



¿Es factible cambiar la enseñanza de las ciencias en primaria?

Is it feasible to change science teaching in primary education?

Carolina Nicolás Castellano, Rubén Limiñana Morcillo, Asunción Menargues Marcilla, Sergio Rosa Cintas, Joaquín Martínez Torregrosa
Departamento de Didáctica General y Didácticas Específicas e Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y la Tecnología, Universidad de Alicante, Alicante, España
carolina.nicolas@ua.es, ruben.lm@ua.es, a.menargues@ua.es, sergio.rosacintas@ua.es, joaquin.martinez@ua.es

RESUMEN • Algunos autores consideran que el cambio didáctico en la enseñanza de las ciencias en primaria es una tarea imposible. Efectivamente, se trata de un proceso sobre el que se ha investigado poco y poco sistemáticamente. Por ello, se presenta un plan –justificado en la investigación sobre formación en activo y en la teoría de la masa crítica para el cambio en las convenciones sociales– para conseguir el cambio didáctico a partir de la colaboración entre un equipo universitario y el equipo docente y directivo de una escuela. Se justifican sus distintas fases, se definen indicadores para valorarlas y se muestran los resultados de su desarrollo.

PALABRAS CLAVE: Cambio didáctico; Enseñanza de las ciencias en primaria; Formación de maestros en activo; Enseñanza problematizada de las ciencias.

ABSTRACT • Some authors consider that the didactic change in primary science education is an impossible task. Indeed, systematic research on this process is still scarce. For this reason, we present a plan, based on research on in-service professional development and in the theory of critical mass for change in social conventions, to achieve didactic change, based on collaboration between a university research team and teaching and principal of a school. We justify the different phases of the plan, define the indicators to evaluate them and show the results of its developmen.

KEYWORDS: Didactic change; Primary science education; In-service professional development; Problematized science teaching.

Recepción: marzo 2020 • Aceptación: julio 2020

INTRODUCCIÓN

Existe un interés compartido por impulsar la enseñanza de las ciencias en la etapa primaria (Kawalkar y Vijapurkar, 2015) y un gran consenso en que se desarrolle con una orientación indagatoria, en la que la actividad del aula se organiza planteando preguntas o problemas conceptualmente ricos cuya resolución se desarrolla en un ambiente que favorece las prácticas científicas y la (co)construcción de significados¹ (Constantinou, Tsivitanidou y Rybska, 2018; Lowell, Cherbow y McNeill, 2019).

No obstante, como bien sabemos los que nos dedicamos a la formación de futuros maestros, la divergencia entre la investigación y la práctica habitual es enorme. En muchos casos (afortunadamente, no en todos), la lectura del libro de texto parafraseada por el maestro continúa siendo el método usado para enseñar ciencias. La programación suele consistir en un reparto temporal de los temas para que el libro «quepa» en el curso escolar, y las listas de «competencias» asociadas a las actividades son letanías que se plasman en documentos burocráticos. Incluso algunas clases que se proclaman «activas» suelen consistir en una suma de aprendizaje repetitivo y técnicas de animación. Ante esta situación, no es extraño que el director de educación de la OCDE, responsable de las pruebas PISA, afirmara que los profesores en España «es como si trabajasen en una fábrica, en una cadena de producción» y que algunos autores, como Porlán (2018), afirmen que es prácticamente imposible una extensión de la enseñanza indagatoria o problematizada a las aulas.

Efectivamente, cambiar la forma en que se enseña ciencias es un problema difícil, pero escasamente investigado en España y Europa. Existe bastante investigación con maestros en formación, pero poca sobre cómo conseguir que los maestros en una escuela lleven a cabo con éxito, y de un modo sostenible, la enseñanza de las ciencias por indagación. Dado el escaso tiempo destinado a la enseñanza de las ciencias en la formación inicial y la influencia del contexto en cómo se enseña ciencias en las escuelas, es poco probable que la formación inicial recibida tenga influencia sobre la práctica profesional, y más bien deberíamos plantearnos cómo «la práctica profesional» puede influir en la formación inicial. Dicho de otro modo, es prioritario generar maestros y escuelas que sean ejemplos que sirvan a los futuros maestros. Así pues, nos centraremos en cómo conseguir que la «práctica» sea la enseñanza por indagación. Por tratarse de un problema complejo, con numerosos obstáculos externos e internos al profesorado (véase, por ejemplo, Elliot, 1991; Cañal et al., 2011; Kennedy, 2014), para aprender y sacar conclusiones se requiere focalizar la investigación en el análisis de casos (entendiendo como tal el estudio de una escuela o de un grupo de maestros cuyas características, condicionantes y actuaciones podamos seguir y estudiar) y definir muy bien, de un modo operativo: *a)* qué queremos conseguir; *b)* el plan previsto para su consecución, ordenado en fases que puedan ser analizadas; *c)* cómo valorar el desarrollo del plan; y *d)* cuándo se considerará que se ha conseguido un cambio didáctico efectivo y sostenible en una escuela.

Queremos conseguir que, mediante la colaboración entre nuestro equipo y el equipo docente y directivo de un centro de primaria, la enseñanza de las ciencias se desarrolle desde el modelo de enseñanza por indagación. Para conseguir ese cambio didáctico de manera efectiva, hemos elaborado un plan basado en una revisión de la investigación sobre formación de docentes en activo y en la teoría de la masa crítica para el cambio de las convenciones sociales que ha recibido un apoyo empírico reciente (Centola et al., 2018). El desarrollo completo ha supuesto una implicación de los autores durante tres años.

1. En este artículo, utilizaremos los términos *enseñanza por indagación* y *enseñanza problematizada* como sinónimos.

UN PLAN PARA TRATAR DE CONSEGUIR EL CAMBIO DIDÁCTICO

Para poder analizar y extraer conclusiones de un proceso de intervención/colaboración entre dos equipos (el de los maestros de una escuela y el de la universidad) con la finalidad de cambiar la enseñanza convencional de las ciencias por una enseñanza problematizada, hemos dividido el plan en las siguientes fases: 1) contacto inicial y generación de expectativas positivas hacia el cambio; 2) primera puesta en práctica de la innovación por parte de los maestros; 3) evaluación y afianzamiento: segunda puesta en práctica por parte de los maestros; 4) sostenibilidad y extensión del cambio didáctico.

Fase 1: Contacto inicial y generación de expectativas positivas hacia el cambio

Nuestra experiencia previa en cursos de formación para maestros había sido buena en cuanto a nuestra intervención (según valoración de los asistentes), pero negativa en cuanto a la puesta en práctica de lo tratado en sus centros. La diversa procedencia (era raro encontrar varios asistentes del mismo centro), las distintas motivaciones y el escaso control sobre el currículo escolar (poder decidir qué contenidos tratar, cuándo y cómo hacerlo) de los asistentes eran algunos de los obstáculos para que las innovaciones llegaran a la práctica. Con esas condiciones es difícil formar los grupos de personas con «vínculos fuertes» y objetivos compartidos que se requieren para la propagación de comportamientos complejos (Centola, 2018), como es el cambio didáctico que proponemos. Por ello, decidimos dirigir nuestra investigación a grupos de docentes de un mismo centro.

En esta primera etapa, pretendemos conseguir un clima positivo de confianza y colaboración, mostrar que el cambio es deseable y posible, obtener información sobre las preocupaciones de los maestros para poner en práctica la innovación y obtener el compromiso de algunos de ellos para iniciarla en sus aulas.

En su revisión sobre las características y calidad de programas de desarrollo profesional, van Driel et al. (2012) consideran fundamental que los maestros entiendan cómo van a aprender sus alumnos (con ejemplos), ya que en muchas ocasiones creen que lo que se les dice solo es posible en el papel. Una forma de salir al paso de esta desconfianza es llevar a cabo actividades de formación en las que se presenten y discutan con los maestros las secuencias que han de desarrollar con sus alumnos sobre contenidos a diferentes niveles, dentro de un hilo conductor coherente sobre una de las grandes ideas de la ciencia, perteneciente al currículo de ciencias naturales de primaria. Evidentemente, no partiremos de cero: las secuencias problematizadas han sido elaboradas por el equipo universitario y probadas en grupos de primaria y constituyen un itinerario de enseñanza coherente y progresivo en el desarrollo de alguna de las grandes ideas (o problemas) de la ciencia que se incluyen en los bloques del currículo.

