

Renovación de la Enseñanza Universitaria Basada en Evidencias (REUBE)

Una metodología de acción flexible

CARLOS BECERRA LABRA* | ALBERT GRAS-MARTÍ**
CAROLA HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ*** | JUNY MONTOYA VARGAS****
LUZ ADRIANA OSORIO GÓMEZ***** | TERESA SANCHO VINUESA*****

Se aborda la problemática de la renovación didáctica de los docentes universitarios y las características específicas que comporta, en particular en las áreas de matemáticas y ciencias experimentales. La estrategia REUBE (Renovación de la Enseñanza Universitaria Basada en Evidencias) se basa en la recolección de evidencias puntuales sobre disfunciones observadas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de un profesor o grupo de profesores concretos. Simultáneamente a la recolección de evidencias, y conjuntamente con el docente, se analizan y evalúan los datos recopilados a lo largo de un semestre y se propone un plan de intervención específico que se implementará y evaluará en semestres sucesivos. Tras sentar las bases para la necesidad de nuevas estrategias, se describe la propuesta REUBE y se ejemplifica su aplicación inicial en cuatro ámbitos de actuación universitarios.

In this article the authors deal with the problem of the didactic restructuring of the university teachers and its specific features, and more particularly in the domains of Mathematics and Experimental Sciences. The REUBE strategy is based on the gathering of precise evidences about the dysfunction that can be observed in a specific teacher's or a group of teachers' teaching-learning process. Simultaneously with the gathering of evidences, and together with the teacher, the gathered data during a six-month course are to be analyzed and evaluated and then a specific plan of intervention can be proposed so it can be put into practice and evaluated during the following courses. After laying the foundations for the need of new strategies, the authors describe the REUBE proposal and give examples of its first application in four domains of university action.

Palabras clave

Renovación didáctica
Universidad
Evidencias
Ciencias
Matemáticas

Keywords

Didactic renewal
University
Evidences
Sciences
Mathematics

Recepción: 23 de febrero de 2011 | Aceptación: 31 de marzo de 2011

* Departamento de Física, Universidad de Talca, Chile. Doctor en Didáctica de la Física por la Universidad de Alicante. Director del Instituto de Matemática y Física. CE: carlos.becerra@ua.es

** Departament de Física, Universitat d'Alacant, País Valencià. De sabàtic en el Laboratori de Investigació i Desenvolupament sobre Informàtica en Educació del Centre de Investigació i Formació en Educació (LIDIE-CIFE), Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Investiga en enseñanza de la física y en la incorporación de las TIC. Co-director de SAEF-CI (<http://saef-ci.com>). CE: albertgrasmarti@gmail.com

*** CIFE, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Estudiante de doctorado en la enseñanza de la física en la Universidad de Aalborg (Dinamarca).

**** CIFE, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Doctorado en Educación por la Universidad de Illinois. Directora del Centro de Investigación y Formación en Educación. CE: jmontoya@uniandes.edu.co

***** LIDIE-CIFE, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Doctora en la Sociedad de la Información por la UOC de Cataluña. Directora del DTI. CE: losorio@uniandes.edu.co

***** Departament de Matemàtiques, UOC, Catalunya. Doctora en Ingeniería electrónica. Vicerectora d'Innovació i Recerca. CE: tsancho@uoc.edu

INTRODUCCIÓN

Uno de los avances más significativos en el campo de la didáctica general se dio en los años sesenta del pasado siglo, cuando se puso de manifiesto (Caillot, 2007) la necesidad de llevar a cabo investigaciones en las denominadas “didácticas específicas”, es decir, de investigar acerca de cómo enseñar la física, en concreto, o cómo enseñar la biología, o la química, o la ingeniería, o las matemáticas. Este hecho conllevó a la creación de acrónimos que designan las áreas de conocimiento correspondientes: PER (para la física), CER (química), BER (biología), MER (matemáticas), EER (ingeniería), etc. Con PER nos referimos a las investigaciones que se centran en la enseñanza de la física (Physics Education Research); análogamente, para los campos de conocimiento relativos a las otras ciencias (experimentales, aplicadas o sociales), por ejemplo la geografía (Healey, 2000).

