

*¿Es posible diseñar un programa formativo para enseñar ciencias por Indagación basada en Modelos en la formación inicial de maestros? Fundamentos, exigencias y aplicación**

Is it possible to design a Preservice Primary School teacher training program to teach Science by Model-based Inquiry? Framework, requirements and application

**Martínez-Chico, M.1; López-Gay Lucio-Villegas, R.²
Jiménez Liso, M^a R.¹**

(1) Universidad de Almería. (2) IES Nicolás Salmerón (Almería)

Resumen: Una de las principales cuestiones que nos planteamos al abordar la formación inicial de maestros se refiere a los aspectos que deberíamos abordar de manera que se cubran las necesidades formativas de los futuros maestros para enseñar ciencias. De la combinación de las conclusiones de la investigación didáctica sobre formación docente y del análisis e interpretación realizados del enfoque de enseñanza por Indagación basado en Modelos que adoptamos, identificamos una serie de requerimientos de la formación inicial para promover el desarrollo de este enfoque en el aula. Requerimientos que plasmamos en el diseño de una propuesta formativa, y cuya presencia analizamos cuando concretamos el programa de actividades desarrollado en la asignatura Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Palabras clave: formación Inicial de maestros; Enseñanza de las Ciencias por Indagación Basada en Modelos.

Abstract: One of the main questions arises when we address the initial teacher training refers to the issues we should consider to cover the training needs of prospective Primary teachers. From the combination of the research findings about teacher training and the analysis and interpretation we make of the Model-based Inquiry approach, a set of requirements of initial teacher training to promote this approach in Primary School were identified. These requirements have oriented the design of a training proposal, as well as they have allowed analyzing their real presence at the activities developed along the training course.

Key Words: Initial Primary Teacher Training; Model-based Inquiry.

(Fecha de recepción: diciembre, 2013, y de aceptación: septiembre, 2014)

DOI: 10.7203/DCES.28.3153

* Los autores desean expresar su agradecimiento a la Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía, España, por financiar este trabajo a través del Programa "Formación de personal docente e investigador predoctoral en las Universidades Andaluzas, en áreas de conocimiento deficitarias por necesidades docentes (FPDU 2008 ó 2009, la convocatoria que corresponda)". Dicho programa está cofinanciado por la Unión Europea a través del programa European Regional Development Fund (ERDF). Además parte de este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto SENSOCIENCIA-P11-SEJ-7385 en la convocatoria 2011 de proyectos de excelencia (MOTRICES Y Promoción General del Conocimiento). Los autores de este trabajo, además, quieren agradecer las modificaciones propuestas por los revisores de la revista que mejoraron el trabajo inicial así como la colaboración de Francisco Gil Cuadra de la Universidad de Almería.

1. Introducción

Una de las líneas de investigación en el ámbito de la Didáctica de las Ciencias Experimentales (en adelante DCE) se centra en la formación de futuros docentes para la enseñanza de las ciencias. Como es de esperar, una de las preguntas esenciales que surgen al abordar esta línea de investigación es reflexionar sobre qué se considera relevante sobre lo que han de *saber* y *saber hacer* los profesores de ciencias (Gil, 1991). La respuesta a esta cuestión no es tarea fácil, menos sencillo resulta aún si aumentamos el nivel de concreción y nos enfrentamos al diseño de programas formativos coherentes con los principios en los que se fundamenta la investigación didáctica y que respondan a los requerimientos que se derivan de los avances en la DCE.

Los principios constructivistas que fundamentan buena parte de la investigación y de la innovación en DCE, nos llevan a considerar el aprendizaje de las ciencias como sinónimo de cambios respecto a ideas, actitudes y prácticas previas y cotidianas (Mosquera y Furió, 2008), en concreto cuestionamientos en las ideas del profesorado adquiridas por sus experiencias como aprendices que han contribuido a forjar su actual pensamiento docente, al aportar visiones de la enseñanza-aprendizaje que han sido principalmente transmisivas. Consideramos, por tanto, que uno de los principales objetivos de la formación docente ha de ser provocar ese cuestionamiento de la eficacia de la enseñanza

tradicional, apoyándonos en las experiencias vividas por los propios docentes a lo largo de su etapa como escolares.

En este trabajo, en primer lugar, identificaremos cuáles son las recomendaciones que surgen de la investigación en DCE sobre formación inicial de profesores como fundamento del diseño de una asignatura en el Grado de Maestros en el que cuestionemos las concepciones docentes espontáneas de los estudiantes. Este cuestionamiento ha de ir acompañado de una “oferta” alternativa al enfoque de enseñanza transmisivo que complemente el proceso formativo como docentes y a la que puedan asirse en su práctica docente.

Consideramos que la formación inicial debería apostar por un enfoque de enseñanza explícito que sea reconocible para los propios estudiantes y puedan reflexionar sobre cómo están aprendiendo un contenido científico para el aula de Primaria. Recientemente en proyectos e informes de investigación se apuesta por un enfoque de enseñanza que atiende a los requerimientos de la investigación didáctica y que facilita la consecución del aprendizaje-enseñanza de las ciencias: el enfoque de enseñanza por indagación basado en modelos (en adelante, *MBI* del término anglosajón *Model-Based Inquiry*). En este trabajo analizaremos los aspectos que caracterizan este enfoque de enseñanza. De este modo podremos delimitar las necesidades formativas de los futuros maestros para enseñar ciencias por *MBI*, concretando después los requerimien-

tos o exigencias de la formación inicial que serían precisos para lograrlo.

Con ello, por un lado, aportamos un listado de exigencias para aquellos formadores de maestros que quieran diseñar asignaturas con estas características y, por otro lado, sentamos las bases para promover la efectiva aplicación del MBI en las aulas de Primaria a través de la formación inicial de los maestros. De este modo, nuestro primer objetivo es vislumbrar los avances de la investigación en DCE para la formación docente en torno a los cuales existe consenso y dar una visión global de las características del enfoque MBI para la formación de maestros. El segundo objetivo es poner de manifiesto cómo y en qué condiciones pueden combinarse ambos planteamientos operativizando su presencia en una propuesta concreta de formación inicial de maestros. Y nuestro último objetivo es reflexionar sobre si es posible plasmar estas exigencias en un programa formativo analizando la presencia de tales recomendaciones en las actividades de la asignatura implementada por tres formadores de maestros (Martínez-Chico, 2013).

