

Dificultades de maestros en formación inicial para diseñar unidades didácticas usando la metodología de indagación

Radu Bogdan Toma^{1a}, Ileana María Greca^{1b}, Jesús Ángel Meneses-Villagrà^{1c}

¹ Departamento de Didácticas Específicas, Universidad de Burgos. Burgos. España

^a rtx0001@alu.ubu.es, ^b imgreca@ubu.es, ^c meneses@ubu.es

[Recibido en mayo de 2016, aceptado en enero de 2017]

El propósito de este estudio fue identificar las dificultades que presentan maestros en formación para elaborar programaciones didácticas de ciencias naturales para educación primaria utilizando una metodología de indagación. Se analizaron 157 unidades didácticas, primero clasificándolas atendiendo al grado de indagación que proponen. En aquellas con tipología más indagatoria, se identifican los componentes principales del proceso indagatorio que contienen, siguiendo una rúbrica elaborada a partir del protocolo 'Reformed Teaching Observation Protocol' (RTOP). Los resultados muestran que solamente un tercio de las unidades didácticas permitirían desarrollar una indagación, y parecen indicar que muchos estudiantes tienden a concebir la indagación como un quehacer práctico en el laboratorio, descontextualizado en la mayoría de las ocasiones, existiendo una dicotomía entre lo que recoge el marco teórico y la praxis que plantean los futuros docentes.

Palabras clave: Metodología de indagación, formación inicial de maestros, ciencias en primaria, unidades didácticas.

Elementary pre-service teachers' difficulties for designing science-teaching units by inquiry

The purpose of this study was to identify the difficulties that pre-service teachers show to develop science teaching units for primary education, using a methodology of inquiry. 157 didactic units were analysed, first classifying them according to the degree of investigation proposed. In those showing more inquisitive traits, the main components of the investigative process, according to a rubric developed from the Reformed Teaching Observation Protocol (RTOP) Protocol were identified. The results obtained established that only a third of the didactic units prepared by the pre-service teachers would be useful for developing an inquiry, and they seem to indicate that many students tend to conceive inquiry only as practical work in the laboratory, decontextualized in the majority of occasions.

Keywords: Teaching by inquiry, pre-service teachers, science in primary school, didactic units.

Para citar este artículo: Toma R. B., Greca I. M., Meneses-Villagrà, J. A. (2017) Dificultades de maestros en formación inicial para diseñar unidades didácticas usando la metodología de indagación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (2), 442–457. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/19228>

Introducción

La metodología didáctica basada en la indagación, cuyo rasgo característico es el papel activo de los estudiantes involucrados en actividades enfocadas a la resolución de problemas para aprender sobre ciencias y sobre la naturaleza de las ciencias, se propone como un elemento central para la reforma de la enseñanza de las ciencias naturales (American Association for the Advancement of Science 1993; Artigue, Baptist, Dillon, Harlen y Léna 2010; National Research Council 2000; Rocard, Csermely, Jorde, Lenzen, Walberg-Henriksson y Hemmo 2007). Esta metodología permitiría abandonar las concepciones repetitivas, fragmentadas y memorísticas, fruto del enfoque tradicional basado en el libro de texto como principal material didáctico en las aulas de primaria (Cañal, Criado, García-Carmona y Muñoz 2013; García y Martínez 2003). Sin embargo, la realidad muestra una muy discreta - casi inexistente- presencia de la indagación en las aulas de ciencias (Confederación de Sociedades Científicas de España 2011; Escobar y Vílchez 2006; Osborne y Dillon 2008).

Además, las no poco erróneas percepciones sobre la indagación por parte del profesorado favorecen la dicotomía entre su práctica docente y la correcta aplicación de esta estrategia didáctica (Crawford 1999; Roth, Boutonneâ, Mcrobbie, y Lucas 1999; Windschitl, Thompson y Braaten 2008). Así, por ejemplo, se considera el debate de ideas como el principal elemento de la indagación (Carnes 1997), desviarse de la planificación curricular como símil de indagar (Keys y Kennedy 1999) o confundir estar involucrado y activo físicamente con estar motivado y activo intelectualmente (Couso 2014).

Para que los maestros en formación puedan aplicar correctamente esta metodología deben disponer de conocimientos apropiados, es decir, que respondan a las cinco características esenciales de la indagación, descritas en el informe de referencia del National Research Council (NRC 2012). Por tanto, los maestros en formación poseerán los conocimientos necesarios para utilizar esta metodología en sus clases en la medida en que consigan plantear preguntas científicamente orientadas, que permitan a sus alumnos desarrollar explicaciones a partir de evidencias empíricas y ser capaces de comunicarlas y justificarlas. Además, las explicaciones de los alumnos deberán poder ser conectadas con el conocimiento científico y, a su vez, con el currículo de ciencias. En la literatura, ya encontramos varias propuestas para la formación de maestros en la metodología de la indagación, tanto a nivel internacional como en España (Cortés y Gándara 2006; Gil, Martínez, De la Gándara, Calvo y Cortés 2008; Gil y Martínez, 2005; Martínez Chico, López Gay y Jiménez 2013; Martínez Chico, Jiménez Liso y López Gay 2015; Vílchez González y Bravo Torija 2015). En general, los maestros en formación valoran positivamente estas propuestas, a pesar de sus déficits iniciales. Sin embargo, aún son escasos los estudios que muestren las dificultades que presentan estos mismos maestros en formación para implementar esta metodología en las aulas de ciencias de la escuela primaria.

Un primer paso en este sentido consiste en estudiar si son capaces de diseñar programaciones didácticas acordes con esta metodología didáctica. Aunque del diseño a la efectiva implementación hay un largo camino, es el primer paso. Por ello, el objetivo de este trabajo es identificar el dominio que tienen los estudiantes del Grado de Maestro en Educación Primaria sobre la metodología que nos ocupa, a partir del análisis de las Unidades Didácticas (U.D.) que elaboraron durante el curso académico 2013-2014, en la asignatura 'Investigación e Innovación en el aprendizaje del Conocimiento del Medio' en la que se trabaja explícitamente la metodología de la indagación. Para ello, primero presentaremos lo que entendemos por indagación, así como el contexto de formación en didáctica de las ciencias experimentales de los estudiantes analizados.

Fundamentación teórica

Para los maestros, dada su limitada formación en y sobre ciencias (Abell 2007) cualquier reforma metodológica en esta área, que vaya más allá del uso del libro de texto, implica muchos desafíos. Además, para el caso particular de la metodología de la indagación, la mayoría de los maestros no han tenido la oportunidad de aprender ciencias a través de su uso o realizar investigaciones científicas y no disponen del conocimiento y las habilidades necesarios para utilizarla de forma reflexiva y adecuada en el aula. De hecho, los resultados de la investigación (entre otros, Cañal 2000; Greca 2016; Murphy, Neil y Beggs 2007; Porlán, Martín, Rivero, Harres, Azcárate y Pizzato 2010) muestran que, en general, los maestros tienen puntos de vista de y sobre las ciencias a menudo incompatibles con las concepciones que aparecen en la investigación y en las propuestas de reforma: un conocimiento científico fragmentado, superficial y poco sólido, tanto conceptual como procedimental y una concepción empírico-inductivista de la naturaleza de la ciencia, que les lleva a enseñar ciencias

en primaria mayoritariamente de forma tradicional, con el libro de texto como principal recurso.

