocia con el desarrollo del CPC sobre modelaje. Este último se caracteriza por saber cómo, cuándo y por qué el modelo debería ser incorporado en la enseñanza, saber cómo llevar a cabo actividades de modelaje, entender cómo los alumnos construyen sus modelos y hacer frente a los modelos expresados por ellos, además de usar diferentes instrumentos de evaluación que permitan reconocer las habilidades aprendidas por los estudiantes (Figueiredo, 2008).

OBJETIVOS

Considerando lo discutido anteriormente sobre la formación de profesores y sobre el desarrollo del CPC acerca de modelos y modelaje, este artículo tiene los siguientes objetivos:

- Presentar una propuesta de formación continua (para docentes en servicio) que se estructura sobre los tres referentes teóricos que han sido descritos –razonamiento pedagógico, investigación-acción cooperativa y práctica reflexiva–, para el desarrollo del CPC de los profesores sobre modelos y modelaje.
- Evidenciar cómo estos tres referentes teóricos integrados son capaces de estructurar acciones específicas para la formación docente.

- Ilustrar algunos elementos del desarrollo del CPC sobre modelos y modelaje de los profesores involucrados en el proceso.

METODOLOGÍA

Muestras

En Brasil, la propuesta se ha trabajado con nueve profesores de química, todos ellos con formación profesional. Sus estudiantes, de entre 14 y 17 años, provienen de escuelas públicas y privadas de Belo Horizonte, con turnos matutino y nocturno. En la tabla 1 se presentan las características de los docentes, que son identificados por los códigos de tipo DB-x, donde x es un número y DB remite a un docente de Brasil.

En la experiencia mexicana participaron seis docentes. Los estudiantes de cinco de ellos provenían del tercer año de secundaria (alumnos de entre 13 y 15 años y un grupo de adultos) y del último provenían del bachillerato (estudiantes de entre 15 y 18 años). La experiencia docente, así como la formación inicial y el centro de trabajo de cada uno de los docentes tienen características muy distintas, lo cual permite tener un panorama de diversos elementos que juegan un papel importante en la formación de profesores. En la tabla 1 pueden verse las características de los docentes, que son identificados por los códigos de tipo DM-x, donde x es un número y DM remite a un docente de México.

Tabla 1
Características de los docentes brasileños y mexicanos.

DOCENTE	AÑOS DE EXPERIENCIA	FORMACIÓN INICIAL	TIPO DE INSTITUCIÓN EN LA QUE LABORA
DB-1	18	Química	Escuela Secundaria Privada
DB-2	2	Química	Escuela Secundaria Privada
DB-3	3	Química	Escuela Secundaria Oficial
DB-4	1	Química	Escuela Secundaria Oficial
DB-5	6	Química	Escuela Secundaria Privada
DB-6	4	Química	Escuela Secundaria Nocturna Oficial
DB-7	25	Ingeniería Metalúrgica	Escuela Secundaria Privada
DB-8	3	Química	Escuela Secundaria Nocturna Oficial
DB-9	2	Química	Escuela Secundaria Privada
DM-1	25	Normal Superior	Escuela Secundaria Técnica Oficial
DM-2	20	Psicología	Telesecundaria
DM-3	15	Química Farmacéutica. Biología	Escuela Secundaria Privada
DM-4	3	Química	Instituto de Educación Media Superior (Bachillerato) Oficial
DM-5	25	Ingeniería Química	Escuela Secundaria Nocturna para Trabajadores
DM-6	20	Química	Escuela Secundaria Privada

En ambos casos los maestros brasileños y mexicanos fueron convocados de manera directa porque habían participado en otras experiencias de formación con los investigadores involucrados y porque habían mostrado interés para transformar su manera de enseñar ciencias, lo cual se reconoce como un elemento indispensable en estos procesos. Aunque es claro que el número limitado de docentes que participan en este proceso puede considerarse como una desventaja en cuanto a alcance, también es evidente que una aproximación como la propuesta requiere de profesores con compromiso y deseos de modificar su práctica. El trabajo comprometido de estos profesores permite la generación de materiales didácticos y la reflexión sobre procesos de formación que luego podrían ser referentes de otros procesos que involucren a un número mayor de docentes. La investigación ha mostrado (Supovitz y Turner, 2000) que aun cuando los docentes participan en un buen número de cursos, talleres, seminarios, etc., esto no implica una transformación en la práctica docente; por ello, aproximaciones como ésta que explícitamente consideran el desarrollo de la práctica reflexiva resultan más promisorios para una modificación real. Además, como se indicará más adelante, los materiales generados por estos profesores están a disposición de todos los docentes de habla castellana que quieran utilizarlos en sus respectivas aulas.

Propuesta de formación docente

El presente trabajo se desarrolló como un proceso de investigación-acción en el que los grupos de profesores participaron en un grupo colaborativo con dos investigadores universitarios. En ambos casos la propuesta se desarrolló en tres momentos distintos, como se indica en la tabla 2.

El taller inicial que se desarrolló en la primera parte tuvo como objetivos específicos:

- Conocer la aproximación de modelos y modelaje para la enseñanza.

- Tener experiencias con actividades de modelos y modelaje.
- Familiarizarse con experiencias construidas y puestas en práctica en otros contextos.
- Reflexionar sobre el papel del profesor en la conducción de actividades de modelaje.
- Reflexionar sobre la posibilidad de llevar a cabo esta aproximación en el aula.