2. Fundamentos de la investigación para la formación inicial en ciencias de docentes

En la actualidad existe suficiente consenso en el ámbito de la DCE en torno a una serie de exigencias que deberían estar presentes en la formación docente. Los futuros docentes cuentan con una amplia experiencia como estudiantes

que les ha llevado a construir unas creencias, actitudes, concepciones... sobre la finalidad de la enseñanza de las ciencias, el contenido científico, la ciencia y la actividad científica, cómo se aprende y cómo debe enseñarse, etc. Se trata de un conjunto de ideas que configuran el *pensamiento docente espontáneo*, fuertemente arraigado “porque responde a experiencias reiteradas y se adquiere de forma no reflexiva, escapándose así a la crítica y convirtiéndose en un verdadero obstáculo” (Gil, 1991). Este pensamiento docente puede constituir un verdadero impedimento para el cambio en la práctica docente (Tobin y Espinet, 1989), por lo que los programas de formación de docentes deberían prestar especial atención al cambio de pensamiento docente (Milner et. al., 2012).

Es preciso por tanto concebir la formación docente como un proceso de cambio de ideas y prácticas aprendidas como alumno, de autorreflexión y de autorregulación, en el que los docentes pongan en cuestión este *pensamiento de sentido común* (Sanmartí, 2002).

Bajo este pensamiento de sentido común, los docentes priman como **finalidad de la enseñanza de las ciencias** a la preparación para estudios posteriores, la memorización de hechos puntuales (Sanmartí, 2002; Osborne y Dillon, 2008) o el éxito en las pruebas estandarizadas (Howes et. al., 2008). Poner en cuestión esta idea tan arraigada supone un alto nivel de exigencia para la formación docente (Zemba-Saul, 2009), pues ha de promover una visión de la justificación del aprendizaje de las

ciencias en su relación con la necesidad de *una ciencia para todos* en la educación obligatoria por su importancia para el desarrollo personal, la inclusión social y la participación ciudadana (Osborne y Dillon, 2008; COSCE, 2011). En este sentido, la educación científica no se centra ya en la finalidad propedéutica sino en la comprensión del mundo que nos rodea y los problemas de la sociedad, poniendo al conocimiento científico en un elemento básico de nuestra cultura y reconociendo la importancia de promover la competencia científica: capacidad de argumentar, utilizar pruebas para construir explicaciones y realizar actividades científicas (Howes et. al., 2008; Zemba-Saul, 2009).

Otro de los grandes impedimentos para el cambio en el pensamiento docente y, por tanto, en la futura práctica profesional son las limitaciones en los conocimientos científicos (y lagunas en los saberes científicos) que afectan directamente a la forma de programar de los docentes, como señalaron Tobin y Espinet (1989). Estas limitaciones seguirán existiendo si la visión sobre el conocimiento científico sigue centrada en hechos, conceptos y leyes sin incluir también su relación con cuestiones y problemas cercanos, y las pruebas que tenemos para considerarlos válidos. Como señalan Darling-Hammond y Bransford (2005) y NRC (2000) esta visión reduccionista del contenido científico está relacionada con la inseguridad y las actitudes negativas hacia la enseñanza que manifiestan los docentes (Parker, 2006). Por el contrario, el cono-

cimiento del contenido científico debe entenderse en su sentido más amplio: conocer los problemas que se hallan en su origen, la metodología empleada para resolverlos, las relaciones CTS... (Gil, 1991), promoviendo la implicación de los estudiantes. Dadas las limitaciones de tiempo en las asignaturas dentro de la formación inicial, el desarrollo de todos los contenidos de ciencias para Primaria resultarían imposibles de abarcar en su sentido más amplio, argumento a favor de seleccionar pocos contenidos para que los futuros maestros los aprendan en profundidad, ofreciéndoles así una perspectiva amplia de lo que supone y exige el dominio de un contenido científico. Para el estudio en profundidad se puede usar el concepto de *grandes ideas (big ideas)* planteado por Harlen (2010), refiriéndose a ideas científicas clave que en conjunto permiten la comprensión de los fenómenos de relevancia para los estudiantes durante y más allá de sus años escolares, por ejemplo, las leyes fundamentales para entender el cambio químico.

Además de conocer el contenido científico, es decir, cómo los hechos, principios, leyes y fórmulas que han aprendido en sus cursos de ciencias se relacionan con las 'ideas importantes' (NRC, 2000), los docentes también necesitan conocer las pruebas del contenido que enseñan (*cómo sé que sé*). En definitiva, necesitan aprender el 'proceso' de la ciencia: qué es investigación científica y cómo hacerla. Diferentes trabajos han mostrado que los docentes poseen imágenes deformadas de **la ciencia y la activi-**

dad científica que guardan relación con lo que enseñan y cómo lo enseñan (Gil, 1991; Crawford, 2007). La visión de la ciencia como cuerpo de conocimientos acumulativo y cerrado, como un proceso algorítmico y lineal, la visión empírico-inductivista que coloca a la observación y experimentación en el punto de partida ignorando el papel fundamental del conocimiento previo, de la emisión de hipótesis y de la comunicación en la actividad científica, etc. constituye un obstáculo para entender y desarrollar una adecuada indagación en el aula y obliga a incluir en la formación docente una reflexión crítica y explícita de esas visiones deformadas. Pero no se trata únicamente de introducir a los futuros docentes en un debate teórico, sino que, una mejor comprensión de la construcción del conocimiento científico precisará de un enfoque eminentemente práctico, en el que se promuevan experiencias de enseñanza-aprendizaje basadas en la indagación a lo largo de la formación inicial (Abd-El -Khalick, 2012).

Las personas elaboramos explicaciones sobre los fenómenos que nos rodean que son distintas a las explicaciones científicas, debido a las diferentes maneras de asimilar y producir conocimientos que utilizan las personas en su actividad cotidiana y las que utilizan los científicos en su actividad profesional. Estas explicaciones, conocidas como *concepciones alternativas*, no se abandonan fácilmente aunque se nos presenten las ideas científicas de forma clara y convincente. Por ello, desde una visión *constructivista*, el **aprendizaje** científico, requiere

un cambio en las formas de razonar, familiarizando a los estudiantes con las características propias de la actividad científica. Esto implicaría entender el proceso de aprendizaje priorizando la expresión y la justificación de las ideas de los alumnos, valorando la importancia de la interacción y la comunicación entre iguales. Lo cual traduce en la formación docente en realizar actividades para que los estudiantes reconozcan la existencia de sus propias concepciones alternativas, y la importancia de cuestionarlas y acercarlas a las ideas científicas; en contraposición con la mera recepción de información o con una formación en la que los futuros docentes acumulan, exclusivamente, información teórica sobre el constructivismo.