Como consecuencia de esta división, la investigación en didáctica de las ciencias y de las matemáticas son áreas de conocimiento bien establecidas, con una trayectoria de más de 30 años y un gran número de resultados concretados en *proceedings* de congresos, publicaciones en revistas especializadas e incluso *handbooks*. A modo de ejemplo, y por citar una muestra de cada tipo de publicación y actividad investigadora, cabe destacar los dos *International Handbook of Science Education* (Fraser y Tobin, 1998; Fraser *et al.*, 2011) que recogen en gruesos volúmenes un gran número de trabajos fundamentales en el campo de la enseñanza de las ciencias; o la serie de encuentros internacionales para mejorar la enseñanza de la ingeniería (Institute of Electrical and Electronics Engineers —IEEE—, 2011) y las ciencias y matemáticas básicas que estudian los ingenieros, o los trabajos sobre investigación en la enseñanza de las matemáticas que se publican regularmente en revistas como *Research in Mathematics Education*.

Entre los beneficios de esta división del campo de la didáctica en varias didácticas específicas destaca uno, y es que los resultados de la misma son (o deberían ser) más directamente relevantes y aprovechables por los docentes de cada ámbito. Además, existen investigaciones para todos los niveles educativos, desde primaria hasta la universidad.

Sin embargo, desde hace tiempo muchos trabajos han estado denunciando que la investigación didáctica (tanto la general como la específica) no llega a las aulas (Andrews, 1989; Gil, 1994; Mellado, 2003). La complejidad de los procesos de enseñanza/aprendizaje (E/A) no es reconocida por muchos profesionales de la docencia quienes ignoran, asimismo, la gran cantidad de investigaciones y los avances en este campo del conocimiento en las últimas décadas. Este hecho es muy significativo, en particular, para los docentes de ciencias o de matemáticas pues, como declaran en la introducción al libro *Scientific Research in Education* (Shavelson y Towne, 2002: 1): “A nadie se le ocurriría ir a la Luna o eliminar una enfermedad sin investigación. De la misma manera, uno no puede esperar que las reformas en educación tengan efectos significativos si no cuentan con conocimientos basados en investigación que los guíen”.¹

Entre los procedimientos frecuentemente utilizados para difundir propuestas de innovación educativa entre docentes de enseñanza primaria o secundaria destacan los cursos de formación y de actualización del profesorado. A estos cursos, impartidos por expertos o por docentes que desarrollan “buenas prácticas” innovadoras y que mejoran el proceso de E/A en alguno de sus aspectos, asiste un número considerable de docentes de los niveles educativos no universitarios. Mediante estas acciones se consigue un cierto grado de transferencia de los resultados de la investigación al aula (Lauriala, 1992), pues si bien la necesidad de innovación es compartida por los colectivos de docentes de primaria y

1 Traducción libre.

secundaria, sólo una parte de los mismos lleva las propuestas al aula de forma consistente (Guskey, 2002).

La situación en cuanto a la formación y actualización didáctica es muy diferente entre los docentes del nivel universitario, como ahora veremos. En este trabajo se aborda la problemática de la renovación e innovación didáctica en el campo de la docencia universitaria de las ciencias y de las matemáticas, y se propone una estrategia para abordarla.

En el apartado siguiente se analiza la actitud y la práctica del docente universitario en relación con la innovación en la E/A en los cursos de pregrado. En el tercer apartado se presentan los elementos básicos de una propuesta dirigida a favorecer la renovación didáctica en las aulas universitarias, y en el cuarto apartado se analiza la aplicación de esta estrategia a algunos casos concretos. Finalmente, se presentan las discusiones y las conclusiones de este trabajo.

IMPLICACIÓN DEL PROFESORADO UNIVERSITARIO EN LA CALIDAD DE SU ACTIVIDAD DOCENTE

Hemos comentado la existencia de recursos docentes basados en investigación didáctica, así como los hábitos de formación y posibilidades de actualización didáctica e innovación entre los docentes de primaria y de secundaria. La situación es diferente entre los docentes del nivel universitario: no sólo no hay suficiente conciencia de que es necesario replantearse en muchos casos las prácticas docentes actuales (tanto la metodología y la evaluación como los recursos de aprendizaje), sino que una aproximación similar a la empleada en niveles educativos preuniversitarios no parece viable. Eso es debido, al menos, a tres razones:

- los profesores universitarios deben atender a labores de investigación, al mismo tiempo que a tareas docentes;

- el número de docentes en los departamentos universitarios es mucho más reducido que en las enseñanzas preuniversitarias; y, finalmente,
- la “libertad de cátedra” del docente universitario es un factor importante que a menudo “blinda” a los docentes ante lo que consideran “intromisiones desde el exterior”.