Las actividades en el taller fueron diversas, pasando por el reconocimiento compartido de las ideas de los profesores sobre el tema, hasta el análisis de vídeos en los que se presentaban grupos de estudiantes llevando a cabo secuencias sobre modelos y modelaje, lo cual permitió a los docentes compartir sus inquietudes sobre la manera de llevar un enfoque como éste al aula, el tiempo que debiera invertirse, el manejo del grupo que debe tenerse, las diferentes maneras en que podría evaluarse, etc.

Posteriormente, los profesores decidieron replicar algunas de las actividades en su salón de clases con el fin de generar experiencia en el uso de modelos y modelaje en el aula. Algunos de los profesores brasileños usaron unidades didácticas previamente diseñadas por otros docentes que habían participado en otras investigaciones, mientras que los profesores mexicanos diseñaron en conjunto una secuencia para enseñar y evaluar el tema de disoluciones y después la pusieron en práctica con sus estudiantes. Esto permitió generar evidencia sobre la forma en la que los estudiantes utilizan y comprenden los modelos. Para los docentes este trabajo fue fundamental, pues les permitió adquirir experiencia respecto al tipo de respuestas de los estudiantes, así como reconocer la diversidad de las ideas que tienen. Tanto en Brasil como en México se hizo especial énfasis en que una de las actividades de esta secuencia se utilizara de manera explícita como evaluación, dado que ésta es una de las preocupaciones centrales de los docentes (Duit y Glynn, 1996).

Tabla 2
Características generales del proceso de formación docente.

ETAPA	MOMENTO	PROPÓSITO GENERAL
1	Taller	Sesión de naturaleza colaborativa en busca de: • Desafiar a los profesores sobre su conocimiento previo y sobre su práctica docente. • Promover una oportunidad de discusión entre ellos acerca de la utilización de los modelos en la enseñanza.
2	Elaboración de unidades didácticas basadas en modelos y modelaje	Investigación-acción cooperativa en busca de: • Dar oportunidad a los profesores de poner en práctica y adaptar a sus contextos específicos los aspectos teóricos discutidos y ejemplificados en la etapa anterior a través de la elaboración de una unidad didáctica. • Promover el aprendizaje a través de la acción.
3	Aplicación de las unidades didácticas en los salones de clase de cada profesor acompañadas de discusiones paralelas sobre la misma aplicación	Investigación-acción cooperativa en busca de: • Fomentar, promover y ayudar a los profesores a entender el proceso en conjunto, concretando la estrategia desarrollada para ellos en el contexto en el que laboran cotidianamente. • Promover la apreciación de la propuesta de enseñanza con los maestros y reflexionar y evaluar los resultados de sus prácticas de enseñanza.

En la segunda etapa, el diseño de unidades didácticas, los profesores formaron equipos de trabajo que tenían como objetivo construir una secuencia didáctica para algún tema específico. En Brasil los temas fueron enlace metálico, interacciones intermoleculares y energía involucrada en las reacciones químicas. En México se eligieron los temas de enlace químico, mol y corrosión, todos ellos considerados en los programas oficiales (SEP, 2006). Estas secuencias fueron compartidas y revisadas con el grupo completo y en sesiones con los investigadores, lo cual generó un intercambio que permitió enriquecerlas incorporando diferentes puntos de vista. Los profesores tuvieron oportunidad de desarrollar su conocimiento respecto al tema químico elegido, además de aspectos explícitos de la construcción de modelos (Justi, 2006).

En la tercera etapa, estas secuencias fueron puestas en práctica por los profesores con sus grupos de estudiantes y fueron filmadas para poder ser compartidas. En las reuniones posteriores se analizaron los resultados, se propusieron mejoras y los profesores reescribieron las secuencias para presentarlas en un evento académico. En México en la VIII Convención Nacional y I Internacional de la Academia Mexicana de Profesores de Ciencias Naturales y, en Brasil, en el Encuentro Nacional de Enseñanza de la Química y, además, en el caso mexicano, para publicarlas en un libro que compila la experiencia (Chamizo y García Franco, 2010).

Recopilación y análisis de datos

Tanto las reuniones con los grupos de docentes en las que se llevó a cabo el trabajo colaborativo como las sesiones en las que los maestros llevaron a la práctica las unidades didácticas desarrolladas fueron filmadas. Los profesores fueron entrevistados antes de iniciarse el proyecto y completaron cuestionarios en diferentes momentos del proceso para evaluar sus conocimientos sobre modelos y modelaje.

También:

- En Brasil, dos maestros del grupo fueron seleccionados para ser entrevistados en dos fases: durante el proyecto y después de su cierre. Esta muestra fue seleccionada por la asistencia regular de los profesores y su disponibilidad para participar en las entrevistas y tener las clases grabadas en vídeo².
- En México, los seis profesores fueron entrevistados al inicio y al final del proceso.

En ambos casos, las preguntas de las entrevistas buscan favorecer la expresión del conocimiento del contenido y del CPC de los profesores acerca de los modelos y el modelaje.

Todos los vídeos y las reuniones de los grupos de docentes, las actividades de los profesores en las escuelas y las entrevistas, los cuestionarios respondidos por los maestros y las notas de campo de los investigadores se utilizaron como fuentes de datos para apoyar la investigación.