Antes de avanzar, es necesario definir qué es lo que entendemos por metodología de indagación en la enseñanza de las ciencias, dado existen diferentes interpretaciones. Nosotros hemos adoptado la que plantea el National Research Council (NRC 2000, 2012), con los siguientes componentes:

- a) Los saberes, eventos o fenómenos abordados deben poseer un interés científico que conecte con los conocimientos propios de los alumnos, y que les cree un conflicto cognitivo que impulse el desarrollo de sus ideas previas.
- b) Los alumnos deben involucrarse en experiencias manipulativas que entrañen la formulación y comprobación de hipótesis, la resolución de problemas reales, y la generación de explicaciones del fenómeno estudiado a partir del análisis y la interpretación de datos y la síntesis de ideas propias.
- c) Durante el proceso de indagación es necesario que los alumnos construyan modelos, aclaren conceptos y amplíen conocimientos y habilidades aplicables a otras situaciones, además de ir aprendiendo también algunos elementos centrales sobre la forma de hacer ciencia.
- d) Debe haber una revisión conjunta entre el alumnado y el profesorado para evaluar el qué y el cómo se ha aprendido.

Desde esta perspectiva, el uso de la metodología de la indagación no implica solamente potenciar el desarrollo de “destrezas indagativas”, sino también contenidos conceptuales de ciencia (leyes, teorías y modelos) y contenidos sobre la naturaleza de la ciencia. En relación a los modelos, cabe resaltar que están, salvo algunas excepciones, ausentes de la enseñanza en la escuela primaria, tanto porque persisten las ideas de que a los niños sólo debe enseñárseles los componentes más simples (Schauble, Glaser, Duschl, Schulze, y John 1995) así como a las propias dificultades de los maestros (Anderson 2002; Hayes 2002).

Los maestros en formación, igual que los que están en activo, presentan semejantes concepciones inadecuadas sobre la naturaleza de la ciencia (Campbell y Bohn 2008; Guisasola y Morentin 2007; Windschitl 2002); una visión positivista y un énfasis en la ciencia como producto. Sin embargo, algunas investigaciones muestran que pueden llegar a puntos de vista congruentes con los articulados por los especialistas, si participan en auténticas investigaciones científicas como parte de su formación (Haefner y Zembal-Saul 2004; Seung, Park y Jung 2014; Windschitl 2002).

No obstante, desarrollar mejores comprensiones sobre contenidos científicos o sobre el quehacer científico no garantiza que los maestros en formación puedan ser capaces de diseñar U.D. basadas en esta metodología sin percepciones erróneas acerca de su uso en el aula de primaria. Recordemos que el diseño de unidades didácticas se constituye en el elemento central de los docentes para la implementación efectiva del currículo (Brown 2009; Remillard 2005), cuando, al usar sus recursos personales (conocimientos, creencias, identidades, entre otros) interactúan con el material curricular disponible, interpretándolo, criticándolo, seleccionándolo y adaptándolo. En el caso del diseño de U.D. por indagación los futuros maestros parten en general de recursos curriculares (libros, experiencias en internet, entre otros) insuficientes o de nivel muy dispar que deberían modificar usando sus recursos personales, que incluyen en general un dominio limitado de la materia y sus propias concepciones de lo que entienden por indagación. De hecho, investigaciones previas muestran que los docentes en formación tienen dificultades para articular diseños que estén en

consonancia con una metodología de indagación, lo que les impide luego ponerlos en práctica (Abell 2007; Blumenfeld y Krajcik 2000; Davis, Petish y Smithy 2006; Seung, Park y Jung 2014; Zembal-Saul, Blumenfeld y Krajcik 2000).

Contexto y antecedentes

Al planificar la programación de las asignaturas obligatorias del área de didáctica de las ciencias experimentales del Grado en Maestro de Educación Primaria de la Universidad de Burgos, partimos del supuesto que si los estudiantes pueden experimentar de forma positiva indagaciones en su aprendizaje en ciencias es más probable que las repliquen en su docencia. Nuestra propuesta de formación consta de tres asignaturas. Los principales objetivos de las dos primeras, de segundo y tercer curso respectivamente, son conseguir que los estudiantes adquieran un mínimo de conocimientos científicos estructurantes, una visión más actual sobre la naturaleza de las ciencias y, sobre todo, una forma diferente de entender su enseñanza, a partir del uso de diferentes metodologías innovadoras propuestas en la literatura (Greca, Díez Ojeda y Meneses Villagrà 2016). En la última disciplina, realizada durante el primer semestre del cuarto curso, se trabaja y utiliza únicamente la metodología de la indagación. En esta asignatura se proponen a los estudiantes situaciones problemáticas abiertas que deben abordar siguiendo los procesos que caracterizan una indagación científica, trabajando en forma grupal. Las problemáticas, que contemplan diversos contenidos científicos, están pensadas para profundizar en un nivel correspondiente al inicio del Bachillerato. Durante cinco semanas, los estudiantes analizan la situación problemática e identifican dos o tres problemas más concretos que puedan ser resueltos de forma experimental, emiten hipótesis y hacen predicciones, planifican los diseños experimentales, utilizan instrumentos y analizan los datos obtenidos, relacionándolos con los modelos científicos correspondientes, establecen conclusiones y buscan nuevas aplicaciones relacionadas con el conocimiento construido. Una vez realizado el trabajo experimental, deben dar respuesta a los problemas abordados elaborando un informe escrito, basándose en la evidencia empírica obtenida.

Nuestra pretensión principal, con esta formación, es ayudar a que nuestros estudiantes, futuros maestros, aprendan a pensar científicamente (NRC 2012), para lo cual consideramos necesario el trabajo indagatorio que realizan en el aula y su comunicación, pues a través del mismo pueden llegar a ser capaces de construir, evaluar y utilizar explicaciones científicas, modelizando y argumentando (Couso 2014), así como participar en prácticas y discursos de la ciencia. Paralelamente a este trabajo experimental, en las clases teóricas se reflexiona junto con los estudiantes sobre los diferentes componentes de esta metodología, que ellos están utilizando, así como la forma de su aplicación en clases de primaria. Durante las tres últimas semanas de la asignatura, los estudiantes diseñan, de forma individual, una secuencia didáctica para la escuela primaria, usando la metodología de indagación sobre algún tema que esté incluido dentro del currículum de este nivel.

En una encuesta contestada por el grupo que realizó esta asignatura por primera vez (ver Greca, Meneses y Díez Ojeda 2016) los estudiantes declararon, de forma casi unánime, que después de la indagación mejoraron sus conocimientos procedimentales y conceptuales, y la mitad manifestó haber mejorado su imagen de ciencia, que pasó a ser percibida como más cercana e interesante. En relación al uso de la metodología de indagación en educación primaria, es significativo el número de aspectos positivos que destacaron, desde el aprendizaje de ciencia y sobre la ciencia pasando al desarrollo de autonomía por parte de los alumnos y la cooperación. Muchos de los estudiantes indicaron que esta metodología era altamente motivadora (66%) y que podría permitir que los niños aprendiesen ciencias ‘haciendo ciencias’, mostrando indicios de mejora en su percepción de la importancia de enseñar ciencias de forma significativa. Además, parecieron comenzar a aceptar las preguntas y el interés de los

alumnos como base para el diseño curricular de la enseñanza de las ciencias, factor que influye en la utilización de la indagación en el aula (Howes 2002).

Preguntas de investigación

La alta motivación que despierta la indagación en los maestros en formación no tiene por qué ir necesariamente acompañada de una comprensión adecuada de lo que es una indagación, lo que impediría que, al ejercer como maestros, la aplicasen con cierta corrección. Por ello, decidimos estudiar en profundidad las secuencias didácticas que diseñaron los estudiantes que respondieron la encuesta indicada en el párrafo anterior. Las preguntas de investigación planteadas fueron:

1. ¿Qué es lo que entienden los estudiantes en formación por «indagación»?
2. ¿Cuáles son las principales dificultades que poseen los maestros en formación para incluir la metodología de indagación en el diseño de unidades didácticas?
3. ¿En qué medida difieren las propuestas didácticas de los maestros en formación con respecto al corpus teórico de la indagación?