En palabras de Zabala (2009: 17): “Se puede decir que, en la universidad tradicional, este ámbito de acción [la renovación educativa] está fuertemente blindado ante cualquier propuesta nueva”.² Los factores mencionados pueden explicar, al menos parcialmente, la dificultad que tienen las propuestas de la investigación educativa para llegar al docente universitario, ya que éstos ignoran los resultados de investigaciones en PER, MER, etc. Sin embargo, no deja de ser una contradicción flagrante que los docentes de las ciencias experimentales y de matemáticas ignoren los desarrollos científicos que se producen en una de las actividades que les ocupan, la práctica docente, cuando, al mismo tiempo, uno de los objetivos de la mayor parte de sus asignaturas es que el estudiante comprenda que la investigación y el método científico son fundamentales en el desarrollo de conocimientos en las materias respectivas.

Es un hecho que, como resultado de programas de investigación didáctica muy ambiciosos, la literatura especializada recoge múltiples propuestas de innovación didáctica para las aulas universitarias. Citemos sólo tres ejemplos, JiTT (*Just in Time Teaching*), *Physics Suite*, y un modelo de renovación pedagógica a nivel universitario.

La propuesta JiTT nació como un intento de proporcionar distintos recursos de aprendizaje a los estudiantes de física universitaria, aprovechando herramientas web (Novak *et al.*, 1999), y se ha difundido a la enseñanza de muchas otras disciplinas, como la biología,

2 Traducción libre.

la economía, etc. (Simkins y Maier, 2009). La segunda propuesta mencionada, *Physics Suite* (Johnson, 2010), es el resultado de un esfuerzo de un equipo interdisciplinario para aprovechar más de dos décadas de PER, y ha dado como resultado un gran número de materiales didácticos que cubren desde actividades de laboratorio, hasta ejercicios y animaciones para el estudio de procesos. En tercer lugar mencionaremos una estrategia basada en una metodología de acompañamiento al docente diseñada por el grupo LIDIE (Laboratorio de Investigación y Desarrollo sobre Informática en Educación) de la Universidad de los Andes (Osorio *et al.*, 2009). La acción pedagógica de acompañamiento al profesor incluye una serie de etapas de análisis y diseño educativo, en interacción entre el docente y un equipo interdisciplinario (asesores pedagógicos, evaluadores, ingenieros y diseñadores gráficos, etc.).

El aprovechamiento de propuestas de renovación pedagógica como las mencionadas, u otras disponibles en la bibliografía, requiere un esfuerzo de lectura profunda o de asistencia a cursos de formación por parte del docente universitario, actividades que no siempre está dispuesto a hacer. Por otra parte, no siempre se dispone en las universidades de equipos multidisciplinares de intervención pedagógica, ni de grupos de profesores dispuestos a participar en un programa de intervención formalmente establecido.

Sin embargo, hay al menos dos aspectos de la docencia universitaria, en principio distintos pero en absoluto independientes entre sí, que preocupan y ocupan a todos los miembros de la comunidad universitaria: los resultados académicos de los estudiantes y la calidad de la práctica docente. Se pueden encontrar datos en todos los países; basten dos referencias a título de ejemplo, referidas a España y a Colombia (Boletín, 2006; UNESCO, 2010), que muestran que hay preocupación en los equipos de gobierno de los Estados y de las universidades, tanto públicas como privadas, por el bajo rendimiento académico

y el elevado índice de abandono en los cursos. Al respecto, se han propuesto estrategias concretas para tratar de reducir este fracaso (Tambutti, 1989).

Así mismo, existe un cierto malestar entre los docentes universitarios por los pobres resultados académicos y la poca comprensión de la disciplina que demuestran sus estudiantes en los exámenes; esta insatisfacción, calificada por López-Gay *et al.* (2001) como “malestar difuso”, ha sido expresada por diversas publicaciones en términos como “el gap” entre lo que el profesor enseña y lo que el alumno aprende (McDermott, 1991).

Aun reconociendo esta insatisfacción y el hecho del gran fracaso escolar en materias universitarias de física y de matemáticas de primeros semestres de pregrado, los docentes universitarios no modifican, en términos generales, sus hábitos y prácticas docentes; podrían hacerlo con base en lo que experimentan sus compañeros más exitosos en términos docentes, y también a partir de las lecturas que eventualmente lleven a cabo de trabajos de investigación, artículos de opinión o seminarios de divulgación sobre didáctica de la disciplina que imparten. A partir de nuestra dilatada experiencia como docentes universitarios, aventuramos dos factores que justificarían esta realidad, a saber:

- cada aula de clase universitaria es un mundo aislado, cerrado a la observación de sus colegas docentes;
- por lo general, los docentes no creen que la didáctica les aporte nada útil para mejorar su práctica educativa. En consecuencia, no se preocupan por su formación como docentes (no leen trabajos de investigación didáctica, ni asisten a seminarios o cursos sobre el tema de la renovación didáctica).