Con los datos recogidos se pudo realizar un estudio detallado de diversos aspectos del conocimiento de los profesores en un tiempo relativamente amplio (18 meses en Brasil y 12 en México), lo cual permite la evaluación de las acciones que se integraron en la práctica y los conceptos que se desarrollaron. En Brasil, la integración de estos datos apoyó la producción de estudios de caso para cada profesor que fueron validadas por ellos mismos (Figueirêdo, 2008).

A partir de estudios previos (principalmente Justi y Gilbert, 2002b; Justi y van Driel, 2005) se establecieron las categorías sobre el conocimiento básico de los docentes y sus adaptaciones a la enseñanza a través de modelos y modelaje.

El análisis de estudios de casos (en Brasil) y la organización de los datos por maestro (en México) permitió caracterizar el proceso y centrarse en los siguientes aspectos:

- cómo el proceso contribuyó al desarrollo de los conocimientos de los docentes;
- qué etapas fueron las más pertinentes para el desarrollo de sus conocimientos individuales.

RESULTADOS

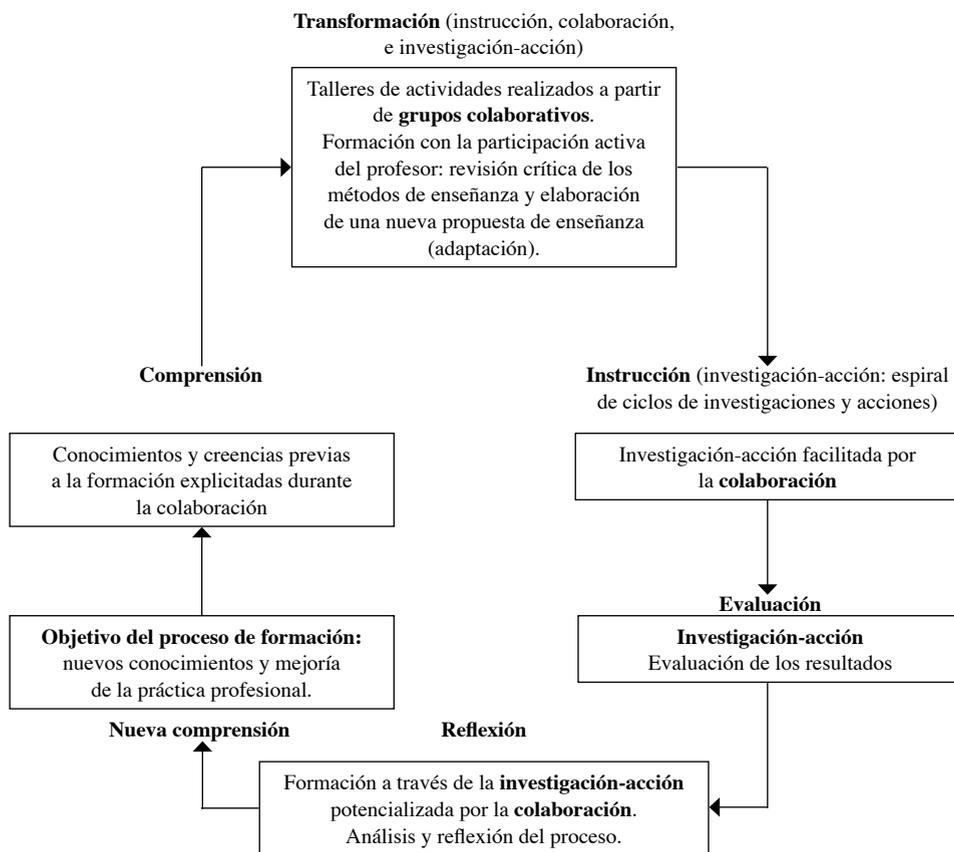
Los marcos teóricos en la construcción del proceso de formación

Inicialmente, considerando las características del proceso de formación de profesores a la luz de los marcos teóricos adoptados y de lo que efectivamente se llevó a cabo en las reuniones, proponemos que las etapas del proyecto se puedan esquematizar como se muestra en la figura 4.

A partir de nuestra comprensión del significado de los elementos del proceso de reflexión pedagógica propuesta por Feldman (Figura 2), buscamos identificar, en el conjunto de datos disponibles, cuándo cada uno de los elementos de la praxis (reflexión ↔ acción) se vio favorecido durante el proceso. Como resultado, encontramos:

- *Reflexiones sobre la enseñanza*: cuando los maestros hicieron explícito su conocimiento en las reuniones del grupo de colaboración demostrando que reflexionaban sobre algo que se estaba discutiendo (transformación en la figura 2) como parte del proceso de formación (lo que se evidenció en las filmaciones de las reuniones).
- *Reflexiones sobre su enseñanza*: cuando los maestros hicieron público el conocimiento explícito en relación con su reflexión sobre lo vivido por ellos en el grupo (manifiesto en las entrevistas).
- *Reflexión para la acción*: reflexiones de búsqueda, de toma de decisiones relacionadas con el desarrollo de las estrategias de modelaje para la enseñanza de un contenido químico específico (instrucción en la figura 2).

Figura 4
 Diagrama del proceso de formación de profesores (Figueirêdo, 2008).



- **Reflexión en acción:** reflexiones relacionadas con la acción consciente de los maestros en sus aulas durante la aplicación de la unidad didáctica que habían desarrollado (instrucción en la figura 2).
- **Reflexión sobre la acción:** reflexiones de los maestros sobre sus experiencias y resultados de la aplicación de la unidad didáctica en el aula (instrucción en la figura 3).