A pesar de que, en muchas ocasiones, los bajos resultados en el aprendizaje conceptual de los estudiantes han puesto de manifiesto la ineficacia de enfoques de **enseñanza** transmisivos que se apoyan en una visión ingenua del contenido a enseñar y del aprendizaje, éste ha sido y sigue siendo el enfoque de enseñanza de las ciencias predominante en la escuela. El predominio de este enfoque, que es experimentado por los docentes durante su etapa como alumnos, supone el principal obstáculo para el cambio de pensamiento y de proceder didáctico, pues carecen de experiencias alternativas que les permitan sobre las construir otro enfoque de enseñanza (Zemal-Saul, 2009), como el enfoque MBI, y saber cómo llevarlo a la práctica. Tal ausencia de vivencias alternativas al enfoque tradicional hace, además de

que desconozcan en gran medida en qué consiste el enfoque de enseñanza MBI, que ignoren los resultados que puede producir (Wee et. al., 2007). Aunque no existe una sola estrategia para hacer indagación en el aula, ni la formación debe limitarse al desarrollo de una “técnica”, el análisis y evaluación de secuencias de enseñanza desde los presupuestos de este enfoque, la discusión de propuestas de mejora, el análisis de videos de clases de ciencias (Rivero et. al, 2013), la implementación de secuencias mediante simulaciones o durante los periodos de prácticas tuteladas... permitirán superar la dependencia de los materiales de baja calidad (Schwarz et. al, 2009) y la experiencia negativa que muchos/as maestro/as reconocen cuando llevan a cabo innovaciones en el aula (Mullholland y Wallace, 2003).

Como hemos mostrado hasta aquí, dado que los futuros docentes poseen concepciones sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias que pueden obstaculizar la adecuada enseñanza de las ciencias, desde una orientación constructivista, la formación debe enfocarse como un proceso de reflexión, cuestionamiento y cambio de las ideas y prácticas aprendidas como alumno. Como señalan Darling-Hammond y Bransford (2005) los docentes en activo y en formación a menudo ponen en duda la pertinencia de los programas de formación docente por ser demasiado abstractos, teóricos, descontextualizados, y alejados de la realidad de las aulas (Martínez-Chico, 2013). Por ello, las propuestas de formación inicial de maestros deberían hacerse de

forma práctica, ligado a situaciones de enseñanza evitando las propuestas de/ para *estudios universitarios* (Zeichner, 1995) y por el contrario buscando formar docentes capaces de usar el conocimiento didáctico del contenido para diseñar, analizar y mejorar su práctica. Es por ello que los maestros deberían ser formados siguiendo el mismo enfoque que se pretende que implementen con sus futuros alumnos (van Zee, 2006; Wee y otros., 2007, Schwarz, 2009). En este sentido, diferentes trabajos han mostrado la importancia y efectividad de que los futuros docentes **vivan secuencias de enseñanza innovadoras** durante su proceso de formación que les sirvan de modelo metodológico (COSCE, 2011; Martínez-Chico y López-Gay, 2010), secuencias coherentes en las que se integre el aprendizaje de contenidos, de estrategias de enseñanza y las ideas de los estudiantes; hay quienes incluso sugieren que los futuros docentes puedan participar en ciclos de planificación, enseñanza y reflexión en experiencias en los colegios (Zemal-Saul, 2009; Parker, 2006). El enfoque de enseñanza por indagación basada en modelos, que describiremos a continuación, se plantea como una buena alternativa para cuestionar ese pensamiento de sentido común en la formación inicial de maestros de Primaria.

3. Enfoque de enseñanza de las ciencias para maestros: indagación basada en modelos

Como hemos indicado en los párrafos anteriores, la formación inicial de

docentes debería apostar por un enfoque de enseñanza explícito que responda a una concepción de la enseñanza de las ciencias en Primaria.

Las nuevas perspectivas adoptadas por la Investigación Didáctica para la enseñanza de las ciencias hacen hincapié en la importancia de involucrar a los alumnos de edades tempranas en actividades propias de la indagación científica, familiarizándose con la construcción, evaluación y comunicación del conocimiento científico (NRC 2000, 2011; Schwarz et. al., 2009). Este enfoque de indagación en la escuela se organiza en torno a la búsqueda de pruebas para desarrollar explicaciones sobre los fenómenos naturales (Windschitl et. al., 2008). Estos autores y otros (Kanh, 2007; Kenyon et. al., 2008; Windschitl et. al., 2008) han mostrado que la participación de los alumnos en las prácticas indagatorias y en el desarrollo de explicaciones y modelos les conduce a un mejor entendimiento de las principales ideas de la ciencia, ayuda a los estudiantes a comprender la naturaleza del conocimiento científico y a pensar de forma crítica.

Los programas de formación de maestros deberían implicar activamente a los futuros docentes en procesos de aprendizaje con enfoques de enseñanza alternativos al *pensamiento docente de sentido común* (Gil, 1991), de manera que interactúen con sus formadores como aprendices, en lugar de como recolectores de información pues, como señalan Wee et. al (2007) este tipo de programas son más efectivos en el

cambio de pensamiento y de la práctica de los profesores. Esta misma idea focalizada en el enfoque de enseñanza por indagación se destaca en los NRC (2000) donde se describen las reflexiones de una maestra de Primaria cuando vivió una secuencia de actividades basada en la indagación:

Una vez concluido el curso, comencé a ser consciente de que tan importante como qué había llegado a entender era cómo había llegado a entenderlo. A través del proceso de indagación había llegado a una comprensión del contenido, que siempre sentí fuera de mi alcance. Quería ser capaz de responder a las preguntas a las que llegarían mis alumnos del mismo modo. La clave para las preguntas fue primero comprender el contenido (NRC, 2000).