Metodología

Este estudio descriptivo se ha realizado según una metodología cuantitativa no experimental, basada en la aplicación de una categorización y una rúbrica. La categorización permitió clasificar las U.D. de acuerdo a la presencia o no de elementos relacionados con la indagación, y la rúbrica, identificar las principales dificultades para elaborar programaciones didácticas de naturaleza indagadora. Ambos instrumentos fueron confeccionados a partir de la adaptación de otros.

En el caso de la categorización, se utilizaron los resultados obtenidos por Schwarz y Gwekwerere (2007) para establecer seis tipos de U.D. que poseen una menor o mayor presencia de indagación: 1) práctica incoherente, 2) práctica coherente, 3) académica, 4) proyecto, 5) investigadora y 6) indagadora (en el [anexo 1](#) aparecen las orientaciones de estos tipos de unidades didácticas). Con esta categorización fue posible realizar una primera selección de las U.D. que mostraban indicios de la metodología de indagación.

La rúbrica es una adecuación del protocolo ‘Reformed Teaching Observation Protocol’ (RTOP), desarrollado por Sawada y Piburn (2000), que se ha utilizado para profundizar en el análisis de las programaciones didácticas una vez que fueron clasificadas mediante el instrumento indicado en el párrafo anterior. Este protocolo fue desarrollado originalmente para la observación de clases teniendo en cuenta las características de la metodología de la indagación tal como nosotros la concebimos y trabajamos con los estudiantes. Las modificaciones que realizamos en este caso fueron dos. Por una parte, seleccionamos del instrumento original los ítems más significativos para definir una indagación y que pudieran ser detectados en el diseño de una unidad didáctica y los agrupamos teniendo en cuenta los cuatro componentes de una indagación definidos anteriormente en la fundamentación teórica. La otra modificación fue añadir, de forma explícita, características a cada ítem para valorar de forma más objetiva las U.D. Así, en cada ítem se describen diferentes características del mismo, en una escala de 0 a 3, los valores superiores que corresponden a aquellos que capturan más elementos cruciales de la indagación (ver ejemplos en las tablas 1, 2, 3, y 4). La asignación de los valores de cada ítem se realizó después de una “codificación” de cada U.D. Así, por ejemplo, todas las actividades propuestas (ya fueran a ser realizadas por el maestro o por el alumno) eran identificadas por su tipo, característica, finalidad según el contexto, tipo de participación del alumnado y recursos. Con esto, se podía identificar fácilmente si había tres, dos, una o ninguna de las actividades que, por ejemplo, son indicativas para asignar valores en el ítem 7 del componente B, que aparece en la Tabla 2.

Con esta rúbrica se pueden detectar aspectos que resultan más difíciles de integrar en una secuencia didáctica, así como el grado de coherencia y de apertura de las indagaciones planteadas. Antes del análisis definitivo, se realizó una prueba piloto con el 20% de las U.D., que permitió definir mejor los ítems de la rúbrica. Para la prueba piloto, los dos autores primeros de este trabajo seleccionaron cada uno diez U.D. al azar, aplicando los dos instrumentos. Finalmente, estos autores analizaron de forma independiente todas las unidades didácticas usando los dos instrumentos en sus versiones finales. Las U.D. con discrepancias mayores del 10% fueron nuevamente analizadas por el tercer autor del trabajo tanto en la categorización como en su posterior análisis, resolviéndose las diferencias por consenso. Los principales cambios introducidos en la rúbrica después de este estudio piloto estuvieron referidos a la claridad en la definición de cada uno de los ítems, de forma a evitar ambigüedades.

La muestra está constituida por las U.D. diseñadas individualmente por 157 estudiantes del 4º curso del Grado en Maestro de Educación Primaria de la Universidad de Burgos. elaboradas durante el curso académico 2013-2014 en la asignatura titulada Investigación e Innovación en el aprendizaje del Conocimiento del Medio, tras haber cursado con anterioridad otras dos asignaturas obligatorias que figuran como escalones para su formación en Ciencia, impartidas en cursos 2º y 3º. Cada una de estas U.D. consta de 10-12 páginas y fueron analizadas de forma completa.

Resultados y discusión

En la figura 1 se plasman los resultados de la clasificación de las U.D. atendiendo al primer instrumento.

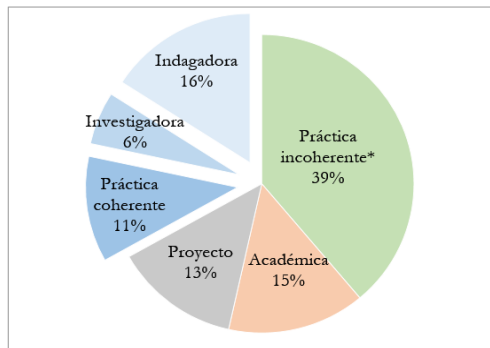


Figura 1. Clasificación de las U.D. en seis tipos

Un 15% del total lo conforman las U.D. con un planteamiento académico en el que el problema planteado se aborda de una forma teórica y tradicional a través de clases expositivas. A la clasificación de “Proyecto” pertenecen un 13% de las programaciones didácticas analizadas, siendo caracterizadas por guiar el proceso de enseñanza según un artefacto que se persigue construir, sin abordarse conceptos claves para su construcción ni conectar con las ideas previas del alumno. Aproximadamente la mitad de las U.D. (ver figura 1: práctica incoherente 39%, práctica coherente 11%) poseen un enfoque práctico en el que se desarrollan actividades manipulativas guiadas que el alumno ha de realizar siguiendo unas instrucciones determinadas. Sin embargo, una parte mayoritaria de las mismas tiene una estructura incoherente, presentándose conceptos que guardan poca o nula relación con el problema inicial, los experimentos que se realizan no abordan la temática objetivo de estudio, y/o la práctica está descontextualizada de la teoría, por lo que los alumnos no pueden generar explicaciones sobre el fenómeno observado. Por ello, decidimos separar estas unidades categorizándolas como “prácticas incoherentes”. Las unidades restantes categorizadas en este

enfoque práctico (que llamamos de prácticas coherentes), aunque inciden en demasía en el hacer manipulativo, plantean actividades pertinentes al problema estudiado y existe una cierta progresión en la dificultad y abstracción de las mismas.

Por último, apenas el 22% de las programaciones pueden ser catalogadas como investigaciones. No obstante, cabe diferenciar entre dos tipos. Por un lado, las investigaciones abiertas, en la que los alumnos prácticamente solos deberían llegar a un resultado (6% del total). Por el otro, las indagaciones más guiadas, que responden a las características planteadas, pero en las que el profesor escalona las actividades para que los alumnos adquieran progresivamente mayores niveles de autonomía. Esto es, el 16% de las U.D. parten del análisis de un problema real que se resuelve a través de la experimentación, que conecta y compara teorías científicas, plantea y comprueba hipótesis y se manipulan variables, lo que produce como resultado la posible construcción de modelos, con componentes explicativas, a partir de la observación de los patrones en los datos y el fomento del desarrollo de conceptos y habilidades en el alumnado. En todos estos procesos, docente y alumnos trabajan de forma conjunta. En resumen, casi el 67% de los alumnos, a pesar del programa de formación específico y de su motivación, no consiguen diseñar U.D. que contengan elementos relacionados con la metodología de la indagación, ya sea porque relacionan la indagación exclusivamente con actividades manipulativas (actividades prácticas, diseño de prototipos), porque sus dificultades conceptuales les impiden plantear una secuencia coherente entre problemas y actividades o porque adoptan un modelo tradicional de clase expositiva.