Como se muestra en la figura 4, el proceso de formación de los docentes comenzó con la indagación de sus creencias y conocimientos sobre el tema de modelos y modelaje y sobre el tema químico específico, lo que conforma la comprensión inicial de sus prácticas de enseñanza. Así, la planificación de los talleres, que responden a dudas genuinas de los docentes acerca del qué y el cómo enseñar, considera las búsquedas y expectativas de los docentes y formas en las que se podría desafiar su pensamiento inicial. En esta etapa, los profesores participaron activamente en el análisis crítico y la interpretación de todas las ideas teóricas y los ejemplos presentados, lo cual es una oportunidad para mejorar también su conocimiento disciplinar sobre los temas que enseñan (Flores Camacho, et al., 2007; García Franco, Reyes Cárdenas, Flores y Gallegos, 2006).

Después de considerar los intereses de los docentes hacia una nueva propuesta de la enseñanza de la química, basada en modelos y modelaje, continuaron con su formación diseñando unidades didácticas que se aplicarían en sus aulas. Este punto marcó el inicio del proceso de investigación-acción llevada a cabo por cada profesor. Ésta fue estimulante para los profesores porque les permitió reconocer su capacidad para desarrollar estrategias basadas en el marco teórico propuesto y al darse cuenta de su aplicabilidad en el contexto real de su práctica, en sus aulas, con sus alumnos.

Después que todas las unidades didácticas fueron diseñadas y producidas, los maestros empezaron a utilizarlas en sus aulas, de modo que el resultado de la interacción con sus estudiantes les hizo plantearse diversas preguntas, nuevos objetivos, reflexiones, rediseños y adaptaciones que fomentaron su aprendizaje, a partir de la estrategia aquí utilizada de enseñanza en la práctica.

La siguiente etapa de la investigación-acción requiere de los docentes la recolección y el análisis de datos (producidos por sus alumnos), lo que permite la evaluación crítica de las consecuencias y los resultados de su práctica docente. El último paso de la reflexión, evidenciado en la

entrevista final, es fundamental para inferir qué concepciones y conocimientos fueron manifiestamente adquiridos por los maestros. De su última satisfacción depende la mayoría de su práctica.

Algunos hallazgos

Enseguida presentamos algunas reflexiones de los docentes que nos permiten ilustrar algunos aspectos relevantes de la propuesta y que dan cuenta del alcance de este proceso de formación.

Al final del proceso los profesores demostraron seguridad de que el esfuerzo realizado se ve recompensado con el entusiasmo de los estudiantes y con el desarrollo que tuvieron a lo largo de las actividades. Por ejemplo, en México, después del taller inicial y de haber realizado las primeras actividades con los estudiantes, una pareja de maestras comenta:

«Adquirimos una visión más real de cómo guiar e interactuar con los estudiantes y mayor seguridad en cuanto a nuestro papel en el aula.» (DM-4 y DM-6),

lo cual habla de la importancia de dar oportunidades a los profesores para «experimentar» con el enfoque en repetidas ocasiones, de forma que puedan reflexionar al respecto.

Otras profesoras refieren sobre su experiencia del taller inicial:

«Fue difícil asimilar bien toda la información que nos bombardeó continuamente durante tres días (y en portugués, aunque lentamente hablado), de tal manera que en algunos momentos nos sentimos inseguras acerca de nuestra capacidad para elaborar un material similar. Aunque después descubrimos que no éramos las únicas con esos temores, pues surgieron muchas dudas e inquietudes, sobre todo acerca de la forma en que lo íbamos a implementar en cada una de nuestras escuelas.» (DM-1 y DM-2)

Henze y sus colaboradores (2007) reconocen la importancia de las creencias de los maestros para poner en práctica una unidad didáctica como ésta; por ello, y como puede verse en el último comentario, son fundamentales estas oportunidades para compartir las dudas e inquietudes de los profesores. Estas dificultades también fueron relatadas por los profesores brasileños como se indica a continuación:

«Fue difícil empezar... y pienso que los estudiantes deben sentir lo mismo. Si hay algo que alguna vez has pensado, la idea puede ser más madura cuando se piensa si es un modelo o no lo es. Pero si yo nunca había pensado en eso... Los modelos, una vez discutidos entre los docentes presentes, sirven para intercambiar ideas y posiblemente modificar nuestros propios modelos. Sólo cuando se trata de desarrollar un modelo es cuando se perciben las dificultades que son inherentes a este desarrollo así como las limitaciones del modelo. En el desarrollo de un modelo (en lugar de utilizar uno ya hecho) se aprende mejor.» (DB-1)

En relación con el aprendizaje de los estudiantes, los profesores subrayaron repetidamente su percepción de que había ocurrido de manera diferenciada. Por ejemplo:

«En primer lugar, una cosa es hablar acerca de cómo se deben diseñar los modelos... una cosa es que uno dice: Mira, los modelos no son la realidad, los modelos son explicaciones..., explicárselos es una cosa, y otra cosa es lo que ellos interpretan. Ellos participan en un proceso y luego vuelven a dibujar, pensar, y rehacer. (...) y aprenden más del contenido que sólo escuchando.» (DB-1)

«Descubrimos las múltiples ventajas que tiene el que los alumnos intenten explicar el comportamiento de la materia con sus propios modelos y visiones, en lugar de repetir sin comprender las principales propiedades de los compuestos llamados iónicos y covalentes de manera convencional y memorística.» (DM-1 y DM-2)

«Algo que llamó nuestra atención en la aplicación de esta secuencia, fue que los modelos propuestos por los alumnos fueron diferentes y muy interesantes. Nos sorprendió mucho comprobar que los alumnos de secundaria piensan que la sal disuelta en agua “desaparece”, es decir no conserva su masa a pesar de haber hecho una demostración previa.» (DM-1 y DM-2)

Esto enfatiza la importancia de que los profesores lleven a cabo las actividades en el aula y tengan oportunidad de reflexionar sobre ellas con sus estudiantes (Justi y van Driel, 2005).