Además, la actividad docente no es especialmente incentivada en las instituciones públicas de enseñanza superior, pues no forma

parte de los méritos académicos del profesorado y, en consecuencia, no constituye un camino para progresar profesionalmente en el ámbito universitario. Efectivamente, en la mayoría de las universidades españolas y latinoamericanas el éxito de una trayectoria académica se mide en términos de actividad y productividad científica de calidad. Por todo ello, aunque las preocupaciones sobre los resultados académicos de los estudiantes universitarios sí se comparten en “charlas informales” o “charlas de café” (Guisasola *et al.*, 2004) en las que a veces participan docentes que introducen innovaciones en sus aulas, para la mayoría de los colegas estos intercambios no se traducen en cambios sistemáticos. En ese sentido, Campanario (2003) analiza a fondo —y rebate— muchas ideas inadecuadas sobre la investigación didáctica, muy extendidas entre el profesorado universitario de ciencias. Pero la realidad es que el ejemplo de otros colegas, o las charlas o lecturas, no son un vehículo efectivo para la difusión e implementación de innovaciones didácticas.

Como ejemplo concreto de la inefectividad de las conversaciones sobre investigación didáctica entre colegas de departamentos universitarios mencionaremos que en la Universitat d’Alacant (UA) se desarrollaron

encuentros informales, durante un año completo, donde dos docentes implicados en PER tenían encuentros regulares con compañeros del departamento (en los descansos de café) en los que se comentaban los avances en sus experiencias en PER. Se pudo constatar que los docentes que participaban pasivamente en estos encuentros, aunque mostraban interés por las conversaciones que tenían lugar, no llevaron nunca ninguna innovación al aula. Además, cuando uno de estos docentes recibió un apoyo económico y administrativo de la UA para desarrollar materiales docentes para una de sus asignaturas de pregrado, los materiales que preparó eran de formato tradicional y alejados de cualquier recomendación derivada de la PER (véase, por ejemplo, García Carmona, 2005; Gras-Martí, 2005).

En esta línea, podemos dar algunos datos referidos a nuestras propias universidades, que pertenecen a países y culturas universitarias muy diferentes, así como a metodologías de trabajo distintas (tres de ellas: UA, Universidad de Talca —UT— y Universidad de los Andes —UniAndes—), se basan en la enseñanza presencial tradicional, y la cuarta opera en la modalidad de enseñanza completamente en línea (Universitat Oberta de Catalunya —UOC—) (Tabla 1).

Tabla 1. Perspectiva general sobre innovación didáctica en departamentos universitarios

Universidades	UA	UniAndes	UOC	UT
a) Docentes del departamento. F: física; M: matemáticas en ingeniería.	18 (F)	35 (F)	7 (M)	9 (F)
b) Docentes que conocen (en alguna medida) la existencia de PER o MER.	4	5	1	1
c) Docentes que introducen, evalúan y publican innovaciones.	2	0	5	1

a) Profesores de cada departamento; b) profesores que conocen en alguna medida los resultados de la investigación en enseñanza de la disciplina correspondiente; c) docentes que introducen innovaciones, las evalúan y publican los resultados de las mismas.

En la Tabla 1 se muestra el número de profesores de cuatro departamentos, tres de física y uno de matemáticas, así como el número de docentes que son conscientes y conocen de la existencia de investigación didáctica en PER o MER. Hemos incluido, además, aquellos

que llevan a cabo innovación en la actividad docente. Como puede verse, es muy bajo el porcentaje de profesores que está al día en las investigaciones en su área de docencia, y sólo en el caso de la UOC han introducido alguna innovación, que suele basarse en la utilización

de herramientas tecnológicas para el aprendizaje. En estos casos, aun considerando que la didáctica es una dedicación de interés menor, al margen de su actividad de investigación principal, excepcionalmente publican, en algún foro de innovación educativa, resultados de la experiencia llevada a cabo.

Por todo lo anterior creemos que, análogamente al problema de la introducción por parte de los docentes de innovaciones en el aula basadas en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), la innovación educativa sólo será posible si se cumplen las tres condiciones siguientes (Marquès Graells, 2004): 1) tener la suficiente formación; 2) disponer de medios adecuados; 3) que el docente vea que es efectiva para cumplir su propósito principal: que sus alumnos aprendan más y mejor.

