

UNA PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

GUISASOLA, JENARO¹; GARMENDIA, MIKEL²; MONTERO, ANTONIO³ y BARRAGUÉS, JOSÉ IGNACIO⁴

¹ Departamento de Física Aplicada. Universidad del País Vasco

² Departamento de Expresión Gráfica en Ingeniería. Universidad del País Vasco

³ Seminario de Física y Química del IES Sierra Almirante de Nerja

⁴ Departamento de Matemática Aplicada. Universidad del País Vasco

jenaro.guisasola@ehu.es

mikel.garmendia@ehu.es

a.montero.m@telefonica.net

joseignacio.barragues@ehu.es

Resumen. En las últimas décadas ha habido un número creciente de físicos que han asumido el reto de aplicar a los problemas relativos al aprendizaje y a la enseñanza de la física la misma seriedad investigadora que se aplica a la investigación tradicional en esta área. Este empeño se conoce grosso modo como «Investigación en Enseñanza de la Física» (IEF). Este artículo discute una propuesta de utilización de las investigaciones en IEF en relación con la práctica de aula. Se presentan ejemplos que muestran el positivo impacto de la investigación en enseñanza de la física sobre el diseño de unidades didácticas y sobre la comprensión de estudiantes de bachillerato y universidad en algunos conceptos. Finalmente, mostraremos algunos retos prácticos y propondremos algunos pasos que podrían darse para asegurar el crecimiento y productividad de la IEF.

Palabras clave. Investigación en Enseñanza de la Física, avances de la investigación, impacto de la investigación en la enseñanza, diseño y evaluación de secuencias de enseñanza

A proposal for using the results from educational research on physics teaching

Summary. In the last decades, a growing number of physicists have taken up the challenge of implementing in the learning and teaching of physics the same research discipline applied to traditional research in the field. Such commitment is largely known as «Physics Education Research» (PER). In this paper we will discuss a proposal of utilization of results of the research for classroom practice at High School and university level. This paper presents evidence from different studies to demonstrate the potential positive impact of the research on teaching and learning physics on students' understanding of physics. Finally, we will show some practical challenges and propose some steps that could be taken to ensure PER growth and productivity.

Keywords. Physics Education research, achievements of research, impact of research, designing and evaluating teaching sequences.

INTRODUCCIÓN

En el centro de toda investigación educativa se encuentra el objetivo de «mejorar» el aprendizaje de los estudiantes. Como dice Hurd de Hart (1991) «there is a little reason to do research, unless there is a pay-off in the classroom». La IEF se ha desarrollado en torno al hecho de que este objetivo de mejora es posible. El objetivo se

formula como «reformular o cambiar la enseñanza de la física», por lo que la IEF ha ido más allá de la identificación de dificultades en el aprendizaje de los estudiantes y las deficiencias de la enseñanza tradicional. La investigación ha desarrollado materiales y estrategias didácticas que se han sometido repetidamente a examen, evaluacio-

nes y rediseños. A pesar de ello, existen algunas insuficiencias, incluso en los enfoques más recientes, y algunas preguntas sin respuestas, como sucede en cualquier investigación seria y rigurosa de cualquier disciplina.

Presentaremos el impacto de la investigación en la práctica educativa de la enseñanza de la física en niveles de bachillerato y universidad. Finalmente, mostraremos algunos retos prácticos y propondremos resultados y reflexiones para asegurar el crecimiento y productividad de la IEF.

IMPLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN EN LA PRÁCTICA EDUCATIVA

Cada vez hay más aportaciones de la IEF y también es cada vez mayor el número de congresos y revistas que se ocupan del tema. Sin embargo, desde la administración educativa y desde la propia área hay críticas sobre el impacto de esta investigación en la práctica docente. La administración y las instancias políticas centran sus críticas en la educación en general, argumentan que a pesar de la gran cantidad de investigación en educación en los últimos cincuenta años hay pocas áreas de la educación donde se haya construido un cuerpo de conocimientos que pueda considerarse como científicamente fundamentado y como valiosos para guiar la actividad profesional en educación (Blunkett, 2000).

Algunos miembros de la comunidad de investigadores en enseñanza de las ciencias también discrepan de los resultados obtenidos. La principal crítica ha venido desde posiciones filosóficas que consideran que la perspectiva constructivista utilizada por los investigadores, de los que divergen, muestra un retrato empirista erróneo del conocimiento científico y por consiguiente de su aprendizaje (Matthews, 1997; Niaz 2001; Nola, 1997). Esta crítica considera que la investigación dentro del paradigma constructivista en enseñanza de las ciencias asume que las personas basan su actividad intelectual sobre «información sensorial» y el aprendizaje es considerado como un proceso individual para dar significado al mundo natural. Sin embargo, esta visión sobre la investigación en la enseñanza de las ciencias ha sido rechazada por otros investigadores que consideran el aprendizaje de las ciencias como un proceso de desarrollo personal de comprensión que se sitúa dentro de colectivos de trabajo donde los científicos producen nuevo conocimiento o los estudiantes construyen creencias personales (Thibergien, 2000; Gil et al., 2002; Leach y Scott, 2003; Paixao et al., 2008).

Hay estudios que han tenido un impacto positivo en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Un ejemplo, en física, son las investigaciones sobre dificultades de aprendizaje que han tenido como resultado el diseño de instrumentos para evaluar el conocimiento de los estudiantes y la eficacia de la instrucción. Halloun y Hestanes (1985) utilizaron los resultados de las ideas de los estudiantes universitarios en el área de Mecánica para diseñar el test de evaluación formativa «Force Concept

Inventory». Desde su diseño ha habido un incremento en el número de programas de física y libros de texto que prestan mayor atención a las dificultades conceptuales (Hestenes y Halloun, 1995). En el campo del electromagnetismo han desarrollado instrumentos de evaluación formativa con similares objetivos (Ding et al., 2006; Maloney et al., 2001).

Sin embargo, las dificultades para realizar investigaciones en enseñanza de la Física cuyo objetivo sea mejorar la práctica de su enseñanza no deben subestimarse. Coincidimos con Lijesen y Klaassen (2004) cuando argumentan que el diseño de secuencias de aprendizaje requiere de un proceso complejo de aplicación de los principios generales de la didáctica a los contextos concretos de enseñanza de los temas del currículo. Indican que esta tarea no es lineal sino un proceso cíclico con el objetivo de generar conocimiento sobre la enseñanza y el aprendizaje que sea relevante para su implementación en el aula. Realizar investigación que genere conocimientos relevantes sobre la enseñanza de temas científicos presenta dificultades importantes, en primer lugar, considerar que una propuesta es «mejor» que otra supone ponerse de acuerdo en los objetivos que se utilizan para evaluar la calidad de la propuesta. Estos criterios de calidad pueden basarse en el porcentaje de estudiantes que aprueban pruebas oficiales internas o externas, que pueden tener correlación o no con los resultados de los estudiantes en pruebas de comprensión conceptual. O bien, la calidad puede medirse en función del número de estudiantes que se prepara para seguir los estudios en ciencias e ingeniería y en la buena preparación de esa élite. En definitiva, la naturaleza de la calidad de la enseñanza es una cuestión de valores que concierne a la administración educativa y, en última instancia, a los seminarios de profesores encargados de implementarlo. En cualquier caso, si se aplican diferentes criterios de calidad y en diferentes situaciones, no es posible identificar una única «mejor práctica docente».