Con posterioridad a esto NRC (2011) plantea una serie de necesidades formativas a cubrir en la formación inicial de los docentes: introducir a los maestros en indagaciones científicas, en experiencias que les ayuden a entender cómo piensan los niños, que aprendan cómo facilitar prácticas discursivas eficaces, o trabajar el modelado como elemento explícito de la formación docente. Si estas vivencias, además, van acompañadas de un proceso de reflexión y discusión explícita sobre lo que se hace y por qué se hace se facilita el cambio de pensamiento docente (Jiménez-Liso y otros, 2012).

Por estos motivos en nuestra propuesta de formación inicial de maestros optamos por el enfoque de indagación. Como a menudo, este enfoque de enseñanza de las ciencias queda reducido a

actividades manipulativas (*hands-on activities*), incidimos en la necesidad de introducir la modelización, por lo que ofrecemos una propuesta formativa con el enfoque de enseñanza por *MBI*, ya que promueve que los alumnos se impliquen en actividades indagatorias para la creación, evaluación y revisión de modelos que se pueden aplicar para entender y predecir el mundo natural (Stewart et. al., 2005; Schwarz, 2009). Este enfoque incide tanto en la indagación como en la modelización, pues también trata de ayudar a los alumnos a comprender el propio proceso de construcción de conocimiento (*minds-on activities*), un proceso dinámico que implica la revisión de los *modelos* (representaciones abstractas que simplifican un sistema para que hacer explícitas sus características centrales) de forma iterativa y consistente con la teoría y las pruebas (Windschitl et. al., 2008; Schwarz et. al., 2009).

Para mostrar de forma más precisa el sentido que damos a este enfoque, mostramos las características esenciales “desde la perspectiva del que aprende” que atribuimos al mismo, las cuales surgen combinando los planteamientos sobre las prácticas indagatorias y el modelado (Martínez-Chico, 2013): Enfrentarse con cuestiones científicas sobre fenómenos, cuya respuesta puede ser confirmada o rechazada mediante pruebas; formular explicaciones o hipótesis (que pueden ser modelos) justificadas; buscar pruebas que permitan confirmar o refutarlas a través de diseños experimentales propios, de la búsqueda

de información o de la consistencia encontrada en otros conocimientos ya consolidados; analizar e interpretar la información y los datos recogidos, adaptando las explicaciones inicialmente formuladas a la nueva información, mejorando así su validez o utilidad; comunicar e intercambiar ideas, considerando explicaciones alternativas a las personales y sometiendo a crítica el proceso y conclusiones obtenidas; utilizar y revisar las explicaciones/modelos, evaluándolas a la luz de otras bien argumentadas con mayor capacidad explicativa.

A pesar de los esfuerzos de formadores e investigadores por incorporar el enfoque de enseñanza de las ciencias por *MBI* a las aulas, no está muy presente en Primaria, (Crawford, 2007; Windschitl et. al., 2008). Por ello nos hemos planteado desarrollarla en la formación inicial de maestros para que, tras *vivir* esta propuesta centrada en *MBI*, se facilite que transfieran el enfoque a sus futuras aulas de Primaria. Esto nos lleva a preguntarnos, ¿es posible formar maestros para promover el desarrollo de la indagación basada en modelos en el aula?

En este trabajo pretendemos avanzar en la búsqueda de respuesta a esta cuestión, intentando, como primer objetivo, dar una visión global de las características o exigencias que debería reunir un programa de formación inicial de maestros para enseñar ciencias por indagación basada en modelos. Estas exigencias para la formación inicial de maestros servirán de referencia tanto en el diseño de una propuesta formativa

va, como en la evaluación de la misma, al comprobar si tales exigencias han sido realmente plasmadas en la operativización de la propuesta en un programa de actividades, evidenciando así si es o no posible diseñar un programa con esas características.

4. Exigencias de la formación inicial de maestros para promover la enseñanza de las ciencias por indagación basada en modelos

De la combinación del análisis e interpretación realizados del enfoque de enseñanza por indagación basada en modelos y de las principales conclusiones de la investigación didáctica sobre la enseñanza de las ciencias y la formación de docentes mostradas, se deri-

van una serie de **exigencias** o requerimientos de la formación inicial para promover el desarrollo de este enfoque en el aula (CUADRO I).

Consideramos que ambas dimensiones se ajustan perfectamente, pues además de resultar coherentes en los fundamentos que las sustentan, una complementa a la otra: las consideraciones establecidas por la investigación didáctica justifican el desarrollo de una enseñanza MBI y, al mismo tiempo, el enfoque MBI hace posible operativizar o concretar en unas actividades determinadas esas recomendaciones establecidas por la investigación didáctica.

Por tanto, de acuerdo con lo que se ha expuesto hasta aquí, desarrollar la competencia de los futuros maestros para llevar a cabo una enseñanza de las ciencias por indagación basada en

CUADRO I. Esquema de las necesidades formativas para enseñar ciencias por indagación



Fuente: Elaboración propia

modelos requiere, a lo largo de su formación inicial:

1. Cuestionar la *justificación de la enseñanza de las ciencias* basada en la tradición, la imposición normativa o la preparación para estudios futuros, y valorar la justificación basada en el valor cultural (definitorio de lo humano) del pensamiento y el trabajo científico así como su importancia para el desarrollo personal y la formación de futuros ciudadanos críticos.
2. Cuestionar visiones de la *ciencia y el trabajo científico* aporofemáticas, empiristas e individualistas, y resaltar la importancia de las preguntas y primeras respuestas justificadas como punto de partida, las conclusiones basadas en pruebas y el clima de discusión y comunicación en el trabajo científico.
3. Cuestionar el reduccionismo conceptual del *contenido de la enseñanza de las ciencias*, de carácter abstracto y descontextualizado, y promover un cambio hacia concepciones más amplias del contenido que incluyen tanto los hechos, conceptos y modelos como el proceso para llegar a considerarlo conocimiento basado en pruebas, resaltando su cercanía y funcionalidad.
4. Cuestionar las concepciones ingenuas sobre el *aprendizaje* basadas en la repetición y memorización de contenidos ya elaborados, y promover un cambio hacia concepciones constructivistas que resaltan la importancia de los esquemas de partida, las oportunidades para someterlos a prueba así como la comunicación e intercambio entre iguales.
5. Cuestionar la eficacia de los *enfoques de enseñanza* basados en la transmisión de conocimientos ya elaborados y preocupados principalmente por aspectos del contenido externos a la mente del aprendiz, y promover un cambio hacia enfoques centrados en cuestiones con sentido para los que aprenden, que buscan la expresión y discusión de las primeras respuestas así como la búsqueda y discusión de pruebas.
6. Cuestionar la visión simplista del *dominio del contenido* como la mera repetición de hechos y conceptos y promover un cambio hacia una visión más amplia que incluye los problemas cercanos que pueden abordarse con ese contenido, el nivel de formulación adecuado para dar respuesta a esos problemas, las pruebas que pueden encontrarse para confirmar su validez, la conexión con problemas relevantes para la ciudadanía.
7. *Vivir* experiencias concretas de aprendizaje de contenido científico basadas en la indagación, alternativas a experiencia de aprendizaje tradicionales, y aprovecharlas para el cuestionamiento y cambio de concepciones que se ha formulado en los puntos anteriores.
8. Elaborar *criterios* racionales para analizar experiencias y materia-