El análisis de las respuestas de los profesores nos permite dar cuenta de la evolución de su CPC sobre modelos y modelaje. Los resultados indican un desarrollo del mismo de manera explícita y heterogénea, teniendo en cuenta que cada uno cambia su CPC en diferentes aspectos de acuerdo con sus características profesionales y sus antecedentes.

La relevancia de los talleres y la etapa de preparación de las unidades didácticas en el desarrollo del CPC de la maestra DB-1 se ilustran con sus siguientes comentarios:

«Algunos estudiantes no entienden las representaciones, pero algunos sí. (...) Esto es lo que me parece más difícil, saber exactamente qué es lo que no entienden...»

«Es lo más importante (conocer la visión del estudiante). Así sabes qué es lo que está entendiendo.»

Estos resultados fueron confirmados con las discusiones entre la profesora y sus alumnos, en las que se preguntó en detalle sobre los modelos desarrollados por estos últimos. En este sentido, tanto el contexto de colaboración, la participación activa de los docentes, el proceso de investigación-acción, así como el diseño del plan de acción para aplicar la estrategia, contribuyó al desarrollo del CPC de DB-1.

Un segundo ejemplo se muestra a continuación:

«Al experimentar el modelaje fue cuando me hice verdaderamente consciente de lo que ese proceso significaba... el

desarrollo era interesante, pero yo volvía a pensar en los aspectos teóricos.» (DB-2, después de la preparación de la unidad didáctica.)

«Yo no tenía la misma dimensión. Estaba insegura (...) el hecho de que realmente le permite dibujar una dimensión donde vas, sino una dimensión muy concreta. Y ahora, si tengo otra unidad didáctica, no tendrán problema.» (Comentario del DB-2 después de la aplicación y discusión de la unidad didáctica.)

«El apoyo fue importante, una serie de cosas que no se encuentran en los libros, y la discusión sobre la práctica de otros profesores... por supuesto que se tenía que investigar durante la actividad. Es una cosa muy interesante, pero el grupo es importante, tiene que estar integrado, integrado para que funcione. Y la auto-reflexión, si se aplica la actividad y no se hace la auto-reflexión, entonces no sería tan valiosa. No consigo desvincularme. Creo que esas tres cosas son las que hacen que sea importante.» (Comentario del DB-2 después de la aplicación y discusión de la unidad didáctica.)

La primera cita indica el desarrollo del CPC de DB-2 para la realización de actividades de modelaje, ya que sugiere una comprensión inicial del proceso de manera teórica y su profundización cuando realiza la práctica, después de haber experimentado con una de las actividades del taller. Esta evidencia pone de manifiesto la importancia de la perspectiva constructivista en el proceso de formación de maestros y fue apoyada por las observaciones del desempeño del maestro en la ejecución de la unidad didáctica en su aula. En los otros pasajes, la profesora destaca la importancia de los diversos elementos en el proceso: (i) la investigación-acción, en términos de la elaboración del plan de acción para desarrollar una comprensión más amplia de la propuesta de la enseñanza, (ii) la colaboración entre expertos y maestros para apoyar una investigación-acción (aplicación) y compartir las diferentes experiencias, y (iii) la auto-reflexión.

Los maestros identificaron también aspectos importantes en el proceso de desarrollo de los conocimientos que se refleja en algunos cambios en sus prácticas:

«Una cosa que sucedió después de esta experiencia, y que lo he hecho de nuevo con mis alumnos más de lo que lo hacía antes, tiene que ver con la forma de preguntar. Antes decía: “¿alguna duda?” Ahora digo: “Oye, Fulano, ¿cómo me lo explicarías?” Creo que ahora tengo más cuidado para ver si se entiende.» (DB-1)

«La contribución mínima que podría haber obtenido hasta el momento (si el grupo no continuase) es creer que todo lo que dices el estudiante lo está aprendiendo. Voy a empezar a prestar más atención a lo que los estudiantes están aprendiendo en lugar de lo que estoy hablando.» (DB-2)

«Finalmente, creo que valió mucho la pena el proceso de planeación, la madurez que fui adquiriendo durante el mismo y la flexibilidad que por personalidad y por formación profesional me cuesta trabajo tener, que empecé a desarrollar durante el mismo () creo que esta opción del trabajo con

modelos es muy significativa y propicia la metacognición, el trabajo colaborativo y la modificación de las ideas previas y que hay que seleccionar los temas que han de trabajarse de esta forma.» (DM-3)

«Son muchas las cosas que aprendimos: principalmente a planear en forma ordenada y estructurada, y que los modelos nos permiten identificar fácilmente las ideas previas de nuestros alumnos. También los hace propositivos y participes de su aprendizaje, los motiva y eleva su autoestima, los invita a compartir, discutir y confrontar sus ideas, lo que hace significativo su aprendizaje.» (DM-1)

Estas citas demuestran que el proceso de formación de profesores aquí ejemplificado les llevó a establecer nuevas metas y objetivos para la enseñanza derivadas de las actividades que desarrollaron alrededor de su trabajo específico sobre modelos y modelaje.