Otra importante dificultad de generar conocimiento relevante para la enseñanza viene generada por las evidencias expuestas por la investigación de que el profesorado, al implementar el currículo, realiza cambios que pueden afectar a las intenciones y objetivos con que fue planificado (Pintó, 2005). Esto puede llevar a que la enseñanza real tenga poco que ver con los objetivos de la enseñanza «oficial». Además, la abundante investigación sobre el pensamiento del profesorado muestra que tiene una actitud positiva hacia los resultados de la investigación didáctica pero no está dispuesto a cambiar su práctica docente si los métodos que se proponen no son consistentes con su práctica docente. El profesorado señala que su práctica educativa está fuertemente influenciada por sus colegas de centro escolar y por libros de texto y materiales didácticos que se puedan utilizar en la práctica de aula (Mellado, 1998).

Es importante tener en cuenta las dificultades mencionadas a la hora de analizar la incidencia de las secuencias de enseñanza que desde hace años son propuestas por la investigación. El diseño de secuencias de enseñanza no es un proceso mecánico de traslación de los princi-

pios pedagógicos y resultados de la investigación a la enseñanza de temas concretos de física. Al contrario, el diseño de secuencias de enseñanza es un proceso creativo que tiene en cuenta no sólo la investigación sino la cultura del aula y las condiciones del profesorado y alumnado.

Durante más de 15 años en el Grupo de Investigación en Enseñanza de la Física, las Matemáticas y la Tecnología (GIEFMYT) de la Universidad del País Vasco hemos desarrollado diferentes proyectos que tenían como uno de los principales objetivos la realización de secuencias de enseñanza para su implementación en el aula y posterior evaluación (Guisasola et al., 2007). Estas secuencias abordaban temas de física del área del electromagnetismo, temas de matemáticas del área de probabilidad (Barragués y Guisasola, 2007) y temas del área de la tecnología (Garmendia et al., 2007) para niveles de bachillerato y primeros cursos de universidad en el área de ciencias y tecnología. Los diseños de las secuencias han tenido en cuenta dos tipos de aportaciones de la investigación: *a)* resultados de estudios empíricos sobre las ideas y razonamientos de los estudiantes; *b)* aportaciones teóricas relativas a la naturaleza de la ciencia, su aprendizaje y su enseñanza. Ambas aportaciones están relacionadas, pues los principios derivados de las segundas influyen en el análisis de los estudios empíricos de las primeras.

En los trabajos mencionados hemos utilizado un marco teórico social constructivista que ya hemos comentado en detalle en otros trabajos (Guisasola, Furió y Ceberio, 2008). Este marco teórico considera la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias como un proceso de adquisición de conocimiento mediante la familiarización con la forma de trabajo y con los argumentos de justificación que utiliza la comunidad científica. En los siguientes apartados vamos a describir en detalle cómo utilizamos esta perspectiva constructivista para interpretar los resultados y contribuciones de la investigación en el diseño y evaluación de cinco secuencias de enseñanza. Para ilustrar los pasos en su diseño, en los diferentes proyectos realizados, pondremos ejemplos de la secuencia realizada para introducir un modelo explicativo del balance de energía en circuitos eléctricos en primero de bachillerato (17 años) y que incluye la introducción del concepto de fuerza electromotriz de una pila (Montero, 2007; Guisasola y Montero, 2009).

DISEÑO DE SECUENCIAS DE ENSEÑANZA UTILIZANDO LAS RECOMENDACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación ha dejado bien establecido que los estudiantes poseen ideas y razonamientos para explicar la naturaleza que son alternativos respecto de los modelos científicos (Duit, 2007). Estas ideas son difíciles de cambiar y suelen persistir durante y después de la instrucción. Nos referiremos a estas ideas como «razonamiento cotidiano» de los estudiantes. Como ejemplo, para el caso de la enseñanza y aprendizaje de un modelo explicativo del

balance energético en un circuito de corriente continua y la explicación del concepto de fuerza electromotriz, en dos trabajos de investigación identificamos las siguientes características (Guisasola, Montero y Fernández, 2005 y 2008a):

- La mayoría de los estudiantes tiene dificultades para explicar el balance de energía en todo el circuito eléctrico de corriente continua. No saben identificar las magnitudes físicas que miden la cantidad de energía generada y consumida en el circuito.
- Los estudiantes tienen dificultades con el significado del concepto de diferencia de potencial. Suelen identificar erróneamente la diferencia de potencial con la cantidad de carga y no con la energía transformada en el conductor al desplazarse las cargas entre dos puntos del circuito.
- La mayoría de los estudiantes confunde el significado del concepto de fuerza electromotriz de la pila. No conciben la fuerza electromotriz como una acción no electrostática y no conservativa que da lugar a la separación de cargas de distinto signo en la pila. Como consecuencia, no distinguen entre fuerza electromotriz y diferencia de potencial.
- En relación con las dificultades epistemológicas, los estudiantes no diferencian entre «modelos científicos teóricos» (en los que se basan conceptos abstractos como carga, energía, diferencia de potencial o fuerza electromotriz) y el «mundo real» de la observación sensorial. Así pues, los estudiantes tienen dificultades para distinguir entre el nivel empírico (utilización de polímetros e interpretación de medidas) y el nivel interpretativo que utiliza conceptos como diferencia de potencial y fuerza electromotriz.
- La confusión conceptual y el deficiente aprendizaje del modelo explicativo impiden que los estudiantes sepan valorar en toda su dimensión las aplicaciones tecnológicas de la vida diaria.