A las unidades clasificadas dentro de las categorías ‘práctica coherente’, ‘investigadora’, e ‘indagadora’ (N=52) se les aplicó la rúbrica RTOP. En la Tabla 1 se presenta los resultados obtenidos en los ítems del componente “Los saberes, eventos o fenómenos abordados poseen un interés científico que conecta con los conocimientos propios de los alumnos y les provoca un conflicto cognitivo que impulsa el desarrollo de las ideas previas”.

Tabla 1. Resultado final del primer componente de la rúbrica RTOP.

Componente A (NRC, 2000): Los saberes, eventos o fenómenos abordados poseen un interés científico que conecta con los conocimientos propios de los alumnos y les provoca un conflicto cognitivo que impulsa el desarrollo de las ideas previas.				
ITEMS RTOP	Escalas para clasificación de las Unidades Didácticas			
	3	2	1	0
Ítem 1. <i>Las estrategias de enseñanza y las actividades planteadas respetan los conocimientos previos y las pre-concepciones de los estudiantes</i>	El maestro identifica y reflexiona acerca de las ideas previas del alumnado, las compara con los modelos científicos y las retoma al final de la U.D para analizar su desarrollo.	El maestro realiza 2 de las 3 actividades siguientes: Identifica y reflexiona acerca de las ideas previas del alumnado, las compara con los modelos científicos, las retoma al final de la U.D para analizar su desarrollo.	El maestro realiza 1 de las 3 actividades siguientes: Identifica y reflexiona acerca de las ideas previas del alumnado, las compara con los modelos científicos, las retoma al final de la U.D para analizar su desarrollo.	Ausencia del tratamiento de las ideas previas del alumnado.
Porcentaje de respuestas	1.9%	38.4%	51.9%	7.8%
Ítem 6. <i>La lección abordaba conceptos fundamentales de la materia.</i>	El contenido de la U.D está estructurado de forma clara y coherente, con niveles progresivos de abstracción, y atendiendo a lo recogido en la LOE.	El contenido de la U.D presenta niveles progresivos de abstracción, y atiende a lo recogido en la LOE.	El contenido de la U.D está desestructurado; se abordan conceptos abstractos sin actividades previas, pero se atiende a lo recogido en la LOE.	El contenido de la U.D no posee una estructura. Se abordan conceptos descontextualizados, sin atender a lo recogido en la LOE y sin que haya una progresión en la abstracción de los contenidos.
Porcentaje de respuestas	25%	57.7%	17.3%	0%
Ítem 17. <i>Los comentarios y las dudas planteadas por los estudiantes marcan el desarrollo de la clase.</i>	La lección formula preguntas investigables, significativas, contextualizadas y éticas y abordables. Las preguntas se contestan a partir de las actividades propuestas.	La lección formula preguntas que cumplen al menos varios criterios necesarios para una investigación efectiva. Las preguntas giran en torno al “¿por qué?” y “¿cómo?”, y se contestan en parte a partir de las actividades propuestas.	Escasa presencia de preguntas científicas o mala elaboración de las mismas. Se confunde el “¿por qué?” con el “¿cómo?” y también viceversa. Las preguntas no pueden ser contestadas a partir de las actividades planteadas pues precisan de información adicional.	Ninguna evidencia de preguntas científicas.
Porcentaje de respuestas	9.6%	65.4%	25%	0%

Del primer ítem, se deduce que en más de la mitad de las U.D. (51,9%) solo se identifican las ideas previas y tan solo en un 1,9% se comparan dichas ideas con los modelos científicos para retomarlas al final de la programación y analizar su desarrollo. El siguiente ítem indica la gran dificultad de elaborar una programación en la que las actividades planteadas presenten una estructura clara y coherente, y atendiendo a niveles progresivos de abstracción (25%), aunque todas aborden conceptos recogidos en la legislación vigente (Ley Orgánica para la mejora de la calidad educativa 2013). En el tercer y último ítem se observa que todas las programaciones didácticas formulan preguntas que se contestan a partir de las actividades planteadas y que además poseen los criterios necesarios para una investigación efectiva, girando la mayoría de ellas (65,4%) en torno al “¿por qué?” y al “¿cómo?” del funcionamiento de un determinado fenómeno.

La tabla 2 recoge los resultados obtenidos en el componente “Los alumnos son involucrados en experiencias manipulativas que entrañan la formulación y comprobación de hipótesis, la resolución de problemas reales, y la generación de explicaciones del fenómeno estudiado a partir del análisis y la interpretación de datos, y la síntesis de ideas propias”.

Tabla 2. Resultado final del segundo componente de la rúbrica RTOP.

Componente B (NRC, 2000): Los alumnos son involucrados en experiencias manipulativas que entrañan la formulación y comprobación de hipótesis, la resolución de problemas reales, y la generación de explicaciones del fenómeno estudiado a partir del análisis y la interpretación de datos y la síntesis de ideas propias.				
ITEMS RTOP	Escalas para clasificación de las Unidades Didácticas			
	3	2	1	0
Ítem 5. El hilo conductor de la clase estaba a menudo determinado por las ideas originadas por los estudiantes.	El maestro fomenta el planteamiento de preguntas, las discusiones grupales y el desarrollo de ideas del alumnado.	El maestro fomenta al menos 2 de las siguientes 3 actividades: planteamiento de preguntas; discusiones grupales; desarrollo de ideas del alumnado.	El maestro fomenta al menos 1 de las siguientes 3 actividades: planteamiento de preguntas; discusiones grupales; desarrollo de ideas del alumnado.	Las inquietudes e ideas de los estudiantes no influyen en el desarrollo de la clase.
Porcentaje de respuestas	17.3%	57.8%	21.1%	3.8%
Ítem 7. La lección promovió la comprensión de los conceptos estudiados	En la U.D se retoma el problema inicial para plantear soluciones alternativas, se realiza una exposición o presentación del estudio realizado por el alumnado, y se explica o se plantea al alumnado la aplicación de los resultados obtenidos.	En la U.D se realizan 2 de las siguientes 3 actividades: Plantear soluciones alternativas al problema inicial; realizar exposición o presentación didáctica; explicar o plantear al alumnado la aplicación de los resultados obtenidos.	En la U.D se realizan 1 de las siguientes 3 actividades: Plantear soluciones alternativas al problema inicial; realizar exposición o presentación didáctica; explicar o plantear al alumnado la aplicación de los resultados obtenidos.	No hay actividades que permitan identificar el grado de comprensión de los conceptos estudiados.
Porcentaje de respuestas	1.9%	21.1%	69.8%	7.2%
Ítem 10. Se exploró la conexión del contenido de una forma interdisciplinar y/o con fenómenos del mundo real.	El problema planteado tiene relación con el mundo cercano al alumno. Los resultados obtenidos le ayudan a entender mejor su entorno, y le permite aplicarlos a otros fenómenos o áreas.	Tan solo se cumplen 2 de los siguientes 3 fenómenos: El problema planteado tiene relación con el mundo cercano al alumno. Los resultados obtenidos le ayudan a entender mejor su entorno, y le permite aplicarlos a otros fenómenos o áreas.	Tan solo se cumplen 1 de los siguientes 3 fenómenos: El problema planteado tiene relación con el mundo cercano al alumno. Los resultados obtenidos le ayudan a entender mejor su entorno, y le permite aplicarlos a otros fenómenos o áreas.	Ninguna evidencia de tratamiento interdisciplinar o aplicación de resultados obtenidos. El problema planteado es demasiado complejo o ambiguo para las capacidades del alumnado.
Porcentaje de respuestas	19.2%	55.8%	25%	0%
Ítem 12. Los estudiantes han formulado estimaciones, predicciones y/o hipótesis, así como experimentos y medios para su comprobación.	La U.D posibilita a los estudiantes formular hipótesis, diseñar experimentos, y generar explicaciones que tienen relación con el problema planteado y los datos obtenidos.	La U.D posibilita a los estudiantes 2 de las 3 acciones siguientes: formular hipótesis, diseñar experimentos, y generar explicaciones que tienen relación con el problema planteado y los datos obtenidos.	La U.D posibilita a los estudiantes 1 de las 3 acciones siguientes: formular hipótesis, diseñar experimentos, y generar explicaciones que tienen relación con el problema planteado y los datos obtenidos.	Ninguna evidencia de que el alumnado sea protagonista de su aprendizaje.
Porcentaje de respuestas	3.8%	57.8%	34.6%	3.8%