Productos específicos del proceso de formación en México

Los profesores mexicanos llevaron a cabo las secuencias propuestas en el aula y éstas fueron videograbadas y analizadas por uno de los investigadores (JAC) para determinar qué fragmentos podrían utilizarse para resaltar algunos de los aspectos importantes de los modelos y el modelaje. Estos fragmentos de los vídeos pueden encontrarse en la página web <http://www.modelosmodelajecientifico.com/02-MEDIATECA/index.html>. La intención de tener esta página web es dar algunos elementos tangibles a otros profesores que buscan desarrollar unidades didácticas basadas en los modelos y el modelaje de cómo es que éstas se llevan a cabo en aulas «normales» y cómo los elementos de la aproximación se concretan en el trabajo en el salón de clases. Así mismo, se publicó un libro (Chamizo y García Franco, 2010) que da cuenta del marco teórico de la experiencia, describe sus principales aspectos y recoge la narración de las parejas de profesores sobre el proceso de construcción de las secuencias. Además, se presenta una versión de las unidades didácticas con indicaciones para los profesores o profesoras que quieran utilizarlos en sus propias aulas.

CONCLUSIONES

En el programa de formación presentado se consideraron los elementos identificados en la investigación de acuerdo con los cuales en un programa de formación efectivo los maestros y maestras participantes no solamente conocen una nueva forma de enseñar ciencias, sino que también se comprometen con ella al incorporarla en su práctica docente.

Algunas de las características que fueron relevantes para el proceso de formación y que son identificadas por los docentes son:

- La posibilidad de compartir dudas e inquietudes con el grupo de profesores que, aun teniendo experiencias la-

borales distintas, reconocen similitudes y pueden ofrecer elementos de análisis y reflexión común.

- La generación de evidencia sobre la forma en la que los estudiantes utilizan y comprenden los modelos a partir del diseño compartido de una unidad didáctica y su enseñanza.
- El hecho de que desde un inicio se plantee que las unidades didácticas pueden ser llevadas a cabo en el aula y que se harán en un tiempo «normal» destinando para ello el número de horas planeadas.
- El intercambio de experiencias en el diseño de las unidades didácticas permitió enriquecerlas incorporando diferentes puntos de vista. Los profesores tuvieron oportunidad de desarrollar su conocimiento respecto al tema químico elegido, además de aspectos explícitos de la construcción de modelos.
- Contar con un marco de análisis que permita el desarrollo más estructurado de las actividades y que al mismo tiempo facilite tener elementos para hacer modificaciones si así se requiere.

Durante esta experiencia de formación los profesores y profesoras adquirieron conocimiento sobre los modelos y el proceso de modelaje (el papel que juegan en la construcción del conocimiento científico, el proceso mediante el que se transforman, la manera en la que se evalúan) y también desarrollaron su CPC sobre modelos y modelaje. Este aprendizaje se llevó a cabo en un proceso que integraba continuamente la reflexión teórica con la práctica, ya que los profesores llevaban a cabo actividades de modelaje en las reuniones periódicas y con sus estudiantes en el salón de clases. Este proceso continuo promueve que los docentes construyan concepciones sobre el aprendizaje, la enseñanza y la ciencia que están de acuerdo con las visiones actuales y que pueden implicar una transformación profunda de su práctica docente. Sin embargo, es importante destacar que el proceso de desarrollo del CPC de los docentes no fue instantáneo y sin problemas. Para la mayoría de los profesores, sus nuevos conocimientos se han ido consolidando. Creemos que esto fue posible debido a que:

- Cada uno se da cuenta de la validez de la propuesta por los informes de otros profesores en el grupo y, sobre todo, al desarrollar una unidad didáctica que se aplica en el aula. Por lo tanto, más que exponer los objetivos directrices coherentes, cada maestro tiene que reconocer las acciones necesarias para trabajar en esta perspectiva.
- Cada maestro trabajó en su propio contexto, desarrollando una nueva propuesta de enseñanza y podía reconocer las consecuencias de esta innovación. De los resultados positivos identificados por los maestros, tanto en

el aprendizaje de los estudiantes como del conocimiento de la propuesta, surgió una importante satisfacción con ellos mismos y sus prácticas. Creemos que esto favorece un cambio más profundo en sus propias prácticas (Figueirêdo, 2008).

Por último, creemos que la promoción de la praxis durante todo el proyecto abre la puerta para una posible mejora y renovación continua de los docentes y sus prácticas. Teniendo en cuenta esto, creemos que los resultados de este estudio apuntan a la validez de la formación de grupos de investigación-acción cooperativa, especialmente en las universidades. Esto implica la necesidad de difusión de las propuestas de este tipo entre los formadores de docentes, de forma que esta práctica pueda ser incorporada en otros programas, incluidos los cursos de formación inicial para futuros profesores.

Es claro que propuestas como la presentada implican una inversión importante de tiempo y un compromiso de parte de los profesores; sin embargo, como se ha mostrado, éstos consideran que vale la pena el esfuerzo y el trabajo puesto que han encontrado elementos de modificación real de la práctica docente.