Como muestra el ejemplo, el análisis del razonamiento cotidiano de los estudiantes incluye no sólo aspectos conceptuales sino también epistemológicos y ontológicos. En este punto, es necesario analizar el desarrollo histórico del tema a enseñar, las dificultades que la comunidad científica tuvo que superar y los argumentos utilizados para construir nuevos conceptos y modelos explicativos (Cleminson, 1990). De acuerdo con Verdú y Martínez-Torregrosa (2005) a partir de este análisis epistemológico del contenido científico del currículo escolar, es posible definir los objetivos de enseñanza-aprendizaje de forma fundamentada. Es decir, es posible justificar la elección de dichos objetivos en base a evidencias epistemológicas de la disciplina y no de forma idiosincrática o basándose en la tradición del programa educativo. Así mismo, hemos desarrollado la noción de «indicadores de aprendizaje» para concretar lo que los estudiantes deben aprender del tema de acuerdo con el currículo escolar. El concepto de «indicadores de aprendizaje» nos permite secuenciar los

principales estadios que deben trabajar los profesores al diseñar el programa de enseñanza. Utilizamos esta idea para detallar los conceptos más significativos y las formas de razonamiento que constituyen los objetivos de aprendizaje para los estudiantes. A continuación presentamos los indicadores de aprendizaje elaborados para el caso que estamos mostrando:

- La diferencia de potencial explica el movimiento de las cargas a lo largo de un conductor.
- Se puede generar diferencia de potencial mediante la separación de cargas. En el caso de una pila esta separación es un trabajo realizado por fuerzas no conservativas.
- La magnitud que mide el trabajo realizado por las fuerzas no conservativas al separar las cargas en la pila se denomina fuerza electromotriz. Como consecuencia, la fuerza electromotriz es una propiedad de la pila del circuito.
- Utilizar argumentos acompañados de justificaciones racionales basados en las evidencias experimentales y en estrategias propias del trabajo científico.
- Saber analizar y evaluar el impacto de las aplicaciones ciencia-tecnología-sociedad de forma que permitan contextualizar la teoría aprendida.

Los indicadores de aprendizaje incluyen aspectos ontológicos (valores y actitudes) que deben ser conscientemente tenidos en cuenta. La investigación en enseñanza de las ciencias muestra que los aspectos emocionales y de valores no pueden considerarse sin una estrecha conexión con los procesos cognitivos, cuando los estudiantes trabajan sobre sus actividades en las clases de ciencias (Zembylas, 2005). En este sentido, diseñar actividades que relacionen aspectos de la ciencia, la técnica, la sociedad y el medio ambiente es apoyar una presentación de la ciencia socialmente contextualizada que favorece el interés de los estudiantes por el tema científico objeto de enseñanza (Montero y Guisasaola, 2008). Integrar actividades con relaciones ciencia-tecnología-sociedad genera interés en los estudiantes por el tema de estudio, lo que favorece que se involucren en la tarea de resolver las actividades.

Los principios de la perspectiva social constructivista en que se apoya el diseño y desarrollo de las secuencias de aprendizaje implica que se debe realizar una integración creativa que tenga en cuenta las dificultades de enseñanza, los indicadores de aprendizaje y los aspectos ontológicos. Esta integración creativa nos lleva a formular los objetivos de enseñanza en base a una secuencia de problemas cuya resolución implica el aprendizaje de conocimientos, razonamientos y valores en el tema concreto a enseñar (Verdú et al., 2002; Osuna et al., 2007). Leach y Scott (2002) muestran que el análisis de las diferencias entre las dificultades de aprendizaje y los objetivos de enseñanza establecidos nos proporcionan puentes entre el diseño de las actividades y los trabajos de la investigación. En este sentido podemos decir que estamos utilizando evidencias de la investigación empírica en el

diseño de la secuencia. Como ejemplo mostramos en el cuadro 1 los objetivos de enseñanza para el tema ya mencionado (Montero, 2007).

Es conveniente reflexionar sobre los objetivos de enseñanza definidos en el cuadro y los presentados en el Diseño Curricular Base para la etapa de bachillerato (16-18 años) en España (Guisasaola, 2008). El D.C.B. da información sobre «lo que se debe enseñar» a un nivel general. Por el contrario, los objetivos de enseñanza del cuadro que hemos definido a partir de las evidencias de la investigación suministran una mayor concreción de lo que deben aprender los estudiantes y la justificación de por qué deben hacerlo.

La secuencia de enseñanza cuyos objetivos aparecen en el cuadro fue diseñada para estudiantes de primer curso de bachillerato (17 años) en 8 sesiones de 50 minutos de clase. Con el objetivo de que los estudiantes aprendan un modelo explicativo del papel que juega la pila en el mantenimiento de la corriente en un circuito sencillo hemos utilizado la analogía «Cinta transportadora-Generador de Van der Graff». Hemos partido del supuesto de que el uso y utilización de analogías nos permitirá comunicar ideas, emitir hipótesis y construir modelos sobre el funcionamiento del circuito en un contexto que no es familiar al estudiante (Nersessian, 2002; Oliva, 2004 y 2009). Hay que señalar que en la secuencia la analogía «Cinta transportadora-Generador de Van der Graff» no es concebida como un eslabón puntual en el discurso del aula, sino como un elemento recurrente al que se apela en distintas fases de la intervención. Se utiliza la analogía de forma repetida en distintos momentos de la enseñanza, con objeto de representar diferentes aspectos del «blanco» bajo estudio.

La analogía seleccionada afronta los diferentes aspectos del trabajo de la pila desde el punto de vista del trabajo mecánico realizado por una cinta transportadora que se carga mediante rozamiento y generando una diferencia de potencial entre su base y la esfera metálica de Van der Graff. Las actividades de la secuencia vuelven repetidamente sobre diferentes aspectos del análogo (Van der Graff) y el «blanco» (la pila) con el objetivo de mostrar que el trabajo realizado (la energía puesta en juego) para separar y transportar las cargas que en el caso del generador de Van der Graaf dan lugar a una diferencia de potencial, lo consideramos análogo a lo que sucede en el interior de la pila que también da lugar a una diferencia de potencial. El uso de modelos mecánicos es un recurso ampliamente utilizado en las explicaciones científicas; el caso de la Teoría cinético-molecular es buen ejemplo de ello.

No hemos trabajado con los estudiantes los intercambios energéticos de la cinta con el exterior lo que algunos autores señalan como problemático para el caso de las explicaciones con estudiantes de cursos avanzados (Chabay y Sherwood, 2002). Sin embargo, en el caso que nos ocupa las críticas sobre los aspectos energéticos de la parte externa del circuito (circuito sin la pila) no son relevantes para el modelo explicativo que queremos que los estudiantes aprendan (ver cuadro 1).

Cuadro 1

Secuencia de enseñanza del tema: «¿Cuál es la función de la pila en un circuito de corriente continua?».