Obviamente, el curso se debe desarrollar en un ambiente problematizado en el cual los maestros, en pequeños grupos, tengan oportunidades para vivir en primera persona el ambiente de aprendizaje generado por esta metodología de trabajo. El objetivo es mejorar simultáneamente el conocimiento conceptual, metodológico y la implicación actitudinal para que lleven a la práctica, por primera vez, alguna de las secuencias que se han desarrollado. Al final de este curso, además, los maestros serán más conscientes de lo que requiere llevar a cabo una enseñanza problematizada, por lo que es un momento oportuno para recoger sus necesidades e inquietudes para facilitar que lleven a la práctica –con la ayuda necesaria– alguna/s de las secuencias del curso (Garet et al., 2001; Fishman et al., 2003). Valoraremos el éxito de esta fase a partir de los siguientes indicadores:

- *Obtención del consenso necesario* (dirección, maestros y padres) para iniciar nuestro plan de cambio, y por tanto llevar a cabo un curso de formación intensivo con los maestros interesados.
- *Valoración positiva del curso de formación.*
- *Obtención de información «en el terreno» sobre las dificultades y necesidades* para llevar a cabo la innovación. Uno de nuestros objetivos es aprender de los fracasos, de modo que podamos preverlos para futuras intervenciones. La reflexión de nuestro equipo sobre estos aspectos es una pieza clave de nuestro aprendizaje para fomentar el cambio didáctico y se llevará a cabo a lo largo de todas las fases.
- *Compromiso de algunos maestros* para poner en práctica alguna de las secuencias desarrolladas, con una duración aproximada de 10 horas de clase.

Fase 2: Primera puesta en práctica de la innovación por parte de los maestros

La decisión de poner en práctica una de las secuencias de enseñanza por indagación corresponde a los maestros y la dirección –cuyo papel es importante para impulsar y facilitar el cambio didáctico– (Howe y Stubbs, 2003; Ritchie, 2012). No obstante, llegar a la acción no es fácil. Y es que aprender un tema, por primera vez, y llegar a dominarlo para poder enseñarlo son asuntos diferentes. *Es necesario un proceso de «apropiación» que requiere trabajo personal de preparación de las secuencias de enseñanza.* Conseguir el cambio didáctico tiene menos que ver con convencer a las personas de que la idea es buena que con el reto de conseguir que hagan el trabajo extra que requiere ponerla en práctica (Centola, 2018, p. 137). Sabemos (Elliot, 1991; Opfer y Pedder, 2011) que, para enfrentarse a este cambio por primera vez, los maestros necesitan mucha ayuda, tiempo y sentirse cómodos y confiados.

En esta fase, nuestro equipo ofrecerá un apoyo sin condiciones, que se concreta en: *a)* llevar a cabo tutorías para los maestros que lo deseen, revisando las secuencias y ayudando a preparar el material para los alumnos (planificación colaborativa); *b)* asistir como ayudantes durante todas las sesiones de su intervención, que serán grabadas para la reflexión posterior sobre la práctica (Olin y Ingerman, 2016); y *c)* medición del cambio en el aprendizaje y actitudes de los alumnos. Los maestros necesitan pruebas de que su esfuerzo se traduce en mejores resultados en el aprendizaje y actitudes de sus alumnos. Aun así, les advertiremos de que la medición de resultados solo se hará para documentar el proceso, pero que solo será fiable cuando se hayan apropiado de la secuencia, lo que, como norma razonable, suele conseguirse tras la segunda vez, al menos, que se repite. Los primeros resultados sobre el aprendizaje y la dinámica del aula son indiciarios, tentativos, y solo han de servir para el análisis interno para mejorar. No obstante, aunque será en la tercera fase donde se consideren los resultados de los maestros, es necesario aportar algunas evidencias, desde el principio, de la mejora que supone para los alumnos el cambio que se propone (Clarke y Hollingsworth, 2002; Singer et al., 2011; van Driel et al., 2012; Kyriakides et al., 2009 y 2014).

Los indicadores para valorar el éxito de esta segunda fase los hemos concretado a partir de uno de los modelos más citados en formación docente (Clarke y Hollingsworth, 2002):

- *Algunos maestros llevan a cabo las secuencias* problematizadas y generan una dinámica indagatoria en sus aulas (ellos lo llaman «dominio de la práctica y resultados») que sirve, además, para que otros compañeros aprovechen su experiencia.
- *Grado en que esos maestros se han sentido cómodos y seguros frente al cambio, y expresan actitudes positivas y «ganas de más»* («dominio personal»).
- Por último, trataremos de «valorar» la *satisfacción de familias y equipo directivo* ante los cambios. Como hemos dicho, además, prestaremos atención –mediante anotaciones en cuaderno de campo y reflexiones del equipo– a identificar factores que, en una escuela determinada, faciliten u obstaculicen el cambio didáctico (dominio externo).

Fase 3: Reflexión sobre la práctica y afianzamiento: segunda puesta en práctica por parte de los maestros

En la fase previa, algunos maestros habrán desarrollado en distintos niveles secuencias problematizadas y se dispondrá de una secuencia de secuencias con complejidad creciente desde 1.º hasta 6.º curso de primaria sobre una de las grandes ideas de las ciencias. También dispondremos de los primeros resultados de los alumnos, de grabaciones sobre la actividad en el aula y de las entrevistas a los maestros implicados. Es el momento de repetir las secuencias introduciendo mejoras a partir de la práctica. Para ello, desarrollaremos un seminario (dos horas por semana) para recordar las secuencias y analizar colectivamente cortes de videos de clase seleccionados para reflexionar sobre la actividad de los alumnos y la intervención de los maestros. Esperamos que en estos seminarios participen maestros de distintos ciclos (al menos cada maestro que enseñe ciencias debería conocer el hilo conductor de las secuencias y lo que se hace inmediatamente antes y después con sus alumnos) y que faciliten que los maestros lleven a la práctica, por segunda vez, la secuencia correspondiente con un mayor dominio conceptual y metodológico, es decir, con una mayor autoconfianza (Reiser, 2013). También deberían servir para incorporar a la innovación nuevos compañeros que no participaron en las fases anteriores. Nuestro objetivo es que en esta fase se lleven a cabo secuencias problematizadas dentro del mismo hilo conductor en cada uno de los cursos —o, al menos, en cada ciclo— de primaria de un modo coherente, con complejidad creciente y coordinado. Tanto en esta fase como en la anterior se requieren cambios en la organización del centro: las secuencias por indagación requieren tiempo y continuidad, no clases de cincuenta minutos. Los indicadores de éxito en esta fase serán:

- Disposición a realizar los cambios organizativos que favorezcan la innovación.
- Valoración de la utilidad de las sesiones del seminario por los asistentes y el equipo universitario.
- Análisis de la dinámica del aula mediante una red de análisis durante varias clases.
- Autoevaluación del maestro implicado mediante entrevista semiestructurada.
- Resultados del aprendizaje de los alumnos de los maestros que desarrollen una secuencia problematizada por segunda vez. Para valorar este aspecto, utilizaremos cuestionarios pretest/postest y comparación con grupos de control que hayan impartido el contenido tratado.

Fase 4: Sostenibilidad y extensión

Imaginamos esta fase como una situación en que algunos maestros han incorporado la secuencia problematizada de una duración aproximada de diez horas a su forma de enseñar ciencias (la han puesto en práctica dos o tres veces, con los cambios organizativos y metodológicos que conlleva) y demandan formación sobre nuevas secuencias (iniciar otro «hilo argumental» sobre otra gran idea de la ciencia). Habrá suficientes maestros implicados para que los alumnos del centro puedan recibir una enseñanza problematizada con continuidad y progresión a lo largo de la etapa primaria sobre la gran idea de la ciencia tratada en el proceso de cambio didáctico.

Pero ¿cuál sería el número de maestros mínimo comprometidos con la enseñanza de las ciencias por indagación para que podamos considerar como consolidado el cambio didáctico en las escuelas en las que ha intervenido nuestro equipo? ¿Es necesario continuar la intervención hasta que *todos* enseñen de esa manera? ¿Las resistencias al cambio de algunos revertirán lo logrado en el grupo de maestros comprometidos con el cambio, retornando a la situación inicial? ¿El grupo de maestros comprometidos podrá lograr que la innovación sea considerada como la «forma deseable» de enseñar y se extienda casi unánimemente en la escuela?