Los ítems 5, 7, 10 y 12 muestran que en más de la mitad de las U.D (57,8%), se fomenta el planteamiento de preguntas y discusiones grupales; sin embargo, en apenas un 21,1% de los casos se plantean actividades que busquen el desarrollo de ideas propias del alumnado. Además, la aplicación de los resultados obtenidos a otras áreas o fenómenos se da en el 1,9% de las programaciones, predominando los planteamientos en los que el alumnado se limita a exponer los resultados obtenidos (69,8%). El tercer ítem de esta categoría indica que pese a que los problemas del que parten las U.D tienen relación con el mundo cercano del alumno (55,8%), apenas un 19,2% plantean actividades que le ayuden realmente a entender mejor su

entorno, potenciando un aprendizaje significativo. En cuanto a la formulación de estimaciones, predicciones y/o hipótesis, cabe destacar que en el 57,8% de los casos es el alumno el encargado de realizarlas y, sin embargo, en muy pocas ocasiones tienen la posibilidad de plantear experimentos (3,8%).

En la Tabla 3 se muestran los resultados que atañen al tercer componente denominado “Se construyen modelos, aclaran conceptos y amplían conocimientos y habilidades aplicables a otras situaciones”.

Tabla 3. Resultado final del tercer componente de la rúbrica RTOP.

Componente C (NRC, 2000): Se construyen modelos, aclaran conceptos y amplían conocimientos y habilidades aplicables a otras situaciones.				
ÍTEMS RTOP	Escalas para clasificación de las Unidades Didácticas			
	3	2	1	0
Ítem 4. Esta lección animó a los estudiantes a buscar y valorar modos de investigación alternativos o de resolución de problemas.	El alumnado tiene la oportunidad de buscar y analizar, plantear y diseñar, y llevar a la práctica experimentos alternativos para su comprobación.	El alumnado tiene la oportunidad de realizar 2 de las siguientes 3 actividades: Buscar y analizar; plantear y diseñar; llevar a la práctica experimentos alternativos.	El alumnado tiene la oportunidad de realizar 1 de las siguientes 3 actividades: Buscar y analizar; plantear y diseñar; llevar a la práctica experimentos alternativos.	Ninguna evidencia de tratamiento de modos de investigación alternativos.
Porcentaje de respuestas	3.8%	3.8%	15.3%	77.1%
Ítem 19. Se anima a los estudiantes a elaborar conjeturas, estrategias de resolución alternativas y formas variadas de interpretar los resultados obtenidos.	El maestro fomenta el desarrollo de diferentes explicaciones que guardan relación con el problema planteado y el fenómeno objeto de estudio. Las explicaciones elaboradas se defienden a partir de los datos obtenidos.	El maestro fomenta el desarrollo de diferentes explicaciones que guardan o no relación con el problema planteado y el fenómeno objeto de estudio. Las explicaciones elaboradas se defienden a partir de los datos obtenidos.	El maestro fomenta el desarrollo de explicaciones que guardan poca relación con el problema planteado y el fenómeno objeto de estudio. Las explicaciones elaboradas no se defienden a partir de los datos obtenidos.	El maestro no fomenta la elaboración de explicaciones por parte de los estudiantes.
Porcentaje de respuestas	13.4%	69.4%	13.4%	3.8 %
Ítem 20. El maestro ofrece recursos para apoyar y mejorar las propuestas del alumnado.	El maestro ofrece diferentes tipos de recursos que varían en el grado de dificultad y abstracción, presentan diferentes materiales y soportes, y su naturaleza es distinta (conceptual y procedimental)	El maestro ofrece 2 de los siguientes 3 tipos de recursos: que varían en grado de dificultad y abstracción; diferente material y soporte; naturaleza distinta (conceptual y procedimental)	El maestro ofrece 1 de los siguientes 3 tipos de recursos: que varían en grado de dificultad y abstracción; diferente material y soporte; naturaleza distinta (conceptual y procedimental)	El maestro no ofrece recursos que pueda orientar el quehacer del alumnado.
Porcentaje de respuestas	23%	36.5%	40.5%	0%

El 77,1% de las U.D no muestran evidencia de abordar modos de investigación o resolución de problemas alternativos. Pese a ello, y a que casi la mitad de las actividades tan solo varían en el material o el soporte utilizado (40,5%), en el 69,4% de los casos las actividades fomentan que el alumnado intente explicar los resultados obtenidos con el problema inicial desde algún marco teórico. En cuanto a los recursos ofrecidos por el maestro, apenas un 23% de las U.D. estaban acompañadas de diferentes materiales y soportes enfocados a mejorar la resolución del problema inicial por parte del alumnado. Por el contrario, la gran mayoría apenas ofrecían apoyo para esclarecer las dudas conceptuales (40,5%) que pudieran surgir a partir del análisis de los nuevos contenidos curriculares a enseñar por el maestro y aprender por el alumnado.

El cuarto y último componente permite analizar el planteamiento de la evaluación (Tabla 4) para determinar en qué medida “Hay una revisión conjunta entre el alumnado y el profesorado para evaluar el qué y el cómo se ha aprendido”.

Ninguna de las U.D. analizadas ha considerado una evaluación conjunta entre el profesorado y el alumnado. En el 82,8% de los casos se ha planteado una evaluación tradicional, basada en actividades escritas (44,4%) y en exposiciones de los alumnos (38,4%), mostrándose incoherentes con su planteamiento general. Es significativa también la falta de actividades que evalúen, al final de la unidad, la presencia de ideas o modelos alternativos a los planteados por el docente (3,8%).

Tabla 4. Resultado final del cuarto componente de la rúbrica RTOP.

Componente D (NRC, 2000): Hay una revisión conjunta entre el alumnado y el profesorado para evaluar el qué y el cómo se ha aprendido.				
ÍTEMS RTOP	Escala para clasificación de las Unidades Didácticas			
	3	2	1	0
<i>Ítem 13. Los estudiantes han participado de forma activa en actividades de reflexión que implicaban la evaluación crítica de los procedimientos empleados.</i>	La U.D genera diálogo y debate a partir de la comparación de los resultados obtenidos. Se realiza una evaluación conjunta y se estudia la viabilidad y aplicación de las soluciones propuestas por el alumnado.	La U.D genera 2 de las 3 actividades: Genera diálogo y debate a partir de la comparación de los resultados obtenidos; se realiza una evaluación conjunta; se estudia la viabilidad y aplicación de las soluciones propuestas por el alumnado.	La U.D genera 1 de las 3 actividades: Genera diálogo y debate a partir de la comparación de los resultados obtenidos; se realiza una evaluación conjunta; se estudia la viabilidad y aplicación de las soluciones propuestas por el alumnado.	La U.D concibe al alumnado como un sujeto pasivo: se limita a realizar actividades. No hay reflexión ni actitud crítica.
Porcentaje de respuestas	0%	17.3%	75.1%	7,6%
<i>Ítem 14. El rigor intelectual, la crítica constructiva y la valoración de ideas y modelos alternativos fueron valoradas.</i>	El maestro ha utilizado hojas de registro, exposiciones y actividades escritas para determinar el grado de consistencia de las explicaciones de los alumnos y la presencia de ideas y modelos alternativos para explicar el mismo conjunto de datos.	El maestro utiliza 2 de las siguientes 3 actividades para determinar el grado de consistencia de las explicaciones de los alumnos y la presencia de ideas alternativas: hojas de registro; exposiciones; actividades escritas.	El maestro utiliza 1 de las siguientes 3 actividades para determinar el grado de consistencia de las explicaciones de los alumnos y la presencia de ideas alternativas: hojas de registro; exposiciones; actividades escritas.	No hay evidencias de la valoración de las ideas alternativas.
Porcentaje de respuestas	3.8%	38.4%	44.4%	13.4 %