SECUENCIA DE PROBLEMAS	FORMA EN QUE LA CIENCIA TRABAJA Y QUE DEBE APRENDERSE	EXPLICACIONES CIENTÍFICAS QUE DEBEN SER COMPRENDIDAS
A. ¿Tiene interés el estudio de los circuitos eléctricos?	A. La ciencia está interesada en los fenómenos naturales y sus implicaciones sociales.	
B. ¿Por qué se desplazan las cargas eléctricas en un cable conductor? ¿Cómo se puede mantener un flujo continuo de cargas?	B. Familiarizarse con observaciones empíricas o informarse sobre los fenómenos estudiados. Trabajar la organización de la información experimental, la emisión de hipótesis y la selección de estrategias correctas, para obtener un modelo explicativo inicial.	C. Estudio descriptivo del papel de las cargas en un circuito con pilas. Aplicar las nociones de potencial y diferencia de potencial electrostático para explicar el movimiento de las cargas en el contexto de circuitos eléctricos. Construir un primer modelo explicativo de la pila como elemento que mantiene la diferencia de potencial para un movimiento continuo de cargas.
C. ¿Cómo mantiene una pila la diferencia de potencial entre sus bornes? ¿Cómo se mide el trabajo realizado por la pila para mantener la diferencia de potencial entre sus bornes?	C. Completar el modelo explicativo y definir nuevos conceptos.	D. La analogía con el funcionamiento de un generador de Van der Graaf ilustra con un modelo mecánico el funcionamiento interno de la pila. Definir el concepto de fuerza electromotriz de una pila. Como el trabajo realizado para separar cargas eléctricas de distinto signo.
D. ¿Cómo circulan las cargas eléctricas a lo largo de todo el circuito? ¿Cómo se cuantifica la energía que se transfiere o transforma en las distintas partes del circuito?	E. Trabajar el modelo propuesto para explicar el movimiento de las cargas en todo el circuito. Contrastar el modelo propuesto al realizar el balance energético del circuito. Evaluar la validez del modelo y sus limitaciones.	F. Ampliar el modelo explicativo para todo el circuito. Se estudian de forma cualitativa las relaciones energéticas en la pila y entre la pila y el resto de los elementos del circuito. Se presta especial atención a lo que significan, en términos de relaciones entre magnitudes físicas, expresiones como $I \cdot R$, $I^2 \cdot R$ o $\Delta V^2/R$. Utilizar el modelo explicativo para abordar la confusión entre diferencia de potencial y fuerza electromotriz.

A partir de la comprensión de lo que sucede en la pila, se introduce el concepto de fuerza electromotriz como la magnitud que mide el trabajo no conservativo (mecánico en el Van der Graff y químico en la pila) necesario para separar las cargas. Gracias a este trabajo tenemos la energía suficiente para que las cargas se muevan por el circuito (la diferencia de potencial entre los polos). A partir de este balance energético se define la ecuación de todo el circuito $\epsilon = \Delta V + Ir$, y la ecuación para el circuito menos la pila y con resistencia $R \Delta V_{ab} = I R$ (ley de Ohm). Aunque muchas de las actividades de la secuencia son comunes a las cuestiones y ejercicios de los libros de texto utilizadas en la enseñanza habitual, es necesario resaltar que se emplean de forma diferente. Quizás las diferencias más significativas sean los tiempos que se dedican a las dificultades de los estudiantes, así como las activida-

des que tienen como objetivo interesar a los estudiantes en el tema, y justificar la introducción de nuevos modelos y conceptos. En primer lugar, se invierte tiempo en desarrollar sistemáticamente la analogía y en mostrar cómo se relaciona el circuito real y el modelo teórico de explicación del movimiento de las cargas y del balance energético. En segundo lugar, las actividades de la secuencia se han diseñado con el objetivo de proporcionar a los estudiantes oportunidades para entender y aplicar el mismo modelo repetidamente. Por otra parte, las actividades también afrontan los objetivos epistemológicos de la secuencia de enseñanza al llevar a los estudiantes a que aprecien la potencia de un modelo científico que es capaz de explicar una gran cantidad de casos experimentales. En conclusión, todos los aspectos comentados no son habituales en la enseñanza estándar en España.

Como ya hemos indicado, recientes estudios en España y otros países que investigan la implementación del currículo por el profesorado muestran que existe un salto entre los objetivos del currículo y la práctica educativa. Estos estudios aportan evidencias empíricas sobre la necesidad no sólo de hacer ver al profesorado las carencias de la práctica docente habitual sino también de la necesidad de recibir formación que le haga compartir los resultados de la investigación y familiarizarse con materiales didácticos que les faciliten el cambio didáctico (Anderson y Helm, 2001; Furió y Carnicer, 2002; Fernandes y Marcelo, 2009). Como indican Fernández et al. (2009) «en el proceso de cambio de las prácticas educativas de los maestros, no podemos basarnos solamente en lo que nos dicen los maestros, sobre cómo enseñan y cómo aprenden los alumnos, sino que debemos conocer cómo actúan en la clase, lo que obedece a sus concepciones más implícitas» (p. 296). Por ello, las estrategias de enseñanza que se proponen en nuestros materiales son compartidas con el profesorado que implementará el material en seminarios de discusión y en sesiones de tutorización a lo largo de la implementación. Además, en los materiales se indica detalladamente al profesorado las estrategias a seguir y los posibles resultados basándonos en nuestra propia práctica docente y las perspectivas del marco teórico (Guisasola et al., 2008b).

En definitiva, el enfoque y el diseño de la secuencia de enseñanza, incluidas las actividades y su forma de desarrollarlas en clase, están fuertemente apoyados en las evidencias de la investigación didáctica. Sin embargo, es necesario indicar que en el desarrollo de la secuencia es inevitable elaborar/seleccionar actividades y tomar decisiones sobre su posible validez. La selección de actividades más eficaces para el aprendizaje es un trabajo de investigación didáctica que es necesario realizar y generalizar entre los profesores de los distintos seminarios didácticos. Puede suceder que la secuencia de actividades finales no sean únicas, pero los cambios deben justificarse con los mismos métodos que los empleados por los investigadores. Todo lo comentado podemos esquematizarlo en el cuadro 2.

Aunque el diseño de la secuencia esté fuertemente apoyado en las evidencias de la investigación, es necesario evaluar la implementación realizada en relación con los

indicadores de aprendizaje definido. Este aspecto será comentado en la siguiente sección.

EVALUACIÓN DE LAS SECUENCIAS DE ENSEÑANZA

En este apartado vamos a mostrar cómo utilizamos en diferentes trabajos las aportaciones de la investigación. Se mostrarán a continuación los instrumentos empleados en nuestras investigaciones aunque esto no implica que no se puedan utilizar otros igualmente válidos. Las secuencias de enseñanza que han sido diseñadas en los diferentes proyectos realizados siempre han sido evaluadas de forma parecida para ilustrarla utilizaremos ejemplos de la misma secuencia de enseñanza del apartado anterior. La mayoría de las secuencias fueron puestas en práctica por al menos tres grupos experimentales. En uno de ellos la implementaba uno de los investigadores y en los otros dos grupos lo efectuaban profesores que habían analizado la secuencia y aportado sugerencias a su diseño. Todos los profesores se consideran expertos o familiarizados con las estrategias de enseñanza que se utilizan en la secuencia.

