

Un programa de investigación-acción con profesores de secundaria sobre la enseñanza-aprendizaje de la energía. Un estudio de caso

(An Action-Research Program with Secondary Education Teachers' on teaching-learning Energy. A case Study)

Carlos Bañas¹, Rosa Pavón¹, Constantino Ruiz² y Vicente Mellado²

¹ Profesor de Ciencias de Secundaria, Colegio OSCUS, Badajoz, España

² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas, Facultad de Education, Universidad de Extremadura, Badajoz, España

Recibido em 18/12/2009; Aceito em 9/9/2010; Publicado em 7/10/2011

Se describe un programa de investigación-acción, basado en la reflexión metacognitiva, llevado a cabo en un colegio de secundaria en España con cuatro profesores de ciencias en los cursos 2002/03 y 2003/04. Durante la investigación los profesores analizaron las ideas alternativas de sus estudiantes sobre la energía, así como sus propios métodos de enseñanza por medio de grabaciones de video de sus clases, a partir de los cuales planificaron nuevas unidades didácticas. En el artículo nos centramos en el caso de una profesora con experiencia, de nombre supuesto Raquel y mostramos como evolucionan durante el programa su modelo didáctico y las ideas de sus alumnos sobre la energía. Los resultados muestran que la reflexión de la profesora sobre las ideas alternativas más comunes de sus estudiantes, así como sobre su enseñanza en el aula le permitió planificar para el segundo año nuevas unidades didácticas, que tuvieron en cuenta las ideas alternativas de los estudiantes y que incluyeron nuevas estrategias, recursos y actividades. Sin embargo la evolución del modelo global de Raquel hacia la orientación investigadora-constructivista, no fue suficiente para la mejora del aprendizaje de los alumnos en varios conceptos de la energía, por lo que es necesario seguir trabajando, no tanto en su modelo didáctico general, sino en su conocimiento didáctico del contenido sobre la energía.

Palabras-clave: desarrollo profesional del profesorado de Secundaria, enseñanza de la energía, ideas alternativas de los alumnos.

We carried out an action-research program in Spain based in metacognitive reflection with four science teachers in a secondary school during 2002/03 and 2003/04. During the study, the participating teachers analyzed their own students' alternative ideas on energy, and the teaching methods they themselves used as were observed in the videos of their classes. They also planned new teaching units. In the article we will focus on the case of one experienced teacher named Raquel, and show how her teaching models and her students' ideas on energy evolved during this program. The results showed that the teacher's reflection on their students' commonest alternative ideas and on her own classroom teaching led her to plan new teaching units which took those alternative ideas into account, and included new strategies, resources, and activities during the second year of the study. However, the evolution of Raquel's global teaching model to inquiry/constructivist was not enough for improving student learning in various concepts of energy, so more work is needed not so much in their general teaching model, but in their pedagogical content knowledge on energy.

Keywords: secondary teacher's professional development, teaching of energy, students' alternative ideas.

1. Introducción

Las reformas educativas, aunque puedan ser necesarias, suelen tener una escasa influencia en la vida del aula, si no dedican una atención especial a la formación y desarrollo profesional del profesorado, ya que el profesor es el factor clave que determina el éxito o el fracaso de la puesta en marcha de cualquier reforma o innovación curricular [1]. Pero los profesores tienen

conocimientos, concepciones y conocimientos prácticos personales muy estables, formados y consolidados a lo largo de su vida profesional, que no cambian fácilmente a pesar de la implantación formal de las reformas [2-4].

Desde la década de los ochenta, los programas de desarrollo profesional de base constructivista, han supuesto un considerable progreso en la formación del profesorado de ciencias. También los programas metacognitivos y de investigación-acción sobre situaciones y

²E-mail: vmellado@unex.es.

problemas relevantes de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias de las propias clases de los profesores participantes, son una extraordinaria estrategia de desarrollo profesional [5].

En la investigación realizamos un estudio longitudinal de dos años de duración que toma como marcos teóricos el constructivismo, la investigación-acción y la metacognición. En ella analizamos la evolución de los modelos didácticos y de las acciones en el aula en la enseñanza de la energía de una profesora, de nombre supuesto Raquel, así como la incidencia del programa de desarrollo profesional llevado a cabo en un Colegio de Secundaria en el aprendizaje de sus alumnos sobre la energía.

La energía es un tema básico del currículo de secundaria, sobre el que existen numerosos antecedentes en la investigación, tanto sobre las ideas alternativas de los alumnos [6, 7], como sobre las estrategias de enseñanza [8-12]. Además es un tema de fuerte contenido interdisciplinar y de gran incidencia social, lo cual facilita la orientación Ciencia-Tecnología-Sociedad.

2. El desarrollo profesional de los profesores de ciencias

a) En los últimos años el paradigma constructivista se ha mostrado como un marco teórico de referencia en la investigación en didáctica de las ciencias, tanto en el aprendizaje de los alumnos como en la formación del profesorado. Desde este marco se han investigado ampliamente las ideas alternativas de los alumnos sobre distintos conceptos científicos [13], ideas que están profundamente enraizadas y que a menudo no coinciden con las científicas. También constituye un referente en la formación del profesorado, destacando la importancia del análisis de las concepciones, roles, conocimientos, actitudes y conducta en el aula de los profesores, para a partir de ellos reconstruir el conocimiento profesional [14]. Estos programas han evolucionado desde el cambio conceptual por sustitución, por competencia entre modelos didácticos, hacia un cambio más gradual, al que se han ido incorporando nuevos constructos, como el de cambio de estatus de las ideas o el de ecología conceptual [15].