En resumen, las principales carencias que parecen haber tenido este grupo de estudiantes (el 33% de los alumnos totales) para diseñar secuencias didácticas que incluyan los cuatro componentes de una indagación para la enseñanza de las ciencias en la escuela primaria, tal como nosotros la hemos definido, son:

- a) Dificultades para incluir en el diseño el trabajo con (y a partir de) las ideas previas de los alumnos. Esto está relacionado con las dificultades que tienen los maestros en formación para evaluar y modificar sus clases de acuerdo con el conocimiento de los niños (Buck, Trauth y Kaftan 2010; Zangori y Forbes 2013).
- b) Dificultades para dar más autonomía a los alumnos, tanto en el desarrollo de sus propias ideas como en el desarrollo de potenciales experimentos, posiblemente relacionado con su propia inseguridad con los conceptos científicos, así como con su falta de confianza en las capacidades de los alumnos (Wallace y Kang 2004).
- c) Dificultades para proponer evaluaciones coherentes con el planteamiento didáctico general. Es importante destacar que este problema no es exclusivo de la metodología de la indagación, sino que las evaluaciones con bajas demandas cognitivas, parecen ser la norma, independientemente de la metodología, en la enseñanza de las ciencias en primaria en toda Europa (Osborne y Dillon 2008).

Por el contrario, los aspectos más favorables del diseño de las U.D. reside en establecer secuencias de actividades con progresivos niveles de abstracción que permitan a los alumnos aprender significativamente los conceptos deseados, resultado en consonancia al obtenido por Vilchez González y Bravo Torija (2015), en el que los maestros en formación son capaces de reconocer las diferentes etapas de la indagación científica.

Sumamos, para cada U.D., los valores totales obtenidos según la rúbrica RTOP. Luego, fueron establecidos puntos de cortes con percentiles iguales basados en los casos explorados, lo que ha conformado tres categorías diferentes –indagaciones con 4 componentes NRC, indagaciones con 2 y 3 componentes NRC, indagaciones con 1 componente NRC. Así, en las U.D. que sumaban entre 24 a 36 puntos se puede apreciar la presencia de los 4 componentes; las que sumaban entre 12 a 23 puntos, es posible apreciar que sólo dos o tres de las componentes son abordadas y finalmente, aquellas que sumaban de 0 a 11 puntos sólo

conseguían plasmar un componente. Los resultados de esta categorización aparecen recogidos en la figura 2.

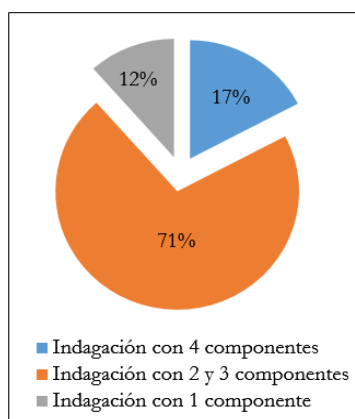


Figura 2. Resultados al aplicar la rúbrica RTOP según la presencia de componentes comunes en la metodología por indagación

Se observa que la mayoría de las U.D pertenecen a la segunda categoría, y una minoría, apenas un 17% de las 52 analizadas con esta rúbrica (si tenemos en cuenta las 157 unidades iniciales, sólo el 5,7%) se consolidan como indagaciones que recogen las diversas pautas sobre esta metodología.

Resulta significativa la puntuación obtenida en cada componente. El puntaje más alto corresponde a los ítems que evalúan el grado de implicación del alumnado en experiencias manipulativas. En contraste, el componente relacionado con la evaluación del qué y cómo se ha aprendido posee la puntuación más baja. Esto evidencia una comprensión no apropiada de la metodología de la indagación, que no reside solamente en el desarrollo de experimentos o la adecuación del método científico, sino que es imprescindible la presencia de la reflexión inter e intrapersonal si se pretende fomentar un aprendizaje significativo. De lo contrario, se estaría desvirtuando la idiosincrasia de esta metodología, y el proceso de enseñanza y aprendizaje se limitaría a transmitir ciencia en lugar de hacer ciencia en la escuela (Couso 2014).

Por otra parte, analizamos posibles relaciones entre esta última categorización y las opiniones de los estudiantes sobre la metodología de la indagación según una encuesta que respondieron al final de la asignatura (y que comentamos en el apartado de Contexto). Este aspecto es interesante para observar si existe relación entre la percepción de los estudiantes sobre su aprendizaje de la metodología de la indagación y la forma en que son capaces de plasmar (y, eventualmente, usar) esta metodología. Se ha encontrado que existen correlaciones significativas, aunque bajas, entre esta categorización de las U.D. y el número de aspectos positivos que los estudiantes señalan sobre la metodología de la indagación (Rho de Spearman 0,24, $p < 0,01$) así como con el número de mejoras percibidas en su aprendizaje mediante el uso de esta metodología (Rho de Spearman 0,18, $p < 0,01$). Es posible que este hecho esté relacionado con la capacidad de reflexión de los maestros en formación sobre sus propios procesos de aprendizaje, pero esto debe estudiarse con mayor profundidad.

Conclusiones e implicaciones didácticas

Del presente estudio se deducen varias conclusiones. En cuanto a la primera pregunta de investigación, “¿Qué es lo que entienden los estudiantes en formación por «indagación»?”, los resultados parecen mostrar que los maestros en formación aun consiguiendo desarrollar una actitud positiva para implementar la metodología de la indagación a partir de una formación

específica, les es difícil traducir ese conocimiento en diseños apropiados. En particular, la confunden con actividades manipulativas, semejantes a las tradicionales prácticas de laboratorio que, a pesar de aumentar el interés de los alumnos por la ciencia y ayudarles a clarificar sus ideas (Gil y Martínez 2005; Osborne y Dillon 2008; Rocard 2007;), no son suficientes para que los alumnos construyan significativamente modelos científicos e ideas sobre la ciencia.

En relación con la segunda pregunta de investigación, “¿Cuáles son las principales dificultades que poseen los maestros en formación para incluir la metodología de indagación en el diseño de unidades didácticas?”, la rúbrica RTOP ha permitido identificar varias dificultades. Entre ellas destaca la dificultad en plantear U.D. que permitan retomar las ideas previas del alumnado para modificarlas, ausencia de una estructuración clara y coherente tanto en las actividades propuestas como en su temporalización, escasa aplicación de los resultados obtenidos a través de las indagaciones a otros contextos o problemáticas, y poca flexibilidad en el desarrollo de la propuesta. Es decir, el alumnado sigue siendo, en estas U.D. un actor pasivo, limitado a realizar o contestar las actividades y experimentos diseñados por los maestros.