Las secuencias de enseñanza se evaluaron de tres formas. En primer lugar, se pretendía conocer la efectividad de la secuencia comparando con el enfoque de enseñanza habitual. Para ello se utilizó un diseño experimental de postest (Cohen et al., 2007, p. 278) que consistía en un cuestionario con preguntas relacionadas con los indicadores de aprendizaje definidos para la secuencia. Las cuestiones fueron contestadas por los estudiantes de los grupos experimentales y por dos clases de estudiantes que seguían la enseñanza habitual del tema (grupo de Control), se comparó la comprensión conceptual de los estudiantes de los grupos experimentales con la obtenida por los del grupo de Control. Estos resultados fueron utilizados para juzgar la efectividad de la implementación de la secuencia en mejorar la comprensión de los estudiantes en comparación con la enseñanza habitual del tema. Conocemos las dificultades metodológicas de hacer este tipo de comparaciones, pero estamos de acuerdo con Leach & Scott (2002) en que si se hacen según las condiciones impuestas por la metodología cuantitativa de investigación los datos son, como mínimo, tan legitimados como cualquier otro.

Cuadro 2
Evidencias de la investigación para diseñar secuencias de enseñanza.

IDEAS Y RAZONAMIENTOS DE LOS ESTUDIANTES	ANÁLISIS EPISTEMOLÓGICO DEL CONTENIDO DEL CURRÍCULO ESCOLAR	INTERESES, ACTITUDES, VALORES Y NORMAS
DIFICULTADES DE APRENDIZAJE	INDICADORES DE APRENDIZAJE	ASPECTOS C-T-S-A
<i>Objetivos de enseñanza</i>		
Concreción en una secuencia de problemas y objetivos concretos		
Entornos interactivos de aprendizaje		
<i>Estrategias de enseñanza</i>		

En segundo lugar, se utilizó un conjunto de tareas para evaluar la comprensión conceptual y metodológica de los grupos experimentales (para el ejemplo que estamos mostrando ver Montero, 2007 o bien, Guisasola et al. 2010a; Guisasola et al, 2010b). Estas tareas fueron realizadas por los estudiantes experimentales en grupo a lo largo de la implementación de la secuencia. La estructura de las tareas dirigía a los estudiantes a tener que justificar sus decisiones y sus resultados, así como a predecir el desarrollo de situaciones siguiendo el modelo científico estudiado en clase (evaluación de los aspectos epistemológicos). Las intervenciones de los estudiantes fueron grabadas en audio o en vídeo para su análisis posterior. Así mismo, queríamos valorar el aprendizaje logrado por los estudiantes experimentales una vez que hubiese transcurrido un tiempo lo suficientemente largo como para minimizar los logros imputables a los recuerdos memorísticos. Para ello se adaptó el cuestionario del postest de forma que permitiese evaluar todos los indicadores obtenidos en la secuencia y se pasó el cuestionario a los estudiantes a los tres meses de finalizada la secuencia.

En tercer lugar, nuestros objetivos postulan que los estudiantes mostrarán interés por las tareas y por el contenido científico del tema. Se quería evaluar la influencia de la secuencia en las actitudes de los estudiantes, para lo que se diseñó un cuestionario de escala Likert adaptado a la puntuación 1 a 10. Consta de 13 preguntas divididas en tres apartados sobre los contenidos que se han trabajado, sobre la forma de trabajar en clase y sobre la satisfacción con que se ha trabajado. Los estudiantes de los grupos experimentales realizaron el cuestionario después de finalizar el tema. Fue pasado por un profesor distinto al que impartió la secuencia y los estudiantes contestaban anónimamente.

El cuestionario postest realizado por los estudiantes fue analizado en función de tres tipos de categorías:

- a) Respuestas mayoritariamente consistentes con el modelo introducido en la enseñanza («correcta»).
- b) Respuestas que son consistentes con el modelo científico introducido pero incompletas en algunos aspectos de los indicadores de aprendizaje («incompleta»).
- c) Otras respuestas que suelen coincidir con ideas alternativas detectadas por la investigación y con respuestas sin coherencia lógica.

Esta codificación fue utilizada para el análisis de todas las cuestiones tanto en el grupo experimental como en el grupo de control. En algunas de las secuencias de enseñanza, se pasó a todos los estudiantes un pretest de conocimientos sobre el tema basado en preguntas utilizadas en investigaciones previas para detectar dificultades de aprendizaje relacionadas con los indicadores de aprendizaje de la secuencia. En todos estos casos, siempre se ha obtenido como resultado que no existen diferencias significativas en el nivel de conocimiento de los estudiantes experimentales y de control antes de comenzar la instrucción de la secuencia.

¿En qué medida los estudiantes de los grupos experimentales eran capaces de responder correctamente al postest? Continuando con la secuencia de enseñanza que hemos utilizado de ejemplo en los apartados anteriores, se obtuvo que en los tres grupos experimentales entre el 50% y el 80% de los estudiantes contestaban correctamente a las cuestiones. En realidad, hubiera sido sorprendente que todos los estudiantes contestasen correctamente a todas las cuestiones, lo que hubiera supuesto que todos los estudiantes habían adquirido todos los conocimientos y habilidades propuestos en los indicadores. Nuestra intención, menos idealista, era que la gran mayoría de las respuestas de los estudiantes se situara entre los códigos «correcta» e «incompleta» y esto se lograba para las tres cuartas partes del alumnado en todas las cuestiones. Así mismo, la gran mayoría de los grupos de estudiantes que afrontaban las tareas en las que era necesario aplicar el modelo científico estudiado, lo hacía correctamente. En el caso de los estudiantes de control el porcentaje de respuestas correctas e incompletas no llegaba al 25% en ninguna de las preguntas del postest.

Cuando al cabo de tres meses se volvió a pasar a los estudiantes experimentales el postest adaptado, se obtuvo que el porcentaje de respuestas calificadas como correctas descendía algo, pero en ninguna cuestión el porcentaje era menor del 50% y el descenso no era significativo de acuerdo con el estadístico Z que aplicamos a lo largo de todo el estudio. Teniendo en cuenta el porcentaje de respuestas correctas e incompletas, el porcentaje era mayor del 60% en todas las cuestiones.