Los profesores tienen que reflexionar sobre sus conocimientos, sus concepciones, su práctica en el aula y sobre el aprendizaje de los alumnos. Sin embargo esta reflexión puede no ser suficiente si el profesor no dispone de alternativas viables de enseñanza y de estrategias de acción en el aula que les resulten útiles para la enseñanza diaria de sus materias específicas y para el aprendizaje de sus estudiantes [16-17]. Gil [18] y Martínez y Varela [19] proponen la investigación de situaciones problemáticas abiertas de enseñanza y aprendizaje de interés para el profesorado. En la investigación de situaciones problemáticas hay que integrar distintos aspectos, pero el eje del desarrollo profesional tiene que

ser la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, pues el contenido a enseñar condiciona los roles del profesor y las estrategias de enseñanza [20] ya que el desarrollo profesional del profesorado no se realiza en abstracto, sino sobre contenidos concretos [21].

b) La investigación-acción en colaboración con otros profesores se ha mostrado eficaz para promover el desarrollo del profesorado de ciencias [22-24]. La investigación-acción favorece el desarrollo profesional, gracias a la acción cooperativa que implica y al trabajo en equipo, mediante el cual el profesor orienta, corrige y autoevalúa sus problemas y toma decisiones para mejorar, analizar o cuestionar la práctica educativa [25, 26]. Estas investigaciones no están hechas “sobre” y “para” los profesores sino “porz çon” los profesores en equipos interdisciplinarios e internivelares, en los que el profesor no es un consumidor de conocimientos externos, sino un coproductor y un agente de cambio sobre los problemas que realmente le preocupan en sus clases [27, 28].

El desarrollo profesional tiene que ir unido al personal y social [29], teniendo en cuenta los aspectos emocionales del profesor [30, 31], reforzando su autoestima, fomentando la colaboración constructiva y construyendo sobre las buenas prácticas que los profesores estén ya realizando [32]. También son fundamentales los aspectos sociales, ya que el profesor está integrado en un centro y es muy difícil que el cambio se realice, y sobre todo que se consolide, de una forma individual y a contracorriente de la cultura educativa del Centro [33]. Los programas de formación tienen que considerar al profesor como integrante de un grupo, aportar experiencias de desarrollo colectivo, fomentar la colaboración, fortalecer la cultura de los centros y, en suma, considerar al centro educativo como el lugar más adecuado para el desarrollo profesional [34].

c) El desarrollo profesional se estimula por procesos sucesivos de autorregulación metacognitiva del profesor basados en la reflexión, comprensión y control de lo que piensa, siente y hace y de los propios cambios que el profesor realice. La reflexión en y sobre la acción [35] y la toma de conciencia de las causas de las dificultades de la práctica docente y de los obstáculos para el cambio didáctico, para de este modo posibilitar la autorregulación y el control del propio desarrollo profesional [36, 37]. Esto supone tomar conciencia de los problemas de enseñanza y aprendizaje que pueden ser mejorables, elaborar de forma colaborativa nuevas actividades, materiales, estrategias y propuestas de enseñanza [38], ponerlos en práctica en el propio contexto, reflexionar sucesivamente sobre su enseñanza y sobre los resultados en el aprendizaje de los estudiantes, contrastarlas con otros casos, y volver a revisarlas y a autorregularlas [39-41].

El control y la autorregulación de la propia evolución y desarrollo, de su ritmo y de la naturaleza de los cambios, sin duda requiere mucho más tiempo y apoyos sostenidos que la puesta en práctica superficial de orien-

taciones externas, para que el profesor pueda percibir la formación como una experiencia educativa válida para sí mismo, para sus clases y para su centro, pero se han mostrado fundamentales para consolidar las mejoras en la práctica del aula [40].

3. Planteamiento del problema

El trabajo forma parte de un programa metacognitivo de investigación-acción realizado por varios equipos de profesores-investigadores en centros de secundaria de España y Portugal sobre distintos temas de ciencias [42-44].

El presente programa fue llevado a cabo en un Centro de Secundaria durante los cursos 2002/2003 y 2003/2004 en Badajoz, una ciudad de 150.000 habitantes situada en el suroeste de España. Fue realizado por un equipo de investigación formado por profesores universitarios, un profesor-investigador del centro de secundaria y tres profesores del mismo centro. En el artículo nos centramos en el caso de una profesora a la que denominamos con el nombre supuesto de Raquel. En otros trabajos [44, 45], hemos descrito los casos de Juan y Ángela los otros profesores participantes. Aunque los resultados son específicos para cada profesor, los tres forman parte del mismo grupo de investigación, por lo que el contexto, la metodología y la presentación de resultados tienen aspectos comunes.

Las preguntas de investigación planteadas en el presente artículo son las siguientes:

- a) ¿Cómo evoluciona la práctica de aula de Raquel sobre la enseñanza de la energía como consecuencia de su participación en los dos años del programa?
- b) ¿Cuáles son las ideas alternativas, sobre distintos aspectos de la energía, de los estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria y cómo evolucionan estas ideas durante el programa?

4. Metodología

Numerosos autores han defendido la necesidad de realizar investigaciones longitudinales ya que los cambios se producen en periodos largos de tiempo, y sólo los estudios longitudinales pueden mostrar si los cambios son volátiles o permanentes. Para White y Arzi [46], las dos condiciones para que una investigación educativa pueda considerarse longitudinal es que transcurra al menos un año entre las distintas fases de recogida de datos, y que la metodología permita una comparación de los resultados entre los distintos periodos de tiempo.