Por último, la tercera pregunta de investigación “¿En qué medida difieren las propuestas didácticas de los maestros en formación con respecto al corpus teórico de la indagación?”, ha puesto de manifiesto que los planteamientos didácticos de los estudiantes se encuentran aún alejados del marco teórico tomado como referencia, bien por escasez de conocimientos científicos, poca congruencia entre objetivos perseguidos y experimentos planteados o evaluaciones no coherentes con la metodología, o bien por una mezcla de los tres elementos. Esto desemboca en la elaboración de U.D. que se encuentran a caballo entre la teoría tradicional y la práctica de aula descontextualizada.

Muchos de los problemas parecen estar asociados a un deficiente bagaje de conocimientos científicos, como lo demuestra el casi 40% de las unidades, con estructuras incoherentes, resultado que coincide con diferentes estudios que indican que este es el mayor hándicap (Davis y Petish 2005; Kim y Tan 2011; Yoon, Joung y Kim 2012). Sin embargo, los resultados muestran también que la propia comprensión de la metodología y su posible trasposición didáctica podrían estar dificultando su uso apropiado, por lo menos a la hora de diseñar unidades didácticas. De hecho, en un estudio de caso (Greca 2016) con estudiantes de este grupo que aplicaron secuencias didácticas por indagación durante su Practicum se observó que el estudiante con mejor formación en ciencias fue el que más dificultades presentó a la hora de diseñar e implementar la indagación por su forma de entenderla. Por ello es posible que, aun siendo cierto que el bajo nivel de formación y de confianza en ciencias influye en la capacidad de los maestros para diseñar secuencias didácticas indagatorias, existan otros factores (entre otros, cómo, después de vivenciarla, entienden la indagación) que deben tenerse en cuenta. Los resultados de este estudio parecen indicar la necesidad que los cursos de formación propicien un aumento del uso de esta metodología durante la formación, utilizándola en varias asignaturas (un único curso parece no ser suficiente), y fomentando su puesta en práctica por parte de los maestros en formación en los períodos de prácticas escolares o en propuestas extraescolares.

Cabe resaltar, finalmente, que la rúbrica para el análisis de U.D. que ha sido usada en esta investigación, construida a partir del protocolo RTOP y con valores claramente definidos, puede ser usada tanto como instrumento de evaluación de U.D. que usen la metodología de la indagación (a nivel de escuela primaria o secundaria) cuanto como instrumento didáctico para el análisis de U.D. En este sentido, puede ayudar a los futuros docentes a comprender la forma en que la metodología de la indagación debe plasmarse en una planificación didáctica.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por MINECO Edu2013-46167-R.

Queremos agradecer las contribuciones realizadas por los revisores, que han servido para mejorar sustancialmente este trabajo.

Referencias bibliográficas

- American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- Abell S.K. (2007) Research on science teacher knowledge. En S.K. Abell y N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp.1105-1149). Mahwah, Nueva Jersey. Lawrence Erlbaum.
- Anderson R.D. (2002) Reforming Science Teaching: What Research Says About Inquiry. *Journal of Science Teacher Education* 13(1), 1-12.
- Artigue M., Baptist P., Dillon J., Harlen W., Léna, P. (2010) *The Fibonacci Project. Scientific Background*. Recuperado de: http://www.ntaskolutveckling.se/globalassets/starting_package_scientific_background1.pdf
- Brown M. W. (2009) The teacher-tool relationship: theorizing the design and use of curriculum materials. En J.T Remillard, B.A. Herbel-Eisenmann, G.M. Lloyd (Eds.) *Mathematics teachers at work: connecting curriculum materials and classroom instruction* (pp. 17-36). New York: Routledge.
- Buck G.A., Trauth-Nare,A., Kaftan J. (2010) Making formative assessment discernable to Pre-Service Teachers of Science. *Journal of Research in Science teaching*, 47(4), 402-421.
- Campbell T., Bohn C. (2008) Science laboratory experiences of high school students across one state in the U.S.: Descriptive research from the classroom. *Science Educator* 17, 36-48.
- Cañal P. (2000) El conocimiento profesional sobre las ciencias y la alfabetización científica en primaria. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* 24, 46-56.
- Cañal P., Criado A., García-Carmona A., Muñoz G. (2013) La enseñanza relativa al medio en las aulas españolas de educación infantil y primaria: concepciones didácticas y práctica docente. *Investigación en la Escuela* 81, 21-42.
- Carnes G.N. (1997) Teacher conceptions of inquiry and related teaching practices. *The annual meeting for the national association of research in science teaching*, Chicago.
- Cortés A. L., Gándara M. (2006) La construcción de problemas en el laboratorio durante la formación del profesorado: una experiencia didáctica. *Enseñanza de las Ciencias* 25(3), 435-450.
- Confederación de Sociedades Científicas de España (2011) *Informe enciende. Análisis, reflexiones y propuestas para un acercamiento de la ciencia al mundo escolar que promueva en los niños el interés por la ciencia, el aprendizaje científico y una visión no estereotipada de la empresa científica y sus protagonistas*. Editorial Rubes: Barcelona.
- Couso D. (2014) De la moda de ‘aprender indagando’ a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. *Conferencia inaugural 26 encuentros de didáctica de las ciencias experimentales*. Universidad De Huelva.
- Crawford B.A. (1999) Is it realistic to expect a preservice teacher to create an inquiry based classroom? *Journal of Science Teacher Education* 10, 175-194.

- Davis E. A., Petish D., Smithey J. (2006) Challenges new science teachers face. *Review of Educational Research* 76 (4), 607-651.
- Davis E. A., Petish D. (2005) Real-world applications and instructional representations among prospective elementary science teachers. *Journal of Science Teacher Education* 16, 263-286.
- Escobar T., Vílchez J.E. (2006) Uso del laboratorio escolar en educación primaria: la visión de los estudiantes de magisterio durante el prácticum. En A.L. Cortés y M. D. Sánchez (Eds.), XXII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- García Barros S. y Martínez Losada C. (2003) Las actividades de primaria y eso incluidas en los libros de texto. ¿qué objetivo persiguen? ¿qué procedimientos enseñan? *Enseñanza de las Ciencias* 21, 243-264.
- Gil Quilez M. J., Martínez, M. B., de la Gándara M., Calvo J. M., Cortés, A. (2008) De la universidad a la escuela: no es fácil la indagación científica. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* 63 (22,3), 81-100.
- Gil Quilez M. J., Martínez de la Gándara G. (2005). Evolución de la didáctica de la Biología: ¿es posible una teoría de síntesis? *Educación Abierta*, 171, 11-28. ICE, Universidad de Zaragoza, ISBN: 84-7791-219-10.
- Guisasola J. y Morentin M. (2007) Comprenden la naturaleza de la ciencia los futuros maestros y maestras de educación primaria? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 6(2), 246-262.
- Greca I. M. (2016) Supporting pre-service elementary teachers in their understanding of inquiry teaching through the construction of a third discursive space. *International Journal of Science Education* 38(5), 791-813.
- Greca I. M., Meneses Villagrà, J.A., Díez Ojeda, M. (2016) La formación en ciencias de los alumnos del Grado en Maestro de Educación Primaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. En prensa
- Haefner L. A., Zembal-Saul C. (2004) Learning by doing? Prospective elementary teachers' developing understandings of scientific inquiry and science teaching and learning. *International Journal of Science Education* 26(13), 1653-1674.
- Hayes M. (2002) Elementary preservice teachers' struggles to define inquiry-based science teaching. *Journal of Science Teacher Education* 13(2), 147-165.
- Howes V.E. (2002) Learning to teach science for all in the elementary grades: what do pre-service teachers bring? *Journal of Research in Science Teaching* 39, 845-869.
- Keys C.W., Kennedy, V. (1999) Understanding inquiry science teaching in context: a case study of an elementary teacher. *Journal of Science Teacher Education* 10, 315-333.
- Kim M., Tan A.L. (2011) Rethinking difficulties of teaching inquiry-based practical work: stories from elementary pre-service teachers. *International Journal of Science Education* 33, 465-486.
- Ley orgánica para la mejora de la calidad educativa (LOMCE) (Ley Orgánica 8/2013, 9 de diciembre). Boletín Oficial del Estado, nº 295, 2013, 10 diciembre.
- Martínez-Chico M., López-Gay R., Jiménez-Liso M.R. (2013) Propuesta de formación inicial de maestros fundamentada en la enseñanza por indagación centrada en el modelo de sol-tierra. *Enseñanza de las Ciencias*. Nº Extra, 2173-2178.