Es de esperar que la tercera condición se manifieste claramente cuando se ha introducido una innovación docente adecuadamente orientada. Es difícil que la primera condición se dé: si los artículos científicos cuya lectura se propone a los colegas utilizan terminología muy pedagógica (“jerga psicopedagógica”), muchos docentes de las áreas experimentales y de matemáticas no las leerán. Este es otro problema importante para conseguir que la investigación didáctica dé frutos en las aulas: cómo llegar a los docentes de estas áreas, cómo hallar el lenguaje adecuado para “dialogar” o “interactuar” con ellos. Hay que buscar un lenguaje, unos ejemplos, unos objetivos que sean fácilmente conectables con “la mentalidad” de docentes de física, etc.

Teniendo en cuenta la realidad descrita en esta sección, y como forma de llegar al profesor universitario e inducirlo a la innovación docente, hemos desarrollado una alternativa de acompañamiento e intervención que, al tiempo que diagnostica la práctica docente, va implementando acciones incrementales de prueba para concienciar al profesor y buscar remedio a las dificultades de E/A observadas.

LA PROPUESTA REUBE

Con el fin de abordar la problemática descrita en los apartados anteriores, en cuanto a la innovación que puede llevar el docente universitario al aula, hemos constituido a lo largo de varios años un equipo interdisciplinar formado por expertos y doctorandos en PER y en MER, por docentes universitarios de física y de matemáticas, y por expertos en el campo del acompañamiento pedagógico. La propuesta que presentamos a continuación es el resultado de la destilación y depuración de un largo proceso de más de siete años, que ha contado con el apoyo institucional de las universidades involucradas. En este contexto, hemos diseñado una estrategia de intervención que denominamos REUBE (o Renovación de la Enseñanza Universitaria Basada en Evidencias), que pretende facilitar la transferencia de los resultados de la investigación didáctica al proceso de E/A de los docentes universitarios. En primer lugar expondremos las bases conceptuales de esta propuesta y a continuación la detallaremos.

Conceptualización

La *Medicina basada en la evidencia*, el *Design Research* y la idea de que es necesaria una exploración de todas las opciones pedagógicas, han sido tres elementos fundamentales para el desarrollo de la estrategia REUBE de intervención. Las describiremos brevemente a continuación.

Como primera fuente de inspiración para abordar el problema de la renovación docente en el nivel universitario, especialmente entre profesores de las ciencias experimentales y de matemáticas, mencionaremos la exitosa corriente denominada *Medicina basada en la evidencia* (MBE o, en sus siglas inglesas, EBM, *Evidence Based Medicine*; véase, por ejemplo, Sackett *et al.*, 2000). La MBE está impulsando desde hace años la adecuación y fundamentación de la práctica médica en los resultados de la investigación científica, más que en las

“opiniones” o la “experiencia” de los médicos. En esta aproximación, son fundamentales las “evidencias”, derivadas de investigaciones desarrolladas científicamente, sobre los riesgos y beneficios de los tratamientos médicos y los *tests* diagnósticos. Otra idea interesante de la MBE, también válida en el tema que nos ocupa en este trabajo, es que, según Sackett *et al.* (2000: 5): “La MBE reconoce que algunos aspectos de los cuidados de salud dependen de factores y circunstancias personales [relativas al paciente y al médico] pero muchos otros son susceptibles de ser sometidas al método científico”.

De la misma manera, hemos de tener presentes características individuales del proceso de E/A (cada profesor, cada grupo de alumnos) pero podemos someter el resto de características de la práctica docente-discente a análisis basados en los resultados de la investigación didáctica.

En segundo lugar, la estrategia que proponemos tiene puntos en común con el *Design Research* (Laurel, 2003), una corriente que investiga el proceso de diseño en muchos campos disciplinarios y que se ha aplicado también a los problemas educativos (Kelly *et al.*, 2008). Las corrientes actuales de investigación en “educación basada en el diseño” (*design-based research in education*) buscan introducir innovaciones en la práctica educativa concreta, tanto en los diseños instruccionales como en los materiales y los recursos utilizados, y examinar el impacto de estos diseños sobre el proceso de aprendizaje. Los resultados de la investigación retroalimentan las innovaciones de manera que se conforman evidencias de buenas (y malas) prácticas, en un proceso de innovación continua, basada también en evidencias.