Respecto al interés y actitud de los estudiantes experimentales por el tema estudiado, si tenemos en cuenta que la puntuación 5 sería neutra, como intermedia entre los valores máximo y mínimo susceptibles de ser usados en su valoración por los estudiantes, los resultados muestran una actitud positiva hacia los contenidos trabajados, destacando especialmente los aspectos que hacen referencia a la relación con los conceptos estudiados con anterioridad y a la forma de trabajar los contenidos en la secuencia.

¿Qué evidencias aportan estos resultados para la instrucción de los temas tratados? A la hora de realizar conclusiones e implicaciones para la enseñanza, es necesario tener en cuenta que las secuencias de enseñanza diseñadas en los diferentes proyectos han sido puestas en práctica con dos o tres grupos de estudiantes y con profesores que pueden considerarse concedores de las estrategias de enseñanza utilizadas y que han ayudado en algunos aspectos de la secuencia. Así pues, no podemos aportar evidencias para contextos más generales o profesorado no formado en las secuencias. Sin embargo, sí hemos contrastado que investigaciones similares en secuencias de enseñanza realizadas por otros grupos españoles (Izquierdo et al., 1994; Osuna et al., 2007; López y Jiménez, 2007; Furió et al., 1994) también obtienen una mejora significativa en el aprendizaje de los indicadores definidos y en comparación con estudiantes que siguen el enfoque de enseñanza habitual. Nuestros proyectos no están diseñados para proporcionar evidencias concluyentes sobre la causa de cualquier mejora en el

aprendizaje de los estudiantes y, de hecho, puede haber mejoras en el aprendizaje debidas a otras características del proceso de enseñanza. Sin embargo, nosotros pensamos que la existencia de una relación entre la mejoría del aprendizaje de los estudiantes en los indicadores definidos y la implementación de la secuencia de enseñanza diseñada es una explicación plausible, dado que las secuencias didácticas y el método de trabajo ha sido común en todas las investigaciones que hemos desarrollado a lo largo de estos casi veinte años. De hecho, la secuencia y su implementación se evalúan a través de resultados obtenidos de acuerdo con la metodología de la investigación en enseñanza de las ciencias.

Los resultados aportados por nuestros proyectos muestran que los estudiantes que siguen las secuencias diseñadas son capaces de obtener significativamente mejor comprensión de los modelos científicos propuestos en los indicadores de aprendizaje que los estudiantes que siguen la enseñanza habitual. Así pues, el profesorado que decidiera en un futuro utilizar estas secuencias parece probable que obtenga mejores resultados en el aprendizaje de sus alumnos que con el enfoque de enseñanza habitual.

Sin embargo, surgen algunas dudas y limitaciones respecto a la afirmación anterior que deben ser explicitadas. En primer lugar, como ya hemos indicado anteriormente, las secuencias se han probado en un número pequeño de grupos y centros escolares. Muchos profesores pueden argumentar que las características de sus centros de enseñanza son diferentes, o bien, que no es suficiente con resultados que en algunos aspectos, pocos, ofrece unos logros sólo algo mejores que los obtenidos por ellos. Es necesario probar estas nuevas secuencias de enseñanza con mayores muestras de profesores y de centros escolares.

Otra segunda limitación viene dada por la formación necesaria para poner en práctica las secuencias y las estrategias. Los profesores deben utilizar la secuencia de acuerdo con los principios didácticos con que ha sido diseñada, así como ser coherentes con los indicadores de aprendizaje que se pretenden lograr. En este sentido, es imprescindible una formación inicial del profesorado en este tipo de enfoques de enseñanza que supere la mera comunicación verbal de las mismas. Es decir, sólo desde la formación del profesorado como «aprendiz» que en primer lugar, replique en grupo la secuencia, analizando en detalle cada actividad y su objetivo, de esta forma además se pueden superar algunas deficiencias conceptuales que la investigación ha demostrado están bastante generalizadas entre el profesorado (Guisasola et al., 2005). En segundo lugar, asistiendo como observador a la clase de un profesor experto donde viva las estrategias y la secuencia. En nuestra opinión, sólo desde una formación práctica y teórica como «aprendiz» se puede familiarizar al profesorado con estos nuevos enfoques (Mortimer y Scott, 2003).

Además, para decidir qué secuencias de enseñanza están avaladas por los resultados de la investigación, es necesario explicitar qué práctica se está evaluando, cuáles

son los objetivos de enseñanza y aprendizaje que se quieren lograr y con qué propósito. No se puede juzgar estrategias de enseñanza que persiguen objetivos de aprendizaje diferentes.

IMPLICACIONES PARA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

El diseño y planificaciones de secuencias de enseñanza no es una tarea mecánica sino que incluye utilizar un cierto número de fuentes de la investigación. Algunas de estas evidencias hacen referencia a perspectivas pedagógicas generales como el uso de las analogías o el trabajo cooperativo (Oliva, 2004; Rodríguez y Escudero, 2000), mientras que otras han sido tomadas de estudios centrados directamente en problemas de aprendizaje y enseñanza en el tema concreto a trabajar. Lo que estas fuentes de la investigación nos proporcionan son recursos y consejos para diseñar las secuencias de enseñanza y sus actividades.

Nos parece conveniente hacer una distinción entre «diseño de secuencias basado en los resultados de la investigación» y «diseño de secuencias adecuada a los objetivos generales del currículo». Como hemos tratado de mostrar en este artículo, el diseño del primer tipo de secuencias es un trabajo de transposición creativo desde los resultados de la investigación a las actividades y estrategias concretas del aula. Este diseño es por tanto investigación en el mismo sentido que otros proyectos que tratan de estudios empíricos en didáctica de las ciencias. En cambio, aquellas secuencias como las presentadas en los libros de texto estándar, cuyo trabajo consiste en reproducir tareas ya existentes y adecuarlas en la forma a los nuevos objetivos del currículo, no puede considerarse investigación. La distinción entre ambos tipos de secuencias es crucial para responder a la pregunta de cómo influye la investigación en didáctica de las ciencias en su enseñanza. Esta influencia y la calidad de la misma sólo se pueden medir en las propuestas de secuencias didácticas que cumplan los necesarios pasos metodológicos y muestren que se apoyan en los resultados de la investigación.