- Martínez-Chico M., Jiménez-Liso M.R., López-Gay R. (2015). Efecto de un programa formativo para enseñar ciencias por indagación basada en modelos, en las concepciones didácticas de los futuros maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 12(1), 149-166. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/16929>
- Murphy C., Neil P., Beggs J. (2007) Primary science teacher confidence revisited: ten years. *Educational Research* 49 (4), 415-430.
- National Research Council (2000) *Inquiry and the national science education standards*. Washington: National Academy Press.
- National Research Council (2012) *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washinton, DC: The National Academies Press.
- Osborne J., Dillon J. (2008) *Science Education in Europe: critical reflections. A report to the Nuffield Foundation*. King's College London.
- Porlán R., Martín R., Rivero A., Harres J., Azcárate P., Pizzato M. (2010) El cambio del profesorado de ciencias: marco teórico y formativo. *Enseñanza de las Ciencias* 28(1), 31-46.
- Remillard J. T. (2005) Examining key concepts in research on teachers' use of mathematics curricula. *Review of Educational Research* 75(2), 211-246.
- Rocard M., Csermely P., Jorde D., Lenzen D., Walwerg-Henriksson H., Hemmo V. (2007) *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe. European Commission. Community Research*. Recuperado de: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-onscience-education_en.pdf
- Roth W., Boutonneâ S., Mcrobbie C., Lucas K. (1999) One class, many worlds. *International Journal of Science Education* 21, 59 -77.
- Sawada D., Piburn M. (2000) *Reformed teaching observation protocol (RTOP) Training Guide*, Arizona State University: 10.
- Schauble L., Glaser R., Dusch R., Schulze S., John J. (1995) Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom. *Journal of The Learning Sciences* 4 (2), 131-166.
- Schwarz C. V., Gwekwerere, Y. N. (2007) Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Science Education* 91(1), 158-186.
- Seung E., Park S., Jung J. (2014) Exploring preservice elementary teachers' understanding of the essential features of inquiry-based science teaching using evidence-based reflection. *Research in Science Education* 44(4), 507-525.
- Vílchez González J.M., Bravo Torija B. (2015) Percepción del profesorado de ciencias de educación primaria en formación acerca de las etapas y acciones necesarias para realizar una indagación escolar. *Enseñanza de las Ciencias* 33(1), 185-202.
- Wallace C. S., Kang N. H. (2004) An investigation of experienced secondary science teachers' beliefs about inquiry: an examination of competing belief sets. *Journal of Research in Science Teaching* 41, 936-960.
- Windschitl M. (2002) Inquiry projects in science teacher education: what can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education* 87(1), 112-143.

- Windschitl M., Thompson J., Braaten M. (2008) Beyond the scientific method: model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92, 941–967.
- Zangori L., Forbes C. T. (2013) Preservice elementary teachers and explanation construction: knowledge-for-practice and knowledge-in-practice. *Science Education* 97(2), 310-330.
- Zemal-Saul C., Blumenfeld P., Krajcik J. (2000) Influence of guided cycles of planning, teaching, and reflection on prospective elementary teachers' science content representations. *Journal of Research in Science Teaching* 37 (4), 318-339.
- Yoon H.G., Joung Y.J., Kim M. (2012) The challenges of Science Inquiry teaching for Pre-service teachers in Elementary classrooms: difficulties on and under the scene. *Research in Science Education* 42: 589-608.

Anexo 1: Tipos de unidades didácticas según el grado de indagación que presentan

Práctica incoherente: Se trata de un tipo de unidad didáctica (U.D.) cuya principal característica es que el tratamiento de conceptos guarda poca o nula relación con el problema inicial que se plantea, haciendo demasiado énfasis en actividades manipulativas que tienden a carecer de fundamento científico. Los experimentos se plantean de forma descontextualizada y con poca relación con el conocimiento científico que se pretende enseñar.

Práctica coherente: Es una U.D. que plantea un problema inicial que se resuelve de una forma totalmente práctica, prescindiendo de la teoría y otorgando todo el protagonismo al quehacer práctico. Puede posibilitar que el alumnado plantee hipótesis respecto al problema inicial, pero las actividades planteadas tienen una secuencia muy guiada para que el alumno se limite a realizarlas siguiendo unas pautas determinadas sin pedir reflexiones teóricas. Se trata de planteamientos que poseen un gran potencial de convertirse en indagaciones, dado que los experimentos planteados son adecuados y las posibilidades de generar conocimientos y aprendizajes significativos en el alumnado son elevadas.

Académica: Es una U.D. donde se realiza un esfuerzo por plantear una situación problemática, aunque el resultado final dista de ser coherente. Los conceptos objeto de estudio se abordan de forma teórica y tradicional, a través de clases expositivas centradas en la figura del maestro. Puede proponer alguna actividad experimental, incluso con realización de mediciones, pero magistral o totalmente dirigida por el profesor. No contiene actividades prácticas en las que el papel del alumno sea relevante.

Proyecto: Se trata de una U.D. que a priori conecta la teoría con la práctica y en la que el alumnado tiende a tener un papel protagonista. No obstante, las actividades manipulativas están encaminadas hacia la elaboración de un artefacto determinado, siguiendo unos pasos que el profesor determina. La situación problemática no se retoma al final de la unidad puesto que se incide demasiado en las actividades tipo receta.

Investigadora: Son U.D. que parten de un problema inicial basado en el interés del alumnado. Éstos plantean hipótesis en función de sus ideas previas, diseñan experimentos y los llevan a cabo. Las actividades propuestas permitirían conectar la teoría con la práctica, así como generar conclusiones que den respuesta al problema inicial planteado. Finalmente, se retoma el problema inicial y se ofrece una posible respuesta. Sin embargo, a diferencia de una U.D. 'indagadora', el modelo de programación no acompaña al alumno en una gradación de dificultades hasta que alcance un trabajo independiente, pudiendo el alumno, sobre todo en primaria, perderse en este proceso.

Indagadora: En este tipo de U.D. se trabajan las ideas previas para introducir el problema objeto de estudio, que siempre están relacionados con aspectos del entorno e interés de los alumnos. Se realizan experimentos clave y secuenciados partiendo de conceptos básicos para el desarrollo del problema inicial. Asimismo, se discuten y comparan los resultados obtenidos, tratando de generar modelos similares a los aceptados por la comunidad científica. Destaca la presencia de preguntas que guían la temática antes, durante y después de la realización de los experimentos, y por último se retoman las ideas previas y las hipótesis planteadas para evidenciar su desarrollo y potenciar el aprendizaje significativo de los nuevos conceptos. En todo el proceso, el profesor escalona las actividades para que los alumnos adquieran progresivamente mayores niveles de autonomía. En definitiva, se trata de un modelo de programación que analiza las ideas previas del alumnado y su desarrollo proponiendo una situación problemática de interés entre los alumnos y que permite el análisis del entorno que les rodea a través del planteamiento de hipótesis, diseño y realización de experimentos, discusión de los resultados obtenidos y finalmente, la redacción y exposición de un informe.