En la investigación se realizaron dos ciclos, durante los cursos académicos 2002/03 y 2003/04, con sucesivos momentos en cada curso de planificación, actuación, observación y reflexión, siguiendo de una forma flexible el modelo de investigación-acción. Raquel es Maestra de Ciencias, con 22 años de experiencia en el momento de participar en la investigación. Raquel está considerada como una excelente profesional a la que le gusta

la enseñanza, ha impartido asignaturas muy variadas, tiene con una gran capacidad de adaptación a nuevas situaciones y le gusta ser muy práctica cuando enseña. El estudio se llevó a cabo en 2º curso de Educación Secundaria Obligatoria (alumnos y alumnas de 13-14 años), curso formado por un grupo de 32 estudiantes el primer año de investigación y 18 el segundo año.

Los procedimientos de recogida de datos fueron el cuestionario, para determinar la evolución de las ideas alternativas del alumnado sobre la energía, el cual fue aplicado al comienzo y al final de cada curso; la entrevista, para determinar las concepciones iniciales del profesorado; y la observación de aula, para determinar la evolución de la práctica de aula del profesorado. Además, se valoraron los documentos personales utilizados por los profesores participantes en la planificación, evaluación y enseñanza de las lecciones que impartieron durante la investigación. El cuestionario para detectar la evolución de las ideas alternativas del alumnado sobre la energía fue validado en anteriores investigaciones [6] y constaba de 45 ítems, abiertos o cerrados de opción múltiple, agrupados en los siguientes campos: concepto de energía, calor, temperatura, diferencia entre calor y temperatura, trabajo, conservación y degradación, procedimientos y actitudes. En la Fig. 1 se muestra como ejemplo el ítem 11 y los resultados de los alumnos de Raquel en las cuatro fases de aplicación del cuestionario, durante los dos cursos analizados. Las fases A y B corresponden al comienzo y final del curso del grupo de alumnos de Raquel que cursaron 2º en 2002-2003. Las C y D al comienzo y final del curso del grupo de alumnos de Raquel que cursaron 2º en 2003-2004.

En cuanto al análisis del profesorado, desde la didáctica de las ciencias se han realizado numerosas propuestas de modelos de enseñanza [47-49]. En nuestra investigación, hemos simplificado estos modelos reduciéndolos a dos orientaciones básicas: técnica/convencional e investigadora-constructivista. La primera incluye los modelos tradicionales-transmisivos y los tecnológicos, y la segunda las orientaciones más actualizadas defendidas por la investigación en educación en ciencias. Para el análisis de las observaciones de aula, estas orientaciones se han cruzado con un sistema de categorías y subcategorías: planificación, metodología de enseñanza, conocimiento didáctico del contenido, ambiente de aula, actividades, recursos y evaluación.

Los datos del aula de Raquel se recogieron en dos sesiones del curso 2002-2003 y seis del curso 2003-2004. Todas fueron grabadas en video, transcritas, codificadas y analizadas. Investigaciones precedentes han mostrado que la reflexión sobre las ideas alternativas de los alumnos es un catalizador que estimula el desarrollo profesional del profesorado [50-52]. También fueron analizadas las acciones de enseñanza en el aula de Raquel que generaron (G) o reforzaron (R) las ideas alternativas de los alumnos o, por el contrario, las que fomentaron (F) el cambio conceptual de las mismas.

11. María y Ana quieren hervir agua. María tiene doble cantidad de agua que Ana. Las dos utilizan mecheros iguales y termómetros idénticos para medir la temperatura. La temperatura que lee María, en el momento en que las dos comienzan a hervir, es:
 a) Mayor que la de Ana.
 b) Igual que la de Ana.
 c) Menor que la de Ana.
 d) No lo sé

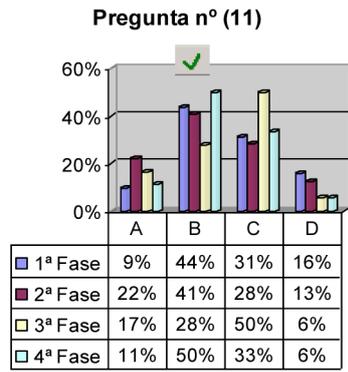


Figura 1 - Ejemplo de ítem del cuestionario de alumnos.

Un aspecto esencial para el desarrollo de estrategias metacognitivas fue el trabajo colaborativo llevado a cabo por los cuatro profesores en el Colegio. Uno de ellos ha tenido un doble rol: por una parte actuó en el sentido clásico de “investigador” para conseguir y analizar una serie de datos que contribuyan a aumentar el conocimiento sobre el desarrollo profesional del profesorado y, por otra, asumió el papel de “diagnosticador”, “facilitador”, “orientador” o “solucionador” en el proceso de reflexión metacognitiva con los otros tres profesores participantes, compañeros de su propio centro.

Destacamos la extraordinaria riqueza de las reuniones de trabajo realizadas por el grupo de profesores. En ellas se analizaron, entre otros temas, las ideas alternativas sobre la energía de sus propios alumnos y de los libros de texto; la metodología de enseñanza, a partir de grabaciones en video de las clases; y, la planificación de unidades didácticas.

En la planificación se prestó mucha atención a tres aspectos. Uno de ellos, generado a partir del análisis de las ideas alternativas del alumnado, fue la reflexión sobre los conocimientos científicos sobre la energía de los profesores participantes y su incidencia en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que los profesores también tienen ideas alternativas [53]. El otro aspecto fue reforzar el aprendizaje metacognitivo de los alumnos, para que pudiesen tener mayor autonomía, para que aprendiesen a aprender, y para que comenzasen a ser conscientes de la evolución de su propio aprendizaje a partir de sus conocimientos iniciales. Finalmente, se dedicó mucho tiempo a la planificación de actividades prácticas de laboratorio y a la construcción de maquetas, lo que obligó a un trabajo interdisciplinar con las áreas de Tecnología e Informática del centro.