Se ha llegado a un punto de madurez en la investigación en el área que permite realizar propuestas de enseñanza utilizando en su diseño una metodología adecuada de investigación (Meheut y Psillos, 2004). En este sentido, hay un creciente reconocimiento por parte de la comunidad de investigadores en considerar el diseño de programas innovadores para su aplicación en el aula como una verdadera investigación; por ejemplo, los materiales desarrollados por el Nuffield Curriculum Center y la Universidad de York (Twenty first century science, 2006) que proporcionan abundantes estrategias de enseñanza basadas en los resultados de la investigación. El proporcionar nuevos materiales de apoyo al profesorado es fundamental en el proceso de transmisión de los resultados de la investigación, ya que partimos del hecho de que si la enseñanza de las ciencias no fuera un problema de la sociedad, no sería necesario dedicar más esfuerzos a una comprensión mejor del «cómo», «cuándo» o «por qué» los estudiantes aprenden.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELL, S.K. y LEDERMAN, N.G. (2007). *Handbook of Research on Science Education*. Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ.
- ANDERSON, R.D. y HELMS, J.V. (2001). The ideal of standards and the reality of schools: needed research. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, pp. 3-16.
- BARRAGUÉS, J.I. y GUIASOLA, J. (2007). Which event is more likely? Estimating probability by university engineering students. *Recherches en Didactiques des Mathématiques (Revue)*, 27(1), pp. 45- 76.
- BLUNKETT, D. (2000). Influence or irrelevance: Can social science improve government? *Research Inteligente*, 71, pp. 12-21.
- COHEN, L., MANION, L. y MORRISON, K. (2007). *Research methods in Education*. Sixth edition. Londres: Routledge.
- CHABAY, R.W. y SHERWOOD, B.A. (2002). *Electric & Magnetic Interactions*. (Jhon Wley & Sons, Inc.).
- DING, L., CHABAY, R., SHERWOOD, B. y BEICHNER, R. (2006). Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief electricity and magnetism assessment, *Physical Review Special Topics: Physics Education Research* 2, 010105.
- DUIT, R. (2007). Students» and Teachers» Conceptions and Science Education in <<http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>>, consultado octubre 2009.
- FERNANDES, SILVA, L. y MARCELO DE CARVALHO, L. (2009). Professores de física em formação inicial: o ensino de física, a abordagem CTS e os temas controversos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 14(1), pp. 135-148.
- FERNÁNDEZ NISTAL, M.T., TUSET BERTRAN, A.M., PÉREZ IBARRA, R.E. y LEYVA PACHECO, A.C. (2009). Concepciones de los maestros sobre enseñanza y aprendizaje y sus prácticas educativas en clases de ciencias naturales. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(2), pp. 287-298.
- FURIÓ, C., BULLEJOS, J. y de MANUEL, E. (1994). L'aprentissage de la reaction chimique comme activité de recherche. *Aster*, 18, pp. 141-164.
- FURIÓ, C. y CARNICER, J. (2002). El desarrollo profesional del profesor de ciencias mediante tutorías de grupos cooperativos. Estudio de ocho casos. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(1), pp. 47-73.
- FURIÓ, C., GUIASOLA, J. y ALMUDI, J.M. (2004). Elementary Electrostatic Phenomena: Historical Hindrances and Student s Difficulties. *Canadian Journal Of Science, Mathematics And Technology*, 4(3), pp. 291-313.
- GARMENDIA, M., GUIASOLA, J. y SIERRA, E. (2007). «First-year engineering students» difficulties in visualization and drawing tasks. *European Journal of Engineering Education*, 32(3), pp. 315- 323.
- GIL, D., GUIASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA DE CARVALHO, A., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ, A., DUMAS-CARRÉ, A., TRICÁRICO, H. y GALLEGO, R. (2002). Defending constructivism in science education. *Science and Education*, 11, pp. 557-571.
- GUIASOLA J. (2008). La física en el Bachillerato LOE: Acatar pero no cumplir, *Alambique* 56, 11-19.
- GUIASOLA, J., MONTERO, A. y FERNÁNDEZ, M. (2008a). La historia del concepto de fuerza electromotriz en circuitos eléctricos y la elección de indicadores de aprendizaje comprensivo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(1), pp. 1-8.
- GUIASOLA J. y MONTERO A. (2009). An energy-based model for teaching the concept of electromotive force. Students difficulties and guide lines for a teaching sequence. *Proceedings of the ESERA Conference 2009*. Istanbul (Turkey).
- GUIASOLA, J., MONTERO, A. y FERNÁNDEZ, M. (2005). Concepciones de futuros profesores de ciencias sobre un concepto «olvidado» en la enseñanza de la electricidad: la fuerza electromotriz. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), pp. 47-60.
- GUIASOLA, J., FURIÓ, C. y CEBERIO, M. (2008b). Science Education based on developing guided research, Edited by M.V. Thomase in *Science Education in Focus*, pp. 55-85 (in Press). Nova Science Publisher.
- GUIASOLA, J., ZUBIMENDI, J.L., ALMUDÍ, J.M y CEBERIO, M. (2007). Propuesta de enseñanza de cursos introductorios de Física en la Universidad, basada en la investigación didáctica: siete años de experiencia y resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(1), pp. 91-106.
- GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. y ZUZA, K. (2010 a). The desing and evaluation of an instructional sequence on Ampere law. *American Journal of Physics* 78(11), pp. 1207-1217.
- GUIASOLA, J., ZUBIMENDI, J.L. y ZUZA, K. (2010 b). How much have students learned? Research-based teaching on electrical capacitance. *Physical Review Special topics-Physics Education Research* 6, 020102, pp. 1-10.
- HALLOUN, I. y HESTENES, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), pp. 1043-1055.
- HURD DE HART, P. (1991). Issues in linking research to science teaching. *Science Education*, 75, pp. 723-732.
- HESTENES, D. y HALLOUN, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 33(8), pp. 502, 504-506.
- IZQUIERDO, M., SOLSONA, N. y CABELLO, M. (1994). Proyecto Ciències 12-16. *Alambique*, 1, pp. 63-74.
- LEACH, J y SCOTT, P. (2003). Individual and sociocultural perspectives on learning in science education. *Science & Education*, 12(1), pp. 91-113.
- LEACH, J y SCOTT, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: an approach drawing upon the concept of learning demand a social constructivism perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38, pp. 115-142.
- LIJNSE, P. y KLAASSEN, K., (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554.