les de enseñanza, y utilizarlos para diseñar, evaluar y/o modificar materiales concretos.

Estas exigencias nos van a servir por un lado de fundamentación para el diseño de un programa formativo para la formación inicial de maestros y, por otro, para comprobar si hemos logrado o no plasmarlas en el programa formativo.

5. Un programa formativo centrado en MBI para futuros maestros

Las ocho exigencias anteriores han orientado el diseño y el análisis que hemos realizado de un programa de actividades, que responde a la estructura y organización de un fragmento de 45 horas de la asignatura Didáctica de las Ciencias Experimentales I (9 ECTS), incluida en el segundo curso del Grado Maestro de Primaria de la Universidad de Almería (Martínez-Chico, 2013).

Diseño del programa formativo

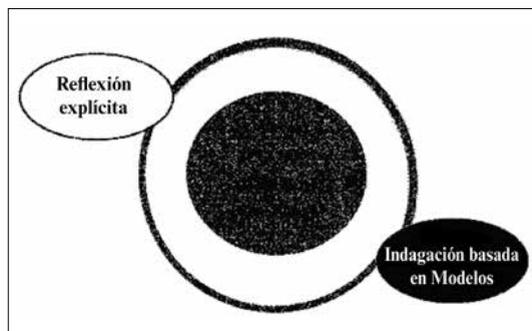
El programa se organiza en torno a dos planos que resultan complementarios (CUADRO II):

- Los futuros maestros realizan una reflexión explícita sobre su experiencia escolar y creencias en torno a cuestiones fundamentales (qué es la ciencia y cómo funciona, por qué es necesario aprender ciencias, cómo se produce el aprendizaje de las ciencias, y cómo enseñar ciencias)
- *Viven* una experiencia de aprendizaje sobre un contenido concreto (modelo Sol-Tierra), mediante un enfoque de enseñanza de las cien-

cias basada en la indagación, que va acompañada de reflexiones sobre las mismas cuestiones fundamentales.

El planteamiento de esta estructura metodológica se fundamenta en la importancia y efectividad de que los futuros docentes vivan secuencias de enseñanza innovadoras durante su proceso de formación que les sirvan de modelo metodológico, y en la relevancia de que se les ayude a reflexionar sobre ello, puestas de manifiesto por la investigación didáctica.

CUADRO II. Planos en torno a los cuales se organiza la propuesta diseñada



Fuente: Elaboración propia

Los dos grandes planos que sostienen la asignatura (CUADRO II) se descomponen en temas, de manera que, en el primer plano (reflexión explícita) el eje conductor es el contenido didáctico, y en el segundo plano (vivencia de una experiencia de aprendizaje basada en la indagación por modelos) el eje conductor es el contenido científico, pero siempre relacionado con el contenido didáctico y cuidando especialmente que

el enfoque de enseñanza por indagación sea reconocible con claridad en cada uno de esos temas. La estructura global

de la asignatura sigue una organización como la mostrada en la tabla que sigue (CUADRO III).

CUADRO III. Bloques y temas en torno a los que se organiza la propuesta de formación

<i>Bloques</i>	<i>Temas</i>
Reflexión explícita	1. Ciencia y enseñanza de las ciencias
	2. Aprendizaje de las ciencias
	3. Enseñanza de las ciencias
Vivencia de una experiencia de aprendizaje basada en la indagación por modelos	4. Movimiento diario sistema Sol-Tierra
	5. Cambios en la trayectoria diaria del Sol
	6. Construcción de un modelo para explicar... y hacer predicciones
	6.1. Construcción de un modelo estático para el equinoccio 6.2. Construcción de un modelo estático para los solsticios 6.3. Construcción del modelo: ¿Cómo deben moverse el Sol y/o la Tierra a lo largo del año?

Fuente: Elaboración propia

Protocolo de análisis del programa formativo

Para mostrar de forma más exhaustiva que las ocho exigencias de la formación inicial para enseñar ciencias por indagación no se diluyen en la secuencia de actividades que se desarrollan en el programa de formación, hemos diseñado un protocolo de análisis que nos permita reconocer la presencia o ausencia de tales exigencias. Este protocolo nos proporcionará, mediante sumatoria, una visión general de en qué medida esas exigencias están presentes en el

programa de actividades y no se resultan una relación de buenas intenciones.

Para la aplicación de este protocolo hemos diseñado un *estadillo de análisis* (CUADRO V y VI) que nos ha facilitado el análisis pormenorizado de cada una de las actividades incluidas en cada tema que incluye el programa, y nos ha permitido reconocer el peso de las exigencias enumeradas, mostrando una panorámica de las mismas a lo largo de la propuesta formativa.

Este estadillo fue completado por cada uno de los tres profesores participantes en la implementación del pro-

grama de forma autónoma, meses después de desarrollar la experiencia para activar el recuerdo a largo plazo y no el detalle. Hemos examinado las coincidencias para presentar los resultados consensuados. Para el tratamiento de los resultados, hemos considerado como criterio de consenso el que una actividad sea señalada por dos tercios o más de los participantes en el análisis, lo cual indicaría que, al menos dos reconocen que la actividad tiene una finalidad determinada. Para conocer el porcentaje de consenso global encontrado en las valoraciones, se ha contabilizado el total de acuerdos (según el criterio establecido) de los profesores implicados, respecto del total de posibles respuestas, obteniéndose un 82% de consenso del total de valoraciones.

niéndose un 82% de consenso del total de valoraciones.