5. Resultados

Analizaremos en primer lugar la evolución de la práctica de aula de Raquel, comparando los resultados del curso 2002-2003 (primer año de la investigación) y los del curso 2003-2004 (segundo año de la investigación), tanto en la evolución de los modelos didácticos

(Fig. 2) como de las acciones (Fig. 3). En segundo lugar analizaremos globalmente la evolución de las ideas de los alumnos de Raquel sobre distintos aspectos de la energía.

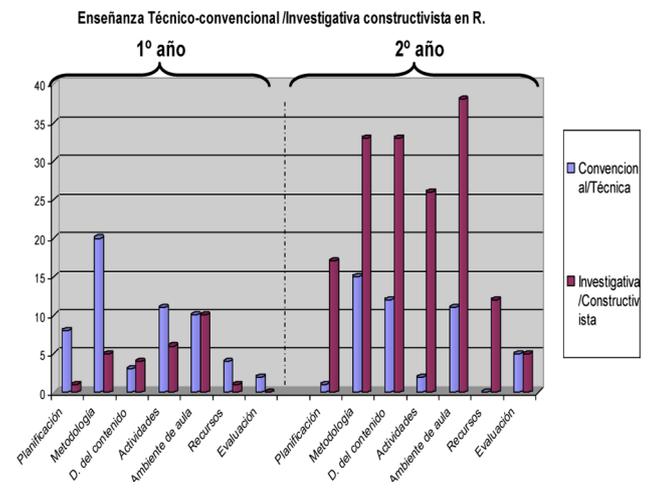


Figura 2 - Evolución del modelo didáctico de Rosa.

Acciones que F. la evolución conceptual, R. o G. ideas alternativas en los alumnos de R. (2º ESO).

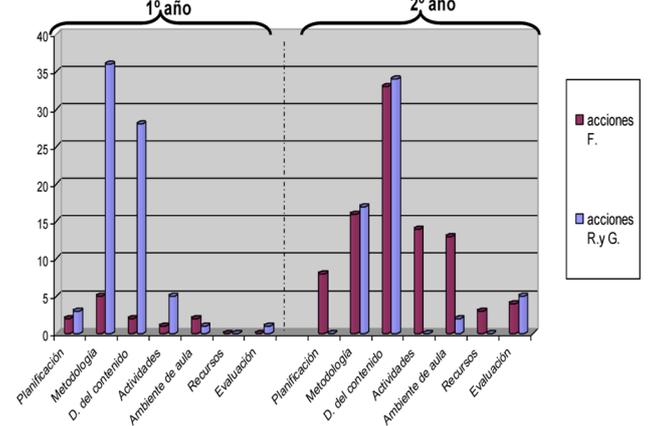


Figura 3 - Evolución de las acciones de Rosa en el aula.

5.1. Evolución de la práctica de aula de Raquel

En la Fig. 2 se muestran los resultados cuantitativos de la práctica de aula de Raquel sobre la en-

señanza de la energía en las siete categorías establecidas de las dos orientaciones básicas: técnica-convencional e investigadora-constructivista durante los dos años de la investigación. Durante el primer año el modelo de Raquel comparte rasgos de ambas orientaciones, con ligero predominio del técnica-convencional. Sin embargo durante el segundo año hay un predominio de la orientación investigadora-constructivista.

Otro aspecto de la práctica de aula analizado fueron las acciones de Raquel que generaron (G) o reforzaron (R) las ideas alternativas de los alumnos o, por el contrario, las acciones que fomentaron (F) el cambio conceptual de las mismas. En la Fig. 3 se recoge la evolución experimentada por estas acciones en el primer y segundo año de investigación en las categorías establecidas. Durante el primer año fueron más numerosas las acciones que generaron o reforzaron las ideas alternativas de los alumnos, especialmente en la metodología y en el conocimiento didáctico del contenido. En cambio durante el segundo año fueron más numerosas las acciones que fomentaron el cambio conceptual, excepto en la metodología, el conocimiento didáctico del contenido y la evaluación, categorías en que son ligeramente más numerosas las acciones que reforzaron o generaron ideas alternativas en los estudiantes.

No todas las categorías evolucionan en la misma medida. Anteriores investigaciones indican que la evolución de los modelos didácticos de los profesores con experiencia suele ser lenta y gradual [54], y raramente implica el completo abandono de sus modelos didácticos en favor de otros nuevos, sino que más bien son adquisiciones y retenciones parciales con numerosas contradicciones [55].

Durante la *planificación* del primer año Raquel apenas tuvo en cuenta los conocimientos previos de los alumnos, siendo prácticamente inexistentes las referencias al cambio conceptual. Planificó fundamentalmente por contenidos conceptuales, con escasas actividades que complementasen dichos contenidos. Dedicó poco tiempo a planificar su enseñanza, incluyendo aspectos que podían reforzar las ideas alternativas de los estudiantes.

En el segundo año Raquel intentó realizar la planificación acordada con el grupo de trabajo, apreciándose un notable cambio hacia el modelo investigativo/constructivista, aunque coexistían rasgos del convencional/técnico. Programó actividades para que las ideas previas de los alumnos fuesen utilizadas en la formulación de predicciones, así como para facilitar que se produjese un cambio conceptual de las ideas alternativas de los alumnos hacia ideas más científicas.

La *metodología* del primer año estuvo centrada en la explicación de la profesora. Raquel, en su afán por explicar y hacer que los alumnos comprendiesen los conceptos, dirigió en exceso la clase, teniendo poco en cuenta las ideas de los alumnos. También realizó numerosas acciones que reforzaron o generan ideas alternativas en

los alumnos.