- LÓPEZ RODRÍGUEZ, R. y JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2007). ¿Podemos cazar ranas? Calidad de los argumentos del alumnado y desempeño cognitivo en el estudio de una charca. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), pp. 309-324.
- MATTHEWS, M. (1997). Introductory comments on philosophy and constructivism in Science Education. *Science & Education*, 6(1), pp. 5-14.
- MALONEY, D.P., O KUMA T.L., HIEGGELKE C.J. y VAN HEUVELEN, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69, S12-S23.
- McDERMOTT, L.C. (1997). Bringing the gap between teaching and learning: The role of research, en Redish, E.F. y Rigden, J.S. (eds.). *The Changing role of physics departments in modern universities*. Nueva York: American Institute of Physics.
- MELLADO, V. (1998). The classroom practice of preservice teachers and their conceptions of teaching and learning science. *Science Education*, 82, pp. 197-214.
- MÉHEUT, M. y PSILLOS, D. (2004). Teaching-learning sequences. Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education* 26(5), pp. 515-535.
- MORTIMER, E. y SCOTT, P. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Maidenhead: Open University Press.
- MONTERO, A. (2007) *El concepto de fuerza electromotriz en la interpretación de circuitos de corriente estacionaria. Análisis crítico de su enseñanza y propuesta didáctica alternativa*. Memoria tesis doctoral. Universidad de Granada.
- MONTERO, A. y GUIASOLA, J. (2008). La enseñanza de circuitos eléctricos en contexto: las pilas no son residuos cualquiera. *Alambique*, 55, pp. 78-87.
- NERSESSIAN, N. J. (2002). Maxwell and «the Method of Physical Analogy»: Model based reasoning, generic abstraction, and conceptual change, en Malament, D.B. (ed.). *Essays in the History and Philosophy of Science and Mathematics*, pp. 129-166. Lasalle, IL: Open Court. En línea en <http://www.cc.gatech.edu/aimosaic/faculty/>
- NIAZ, M. (2001). «Constructivismo Social: “Panacea o Problema”». *Interciencia*, 26, pp. 185-189.
- NOLA, R. (1997). Constructivism in Science and Science Education: A philosophical critique. *Science & Education*, 6, pp. 55-83.
- NUFFIELD FOUNDATION on behalf of the University of York Science Education Group and the Nuffield Curriculum Center. (2006). *Twenty first century science: GCSE Science*. Oxford University press. Página web <<http://www.21stcenturyscience.org/>>.
- OSUNA, L., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., CARRAS-COSA, J y VERDÚ, R. (2007). Planificando la enseñanza problematizada: El ejemplo de la óptica geométrica en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2), pp. 277-294.
- OLIVA, J.M.^a (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3).
- OLIVA, J. M.^a (2009). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(2), pp. 195-208.
- PAIXAO, F., LOPES, B., PRAIA, J., GUERRA, C. y CACHAPUZ, A. (2008). Where are we? A contribution to a better understanding of the state of the art in science education research. *Journal of Science Education*, 9(2), pp. 4-8.
- PINTÓ, R. (2005). Introducing curriculum innovations in science: identifying teachers transformations and the design of related teacher education. *Science Education*, 89(1), pp. 1-12.
- RODRÍGUEZ, L.M. y ESCUDERO, T. (2000). Interacción entre iguales y aprendizaje de conceptos científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), pp. 255-274.
- VERDÚ, R. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (2005). *La estructura problematizada de los temas y cursos de física y química como instrumento de mejora de su enseñanza*. Alicante (Spain): CEE Limencop S.L.
- ZEMBYLAS, M. (2005). Three Perspectives on linking the Cognitive and the Emotional in Science Learning: Conceptual Change, Socio-Constructivism and Poststructuralism. *Studies in Science Education*, 41, pp. 91-115.

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

A proposal for using the results from educational research on physics teaching

GUISASOLA, JENARO¹, GARMENDIA, MIKEL², MONTERO, ANTONIO³ y BARRAGUÉS, JOSÉ IGNACIO⁴

¹ Departamento de Física Aplicada. Universidad del País Vasco

² Departamento de Expresión Gráfica en Ingeniería. Universidad del País Vasco

³ Seminario de Física y Química del IES Sierra Almirante de Nerja

⁴ Departamento de Matemática Aplicada. Universidad del País Vasco

jenaro.guisasola@ehu.es

mikel.garmendia@ehu.es

a.montero.m@telefonica.net

joseignacio.barragues@ehu.es

Summary

All educational research revolves around a target to ‘improve’ students’ learning. Physics Teaching Research (PTR) has been developed around the fact that this improvement target is possible. The target is formulated as «reforming or changing Physics Teaching». This explains why PTR has moved beyond identifying difficulties in student learning and deficiencies in traditional teaching to develop materials and didactic strategies that have been repeatedly examined, evaluated and redesigned. Despite this, gaps exist and some questions remain unanswered, as in any serious and rigorous research in any discipline. In this article we are presenting the impact of the research on the educational practice of teaching Physics at Baccalaureate and University levels. Finally, we will demonstrate some of the practical challenges and propose results and thoughts on assuring PTR’s growth and productivity.

There are studies that have had a positive impact on teaching and learning sciences. One example in Physics looks at research into learning difficulties leading to designing instruments to evaluate students’ knowledge and the efficiency of the instruction (Halloun & Hestanes 1985, Maloney et al., 2001). However, designing learning sequences requires a complex process involving applying the general principles of didactics to the specific teaching contexts for curriculum topics. This task is not linear but a cyclical process with the aim of generating knowledge on teaching and learning that is relevant for its implementation in the classroom. Carrying out research that generates relevant knowledge when teaching scientific topics presents significant difficulties at many levels: *a*) difficulties to agree on quality criteria to evaluate a proposal; *b*) the need to make teaching staff participate in innovation based on the research results; *c*) the need to build didactic bridges between research results and implementation within the curriculum.

This work proposes a social constructivist theoretical framework to tackle prior difficulties with the Spanish state curricular standard. A methodology is proposed to design and develop teaching sequences based on the research results. The different elements taken from the research evidence to build the teaching sequence are summarised in the following chart:

STUDENT IDEAS AND REASONING <i>LEARNING DIFFICULTIES</i>	EPISTEMOLOGICAL ANALYSIS OF THE SCHOOL CURRICULUM CONTENTS <i>LEARNING INDICATORS</i>	INTERESTS, ATTITUDES, VALUES AND STANDARDS <i>S-T-S-E ASPECTS</i>
<i>Teaching Aims</i> Specifying a sequence of problems and specific aims		
Interactive learning environments <i>Teaching strategies</i>		

Chart: Evidence from the research used to design teaching sequences.

Although the sequence design is strongly supported in the research evidence, implementation must be evaluated against the defined learning indicators. This aspect is discussed in the final part of the article.

A proposal is made to evaluate implementation of the teaching sequences against the learning achieved by means of a multiple and converging design: *a*) comparisons using pre-test and post-test designs, or only post-test on experimental and control groups; *b*) Analysis of the experimental group discussion as they carry out the proposed tasks. The structure of the tasks would encourage students to justify their decisions and their results, in addition to predicting the development of situations following the scientific model studied in class (evaluation of the epistemological aspects); *c*) evaluation of the students’ attitudes to Science and the topics studied.

When drawing conclusions and implications for teaching, it is necessary to take into account that the teaching sequences designed in the different projects have been put into practice in relatively small student samples and with teachers that might be considered as aware of the teaching strategies used and who have helped in some aspects of the sequence. As a consequence, we cannot provide evidence for more general contexts for teachers that have not been trained in sequences. However, we have seen that similar research into teaching sequences carried out by other groups has drawn similar conclusions.