Estas preguntas entran de lleno en el objetivo de los modelos teóricos sobre el cambio en las convenciones sociales, utilizados por matemáticos, economistas y sociólogos. Estos modelos han mostrado que, si un grupo minoritario comprometido con una causa alcanza un determinado porcentaje de la población (llamado «punto de ruptura» o «masa crítica»), se generan dinámicas de cambio social que llevan a la adopción ampliamente mayoritaria de una nueva convención social, incluso contraria al comportamiento anteriormente establecido. Aunque el valor de la masa crítica puede variar según el comportamiento que se desee cambiar (y la forma de enseñar ciencias es un comportamiento complejo) y las características del grupo social, Centola et al. (2018) en la contrastación empírica de su modelo teórico encuentran un punto de ruptura (masa crítica o *tipping point*) del 25 % y en la revista *Science* afirman lo siguiente:

Nuestros resultados sugieren que en contextos organizativos –donde los límites de la población estén relativamente bien definidos y exista un deseo claro y recompensas que favorezcan la coordinación entre iguales– los procesos de cambio en las convenciones sociales se ajustan bastante bien a las dinámicas de masa crítica (Centola, 2018, p. 1118).

Su estudio se extiende a procesos en que inicialmente la mayoría tiene una preferencia clara por la convención establecida inicial (por la enseñanza habitual), lo que denominan «atrincheramiento», y demuestra que si la «ganancia» que recibe la minoría comprometida con el cambio (con la enseñanza por indagación) supera la recibida por la mayoría, el punto de ruptura permanece cercano al 25 %.

Las ideas anteriores justifican nuestra hipótesis de que si en una escuela se genera una masa crítica de profesores que enseñe ciencias por indagación, que se sienta recompensada por su esfuerzo y se favorezca la coordinación entre iguales, dicho modelo terminará por extenderse a una amplia mayoría de los profesores que enseñan ciencias. Por supuesto, la implicación de la dirección para propiciar esa «recompensa» será necesaria para alcanzar el punto de ruptura. Hemos seleccionado situaciones que pueden hacer que los maestros comprometidos con el cambio se sientan reforzados personal y socialmente («recompensados») en la tabla 1.

Tabla 1.
Aspectos que favorecen la consolidación de una masa crítica de maestros que han cambiado didácticamente en una escuela

Ámbitos	
Satisfacción personal con el propio trabajo	<ul style="list-style-type: none"> – Mejores resultados de aprendizaje y actitudinales en sus alumnos y satisfacción de las familias – Autopercepción más creativa de su labor docente – Sentirse partícipe de un plan de enseñanza coherente y progresivo, y de un equipo que está trabajando igual que él
Organización del centro y administración educativa	<ul style="list-style-type: none"> – Su trabajo es valorado por la dirección <ul style="list-style-type: none"> – La dirección facilita los cambios organizativos (modificación de horarios y/o espacios; asignación de la enseñanza del área a los profesores comprometidos) – Se destinan recursos a la adquisición del material necesario para la enseñanza de las ciencias por indagación – Se destina tiempo incluido en el horario de los maestros para reuniones y seminarios – La inspección escolar apoya la innovación <ul style="list-style-type: none"> – Favorece la autonomía del centro en el desarrollo de la innovación educativa – Favorece la proyección profesional de los maestros implicados y del centro
Proyección profesional	<ul style="list-style-type: none"> – Participación en jornadas o congresos, presentando lo hecho en sus aulas – Transmitir su experiencia a otros colegas y, especialmente, a futuros maestros

En estas condiciones, teniendo en cuenta que el cambio didáctico es un cambio complejo en el comportamiento, adoptaremos el criterio conservador de considerar como masa crítica un tercio de los maestros que pueden enseñar ciencias (exceptuando los especialistas que solo imparten una asignatura). Así pues, nuestro proyecto de cambio didáctico sería exitoso y eficaz, si se consigue que un 33 % de los maestros (4, si existen dos líneas de primaria) lleven a la práctica secuencias problematizadas durante dos o más cursos escolares, empleando al menos un 20 % de las horas de la asignatura de Ciencias de la Naturaleza. Además, la extensión lógica, si el cambio ha tenido éxito, supondrá que los maestros implicados y la dirección deseen ampliar la colaboración con el equipo universitario tratando nuevas secuencias que completen el currículo. En ese nuevo proceso, es posible incorporar otro centro para aprovechar la experiencia adquirida por los maestros del primer centro.

1.ª FASE: DEL PLAN A LA PRÁCTICA

Partimos de la dificultad de convencer a los maestros de que lleven a la práctica propuestas que «vienen de fuera». Así pues, un primer paso (fase 1) consistirá en crear un clima de confianza entre ambos equipos (el de maestros y el del equipo universitario), ofreciendo toda la formación y ayuda para mostrar que el cambio es posible y deseable (generar expectativas positivas) y conseguir el compromiso de algunos maestros para llevar a cabo las propuestas en sus aulas.

Estableciendo relaciones de colaboración

El proyecto se ha llevado a cabo en dos escuelas, A y B, y el contacto inicial se produjo por conocimiento entre personas de los equipos docente e investigador en B y por petición del director en A, tras unas jornadas organizadas por la inspección educativa en las que dos maestros del centro B presentaron los resultados de sus alumnos. El centro A es público y el nivel socioeconómico y cultural de las familias es entre medio y medio-bajo. El B es concertado y el nivel socioeconómico y cultural es medio. Ambos centros tienen una dirección que ejerce un liderazgo fuerte, y proponen y gestionan iniciativas para la mejora de la docencia.

Llevamos a cabo reuniones formales con la dirección, y posteriormente, con todo el claustro, donde presentamos nuestro proyecto. Mostramos el itinerario de secuencias elaboradas (de 1.º a 6.º curso) sobre *¿Cómo están hechas todas las cosas por dentro? ¿En qué se parecen y en qué se diferencian?* dentro del bloque «Materia y Energía» del Currículo Oficial para la etapa de Educación Primaria (véase anexo 1). Además, explicamos las fases de nuestro plan de cambio didáctico y presentamos pruebas de resultados puntuales obtenidos en secuencias ya probadas con anterioridad en otras escuelas.

Después de varias reuniones, los directores se mostraron muy interesados por incorporar la innovación a las aulas y mejorar las carencias que tenían (lectura del libro de texto; «cosas sueltas»; falta de formación y conocimientos sobre determinados temas de ciencias). Ante la buena acogida, establecimos compromisos por ambas partes: los maestros del centro asistirían a un curso de formación gratuito sobre el itinerario de secuencias previamente presentado, y, más tarde, los interesados, de manera voluntaria, llevarían a cabo las secuencias con sus alumnos; por nuestra parte, además del curso, ofreceríamos la ayuda necesaria (dentro y fuera del aula) para que la innovación se llevara a la práctica. Además, ambas escuelas se comprometieron a permitir al equipo universitario realizar pruebas a los alumnos y grabar las clases. Para ello, se comunicó a los padres lo que se iba a hacer y se pidió su consentimiento por escrito. En ambos casos, se firmó un convenio con la universidad, revisado por los servicios jurídicos, donde se hicieron constar todos los términos del acuerdo.

El curso de formación

De manera resumida, la finalidad del curso era que los maestros mejoraran sus conocimientos conceptuales, metodológicos y actitudinales, «viviendo en propia carne» secuencias de enseñanza por indagación (iguales a las que se desarrollarán en clase) desde 1.º a 6.º curso, para que pudieran poner en práctica, por primera vez, alguna de esas secuencias. Y pretendíamos, también, que sirviera para que tomaran conciencia de que la enseñanza de las ciencias puede ser apasionante cuando se hace con sentido y preparación adecuados (incluso el bloque de contenidos sobre «Materia y Energía» que, según los maestros, era el más «odiado»). Se diseñó teniendo en cuenta la literatura didáctica especializada e inspirado en otros programas de formación (Harrison et al., 2008; Harlow, 2014).

Para generar un itinerario coherente y progresivo de enseñanza, el curso se inició planteando una gran pregunta o problema sobre una de las grandes ideas de la ciencia que están en los bloques del currículo oficial. En nuestro caso ha sido: *¿Cómo están hechas todas las cosas? ¿En qué se diferencian? ¿En qué se parecen?*, que constituye un hilo argumental que permite desarrollar una buena parte de los contenidos del bloque «Materia y Energía» (además, de contenidos de Matemáticas y de Lengua). En total, estaban previstas seis secuencias problematizadas (anexo 1), diseñadas para los niveles desde primero hasta sexto curso.

El curso se desarrolló en un ambiente problematizado, en el que las secuencias se iniciaron a partir de preguntas o problemas con sentido para los niños de un determinado nivel y que, al mismo tiempo, suponían un avance progresivo en el gran problema o hilo argumental elegidos. Los asistentes, organizados en pequeños grupos y dirigidos por uno de los autores, pensaban y discutían sobre las actividades de cada secuencia y ponían en común sus respuestas y reflexiones. Se comenzó por los primeros niveles hasta llegar a 5.º y 6.º curso. En las puestas en común hubo oportunidades para el aprendizaje conceptual de los contenidos (algo necesario) y para reflexionar sobre las prácticas científicas. Cada secuencia fue acompañada de una propuesta de «cuaderno científico» para los alumnos.