Y, por último, un tercer aspecto que orienta nuestra propuesta se condensa en la necesidad de abordar la diversidad de estilos de aprendizaje que tienen los alumnos, así como la necesidad que tiene el docente de disponer

de herramientas metodológicas múltiples (Hervás Avilés, 2003); esta exigencia se explicita muy claramente en la afirmación siguiente de Downes (2006: 1), especialista en pedagogía, filosofía y medios digitales:³

Una cosa que la teoría educativa ha sido incapaz de tratar es la posibilidad de que haya perspectivas teóricas múltiples, la posibilidad de que no haya una sola taxonomía, un solo conjunto de estándares, metodología, etc., que defina La Forma de Educar. Hemos de movernos más allá del consenso, de “todos iguales”.

Esta realidad aún no ha llegado al docente universitario, en particular al de ciencias experimentales o de matemáticas, el cual, como analiza Imbernón (2000: 37), se debate entre la continuidad de los viejos modos y la presión y la exigencia del entorno social, por lo que:

Estas presiones sociales exigen un nuevo modelo de profesor universitario que no se conforme con dominar la materia científica, sino que sepa unir a la investigación y a la gestión, el cada vez más relevante papel de la docencia y de la formación psicopedagógica para aprender a enseñar... [Se requieren] más que cursos de formación para los docentes universitarios... [que desarrollen] la constante labor de autorreflexión sobre su práctica docente.

La idea anterior se refuerza con las palabras, de nuevo, de Downes:

La razón para esto es porque cómo enseñamos depende no sólo de la naturaleza del aprendiz (aunque ésta influya) y de la naturaleza de los contenidos (aunque también intervienen) sino también de por qué el aprendiz desea aprender y por qué el profesor quiere enseñar. No hay una única caracterización que describa estas motivaciones

3 Traducción libre.

y, por tanto, ninguna caracterización puede describir la mejor forma de enseñar, la mejor forma de aprender (2006: 1).

En esencia, por tanto, nuestra propuesta para abordar la innovación educativa en el ámbito universitario contiene elementos de diseño y rediseño de prácticas docentes, de aprovechamiento de los resultados de la investigación didáctica disciplinar, de investigación en la acción propia para buscar evidencias, y de cobertura pedagógica a todos los escenarios y todas las herramientas (tecnológicas y pedagógicas) disponibles, sin centrarnos en una sola aproximación metodológica.

Estrategia REUBE

Hemos desarrollado una propuesta de acompañamiento e intervención especialmente adecuada al *modus operandi* y la idiosincrasia del docente universitario. La estrategia REUBE busca salvar las dificultades que existen para que los resultados de la investigación didáctica disciplinar lleguen al profesor universitario, así como prepararlo y acompañarlo en las etapas iniciales del camino de la renovación didáctica. Al tiempo que se diagnostica la práctica docente se van implementando acciones de prueba, en forma incremental, para concienciar al profesor y buscar remedio a las dificultades y problemas que se vayan apreciando en el proceso. Estas acciones ayudan a crear un clima que favorece el planteamiento de renovaciones más profundas del proceso de E/A.

La propuesta REUBE se basa en la recolección de evidencias sobre disfunciones observadas en el proceso de E/A de un profesor o grupo de profesores concretos, que se pueden documentar de manera relativamente sencilla y sincrónicamente con el desarrollo de su docencia. Muchas de estas evidencias, por lo general, se hallan descritas y analizadas en la investigación didáctica de la disciplina correspondiente. Conjuntamente con el docente, se analizan y evalúan estas evidencias, recogidas

a lo largo de un semestre, y se propone un plan de intervención específico que se implementará y evaluará en semestres sucesivos.

En nuestra propuesta se argumenta que la inmersión en una aventura de renovación de la enseñanza de la física o las matemáticas a nivel universitario se ve enormemente favorecida por un desarrollo previo, y pausado, de diversas etapas de reflexión sobre la metodología empleada, por la consideración de las opciones disponibles para la introducción de cambios, por la experimentación breve con algunas opciones y por el análisis de sus efectos. Es decir, el proceso de reflexión se puede fundamentar en una serie de evidencias, recogidas pacientemente, que pueden sacar a la luz la necesidad de cambios.

La estrategia REUBE busca hacer emerger los problemas de anasognosia que suelen padecer los alumnos y los docentes universitarios (Becerra y Gras-Martí, 2011). Por ejemplo, cuando un docente se percata de que la mayoría de sus estudiantes de primeros cursos universitarios no son capaces de efectuar operaciones sencillas de cálculo proporcional (un ejemplo de evidencia que mencionaremos más adelante), el docente se enfrenta a un problema serio que debe de abordar. En caso contrario, el propio docente puede tener un problema de anasognosia, que en medicina se refiere a una condición de salud en que la persona tiene una dolencia pero no lo reconoce (por ejemplo, una persona paralizada que sufre de anasognosia no se da cuenta de que está paralizada). Si trasladamos este concepto al ámbito docente, anasognosia significa que no sabemos qué es lo que no sabemos. Esa puede ser la condición de muchos docentes de matemáticas y de ciencias que ignoran problemas obvios que tienen delante de ellos. La dificultad para el docente es doble, pues no sólo él mismo puede sufrir de anasognosia, sino que también, muy probablemente, la pueden sufrir sus alumnos, quienes no se dan cuenta de que no saben (o no entienden) qué es lo que no saben (o no entienden).