Para eliminar los acuerdos por azar hemos utilizado la kappa de Fleiss, que permite realizar una medida de la concordancia en el análisis entre los tres profesores que completaron de manera independiente el estadillo de análisis (CUADRO IV).

La medida de acuerdo 0,687 puede considerarse como considerable (*substantial*) según la valoración del coeficiente de Kappa más usado en Educación (Landis y Koch, 1977) que limita entre 0,61 y 0,80 quedando sólo por encima los valores comprendidos entre 0,81 - 1,00 (Casi perfecta, *Almost perfect*).

CUADRO IV. Medidas simétricas, coeficiente de Kappa de Fleiss

Profesor 3			Valor	Error típ. asint. ^a	T aproximada ^b
0	Medida de acuerdo N de casos válidos	Kappa	,652 163	,073	8,389
1	Medida de acuerdo N de casos válidos	Kappa	,593 98	,082	5,985
Total	Medida de acuerdo N de casos válidos	Kappa	,687 261	,046	11,194

Fuente: Elaboración propia

Resultados del análisis de las actividades del programa

En el CUADRO V mostramos los resultados de este análisis de las actividades por tema, primero de los temas

1, 2 y 3 (primera parte del programa), y después de los temas 4, 5 y 6 (segunda parte, CUADRO VI). En la última fila de cada tabla especificamos el número de actividades por tema.

CUADRO V. Frecuencia de actividades que se ocupan de cada exigencia de la formación inicial enumeradas en los temas 1, 2 y 3

Exigencias	T1	T2	T3
<i>Justificación de la enseñanza de las ciencias</i>	6	1	4
<i>Visión de la ciencia y el trabajo científico</i>	5	1	6
<i>Reduccionismo conceptual del contenido</i>	8	2	6
<i>Visión del aprendizaje</i>	0	9	5
<i>Visión de la enseñanza</i>	4	6	6
<i>Dominio del contenido</i>	4	0	1
<i>Vivir experiencias de indagación</i>	0	0	0
<i>Elaborar y aplicar criterios de análisis de materiales y enseñanza</i>	0	0	6
Actividades totales por tema	27	19	34

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la CUADRO V, los resultados correspondientes al Tema 1 (*Ciencia y enseñanza de las ciencias*), incluyen cuatro actividades en las que se profundiza en la visión de la ciencia y otras cuatro en las que se aborda la importancia del dominio de contenido de ciencias para enseñar, y ocho actividades en las que se cuestiona el habitual reduccionismo conceptual del contenido de enseñanza. En este tema inicial también se incorporaron cinco actividades a la exigencia que caracteriza a la ciencia y cuáles son las razones que justifican su enseñanza en la educación obligatoria (seis actividades).

En el caso del Tema 2, la mayoría de las actividades se centra en cues-

tionar las concepciones ingenuas sobre el aprendizaje de las ciencias (nueve actividades), para lo que se parte en el programa de una crítica a la enseñanza habitual (en seis actividades se cuestiona la visión de la enseñanza), cuestionando el reduccionismo conceptual del contenido (dos actividades).

Con las 34 actividades del tema 3 se trabajan todas las exigencias excepto la vivencia de experiencias por indagación, en concreto cuatro exigencias son trabajadas por seis actividades (que no tienen por qué ser las mismas) y una más por cinco de las actividades realizadas en este tema.

A continuación, en el CUADRO VI, presentamos las exigencias de la for-

CUADRO VI. Actividades que se ocupan de cada exigencia de la formación inicial enumeradas en los temas 4, 5 y 6

Exigencias	T4	T5	T6
<i>Justificación de la enseñanza de las ciencias</i>	1	0	1
<i>Visión de la ciencia y el trabajo científico</i>	1	1	1
<i>Reduccionismo conceptual del contenido</i>	1	1	1
<i>Visión del aprendizaje</i>	1	1	1
<i>Visión de la enseñanza</i>	1	0	1
<i>Dominio del contenido</i>	1	12	0
<i>Vivir experiencias de indagación</i>	13	11	15
<i>Elaborar y aplicar criterios de análisis de materiales y enseñanza</i>	1	0	1
<i>Actividades totales por tema</i>	20	26	21

Fuente: Elaboración propia

mación inicial para enseñar ciencias por indagación que se trabajan en las actividades de los temas de la segunda parte del programa de formación (temas 4, 5 y 6).

Como podemos observar en los resultados del CUADRO VI, en los temas que conforman la segunda parte del programa (en el que los estudiantes viven una experiencia de aprendizaje basada en la indagación), la exigencia de la formación inicial para enseñar ciencias por indagación basada en modelos que está más presente es la de “vivir experiencias de indagación” con 13, 11 y 15 actividades para los temas 4, 5 y 6 respectivamente. Mientras que doce de las actividades del tema 5 también desarrollan el cues-

tionamiento del dominio del contenido. Este predominio de la exigencia relativa a *vivir experiencias de indagación*, no resta importancia al resto de exigencias que vuelven a hacerse explícitas en, al menos una actividad de cada tema.

A continuación, para ofrecer una panorámica de la presencia de las exigencias de la formación inicial planteadas para todo el programa formativo, presentamos los resultados globales de este análisis mostrando el número total de actividades que abordan cada una de tales exigencias en el programa (CUADRO VII).

Como podemos observar en el CUADRO VII, todas las exigencias de la formación inicial para enseñar ciencias por

CUADRO VII. Número de actividades que a lo largo del programa se ocupan de cada exigencia de la formación inicial para enseñar ciencias por indagación basada en modelos

Exigencias	Total
<i>Justificación de la enseñanza de las ciencias</i>	13
<i>Visión de la ciencia y el trabajo científico</i>	15
<i>Reduccionismo conceptual del contenido</i>	19
<i>Visión del aprendizaje</i>	17
<i>Visión de la enseñanza</i>	18
<i>Dominio del contenido</i>	18
<i>Vivir experiencias de indagación</i>	39
<i>Elaborar y aplicar criterios de análisis de materiales y enseñanza</i>	8

Fuente: Elaboración propia

indagación han sido ampliamente trabajadas en las actividades que conforman el programa de formación inicial. La frecuencia mayor corresponde a las actividades en las que los estudiantes viven experiencias de indagación (treintinueve).