Para ambas escuelas, los cursos, de 40 horas de duración, se desarrollaron en horario no lectivo. En el caso de la escuela A, asistieron 16 maestros de primaria y se realizó en las dos primeras semanas del mes de julio de 2019. Para la B, el curso se desarrolló en las tardes del mes de septiembre de 2017 y asistieron 13 maestros.

Valoración del curso de formación

Utilizamos un cuestionario con tres partes: una de ellas era una valoración mediante una escala Likert de 1 a 5 de diferentes aspectos del desarrollo del curso (sobre el profesorado, interés de los contenidos, conocimientos adquiridos...; Carrascosa et al., 1993). En la segunda parte se pidió a los asistentes que seleccionaran en una lista de emociones aquellas que hubieran sentido durante el curso; y en la tercera, se les preguntó sobre posibles dificultades para poner en práctica alguna/s de las secuencias del curso y su disposición para hacerlo. El cuestionario fue cumplimentado de forma individual y anónima.

En la tabla 2 mostramos los resultados de la valoración del curso intensivo. No hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de ambas escuelas en ningún ítem (analizados con el estadístico t de Student para la diferencia de medias de muestras independientes).

Tabla 2.
Valoración del curso de formación intensiva

Valora de 1 a 5 los siguientes ítems (1=muy negativo; 5=muy positivo)	ESCUELAS			
	A (n=16)		B (n=13)	
	\bar{x}	Sd	\bar{x}	Sd
1. Interés de los contenidos tratados	4,7	0,6	4,5	1,2
2. Coherencia entre objetivos propuestos y metodología	4,7	0,5	4,9	0,3
3. Funcionamiento general del grupo (clima del aula)	4,5	0,6	4,7	0,8
4. Relación tiempo-contenido	3,8	0,9	4,5	0,5
5. Dominio de contenidos por parte del profesor	4,9	0,2	5	0
6. Claridad en las explicaciones del profesor	4,8	0,4	5	0
7. Método del profesor para desarrollar las secuencias	4,7	0,6	4,8	0,6
8. Capacidad del profesor para aumentar mi interés en la enseñanza de las ciencias por indagación	4,6	0,7	4,8	0,6
9. Aprendizaje de contenidos científicos (para mí)	4,4	0,9	4,4	1
10. Aprendizaje sobre cómo enseñar ciencias por indagación	4,5	0,6	4,3	0,8
11. Explicitación de los objetivos específicos de las secuencias	4,6	0,5	4,8	0,4
12. Consecución de los objetivos de las secuencias	4,4	0,6	4,7	0,6
13. Secuencias de actividades (estructura, interés...)	4,6	0,6	4,7	0,6
14. Orientación (hilo conductor)	4,4	0,7	4,5	0,7
15. Adecuación de secuencias y materiales incluidos	4,7	0,5	4,8	0,4
16. Aplicabilidad de secuencias	4,4	0,7	3,8	0,8
17. Interés por introducir secuencias por indagación en el aula	4,6	0,5	4,5	0,7
18. Interés por poner en práctica las secuencias desarrolladas	4,3	0,8	4,4	0,7
19. Ganas de continuar en el proyecto	4,3	0,7	4,4	0,7
20. Grado utilidad de las sesiones	4,4	0,6	4,4	0,7
21. Forma en que se ha desarrollado el curso	4,8	0,4	4,7	0,5
22. Valoración global del curso	4,7	0,5	4,8	0,4

Como se ve, los maestros consideraron que se habían cumplido los objetivos y que hubo coherencia entre lo que se pretendía y la metodología empleada para desarrollarlo.

La valoración media sobre las secuencias y su aplicabilidad en el aula (ítems 11 a 16) fue superior a 4,3 puntos sobre 5, por lo que es claramente positiva. Creemos que el centro B valoró la aplicabilidad de lo hecho (ítem 16) más bajo que el A porque estaban preocupados por la falta de espacio y materiales (por ejemplo, no disponían de instrumentos de medición y la superficie/alumno era realmente escasa). Pese a ello, su valoración global no difiere de la hecha por los maestros de la escuela A.

El curso ha supuesto una mejora en sus conocimientos sobre el contenido referido al hilo argumental sobre *Cómo están hechas todas las cosas por dentro*, y al mismo tiempo sobre cómo enseñar ciencias por indagación (ítems 9 y 10). Su interés por introducir alguna/s de las secuencias en sus clases y continuar en el proyecto fue elevado (ítems 17 a 20). Al finalizar, ya de manera informal, muchos maestros comentaron que la formación recibida era fundamental para poder llevar las secuencias al aula (se sienten más seguros en el «dominio» de contenidos científicos).

a) Emociones sentidas

Recientes investigaciones han puesto de manifiesto las relaciones entre las emociones y el proceso de enseñanza-aprendizaje (Zembylas, 2004; Marbá y Marquez, 2010; Mellado et al., 2014; Martínez-Torregrosa et al., 2018). Por ello, se les mostró una lista con algunas de las emociones básicas que sienten los maestros ante la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y se les pidió que seleccionaran las sentidas durante el curso.

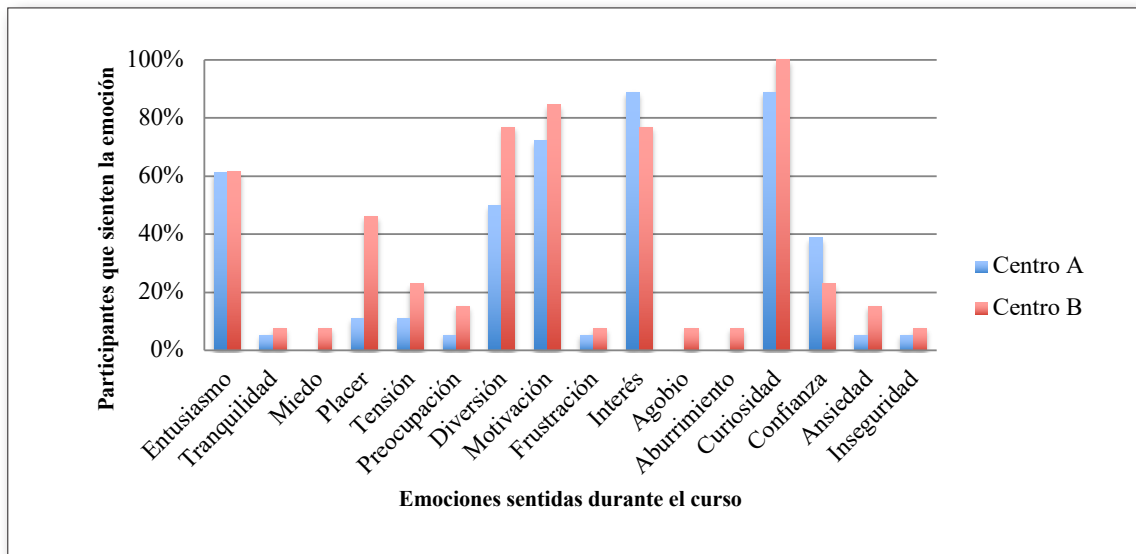


Fig. 1. Emociones sentidas por los participantes en el curso de formación (40 horas).

En la figura 1 se ve que las mismas emociones positivas fueron sentidas por más del 60 % de los participantes, y menos de un 10 % expresó haber sentido alguna de las negativas.

Los resultados de la tabla 2 y de la figura 1 son indicadores de que los maestros se han «sentido bien» y, sobre todo, de que han visto sentido a lo que estaban haciendo y experimentado una sensación de avance. Nuestra interpretación coincide con las afirmaciones de Cleaves (2005) y Jenkins (2006): cuando los maestros aprenden «de verdad» algo y es útil para su trabajo experimentan emociones y expectativas positivas. El desarrollo del curso, en un ambiente problematizado coherente con la innovación que se pretende llevar a las aulas, ha generado curiosidad y ganas de continuar (existe correlación entre el clima, la participación de «los alumnos» en el curso y lo que aprenden).

b) Dificultades o necesidades

Al final del curso de formación, identificaron dificultades que tendrían «ellos» para poner en práctica alguna de las secuencias tratadas y las que tendrían «otros compañeros» (que no participaron en el curso). De este modo, «personalizando y despersonalizando», esperábamos obtener una información más fiable sobre las dificultades.

Tabla 3.