Terminamos con la reflexión final de una profesora y nos sumamos a ella:

«Sabemos que este trabajo no termina aquí, éste es sólo el comienzo ya que falta mucho por hacer en lo que se refiere al uso de modelos y modelaje en la enseñanza de la Química, y en general de las ciencias. Este trabajo nos hizo reflexionar, explorar nuestras posibilidades, reconocer nuestras limitaciones y explotar al máximo nuestras capacidades ya que es nuestro deber y responsabilidad, como profesoras de adolescentes, continuar en la búsqueda de nuevas formas de enseñar que favorezcan el aprendizaje de nuestros alumnos, en nuestras aulas.» (DM-1)

NOTAS

¹ Una versión preliminar y abreviada de esta investigación se presentó en el VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona 2009.

² Los otros no fueron entrevistados porque las escuelas en las que trabajaban no permitieron que se realizaran grabaciones en vídeo de las clases, lo que impediría un análisis completo del CPC de los mismos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CNPq, de Brasil, y al CONACYT, de México, por el apoyo financiero para realizar la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORDIEU, P. y PASSERON, J.C. (1979). *La reproducción. Elementos para una teoría del sistema de enseñanza*, Barcelona: Editorial Laia.
- BORKO, H. y PUTNAM, R.T. (1996). Learning to Teach, en Berliner, D.C. y Calfee, R.C. *Handbook of Educational Psychology*, p. 673-708. Nueva York: Macmillan.
- BURBANK, M.D. y KAUCHAK, D. (2003). An alternative model for professional development: Investigations into effective collaboration. *Teaching and Teacher Education*, 19, pp. 499-514.
- CAMPOS, L.M. y DINIZ, R.E. (2001). A prática como fonte de aprendizagem e o saber da experiência: o que dizem professores de Ciências e de Biologia. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6, pp. 1-13.
- CHAMIZO, J.A. y HERNÁNDEZ G. (2000). Evaluación de los aprendizajes (IV y última parte). Construcción de preguntas, la Ve epistemológica y el examen ecléctico personalizado, *Educación Química*, 11, pp. 182-187.
- CHAMIZO, J.A. (2004). La formación de profesores en México. Recuento de una utopía. *Educación Química*, 15, pp. 32-39.
- CHAMIZO, J.A. e IZQUIERDO, M. (2007). Evaluación de las competencias de pensamiento científico. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 51, pp. 9-19.
- CHAMIZO, J.A. (2009). Filosofía de la química: I. Sobre el método y los modelos. *Educación Química*, 20, pp. 6-11.
- CHAMIZO, J.A. y GARCÍA FRANCO, A. (2010). *Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales*. Ciudad de México: Facultad de Química-UNAM. Disponible en línea [28 de abril de 2011] <<http://www.modelosmodelajecientifico.com>>.
- CRAWFORD, B.A. y CULLIN, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modeling in science. *International Journal of Science Education*, 26, pp. 1379-1401.
- DUIT, R. y GLYNN, S. (1996). Mental modelling, en Welford, G., Osborne, J. y Scott, P. (eds.). *Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes*, pp. 166-176. London: Falmer.
- FELDMAN, A. (1993). *Teachers learning from teachers: Knowledge and understanding in collaborative action research*. Stanford University: PhD Thesis.
- FELDMAN, A. (1996). Enhancing the practice of physics teachers: Mechanisms for the generation and sharing of knowledge and understanding in collaborative action research. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, pp. 513-540.
- FLORES CAMACHO, F., GALLEGOS CÁZARES, L., GARCÍA FRANCO, A., VEGA MURGUÍA, E. y GARCÍA RIVERA, B. (2007). El conocimiento de los profesores de ciencias de secundaria: un estudio en tres niveles. *Revista Iberoamericana de Educación*, 43. Disponible en línea [28 de abril de 2011] en <<http://www.rieoei.org/1800.htm>>.
- FIGUEIRÊDO, K.L. (2008). Formação Continuada de Professores de Química Buscando Inovação, Autonomia e Colaboração. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: FaE UFMG.
- GARCÍA FRANCO, A., REYES-CÁRDENAS, F., FLORES, F. y GALLEGOS, L. (2006). Conocimientos básicos de profesores mexicanos de química de secundaria. *Educación Química*, 17, pp. 114-122.
- GESS-NEWSOME, J. (2003). Implications of the definitions of knowledge and beliefs on research and practice in science teacher education. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, March, pp. 23-26, (pp. 1-12). Philadelphia, PA.
- GILBERT, J. y BOULTER, C. (1998). Learning science through models and modelling, en Fraser, B. y Tobin, K. (eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 52-66. Dordrecht: Kluwer.
- GROSSLIGHT, L., UNGER, C., JAY, E. y SMITH, C. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school teachers and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 799-822.
- HENZE, I., van DRIEL, J. y VERLOOP, N. (2007). The change of science teachers' personal knowledge about teaching models and modelling in the context of science education reform, *International Journal of Science Education*, 29, pp. 1819-1846.
- HODSON, D. (1992). In search of a meaningful relationship: An exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14, pp. 541-562.
- JUSTI, R. (2006). La enseñanza de las ciencias basada en modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, pp. 173-184.
- JUSTI, R. y GILBERT, J.K. (2002a). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers, *International Journal of Science Education*, 24, pp. 369-387.
- JUSTI, R. y GILBERT, J.K. (2002b). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, pp. 1273-1292.
- JUSTI, R. y VAN DRIEL, J.H. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27, pp. 549-573.
- LATORRE, A. (2004). *La investigación-acción: Conocer y Cambiar la Práctica Educativa* (2 ed.). Barcelona: Graó.
- MAGNUSSON, S., KRAJCIK, L. y BORKO, H. (1999). Nature, source and development of pedagogical content knowledge, en Gess-Newsome, J. y Lederman, N.G. *Examining Pedagogical Content Knowledge: The construct and its implications for Science Education*, pp. 95-132. Dordrecht: Kluwer.