Así, los alumnos que no entienden algunas de las explicaciones del docente no perciben que no las entienden. La “medicina” ante la anasognosia consiste en entrenarlos para que reconozcan que no entienden, y de esta forma lograr que se sensibilicen y puedan alcanzar la comprensión. Y la única forma de superar déficits cognitivos, conductuales o actitudinales de un grupo de estudiantes es que se someta a un entrenamiento bien diseñado que les ayude a superar sus limitaciones. Por tanto, una de las tareas más importantes del docente universitario es hacer que los estudiantes descubran qué es lo que no saben. Esta idea es la base de propuestas de E/A, como el método de indagación socrático (Hake, 1992). La propuesta REUBE generaliza esta tarea, y pretende hacer conscientes, también a los docentes, de cuáles son las limitaciones de su práctica docente.

Hay, finalmente, un argumento de coherencia que aconseja desarrollar un proceso de seguimiento y reflexión simultáneamente con la introducción de innovaciones didácticas. De la misma manera que está bien establecida la aproximación constructivista al aprendizaje, que pone el énfasis en la ineficacia de un aprendizaje que básicamente escucha o ve hacer, podemos pensar que los docentes no van a llevar a cabo, en general, innovación o renovación didáctica tras unas sesiones de lectura o la asistencia a algún seminario en que se aborden temas de investigación en didáctica de la disciplina. El docente universitario debe de experimentar el proceso de innovación al tiempo que reflexiona sobre su práctica docente habitual.

En conclusión, la estrategia REUBE se basa en la práctica activa de observación e intervención para la recogida de evidencias, y tiene cuatro características básicas:

- Acompañamiento del docente universitario por un colega, experto en investigación didáctica de la disciplina correspondiente y con buenos conocimientos en la docencia de la materia. Este “asesor” puede acompañar al

docente en sus clases durante al menos un semestre, bien de forma presencial, bien en forma de encuentros para discutir la marcha del proceso de E/A.

- Observación proactiva de la práctica docente del profesor que está siendo “intervenido” en todos los aspectos de la misma, a saber: análisis del libro de texto utilizado, seguimiento (mediante un instrumento diseñado al efecto) de la actuación del docente en el aula, y análisis de las actividades, las notas que toman los alumnos y sus aprendizajes.
- Recolección de evidencias de disfunciones en todos los aspectos de la actividad docente, en especial con referencia a los objetivos del curso, o a las premisas institucionales. Y, también, recopilación de la voz de los estudiantes a través de grupos de discusión o de cuestionarios diseñados al efecto.
- Análisis y discusión de estas disfunciones con el docente, y propuesta de (pequeños) cambios en la práctica del proceso de E/A, que se implementan y evalúan en el momento en que se acuerdan. Estas acciones de innovación incremental son una fuente excelente de las “evidencias” que constituyen la base de la estrategia.

Es importante señalar que la innovación didáctica es un proceso que se desarrolla de manera muy gradual, y en un clima de prueba-análisis-reconducción basado en la retroalimentación que proporcionan los resultados de cada experimento didáctico que se desarrolla y se evalúa. Este proceso es dinámico, y permite configurar un replanteamiento más global de la docencia sin apenas disrupciones en la marcha de la asignatura. A partir del análisis de las pequeñas (o grandes) evidencias que denotan una necesidad de renovación, y con la acumulación de las experiencias del semestre, se puede diseñar el plan general de implementación del siguiente semestre.

Durante el proceso de acompañamiento el experto guía el diseño de las actividades que aportarán evidencias al docente. Estas evidencias no necesitan ser muy elaboradas sino que, al contrario, cuanto más sencilla y claramente muestren los problemas que se han detectado, mayor será su impacto en el profesor, y más fácilmente aceptará la renovación didáctica. Las evidencias han de ser, pues, significativas, claras y concretas. Y, sobre todo, con consecuencias directamente implementables en un programa de cambio metodológico.