Dificultades para poner en práctica una secuencia de enseñanza problematizada, al finalizar el curso de formación (f: n.º de maestros que expresan una dificultad)

	<i>Referidas a ellos mismos</i>				<i>Referidas a maestros no participantes</i>			
	<i>Escuela A (n=16)</i>		<i>Escuela B (n=13)</i>		<i>Escuela A (n=16)</i>		<i>Escuela B (n=13)</i>	
	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>f</i>	<i>%</i>
Falta de implicación personal (actitud, ganas de trabajar)	8	50	8	61	11	69	10	77
Falta de conocimientos científicos	3	19	1	8	7	44	6	46
Influencia del entorno físico	3	19	8	61	0	0	2	15
Falta de tiempo	3	19	3	23	0	0	0	0
Falta de recursos materiales	5	31	8	61	0	0	1	8
Falta de recursos humanos	1	6	0	0	0	0	0	0
Falta de formación	0	0	0	0	9	56	9	69

A pesar de ser una pregunta de respuesta abierta, los resultados son similares en las dos escuelas (tabla 3), excepto en los aspectos relacionados con el entorno físico y recursos materiales, que ya han sido comentados. El factor o dificultad principal sería la implicación actitudinal del profesor: el hecho de dedicar tiempo y esfuerzo fuera de la jornada escolar. Es un obstáculo importante, ya que siempre es necesario el trabajo personal para pasar de un curso de formación al aula. El equipo universitario puede ayudar a crear lo que Hutner y Markman (2017) llaman «representaciones mediadoras», es decir, pueden trabajar para mejorar las limitaciones y aspectos que van a influir en el alcance de una meta. Pero si el maestro no invierte tiempo en preparar lo que va a enseñar (aunque piense que sería la mejor forma de hacerlo), no se va a producir la «activación» de la «meta» (no se llevará a cabo «la acción»), y, por tanto, el cambio nunca se producirá. El resto de dificultades guardan relación con los hallazgos de Harrison et al. (2008): falta de conocimientos científicos y obstáculos circunstanciales.

Estos resultados indican que, si queremos que los maestros lleven a cabo un modelo de enseñanza problematizada en sus aulas, no basta con atender las limitaciones bien conocidas (como la falta de formación y de conocimientos científicos), necesitan «querer», es decir, que su meta profesional sea mejorar su enseñanza, empleando el tiempo y esfuerzo que ello requiera (Hutner y Markman, 2017).

Tras este análisis, podemos afirmar que los indicadores de éxito de la primera fase del plan se han conseguido en ambas escuelas.

DEL CURSO DE FORMACIÓN AL AULA

2.ª fase: sesiones de recuerdo y preparación, 1.ª puesta en práctica

De los 13 maestros del centro B que asistieron al curso, se ofrecieron 6 para poner en práctica alguna de las secuencias desarrolladas y ser grabados. Ninguno se sintió dispuesto a hacer las secuencias previstas para el tercer ciclo, así que acordamos que lo haríamos nosotros con la presencia de los maestros que quisieran llevarlas a la práctica posteriormente. Aunque el curso de formación estaba reciente, antes de la primera puesta en práctica, en el centro, se realizaron dos sesiones de dos horas/secuencia con los maestros del ciclo para repasar la secuencia, resolver dudas y preparar algunos materiales para los

grupos. En todo momento hubo un ambiente de colaboración; no obstante, la grabación de toda una secuencia de enseñanza es una intervención invasiva e incómoda, por lo que se notaba preocupación. Pese a ello, solo una persona rehusó, finalmente, llevar a la práctica la secuencia, alegando que no se la había preparado. Cinco maestros desarrollaron alguna de las secuencias previstas, en seis grupos, desde 1.º a 4.º. Dos de las autoras (maestra y bióloga, respectivamente) enseñaron las secuencias sobre densidad en dos grupos de 6.º y sobre carga eléctrica en un grupo de 5.º y otro de 6.º. La dirección facilitó los cambios horarios para que se pudieran hacer sesiones de 1,5 o 2 horas, dos o tres veces por semana, hasta acabar la secuencia. La duración media fue de 13,5 h/secuencia. Los alumnos, hasta 4.º, fueron entrevistados (los más pequeños) o respondieron a un cuestionario escrito antes y después (al menos una semana) de la enseñanza. En los grupos de 5.º y 6.º se les pasó un cuestionario pretest-postest y se comparó con las respuestas de grupos de control de otro centro concertado de nivel socioeconómico superior.

Los maestros fueron entrevistados al finalizar, con un cuestionario estructurado para detectar sus reflexiones y emociones tras la primera y la segunda puesta en práctica (al curso siguiente) para ver la evolución. Las entrevistas fueron grabadas (en audio) y transcritas para su comparación. En ellas, los maestros afirmaron su convencimiento de que «así aprenden de verdad», que «estaban muy nerviosos por si lo hacían mal» y que «así debería ser toda la enseñanza». Todos expresaron que lo repetirían al próximo curso. En las interacciones informales con los padres les llegaban señales muy positivas. La dirección entregó una circular para los padres de 73 alumnos en la que –de un modo genérico– se les preguntaba si conocían las innovaciones que se estaban llevando a cabo en la clase de sus hijos, cómo habían tenido conocimiento de ellas y si habían notado algún comportamiento no habitual en sus hijos relacionado con las innovaciones. El retorno fue de 48 cuestionarios y todos menos uno (que se refirió a la colocación de nuevas perchas) mencionaron la innovación en la enseñanza de las ciencias, y un 81 % manifestó que sus hijos habían mostrado mayor implicación, interés, alegría y/o mejor aprendizaje (considerado, entre otros, indicador de éxito de esta segunda fase del plan).

En la escuela A, que empezó en el curso 2019-2020, se ofrecieron 12 maestros. Antes del confinamiento por la epidemia, se habían puesto en práctica –y grabado– una secuencia por indagación por las cuatro maestras de primer ciclo. Por razones obvias, no tenemos datos completos, pero está previsto continuar en cuanto sea posible.

3.ª fase: seminarios de revisión y reflexión sobre la práctica, 2.ª puesta en práctica, resultados de los alumnos y un nuevo itinerario de secuencias

El primer desarrollo de las secuencias en la escuela B fue seguido de seminarios de dos horas por semana, los viernes por la tarde, durante tres meses y medio (28 horas). Se invitó a todos los maestros que quisieran participar, además de los 5 «comprometidos», y se comunicó la conveniencia de que conocieran lo que se había hecho con sus alumnos un curso anterior y lo que se haría un curso después. Participaron asiduamente 10 maestros. Se comenzaba recordando conjuntamente el hilo argumental que daba coherencia al itinerario de enseñanza y la secuencia concreta que se iba a tratar. A continuación se presentaban cortes de vídeo (seleccionados por mostrar algún episodio importante) del desarrollo de la secuencia y se invitaba a expresar qué les parecía la actividad de los alumnos y del maestro y cómo mejorarlas. Fueron verdaderas sesiones de (co)construcción de comportamientos (Garet et al., 2001; Reiser, 2013). Las reticencias iniciales a «ser criticado» desaparecieron rápidamente debido al clima de «aprender y mejorar entre todos».

Un primer resultado de estos seminarios fue la identificación por los propios maestros de deficiencias *que se repiten* –lo que facilita la formación– en *todas* las secuencias en la *primera* puesta en práctica:

- No dejar tiempo a los grupos de alumnos para pensar en una posible respuesta o plan lógico. No favorecer que salgan distintas respuestas (se fijan solo en la respuesta que esperan: «la primera que sea correcta»). Ignorar algunas ideas de los alumnos porque no han previsto qué hacer con ellas.
- Anticipar el contenido de actividades antes de llegar al momento adecuado. Tienen muy arraigada su forma de enseñar: les cuesta no decir lo que saben o no dar inmediatamente la respuesta a una duda o pregunta. Les cuesta «esperar» y no invitan a los alumnos a formar parte de la indagación.
- No tener interiorizado el hilo conductor, la pregunta que orienta lo que se está haciendo. No hacer recordar a los alumnos con frecuencia esa pregunta y el plan que se está siguiendo para tratar de responderla. Es decir, utilizan las secuencias problematizadas como una serie de actividades inconexas, de tareas, que «hay que hacer», no las relacionan y conectan.
- Aún presentan algunos errores conceptuales o terminológicos sobre el tema específico.
- Falta de preparación. Los propios maestros reconocían que, en la mayoría de las ocasiones, es la causa de las situaciones anteriores.

Después de los seminarios de seguimiento y mejora, nuestra *impresión* fue que se había producido un cambio cualitativo en la preparación de los maestros, que debía confirmarse con una forma de enseñar coherente con la enseñanza por indagación y con los resultados de sus alumnos. Uno de los maestros comprometidos no continuó por motivos personales, pero se incorporó una maestra que solo había participado en los seminarios de seguimiento. No obstante, aumentó el número de grupos y tiempo en que se enseñó ciencias por indagación, como se avanza en la tabla 4.