Un segundo grupo de exigencias, con frecuencias de actividades entre trece y diecinueve, corresponden a las actividades en las que se trabaja sobre el cuestionamiento y cambio de visiones reduccionistas del contenido a enseñar y del dominio del contenido (diecinueve y dieciocho actividades respectivamente), de visión del aprendizaje y de la enseñanza de nuestros estudiantes (diecisiete y dieciocho actividades para cada exigencia), de la visión de la ciencia

y del trabajo científico del alumnado (quince del total) o en trece sobre la justificación de la enseñanza de las ciencias. Por tanto, la frecuencia total de las actividades relativas a la reflexión explícita y al cuestionamiento de seis de las exigencias planteadas para la formación inicial suma noventa y una actividades que corresponden a la mayor parte del programa formativo (los tres temas iniciales, así como las reflexiones puntuales de síntesis durante y al finalizar los tres temas finales).

Por último, como podemos observar, el número de actividades en las que se pretende trabajar sobre la elaboración y aplicación de criterios de análisis a materiales y a la enseñanza, es algo más reducido.

6. Análisis y conclusiones

La diversidad de actividades con las que trabajar cada una de las exigencias de la formación inicial en ciencias de maestros, fundamentadas en este artículo, reflejan que es posible plasmarla en un programa de actividades y que son reconocidas por los profesores que la han implementado.

La reflexión explícita que planteamos en la propuesta formativa comienza con el cuestionamiento sobre el objeto de las ciencias (describir, explicar y predecir) y cómo construir el conocimiento científico en la enseñanza de las ciencias. Esta cuestión deriva en qué contenidos trabajar y en qué orden (Martínez-Chico y otros, 2013) porque es una de las que como futuros docentes serán imprescindibles en su quehacer diario. Las actividades en este tema inicial también cuestionan la justificación de la enseñanza de las ciencias basada en la tradición, la norma o la preparación para futuros estudios, pues las finalidades de la educación científica de los futuros maestros sobre estos aspectos condicionarán su toma de decisiones cuando enseñen.

La evolución en la diversidad de exigencias que se abordan con cada actividad a medida que vamos avanzando en el programa, se pone de manifiesto en el CUADRO V, mostrando un proceso de aprendizaje progresivo en el que se interrelacionan todos los contenidos trabajados en los dos temas previos. Esta progresión en el aprendizaje responde a la necesidad del cuestionamiento en espiral, de manera que en el último tema

del primer bloque de reflexión explícita se trabajan casi todas las exigencias lo que refleja el nivel de complejidad que se va alcanzando conforme avanzamos en la propuesta formativa.

En este primer bloque de reflexión explícita no relacionamos ninguna actividad con la exigencia *vivencia de experiencias de indagación*. Este hecho fue intencionado porque el segundo bloque estaba mayoritariamente reservado a desarrollarlo a través del contenido elegido: Sol-Tierra (temas 4, 5 y 6). No ocurre igual al revés, en estos temas Sol-Tierra, la reflexión explícita también tiene especial peso, ya que los estudiantes, al experimentar en primera persona la enseñanza por indagación están aprendiendo un contenido científico concreto al mismo tiempo que ponen en cuestionamiento su propio dominio de esos contenidos científicos trabajados en su etapa de Primaria y Secundaria en numerosas ocasiones. De hecho, en todos los temas 4, 5 y 6 encontramos alguna actividad de las exigencias sobre cuestionamiento, concretamente al final de cada tema, a modo de síntesis para retomar la reflexión explícita desde su nueva experiencia de aprendizaje de estos contenidos científicos. Las numerosas actividades destinadas a *hacer vivir* la indagación a través de la construcción y uso del Modelo Sol-Tierra es un indicador de que la propuesta formativa es “práctica” o experiencial que intenta superar las críticas habituales de los docentes en activo (Martínez-Chico y otros, 2013) y en formación sobre la pertinencia de los programas de forma-

ción docente al ser demasiado abstractos y teóricos (Darling-Hammond y Bransford, 2005). Por otro lado, la decisión de hacerles vivir este enfoque de enseñanza a través de los contenidos sobre Sol-Tierra se fundamenta en la importancia y efectividad puestas de manifiesto por la investigación didáctica de que los futuros docentes “vivan” secuencias de enseñanza innovadoras durante su proceso de formación que les sirvan de modelo metodológico, y en la relevancia de que se les ayude a reflexionar sobre ello, promoviendo así que los futuros maestros construyan una imagen realista de la ciencia y de la actividad científica, al mismo tiempo que le ofrecemos una alternativa al pensamiento docente de sentido común con el que acceden.

Las escasas actividades en las que se desarrolla la octava exigencia (*Elaborar y aplicar criterios de análisis de materiales y enseñanza*) se tratan, en su mayoría, de actividades de recapitulación de lo aprendido, o actividades en las que los propios estudiantes han de establecer los criterios adecuados, basándose en lo trabajado a lo largo de las clases, para hacer breves propuestas o mejoras de propuestas de enseñanza. Este aspecto de la formación inicial ha sido trabajado sólo de manera introductoria en esta propuesta de formación con la intención de reservar estos aspectos y profundizar en ellos en la asignatura Didáctica de las Ciencias Experimentales II (Grado Maestro E. Primaria) de 4º curso. Tal decisión viene fundamentada en que esta exigencia está más ligada a los aspectos profesionales y considera-

mos que conforme van avanzando en el título, ese problema profesional va siendo más prioritario para los estudiantes, dado que el número de créditos de prácticas de enseñanza es mayor, y el diseño, adaptación y evaluación de propuestas de enseñanza de las ciencias cobrará mayor sentido para ellos al mismo tiempo que ven finalizar su formación, y por tanto, crecen las demandas de formación más ligadas a la profesión.

Como se ha mostrado hasta aquí, hemos logrado sintetizar la investigación sobre formación inicial de maestros en ocho exigencias que han podido ser plasmadas en un programa de actividades con un enfoque de enseñanza de las ciencias de indagación por modelos, por tanto, podemos afirmar que *es posible diseñar un programa de formación inicial de maestros para la enseñanza de las ciencias por indagación basada en modelos respaldadas por la literatura: centrada en que aprendan conocimiento científico de manera integrada al aprendizaje de conocimiento didáctico, siguiendo un enfoque de enseñanza por indagación*. Los resultados expuestos en este artículo se completarán con los obtenidos (Martínez-Chico, 2013) en relación a la evaluación en profundidad de la efectividad del programa desde el punto de vista del aprendizaje de los futuros maestros que lo han cursado.