En el segundo año Raquel incidió más en el proceso de construcción de conocimientos por los alumnos, centrandose más en ellos la metodología. En las actividades que realizó se percibió una fase de reestructuración, con la creación de conflictos cognitivos que generasen insatisfacción con las ideas alternativas de los alumnos, como preparación a la introducción de conceptos científicos. Esta característica claramente constructivista facilitó un posible cambio conceptual. En ocasiones seguía utilizando un lenguaje excesivamente cotidiano, sin diferenciarlo del científico, con lo cual estaba reforzando e incluso generando nuevas ideas alternativas.

En la *didáctica del contenido* del primer año hubo situaciones de enseñanza de ambas orientaciones, con muchas acciones que generaron o reforzaron las ideas alternativas de los alumnos sobre distintos aspectos de la energía. Raquel incidió en que la energía es la capacidad para realizar un trabajo mecánico, que se produce cuando existe desplazamiento como consecuencia de una fuerza. Esta es la forma habitual de iniciar el tema en muchos libros de texto [56]. Sin embargo, comenzar así la enseñanza de la energía ha sido criticado tanto desde un punto científico [57], como didáctico [10, 11, 58]: porque restringe el concepto de energía al campo de la mecánica; no aclara que el proceso de transferencia de energía de un sistema puede ser debido al trabajo, pero también al calor o a la radiación; no proporciona una idea global de la energía ni de sus transformaciones, conservación y degradación; y tiene además mayores dificultades de aprendizaje para los alumnos, por el grado de abstracción que conlleva. Un error metodológico habitual al definir la energía a partir del trabajo mecánico es deducir el principio de conservación como un teorema a partir de la 2ª ley de Newton, sin tener en cuenta que es un principio para toda la física [59]. Numerosos autores defienden que la energía debería introducirse de una forma descriptiva como una magnitud fundamental de los sistemas, por la que éstos pueden transformarse, así como actuar sobre otros sistemas originando en ellos procesos de transformación [8, 60, 61]. Así la energía se introduciría como un concepto básico no derivado, tratándose su transferencia, transformación, conservación y degradación, llegándose por inclusión a un concepto más general de la energía. El primer año la profesora utilizó a menudo indistintamente los conceptos de calor y temperatura, asociando calor de los cuerpos a mayor temperatura, lo que reforzó las ideas alternativas de los alumnos. Este año apenas utilizó analogías u otras formas de representación del contenido [62].

El segundo año la profesora tuvo más en cuenta las ideas de los alumnos intentado llegar a partir de ellas a una posterior reconstrucción y generalización del concepto [6]. Sin embargo se produjeron pocos avances en la enseñanza del calor y la temperatura, ya que continuó asociando el calor a una forma de energía que po-

seen los cuerpos y no a un proceso de transferencia de energía entre dos cuerpos a distinta temperatura. En el concepto de trabajo se produjeron avances y durante el segundo asoció el trabajo a “*un acto de transformación mediante fuerzas*” quedando vinculado a intercambios de energía entre diferentes sistemas o entre las partes de un mismo sistema [7]. En relación al principio de conservación y degradación Raquel solía partir de una definición negativa “*la energía ni se crea ni se destruye, se transforma*”, apenas relacionando la conservación con la degradación. Aunque el segundo año hubo un aumento de la tendencia investigativa/ constructivista, en distintas fases regresaba al estilo convencional/técnico. Raquel empezó a relacionar los contenidos con aspectos cotidianos próximos a intereses de los alumnos [63], y trató la energía desde una perspectiva más global, como una propiedad de los sistemas. En el segundo año hubo tantas acciones de clase que facilitaron el cambio conceptual, como las que reforzaron o generaron ideas alternativas en distintos conceptos. En ocasiones actuó para modificar algunos conocimientos previos hacia otros más científicos, asociando la idea de energía a la configuración de los sistemas y a sus interacciones, pero en otros siguió reforzando las ideas alternativas de los estudiantes.

En las *actividades* de enseñanza-aprendizaje del primer año apenas puso en práctica actividades que facilitasen el análisis, observación, interiorización u obtención de conclusiones para comprender los conceptos que se estaban trabajando. Más bien las actividades iban enfocadas hacia la comprobación de aspectos explicados por la profesora sin dar oportunidades a los alumnos de que construyesen activamente significados.

El segundo año las actividades estuvieron más enfocadas a la participación de los estudiantes. Raquel motivó a sus alumnos a desarrollar su trabajo con el material disponible, encargó diseños y sugirió actividades y experiencias relacionadas con la unidad para ser llevadas a cabo en el aula. Las actividades que realizaron los alumnos fueron motivadoras y de interés para ellos, con el objetivo de que construyesen de forma más activa los significados. Procuró hacer ver al alumno que el conocimiento es un proceso dinámico y no acabado, por lo que en numerosas ocasiones solicitó la lectura y comentario crítico de textos científicos.

En cuanto al *ambiente de aula y participación*, en el primer curso ya existía una moderada participación del alumno. El segundo año Raquel intentó crear un clima de participación mucho más dinámico, animando a los alumnos a realizar las actividades y a buscar respuestas a problemas abiertos.

En cuanto a los *recursos*, el primer año predominaron los típicos materiales de una enseñanza convencional: libros, libretas, encerado y tizas. En la fase de reflexión y trabajo colaborativo del grupo se dedicó mucho tiempo a la planificación de actividades prácticas de laboratorio y a la construcción de maquetas y otros

recursos, lo que obligó a un trabajo interdisciplinar de los profesores participantes con las áreas de Tecnología e Informática del centro. El desarrollo de estas actividades fue fundamental no sólo para la iniciación a pequeñas investigaciones dirigidas, sino también para el cambio del profesorado hacia orientaciones más innovadoras [64, 65]. El segundo año incorporó un mayor número y variedad de recursos (textos, audiovisuales, informáticos, maquetas, etc.), construidos por los profesores en la fase de planificación colaborativa.