Tabla 4.
Evolución de la enseñanza por indagación en las diferentes fases del plan

	Maestros que enseñan ciencias	Maestros que hacen 1.ª puesta en práctica	Maestros participantes en seminario (28 h)	Maestros que hacen 2.ª (o más) puesta en práctica	N.º grupos de innovación (sobre 12)	N.º horas medio y % de ciencias por indagación en los grupos de innovación (sobre 56 h)	Participantes en nuevo curso de formación sobre otro itinerario de secuencias	RESULTADOS ALUMNOS Cuestionario pre/ post ¿Diferencias significativas (p < 0,05)?
2.ª FASE 2017-18	9	5			6 + 4*	13,5 h 24 %		SÍ
3.ª FASE 2018-19	7	1	10	4	8	13,5 h 24 %	18 (en julio de 2019)	SÍ
4.ª FASE** 2019-20 (Incorporación nuevo itinerario de secuencias)	8	2		6	12	25,5 h 45,5 %	Solicitada continuidad en la formación	

*Impartidos por dos de las autoras. Cuestionarios post/post a grupos experimentales y de control. **Debido a la COVID-19 los datos son los *previstos* para ese curso.

Uno de los autores analizó el desarrollo de cuatro horas de clase en cada grupo con la red de análisis que se muestra en el anexo II, adaptada del proyecto europeo Fibonacci (Bergman et al., 2012). Cada

ítem fue valorado con «No aplicable / NO/ SÍ»; y, en caso de SÍ, con 1 (puntualmente, alguna vez), 2 (frecuentemente) y 3 (forma parte de su forma de enseñar). Los cambios, respecto a la forma habitual de enseñar, fueron muy positivos y profundos en todos los casos de 2.^a puesta en práctica.

Para medir los resultados de los alumnos, se elaboraron indicadores de aprendizaje para cada secuencia, acorde con los objetivos y curso. Se diseñaron cuestionarios que se probaron en grupos piloto para ver si eran adecuados para la edad y nivel lector de los alumnos, y se modificaron para ser utilizados como pretest y postest. Se pasaron una semana antes y una después de la enseñanza. Las respuestas fueron valoradas por dos de los autores separadamente en correctas/incorrectas y dentro de esta división en diferentes categorías. Cuando había preguntas abiertas se calculó el coeficiente Kappa de Cohen y tres meses después el índice Kappa intrajuez. El acuerdo fue superior al 95 %. También se midió el número de ideas con sentido que expresaban los alumnos en sus respuestas a preguntas del tipo «*En clase, hemos tratado... ¿cómo le explicarías a un amigo que no ha estado en clase las ideas más importantes sobre...?*», para valorar la apropiación y el avance lingüístico que supone el aprendizaje logrado. Las diferencias fueron significativas (con χ^2 ; $p < 0,05$) en todas las secuencias (tabla 4) enseñadas por los maestros por segunda vez y en una enseñada por primera vez (sobre densidad).

Las entrevistas estructuradas se grabaron una semana después de que cada maestro acabara la secuencia por indagación. Se transcribieron para compararlas con las primeras. Mostramos, a continuación, algunos extractos representativos del ambiente generado por el proyecto de cambio didáctico:

a) Sobre cómo enseñaban antes y cómo lo han hecho ahora

Ana², maestra de 1.º A: «Pues el cambio de metodología ha sido brutal. Desde la organización del aula, antes los niños no estaban en equipo y ahora están en equipo. Es más, desde que empezamos con esto el año pasado ya directamente están conmigo todo el año trabajando en equipo. Y también en cuanto a aprendizaje, es mucho más significativo. [...] De la otra forma, el aprendizaje es más mecánico y repetitivo. En definitiva, todo muy positivo.»

Isabel, maestra de 3.º: «El cambio fue más que nada el año pasado cuando lo hice por primera vez [...] Y ves que ha cambiado totalmente, ha sido un giro de 180 grados. Este año no he notado ese cambio porque ya sabía lo que esperaba y ya sabía lo que iba a ser. Yo lo valoro con un 10 sobre 10, un 11 sobre 11 (ríe). Me parece que esta manera de dar ciencias es ideal. Me costó muchísimo la del año pasado, pero me gustó más este año, que me estoy dando más cuenta todavía de la percepción, de cómo lo enseñas, de cómo ellos son capaces de sin mirarlo razonar, de cómo lo verbalizan, la forma de aprender para ellos es mucho más sencilla. [...] Podemos pensar «es más fácil como lo hacíamos antes, tu libro, la explicación y ya está, ahora es más difícil» pero realmente no es más difícil, es diferente, más ameno y te queda como un gusto dulce. De alguna forma es al revés, como más fácil para ti, porque tienes más ganas de dar la clase es mucho más divertido para ellos y para ti.»

b) Sobre dificultades sentidas durante el proceso

Marga, maestra de 1.º: «(la primera vez) Estaba con mucha tensión, nervios. Fue divertido y estaba motivada, pero muy agobiada, tenía alguien grabándome y escuchándome. Por supuesto tenía curiosidad por saber qué iba a pasar [...] pero tenía ansiedad e inseguridad, vamos lo tenía todo.»

Ana, maestra de 1.º: «(la primera vez) Tensión e inseguridad sí, porque soy una persona que reconozco muy cuadrículada y cuando no domino algo pues estoy en tensión hasta que domino el tema, quizás preocupación. Motivación porque me apetecía mucho y curiosidad e interés. Había tensión porque teníaís la

2. Los nombres no se corresponden con los reales.

cámara. Ahora (la segunda vez) ya nos conocemos y os veo como compañeros, me da igual, puedes entrar por la puerta cuando quieras y sin llamar. Pero en un primer momento, tenía la sensación de que me estaban evaluando en una evaluación y siendo algo externo que no os conozco, yo estaba tensa. Yo tenía tensión por todo eso, una, porque no lo dominaba, otra, vienen de fuera y me están grabando pues no me encontraba cómoda».

Isabel, maestra de 3.º: «La primera vez que lo di, sí que sentía entusiasmo, interés, curiosidad, diversión y motivación. No tenía miedos, tenía un poco de inseguridad sí, puede ser por el hecho de ser la primera y tener que centrarte y adaptarte a cómo lo das. Ahora, en estos momentos no, en estos momentos sería entusiasmo, tranquilidad. [...] Por supuesto te cuesta la primera vez porque es eso, tienes que empezar a darlo, no sabes cómo van a reaccionar, no lo has hecho nunca, y entonces, aunque lo tengas muy preparado no sabes. La primera vez te cuesta, pero yo creo que a partir de la segunda, pues también tienes confianza y coges más soltura».

Francisco, maestro de 5.º: «También es verdad que la primera vez, siempre está la inseguridad de ¿lo haré bien?, me están mirando, ¿qué va a pasar?».

c) Motivos que han influido en que lo llevaran a la práctica por segunda vez

«Lo más útil es la motivación del alumno, los videos de los niños y las niñas. Eso fue lo que más me impactó, luego ha estado la reacción de los padres y la mía propia. Pero lo primero ha sido de qué manera han aprendido, de qué manera se han apropiado de todos los conceptos que tú le has enseñado, cómo lo verbalizan, cómo lo escriben en el cuaderno científico, cómo lo saben hacer, cómo hacían los experimentos y grabarlos. Veía como decían: ¡mañana toca naturales! [...]» (Isabel).

Sus preocupaciones tras la primera puesta en práctica fueron muy distintas de las expresadas al final del curso de formación, centrándose en aspectos metodológicos docentes (cómo actuar) y de gestión del aula. Todos coincidieron en la gran importancia de los seminarios de revisión de las secuencias y del análisis de los cortes de vídeo de las clases para superarlas. Tras la segunda puesta en práctica, desaparecen los obstáculos metodológicos porque afirman haber ganado confianza en la forma de planificar la enseñanza (por indagación guiada), y en esta fase la principal «dificultad» es la inversión de tiempo que requiere preparar la intervención, aunque expresan que cada vez será menor. Reconocen que la dirección ha aportado recursos y cambios organizativos para favorecer el cambio.

4.ª fase: sostenibilidad del cambio

Tras los resultados de la 3.ª fase, los maestros y la dirección del centro nos pidieron continuar con otro itinerario de secuencias porque «querían hacer todas las Naturales así». El curso lo hicimos en julio de 2019. Asistieron 18 maestros de la escuela B, e incorporaron las nuevas secuencias a su planificación en el curso 2019-2020, como hemos mostrado en la tabla 4. Todos los maestros que enseñan ciencias llevan a cabo alguna secuencia por indagación en sus aulas, y el tiempo empleado en enseñar de esta forma «Naturales» se ha incrementado enormemente, hasta el 45,5 %. Los propios maestros comprometidos inicialmente forman —en reuniones propiciadas por la dirección— a las «nuevas incorporaciones». Según los datos, podemos afirmar que el cambio en la enseñanza de las ciencias en esa escuela ha sido posible y, creemos, que también irreversible.