7. Referencias

ABD-EL-KHALICK, F. (2012), Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains.

- Science & Education*, 22 (9), 2087-2107. DOI: 10.1007/s11191-012-9520-2.
- CONFEDERACIÓN DE SOCIEDADES CIENTÍFICAS DE ESPAÑA (2011), Informe ENCIENDE: *Enseñanza de las Ciencias en la Didáctica Escolar para edades tempranas en España*. En: http://www.cosce.org/pdf/Informe_ENCIENDE.pdf
- CRAWFORD, B. A. (2007), Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44: 613-642.
- DARLING-HAMMOND, L. y BRANSFORD, J. (2005), *Preparing teachers for a changing world: What teachers should learn and be able to do*. San Francisco: Jossey-Bass.
- GIL, D. (1991), ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de Ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (2), 188-199.
- HARLEN, W. (2010), *Principles and Big Ideas in Science Education*. Hatfield: ASE.
- HOWES, E.V., LIM, M., y CAMPOS, J. (2008), Journeys into inquiry-based elementary science: Literacy practices, questioning, and empirical study. *Science Education*, 93(2), 189-217.
- JIMÉNEZ-LISO, M.R., LÓPEZ-GAY, R. Y MARTÍNEZ-CHICO, M. (2012). Cómo trabajar en el aula los criterios para aceptar o rechazar modelos científicos: ¿Tirar piedras sobre nuestro propio tejado? *Alambique*, 72, 47-54.
- KHAN, S. (2007), Model-based inquiries in chemistry. *Science Education*, 91 (6), 877-905.
- KENYON, L., SCHWARZ, C., y HUG, B. (2008), The benefits of scientific modeling. *Science and Children*, 46 (2), 40-44.
- LANDIS, J.R., Y KOCH, G.G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33 (1), 159-174.
- MARTÍNEZ-CHICO, M. (2013). *Formación inicial de maestros para la enseñanza de las ciencias. Diseño, implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza*. (Tesis doctoral). Editorial Universidad de Almería.
- MARTÍNEZ-CHICO, M. Y LÓPEZ-GAY, R. (2010). La flotación de los objetos. Una oportunidad para promover el cambio didáctico en futuros docentes. En Abril, A.M. y Quesada, A. (eds.). XXIV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, 152–157. Último acceso el 14 de marzo de 2013 desde <http://www.apice-dce.com/sites/default/files/APICEACTAS/XXIVEDCCEECOMUNICACIONES%28Formaciondelpofesorado%29.pdf>
- MARTÍNEZ-CHICO, M., LÓPEZ-GAY, R., JIMÉNEZ-LISO, M.R., Y ACHER, A. (2013). Demandas de maestros en activo y materiales curriculares para la enseñanza de las ciencias. *Investigación en la escuela*, 80, 35-48.
- MILNER, A., SONDERGELD, T. A., DEMIR, A., JOHNSON, C.C., y

- CZERNIAK, C.M. (2012), Elementary Teachers' Beliefs About Teaching Science and Classroom Practice: An Examination of Pre/Post NCLB Testing in Science. *Journal of Science Teacher Education*, 23 (2), 111–132.
- MOSQUERA, J. C. y FURIÓ, C. (2008), El cambio didáctico en profesores universitarios de química a través de un programa de actividades basado en la enseñanza por investigación orientada. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 22, 115-154.
- MULHOLLAND, J., y WALLACE, J. (2003), Strength, sharing and service: Restorying and the legitimation of research texts. *British Educational Research Journal*, 29(1), 5-23.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2000), A Review of the draft report of the NCI-CDC Working Group to Revisethe “1985 Radioepidemiological Tables”. Washington, DC: National Academies Press.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2011), A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- OSBORNE, J. y DILLON, J. (2008), *Science Education in Europe: Critical Reflections*. Informe Nuffield (Nuffield Foundation), UK.
- PARKER, J. (2006), Exploring the Impact of Varying Degrees of Cognitive Conflict in the Generation of both Subject and Pedagogical Knowledge as Primary Trainee Teachers Learn about Shadow Formation. *International Journal of Science Education*, 28 (13), 1545-157.
- RIVERO, A., HAMED AL-LAL, S., MARTÍN DEL POZO, R., SOLÍS, E., FERNÁNDEZ, J., PORLÁN, R., RODRÍGUEZ, F. y SOLÍS, C. (2013), La formación inicial de maestros de primaria: qué hacer y cómo en didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*. Número Extra: 3045-3050.
- SANMARTÍ, N. (2002), Necesidades de formación del profesorado en función de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. *Pensamiento Educativo*. Vol. 30 (julio), 35-60.
- SCHWARZ, C. (2009), Developing preservice elementary teachers' knowledge and practices through modeling-centered scientific inquiry. *Science Education*, 93(4), 720-744.
- SCHWARZ, C.V., y otros (2009), Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- STEWART, J., CARTIER, J.L., y PASSMORE, C.M. (2005), Developing understanding through model-based inquiry. In M. S. Donovan & J. D. Bransford (Eds.), *How students learn* (pp. 515-565). Washington D.C.: National Research Council.

- TOBIN, K. y ESPINET, M. (1989), Impediments to change: application of coaching in high school science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (2), 105-120.
- VAN ZEE, E. H. (2006), Teaching “science teaching” through inquiry. In Appleton, K. (ed.), *Elementary Science Teacher Education*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. 239- 257.
- WEE, B., SHEPARDSON, D. FAST, J. y HARBOR, J. (2007), Teaching and learning about inquiry: insights and challenges in professional development. *Journal of Science Teacher Education*, 18(2), 63-89. Autores, 2012.
- WINDSCHITL, M., THOMPSON, J. y BRAATEN, M. (2008), Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92 (5), 941–967.
- ZEICHNER, K. M. (1995), Reflections of a teacher educator working for social change. In T. Russell and F. Korthagen (Eds.), *Teachers Who Teach Teachers*. London: Falmer Press, 11-24.
- ZEMBAL-SAUL, C. (2009), Learning to Teach Elementary School Science as Argument. *Science Education*, 93: 687–719.