La *evaluación* fue fundamentalmente sumativa el primer año, consistente en una prueba escrita con preguntas en las que el alumno demostrase lo que había estudiado a partir de las explicaciones de la profesora y del estudio del libro de texto. El segundo año, mantuvo la evaluación sumativa de exámenes del primer año, junto a otras acciones encaminadas a evaluar el progreso de los alumnos en el aprendizaje de los distintos tipos de capacidades. Este año solicitó trabajos de construcción de síntesis, preparó procedimientos de evaluación con el grupo de profesores, y en algunos momentos evaluó para informar y ayudar a los alumnos a que progresasen en el aprendizaje.

52. Evolución de las ideas de los alumnos sobre la energía

Al ser alumnos distintos no mostraremos los resultados absolutos de cada curso, sino la variación de los resultados del cuestionario antes y después de la impartición del tema de la energía en cada curso académico 2002/03 y 2003/04. En la Fig. 4 se muestra esta variación en los distintos conceptos en los dos años de la investigación.

Los resultados reflejan que hubo una evolución positiva el segundo año en los conceptos de energía y trabajo y, en menor medida, en los procedimientos y actitudes. En cambio no existió evolución en el concepto de calor ni en el primer ni segundo año de investigación, más bien ocurrió lo contrario, hubo un pequeño porcentaje que indica que se reforzaron las ideas alternativas iniciales de los alumnos. Con respecto al concepto de temperatura, conservación y degradación, observamos que aunque mínima, existe una mayor evolución durante el primer año que en el segundo.

En coincidencia con otros trabajos [59, 66, 67], el primer año muchos alumnos asociaron la energía con el movimiento, la fuerza, algo material que fluye o vitalidad, en detrimento de los conceptos de energía química o potencial. El segundo año los alumnos mejoraron en distinguir distintos tipos de energía, así como en asociarla a procesos de cambio y transformación de los sistemas. La comprensión del concepto de calor decreció ambos años entre el comienzo y el final del curso y constituyó uno de los núcleos duros del aprendizaje. Los alumnos continuaron asociando el calor a la energía que poseen los cuerpos y no a un proceso de transfe-

cia de energía entre dos cuerpos a distinta temperatura. La profesora piensa que el calor es un proceso de transferencia de energía; sin embargo en la clase su lenguaje excesivamente cotidiano transmitió una idea diferente, reforzando las ideas alternativas de los alumnos. En cuanto a la temperatura, la profesora la relacionó desde un punto de vista microscópico con la energía de las moléculas de un cuerpo; sin embargo sus actividades en el aula no consiguieron una mejora en el aprendizaje del concepto de temperatura, que muchos alumnos identificaron con el calor o con la cantidad de energía de los cuerpos. El segundo año los alumnos modificaron su idea anterior respecto a que la energía “desaparece”, hacia considerar que la energía se transforma. Sin embargo no progresaron en el concepto de conservación como un principio general de la física [59].

Evolución de conceptos durante los dos años de investigación en los alumnos de 2º ESO.

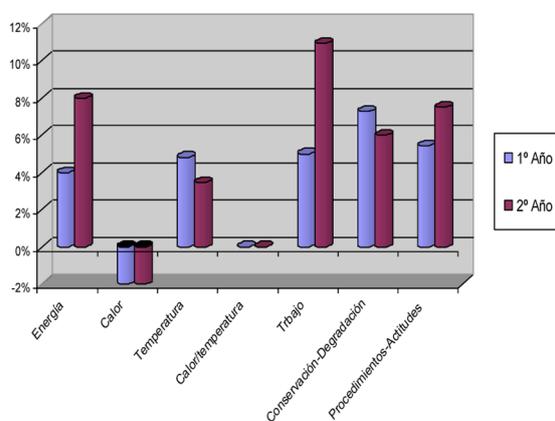


Figura 4 - Evolución de las ideas de los alumnos.

6. Conclusiones e implicaciones

Globalmente ha habido una apreciable evolución, en los dos años de la investigación, en el modelo didáctico de Raquel hacia la orientación investigadora-constructivista. En cuanto a las acciones en el aula, durante el primer año fueron más numerosas las acciones que generaron o reforzaron las ideas alternativas de los alumnos, especialmente en la metodología y en el conocimiento didáctico del contenido. En cambio durante el segundo año fueron más numerosas las acciones que fomentaron el cambio conceptual, excepto en la metodología, el conocimiento didáctico del contenido y la evaluación, categorías en que son ligeramente más numerosas las acciones que reforzaron o generaron ideas alternativas en los estudiantes.

Con relación a las ideas de los alumnos, durante el segundo año se produjo una evolución en los conceptos de energía y trabajo y, en menor medida, en los procedimientos y actitudes. En cambio no existió evolución en el aprendizaje en el concepto de calor ni en el primer ni segundo año de investigación, más bien ocurrió lo contrario, hubo un pequeño porcentaje que indica que se

reforzaron las ideas alternativas iniciales de los alumnos. Con respecto a los conceptos de temperatura, conservación y degradación, existió una regresión durante el segundo año.

La combinación de estos resultados nos indica que la evolución del modelo global de Raquel hacia la orientación investigadora-constructivista, no fue suficiente para la mejora del aprendizaje de los alumnos. Las acciones en el aula de Raquel durante el segundo año, continuaron reforzando las ideas alternativas de los estudiantes en la metodología, el conocimiento didáctico del contenido y la evaluación, tres aspectos clave para lograr una evolución conceptual de los alumnos. Otros trabajos han mostrado que el aprendizaje de los alumnos y la evaluación son muy importantes en la evolución de los profesores, pero estos aspectos son también muy resistentes al cambio en la reflexión y la práctica de los profesores de ciencias [68].