CONCLUSIONES

En la primera parte de este trabajo hemos presentado y justificado un plan para conseguir el cambio en la forma de enseñar ciencias en la etapa primaria, a partir de la colaboración entre un equipo universitario y el equipo docente y directivo de las escuelas. La división en fases de este plan y la definición operativa de indicadores de éxito en cada fase busca facilitar la investigación sistemática sobre cómo conseguir el cambio didáctico «de verdad» o, en caso de no conseguirlo, identificar las causas.

En la segunda, hemos mostrado el desarrollo, a lo largo de tres años, de este plan en una escuela. Los datos obtenidos –que hemos mostrado resumidamente– permiten afirmar que el cambio no solo ha sido posible (generalizándose a todos los grupos y maestros que imparten ciencias), sino que muy probablemente se mantendrá y aumentará en el tiempo. La disposición de la dirección del centro y el compromiso inicial de una masa crítica de maestros, la superación de la tensión de la primera puesta en práctica (siendo grabados); los seminarios de seguimiento y mejora (con análisis de cortes de videos de los propios maestros) y los resultados de los alumnos tras la segunda puesta en práctica han sido aspectos fundamentales para el éxito del plan. La acogida de los padres y la promoción del desarrollo profesional apoyada por la dirección e inspección también han contribuido a la consolidación del cambio.

El tiempo empleado por el equipo universitario ha sido realmente grande: más de cien horas, sin contar la elaboración de las secuencias, el tiempo de grabación, la selección y edición de cortes de vídeo y la observación de clases. No obstante, consideramos esta investigación como básica, porque nos ha permitido identificar dificultades que se repiten y aprender cómo superarlas. Esto debe facilitar que el tiempo necesario para que el cambio sea sostenible se reduzca en otras escuelas. De hecho, el tiempo de formación para la incorporación de una nueva secuencia de secuencias, en la escuela B, ha sido bastante menor que para la primera. Actualmente, además, estamos trabajando en cómo usar lo aprendido y las nuevas tecnologías, para extender el cambio con una inversión de tiempo razonable, teniendo en cuenta los hallazgos sobre la difusión de comportamientos complejos en cursos no presenciales (Centola, 2018).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bergman, G., Borda, S., Ergazaki, M., Harlen, W., Kotuláková, K., Pascucci, A., Schoultz, J., Transetti, C. y Zoldozova, K. (2012). *Tools for enhancing inquiry in Science Education*. Obtenido de <https://www.fibonacci-project.eu/companionresources>. Visitada el 01-07-2020
- Cañal, P., Travé, G. y Pozuelos, F. J. (2011). Análisis de obstáculos y dificultades de profesores y estudiantes en la utilización de enfoques de investigación escolar. *Investigación en la Escuela*, 73, 5-26.
- Carrascosa, J., Sánchez, M. A., Benedito, J., Domènech, J. L., Espinosa, J., Llorens, J., Martínez-Torregrosa, J., Sendra, F., Verdú, R., Furió-Mas, C. y Gil, D. (1993). Los programas de formación permanente del profesorado de física y química en la Comunidad Valenciana: Un intento constructivista de formación didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, 47-48.
- Centola D. (2018). *How Behavior Spreads: The Science of Complex Contagions*. Princeton: University Press.
- Centola, D., Becker, J., Brackbill, D. y Baronchelli, A. (2018). Experimental evidence for tipping points in social convention. *Science*, 360(6393), 1116-1119. <https://doi.org/10.1126/science.aas8827>
- Clarke, D. y Hollingsworth, H. (2002). Elaborating a model of teacher professional growth. *Teaching and Teacher Education*, 18, 947-967. [https://doi.org/10.1016/S0742-051X\(02\)00053-7](https://doi.org/10.1016/S0742-051X(02)00053-7)

- Cleaves, A. (2005). The formation of science choices in secondary school. *International Journal of Science Education*, 27(4), 471-486.
<https://doi.org/10.1080/0950069042000323746>
- Constantinou, C. P., Tsivitanidou, O. E. y Rybska, E. (2018). What Is Inquiry-Based Science Teaching and Learning? En *Professional development for inquiry-based science teaching and learning* (pp. 1-23). Cham: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-91406-0_1
- Elliot, J. (1991). *Action research for educational change*. Filadelfia: Open University Press.
- Fishman, B. J., Marx, R. W., Best, S. y Tal, R. T. (2003). Linking teacher and student learning to improve professional development in systemic reform. *Teaching and Teacher Education*, 19(2003), 643-658.
[https://doi.org/10.1016/s0742-051x\(03\)00059-3](https://doi.org/10.1016/s0742-051x(03)00059-3)
- Garet, M. S., Porter, A. C., Desimone, L., Birman, B. F. y Suk Yoon, K. (2001). What makes professional development effective? Results from a national sample of teachers. *American Education Research Journal*, 38(4), 915-945.
<https://doi.org/10.3102/00028312038004915>
- Harlow, D. B. (2014). An Investigation of How a Physics Professional Development Course Influenced the Teaching Practices of Five Elementary School Teachers. *Journal of Science Teacher Education*, 25(1), 119-139.
<https://doi.org/10.1007/s10972-013-9346-z>
- Harrison, C., Hofstein, A., Eylon, B. y Simon, S. (2008). Evidence-based professional development of science teachers in two countries. *International Journal of Science Education*, 30(5), 577-591.
<https://doi.org/10.1080/09500690701854832>
- Howe, A. C. y Stubbs, H. S. (2003). From science teacher to teacher leader: Leadership development as meaning making in a community of practice. *Science Education*, 87, 281-297.
<https://doi.org/10.1002/scs.10022>
- Hutner, T. L. y Markman, A. B. (2017). Applying a goal-driven model of science teacher cognition to the resolution of two anomalies in research on the relationship between science teacher education and classroom practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(6), 713-736.
<https://doi.org/10.1002/tea.21383>
- Jenkins, E. W. (2006). The student voice and school science education. *Studies in Science Education*, 42, 49-81.
<https://doi.org/10.1080/03057260608560220>
- Kawalkar, A. y Vijapurkar, J. (2015). Aspects of Teaching and Learning Science: What students' diaries reveal about inquiry and traditional models. *International Journal of Science Education*, 37(13), 2113-2146.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1067933>
- Kennedy, A. (2014). Understanding continuing professional development: The need for theory to impact on policy and practice. *Professional Development in Education*, 40, 688-697.
<https://doi.org/10.1080/19415257.2014.955122>
- Kyriakides, L., Creemers, B. P. y Antoniou, P. (2009). Teacher behavior and student outcomes: Suggestions for research on teacher training and professional development. *Teaching and teacher education*, 25(1), 12-23.
<https://doi.org/10.1016/j.tate.2008.06.001>

- Kyriakides, L., van der Werf, G., Creemers, B. P., Timperley, H. y Earl, L. (2014). State of the art –teacher effectiveness and professional learning–. *School Effectiveness and School Improvement*, 25(2), 231-256.
<https://doi.org/10.1080/09243453.2014.885451>
- Lowell, B. R., Cherbow, K. y McNeill, K. L. (2019). *Assessing curriculum for NGSS alignment: Oversimplification of cognitive Load and separation of the three dimensions*. Comunicación presentada en el encuentro anual de NARST. Baltimore, MD.
- Marbá, A. y Márquez, C. (2010). ¿Qué opinan los estudiantes de las clases de ciencias? Un estudio transversal de sexto de primaria a cuarto de ESO. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 19-30.
- Martínez-Torregrosa, J., Limiñana, R., Menargues Marcilla, M. A. y Colomer Barberá, R. (2018). In-depth Teaching as Oriented-Research about Seasons and the Sun/Earth Model: Effects on Content Knowledge Attained by Primary Teachers. *Journal of Baltic Science Education*, 17(1).
- Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila, M. A., Cañada, F. y Bermejo, M. L. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 11-36.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1478>
- Olin A. y Ingerman, A. (2016). Features of an Emerging Practice and Professional Development in a Science Teacher Team Collaboration with a Researcher Team. *Journal of Science Teacher Education*, 27(6), 607-624.
<https://doi.org/10.1007/s10972-016-9477-0>
- Opfer, V. D. y Pedder, D. (2011). Conceptualizing Teacher Professional Learning. *Review of Educational Research*, 81(3), 376-407.
<https://doi.org/10.3102/0034654311413609>
- Porlán, R. (2018). Didáctica de las ciencias con conciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(3), 5-22.
- Reiser, B. J. (2013). What professional development strategies are needed for successful implementation of the Next Generation Science Standards? Comunicación presentada en *Invitational Research Symposium on Science Assessment*. Washington DC.
- Ritchie, S. M. (2012). Leading the transformation of learning and praxis in science classrooms. En *Second international handbook of science education* (pp. 839-849). Dordrecht: Springer.
- Singer, J., Lotter, C., Feller, R. y Gates, H. (2011). Exploring a model of situated professional development: Impact on classroom practice. *Journal of Science Teacher Education*, 22, 203-227.
<https://doi.org/10.1007/s10972-011-9229-0>
- van Driel, J. H., Meirink, A., van Veen, K. y Zwart, R. C. (2012). Current trends and missing links in studies on teacher professional development in science education: a review of design features and quality of research. *Studies in Science Education*, 48(2), 129-160.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2012.738020>
- Zembylas, M. (2004). Emotional issues in teaching science: A case study of a teacher's views. *Research in Science Education*, 34(4), 343-364.
<https://doi.org/10.1007/s11165-004-0287-6>