- MARX, R.W., FREEMAN, J.G., KRAJCIK, J.S. y BLUMENFELD, P. (1998). The professional development of science teachers, en Fraser, B.J. y Tobin, K.G. (eds.). *International Handbook of Science Education*, 2, pp. 667-680. Dordrecht: Kluwer.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- SCHÖN, D.A. (1983). *The Reflective Practitioner*. New York: Basic Books.
- SCHÖN, D.A. (1987). *Educating the Reflective Practitioner*. San Francisco: Jossey-Bass.
- SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA (SEP) (2006). *Educación Básica. Secundaria. Ciencias. Programas de Estudio 2006*. México, D.F.: SEP.
- SILVA, E.M.A. y ARAÚJO, C.M. (2005). Reflexão em Paulo Freire: Uma contribuição para formação continuada de professores. V *Colóquio Internacional Paulo Freire*. Disponible en línea [12 de julio de 2007] en [www.paulofreire.org.br/pdf/comunicacoes_orais/REFLEXÃO EM PAULO FREIRE-UMA CONTRIBUIÇÃO PARA FORMAÇÃO CONTINUADA DE PROFESSORES.pdf](http://www.paulofreire.org.br/pdf/comunicacoes_orais/REFLEXÃO_EM_PAULO_FREIRE-UMA_CONTRIBUIÇÃO_PARA_FORMAÇÃO_CONTINUADA_DE_PROFESSORES.pdf).
- SHULMAN, L.S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15, pp. 4-14.
- SHULMAN, L.S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57, pp. 1-22.
- SUCKLING, C.J., SUCKLING K.E. y SUCKLING C.W. (1978). *Chemistry through models*, Cambridge: Cambridge University Press.
- SUPOVITZ, J.A. y TURNER, H.M. (2000). The Effects of Professional Development on Science Teaching Practices and Classroom Culture. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, pp. 63-980.
- TRIPP, D. (2005). Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. *Educação e Pesquisa*, 31, pp. 443-466.
- VAN DRIEL, J.H. y VERLOOP, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21, pp. 1141-1153.
- VOSNIADOU, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development, en Magnani, L. y Nersessian, N.J. (eds.). *Model-based Reasoning: Science, Technology, Values*, pp. 353-368. Nueva York: Kluwer and Plenum Publishers.

[Artículo recibido en abril de 2010 y aceptado en mayo de 2011]

Experiences concerning the Development of Latin American Science Teachers' Knowledge of Models and Modelling

JUSTI, ROSÁRIA¹; CHAMIZO GUERRERO, JOSÉ ANTONIO²; GARCÍA FRANCO, ALEJANDRA³
y FIGUEIRÊDO, KRISTIANNE LINA⁴

¹ Departamento de Química e Programa de Pós-graduação em Educação. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil

² Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México

³ Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa, México

⁴ Departamento de Química. Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

rjusti@ufmg.br

jchamizo@unam.mx

agarcia@correo.cua.uam.mx

kristianne@iceb.ufop.br

Summary

Models have an important role in science because they are intermediaries between reality and the theories produced to explain it. Therefore, modelling (the production, expression, and test of models) can be viewed as the essential process in the building of scientific knowledge. In order to provide students an authentic science education, some researchers have advocated the use of modelling-based teaching approach. This means that students should come to know the major scientific models, as well as their scope and limitations; appreciate the role of models and modelling in the accreditation and dissemination of scientific knowledge; and create and testing models. However, in order to conduct teaching situations that contribute to such learning, teachers must have comprehensive pedagogical content knowledge (PCK) on models and modelling. Research conducted in the last years has shown this is not the general case. This has motivated us to foster the development of teachers' PCK on models and modelling.

This paper has three aims: (i) presenting a proposal for continuous professional development which was built from three theoretical backgrounds: a pedagogical reasoning model, a collaborative action-research, and a

teachers' practice aiming at favouring the development of teachers' PCK on models and modelling; (ii) showing how such theoretical backgrounds were integrated in order to support the actions in the projects; and (iii) discussing their role in the development of teachers' PCK of models and modelling.

This proposal was developed from a critical-reflective approach, which main premises were the conception of teachers as learners, and a real collaboration between teachers and experts, that is, an interaction in which both participants play equally relevant roles and learn from the reciprocal sharing of their experiences. The proposal was developed with two different groups of Science teachers in Brazil and Mexico.

In both situations, the teachers' learning occurred from a continuous integration between theoretical reflections and teachers' practices. This was so because the teachers have produced modelling-based activities during the meetings, used them in their classes, analysed their students' learning, and discussed the whole experience (including their difficulties) with the group. This process resulted in effective changes in teachers' practices, although the development of teachers' PCK had not occurred instantaneously and without problems.