El programa de investigación-acción ha contribuido al desarrollo profesional de Raquel iniciando la evolución de su modelo didáctico, así como de las acciones que contribuyen a la evolución conceptual de las ideas alternativas de los estudiantes. Raquel ha hecho un gran esfuerzo por poner en práctica las unidades didácticas programadas con el grupo de profesores de su Centro participantes en la investigación. Sin embargo los resultados en el aprendizaje de sus alumnos no fueron los esperados y es necesario seguir trabajando, no tanto en su modelo didáctico general, sino en su conocimiento didáctico del contenido, un conocimiento específico sobre la forma de enseñar cada materia y una forma de razonamiento y acción educativa por medio de la cual los profesores transforman el contenido en representaciones comprensibles a los estudiantes [69]. El conocimiento didáctico del contenido ha impulsado numerosos trabajos con el profesorado de ciencias y profundiza en el conocimiento y acción del profesor sobre el currículum, el aprendizaje de las ciencias y las ideas de los estudiantes, las estrategias didácticas, y la evaluación [70-72]. Todos estos aspectos se han mostrado claves en el caso de Raquel y es necesario seguir trabajando sobre ellos en el grupo de profesores, con la idea de que el desarrollo profesional de los profesores de ciencias con experiencia es un proceso largo, continuo y gradual basado en la reflexión sobre los logros, pero también sobre los numerosos obstáculos y dificultades del camino [73].

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los Proyectos de Investigación SEJ2006-04175 y EDU2009-12864 del Ministerio de Ciencia e Innovación de España y los Fondos Europeos de Desarrollo Regional.

Referencias

- [1] P.W. Hewson, E.S.K. Abell and N.G. Lederman (eds), *Handbook of Research on Science Education* (Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, 2007), p. 1177.
- [2] E. Banet, *Enseñanza de las Ciencias* **25**, 5 (2007).
- [3] B. Jeanpierre, K. Oberhauser and C. Freeman, *Journal of Research in Science Teaching* **42**, 668 (2005).
- [4] A. de Pro, *Enseñanza de las Ciencias* **24**, 337 (2006).
- [5] V. Mellado, *Enseñanza de las Ciencias* **21**, 343 (2003).
- [6] C. Bañas, V. Mellado y C. Ruiz, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **21**, 296 (2004).
- [7] J.L. Domenech, D. Gil, A. Gras, J. Guisasaola, J. Martínez, J. Salinas, R. Trumper y P. Valdés, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **20**, 285 (2003).
- [8] R. Duit, *International Journal of Science Education* **9**, 139 (1987).
- [9] G.R. Luera, Ch. Otto and P.W. Zitzewitz, *Journal of Physics Teacher Education Online* **4**, (2005).
- [10] V. Mellado, *Revista de Enseñanza de la Física* **11**, 21 (1998).
- [11] R. Trumper, *International Journal of Science Education* **13**, 1 (1991).
- [12] R. Trumper, *International Journal of Science Education* **19**, 31 (1997).
- [13] J.H. Wanderse, J.J. Mintzes, J.D. Novak, en: *Handbook of Research in Science Teaching and Learning*, editado por D.L. Gabel (MacMillan, New York, 1994), p. 177.
- [14] K. Tobin, D.J. Tippins, A.J. Gallard, en: *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, editado por D.L. Gabel (McMillan, New York, 1994), p. 45.
- [15] P.W. Hewson, B.R. Tabachnick, K.M. Zeichner and K.M.J. Lemberger, *Science Education* **83**, 373 (1999).
- [16] M.I. Freitas, R. Jiménez y V. Mellado, *Research in Science Education* **34**, 113 (2004).
- [17] S.M. Ritchie and D. Rigano, *International Journal of Science Education* **24**, 1079 (2002).
- [18] D. Gil, *Enseñanza de las Ciencias* **11**, 197 (2003).
- [19] M.M. Martínez y M.P. Varela, *Enseñanza de las Ciencias* **27**, 343 (2009).
- [20] K. Tobin and C. McRobbie, en: *Examining Pedagogical Content Knowledge*, edited by J. Gess-Newsome and N. Lederman (Kluwer A.P., Dordrecht, 1999), p. 215.
- [21] R.F. Gunstone and J.R. Northfield, *International Journal of Science Education* **16**, 523 (1994).
- [22] P. Dass, A. Hofstein, R. Mamlok, K. Dawkins and J. Penick, en: *Science Education in the 21st Century*, edited by Ingrid V. Erikson (Nova Science Publishers, New York, 2008), p. 205.
- [23] L.L. Lyons, P.K. Freitag and P.W. Hewson, *Journal of Research in Science Teaching* **34**, 239 (1997).
- [24] K.J. Roth, en: *Handbook of Research on Science Education* edited by S K. Abell and N.G. Lederman (Lawrence Erlbaum Associates Inc, New Jersey, 2007), p. 1205.
- [25] P. Hanley, F. Maringe and M. Ratcliffe, *International Journal of Science Education* **30**, 711 (2008).
- [26] F. Imbernón, en: *La Investigación Educativa como Herramienta de Formación del Profesorado. Reflexión y Experiencias de Investigación Educativa*, editado por F. Imbernón (Grao, Barcelona, 2002), p. 11.
- [27] A. Cachapuz, en: *La Formación del Profesorado de Ciencias y Matemáticas en España y Portugal*, editado por L.J. Blanco y V. Mellado (Diputación Provincial, Badajoz, 1995), p. 243.
- [28] S.M. Ritchie, *Research in Science Education* **38**, 1 (2008).
- [29] B. Bell and J. Gilbert, *Teaching and Teacher Education* **10**, 483 (1994).
- [30] M. Brígido, A. Caballero, M.L. Bermejo, C. Conde y V. Mellado, *Campo Abierto* **28**, 153 (2009).
- [31] M. Zembylas, *Research in Science Education* **34**, 343 (2004).
- [32] A. Hargreaves, *Profesorado, Cultura y Modernidad* (Morata, Madrid, 1996).
- [33] G. Sánchez y M.V. Valcárcel, *Enseñanza de las Ciencias* **18**, 423 (2000).
- [34] C. Marcelo, *Educación* **30**, 27 (2002).
- [35] D. Schön, *The Reflective Practitioner* (Basic Book, New York, 1983).
- [36] M.I. Copello y N. Sanmartí, *Enseñanza de las Ciencias* **19**, 269 (2001).
- [37] B. Vázquez, R. Jiménez y V. Mellado, *Enseñanza de las Ciencias* **25**, 73 (2007).
- [38] J.C. Powell and R.D. Anderson, *Studies in Science Education* **37**, 107 (2002).
- [39] R.W. Marx, J. Freeman, J. Krajcik, P. Blumenfeld, P. en B.J. Fraser y K. Tobin (eds) *International Handbook of Science Education* (Kluwer AP, Dordrecht, 1998), p. 667.
- [40] Ch. E. Peers, C.M. Diezmann and J.J. Watters, *Research in Science Education* **33**, 89 (2003).
- [41] V. Mellado, C. Ruiz, M.L. Bermejo and R. Jiménez, *Science & Education* **15**, 419 (2006).
- [42] P. Domingos-Grilo, *La Interacción entre el Desarrollo Profesional del Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y la Evolución Conceptual del Alumnado sobre la Fotosíntesis. Estudio Longitudinal de Casos*. Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura, 2007.
- [43] B. Vázquez, R. Jiménez y V. Mellado, en: *Science Education in the 21st Century*, edited by Ingrid V. Erikson (Nova Science Publishers, New York, 2008), p. 137.
- [44] C. Bañas, A. Lopez, V. Mellado y C. Ruiz, *Journal of Education Research* **3**, 129 (2009).
- [45] C. Bañas, J. L. Díaz, V. Mellado y C. Ruiz, *Journal of Physics Teacher Education Online* **5**, 20 (2008).
- [46] R.T. White y H.J. Arzi, *Research in Science Education* **35**, 137 (2005).
- [47] M.P. Jiménez-Aleixandre, en: *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, editado por F. J. Perales y P. Cañal (Marfil, Alcoy, 2000), p. 165.