ANEXO I

Secuencias de actividades previstas

Problema estructurante (Origen del hilo argumental)	Título/s habitual/es	Título/s en forma interrogativa secuencia de temas/ problemas	
¿Cómo están hechas todas las cosas por dentro? ¿En qué se parecen? ¿En qué se diferencian?	Propiedades específicas	¿En qué se diferencian los materiales?	<ul style="list-style-type: none"> • ¿De qué material están hechos estos objetos? ¿Podrían estar hechos de otros? (1.º E.P.)
	Propiedades comunes: masa y volumen	¿Todas las cosas que vemos son totalmente distintas o tienen algo en común?	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál pesa más? ¿Cuál ocupa más espacio? (2.º E.P.) • ¿Cómo es el aire? (3.º E.P.) • ¿Cómo medir las propiedades de los objetos (medida)? (4.º-5.º E.P.)
	Densidad	¿Todas las cosas que vemos son totalmente distintas o tienen algo en común?	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué material es más «ligero»? ¿Y más «pesado»? (5.º-6.º E.P.)
	Carga eléctrica	¿Todas las cosas que vemos son totalmente distintas o tienen algo en común? (Otra propiedad general: la carga eléctrica)	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Atraer papelitos es una propiedad de todos los materiales? (5.º-6.º E.P.)
	Modelo corpuscular	¿Cómo están formadas las cosas «por dentro»?	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo son los gases (como el aire) «por dentro»? (6.º E.P.)
	Cambio químico*	¿Cómo se explican los cambios o transformaciones que ocurren en la Naturaleza?	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo explicar que haya cambios en que desaparecen sustancias y aparecen otras diferentes? (adecuado para ESO')

ANEXO II

Red de análisis para el aula (adaptada del Proyecto Fibonacci IBSE)

Sección A: Interacciones profesor-alumnos			
	<i>Elementos</i> (Pr= profesor; Als= alumnos)	<i>Ejemplos</i>	<i>Valoración</i>
1. Teniendo en cuenta las ideas de los alumnos	1a El Pr hace preguntas para que los Als puedan expresar las ideas que tienen		NA/ NO / SÍ (1, 2, 3)
	1b El Pr ayuda a los Als a formular sus ideas con claridad		
	1c El Pr da a los alumnos un refuerzo positivo sobre cómo revisar sus ideas o alude a ellas más adelante		
2. Apoyando las investigaciones de los alumnos	2a El Pr anima a los Als a realizar predicciones		
	2b El Pr implica a los Als en la planificación de la investigación		
	2c El Pr anima a los Als a que comprueben sus resultados		
	2d El Pr ayuda a los Als a tomar notas y a recoger los resultados de manera sistemática		
3. Orientando a los alumnos en el análisis y las conclusiones	3a El Pr le pide a los Als exponer sus conclusiones		
	3b El Pr le pide a los Als que comprueben que sus conclusiones se ajustan a sus resultados		
	3c El Pr pide a los Als que comparen sus conclusiones con sus predicciones		
	3d El Pr pide a los Als que traten de dar razones o explicaciones a lo que han encontrado en la investigación		

Sección B: Actividades de los alumnos			
	<i>Elementos</i> (Pr= profesor; Als= alumnos)	<i>Ejemplos</i>	<i>Valoración</i>
4. Llevando a cabo las investigaciones	4a Los Als trabajan sobre preguntas que ellos mismos han planteado, o que sienten como propias, aunque hayan sido presentadas por el Pr		NA/NO/ SÍ (1, 2, 3)
	4b Los Als hacen predicciones basadas en sus ideas		
	4c Los Als participan en la planificación de la investigación		
	4d Los datos obtenidos permiten a los Als comprobar sus predicciones		
	4e Los Als consideran sus resultados con relación a sus preguntas		
5. Trabajando con los demás	5a Los Als colaboran cuando trabajan en grupo		
	5b Los Als entablan discusiones sobre sus investigaciones y explicaciones		
	5c Los Als exponen su trabajo al resto de la clase		
	5d Los Als escuchan a los otros durante la comunicación de resultados		
	5e Los Als toman algún registro de lo que han hecho y lo que han hallado		

Is it feasible to change science teaching in primary education?

Carolina Nicolás Castellano, Rubén Limiñana Morcillo, Asunción Menargues Marcilla,

Sergio Rosa Cintas, Joaquín Martínez Torregrosa

Departamento de Didáctica General y Didácticas Específicas e Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y la Tecnología, Universidad de Alicante, Alicante, España

carolina.nicolas@ua.es, ruben.lm@ua.es, a.menargues@ua.es, sergio.rosacintas@ua.es, joaquin.martinez@ua.es

In primary science education research, there are several comprehensive bodies of results suggesting models for the practice of teaching and learning about science –like inquiry-based science education–. However, there are few studies in Europe that describe interventions or professional development processes that help teachers to integrate the results of current didactic research into the classroom; the main reason for this is that this is not an easy task. In fact, there is much more research and professional development courses with pre-service teachers than with in-service teachers. However, achieving didactic change in teachers, as well as getting an improvement in student learning outcomes and their attitudes towards science is expected to be more effective with in-service teachers, because they may be examples that will influence initial training. Therefore, our goal is to focus on how to achieve «practice» science teaching as inquiry.

To achieve such a change in teaching practices, we must get primary teachers to modify their behaviour, that is, to achieve a didactic/professional change. Because of that, it is obvious that teachers need help, time, and collaborative environments where there is support between researchers and science primary teachers. Given that this is a difficult issue with numerous obstacles, in order to learn and draw conclusions we have focused the research on case analysis: the study of a school or a group of teachers whose characteristics, conditioning factors and actions can be followed and analysed. We must define, in an operative way: *a*) what we want to achieve; *b*) the plan foreseen for its achievement (phases that can be analysed); *c*) how will we evaluate the success of the plan, and *d*) when will we consider that an effective and sustainable didactic change has been achieved in a school.

In this paper we present and justify a plan, from the collaboration between a university research team and the teaching and management staff of a school (drawing on didactic literature and on the critical mass theory) to achieve a change in primary science education. The plan is arranged into the following phases: 1) initial contact and generation of positive expectations towards the change; 2) first implementation of the innovation by the teachers; 3) reflection and reinforcement (second implementation by the teachers); 4) sustainability and extension of the didactic change. The division of this plan into phases and the operational definition of success indicators in each phase seeks to facilitate systematic research on how to achieve «real» didactic change or, if not, to identify the causes.

After presenting the plan, we show the development of the plan in two schools. At one of them, data obtained allow us to affirm that the change has not only been possible, but that it will most likely be maintained and increased over time. At the other school, we are currently working on the second and third phases of the plan. The operational definition of indicators has allowed us to identify the key aspects for the success of the plan and the consolidation of the change, which are: the willingness of the principal of the school; the initial commitment of a critical mass of teachers to get the change; overcoming the initial concerns of teachers for the first implementation; the follow-up and improvement seminars (analysis of video recordings of the first intervention of teachers) and results of the students after the second implementation and the good reception of the families.

Results obtained in this research are important for changing science education at the primary level, as they have allowed us to identify recurring difficulties that teachers have, as well as to get insights on how to overcome them. This should make it easier for the time needed to achieve such a change and make it sustainable to be reduced in other schools. We are currently working on how to use technologies to extend the change, considering the findings on the dissemination of complex behaviours in online courses.