- [48] R. Jiménez y A.M. Wamba, *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* **17**, 113 (2003).
- [49] R. Porlán y A. Rivero, *El Conocimiento de los Profesores* (Diada, Sevilla, 1998).
- [50] C. Da Silva, V. Mellado, C. Ruiz and R. Porlán, *Science Education* **91**, 461 (2007).
- [51] B.S. Eylon, H. Berger and E. Bagno, *International Journal of Science Education* **30**, 619 (2007).
- [52] M.F. Macedo, J. Fonseca, J. Conboy e I. Martin, *Revista de Educação* **10**, 61 (2001).
- [53] A. de Pro e O. Saura, *Alambique* **24** (2000).
- [54] R.T. Tal, Y.J. Dori, S. Keiny and U. Zoller, *International Journal of Science Education* **23**, 247 (2001).
- [55] M.V. Valcárcel y G. Sánchez, en: *Didáctica de las Ciencias Experimentales* editado por F.J. Perales y P. Caña, (Marfil, Alcoy, 2000), p. 557.
- [56] J.L. Michinel y A.J. D'Alessandro, *Enseñanza de las Ciencias* **12**, 369 (1994).
- [57] R. Feynman, R.B. Leighton and M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics* (F.Ed. Iberoamericano, México D.F., 1971).
- [58] J.L. Domenech, D. Gil, A. Gras, J. Martínez, G. Guisasola y J. Salinas, *Revista de Enseñanza de la Física* **14**, 45 (2001).
- [59] J. Solbes y F. Tarín, *Enseñanza de las Ciencias* **16**, 387 (1998).
- [60] R. López-Gay, *Investigación en la Escuela* **3**, 47 (1987).
- [61] J. Solbes y F. Tarín, *Enseñanza de las Ciencias* **22**, 185 (2004).
- [62] O.H.M. Da Silva e R. Nardi, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **25**, 383 (2008).
- [63] E.C. Ricardo e J.C.A. Freire, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 251 (2007).
- [64] H. Bartholomew and J. Osborne, *Science Education* **88**, 655 (2004).
- [65] C. Martínez-Losada and S. García-Barros, *International Journal of Science Education* **27**, 827 (2005).
- [66] C. Bañas, V. Mellado y C. Ruiz, *Campo Abierto* **24**, 99 (2003).
- [67] J.M. Domínguez, A. de Pro y E. García-Rodeja, *Enseñanza de las Ciencias* **16**, 161 (1998).
- [68] B. Vázquez, R. Jiménez y V. Mellado, *Enseñanza de las Ciencias* **28**, 417 (2010).
- [69] L.S. Shulman, *Educational Researcher* **15**, 4 (1986).
- [70] P.J. Friedrichsen, S.K. Abell, E.M. Pareja, P.L. Brown, D.M. Lankford and M.J. Volkmann, *Journal of Research in Science Teaching* **46**, 357 (2009).
- [71] A. Garritz, E. Nieto, K. Padilla, F. Reyes y R. Trinidad, *Campo Abierto* **27**, 153 (2008).
- [72] J. Gess-Newsome and N.G. Lederman, *Examining Pedagogical Content Knowledge* (Kluwer A.P., Dordrecht, 1999).
- [73] C. Peme, V. Mellado, A.L. De Longhi, M.R. Argañaraz y C. Ruiz, *Revista TED: Tecne, Episteme y Didaxis* **24**, 75 (2008).