Suele ser esencial que el experto que acompaña al docente asuma buena cantidad de las iniciativas en cuanto a pruebas, experimentos puntuales, recogida y análisis de datos, etc., que constituyan la puesta en acción de la metodología REUBE. Sólo de esta forma se puede garantizar que se concreten con cierta garantía de éxito las propuestas de innovación que resulten de mostrar y discutir las “evidencias” con el docente involucrado. En particular, no se requiere del docente que lea trabajos de investigación didáctica sobre la disciplina, a no ser que sea explícitamente solicitado por el mismo.

Finalmente, es necesario hacer referencia a la denominada *investigación acción participativa* (IAP) (Bausela, 2004) y situar nuestra propuesta en relación a ella. Esta metodología de investigación también está orientada a la mejora de la práctica educativa; tiene como objetivo básico la decisión y el cambio para fomentar la calidad de la enseñanza y se aplica, en particular, en los niveles de enseñanza de primaria y secundaria. La estrategia REUBE es una alternativa menos formalizada que las diferentes propuestas de IAP, más adecuada para el docente universitario y, de entrada, menos exigente. En nuestra experiencia, si al profesor universitario de ciencias experimentales o de matemáticas se le plantea un programa de investigación detallado y de largo alcance sobre su práctica docente, y que use la terminología

habitual de la investigación didáctica, el riesgo de que se produzca un fuerte rechazo es muy alto. No hay que olvidar que entre los docentes de ciencias experimentales y de matemáticas es muy vivo el “efecto Sokal”⁴ (Jurdant, 2003). Por otra parte, aunque el objetivo de la IAP de impulsar la figura del profesional investigador, reflexivo y en continua formación permanente (Rincón Igea, 1997) es altamente deseable, la situación de la renovación didáctica universitaria es aún muy incipiente. En ese sentido, la estrategia REUBE es una estrategia de *introducción* al proceso de cambio, que pone su mayor énfasis en la concienciación activa y proactiva del docente, en un proceso con (aparente) poca fundamentación y poco discurso didáctico, que busca la efectividad a través de evidencias relativamente sencillas y claras para el profesor.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA

Como ejemplo de aplicación de la propuesta REUBE mostraremos cuatro experiencias en el ámbito de la docencia de la física y las matemáticas en las universidades donde trabajamos. En todos los casos se contó con uno o dos asesores expertos en PER o MER que orientaron la intervención. En primer lugar se presenta brevemente cada una de las experiencias, y a continuación se discuten de manera conjunta. Mostraremos aspectos diferentes de cada actuación, con objeto de dar pinceladas distintas de la REUBE. La exposición detallada de cada aplicación será objeto de otras publicaciones.

Análisis del desarrollo cognitivo de los estudiantes de física de primer semestre

En la UT se detectó un problema con la asignatura que combina matemáticas y física para alumnos de primer semestre de arquitectura.

4 Como explica un artículo de Wikipedia (http://es.wikipedia.org/wiki/Esc%C3%A1ndalo_Sokal), “En 1996, Sokal, profesor de física en New York University, envió un artículo pseudocientífico para que se publicase en una revista postmoderna de estudios culturales. Pretendía comprobar que una revista de humanidades publicará un artículo plagado de sin sentidos, si a) suena bien, y b) apoya los prejuicios ideológicos de los editores”.

A pesar de los esfuerzos de adecuar los contenidos y la metodología al nivel de conocimientos de entrada de los alumnos, la materia resultaba inusualmente complicada. Tras un análisis de la situación de partida, y en colaboración con el asesor, se diseñaron pruebas destinadas a mostrar evidencias sobre el nivel de evolución del pensamiento formal/operacional de los estudiantes de primer semestre, la capacidad de resolución de cuestiones conceptuales de estos estudiantes y el nivel de recuerdo y comprensión en alumnos que superaron la materia en semestres anteriores. Como ejemplo de la implementación de la estrategia REUBE reseñaremos tres ejemplos.

El primer *test* se diseñó para analizar la capacidad de razonamiento proporcional de los estudiantes universitarios de primer semestre de arquitectura. De acuerdo con resultados publicados en la bibliografía (Thornton y Fuller, 1981) se observó que un porcentaje elevado (del orden de un 25 por ciento) de los alumnos de primer semestre universitario no han realizado la transición entre los niveles de desarrollo cognitivo concreto a formal piagetianos.

El segundo *test* contenía cuestiones cualitativas sencillas de física general, y se planteó a los tres meses de iniciado el semestre, después de haber realizado un examen parcial donde los estudiantes resolvieron, mayoritariamente bien, problemas relativamente complicados de estática de sólidos rígidos. Los niveles de respuestas al *test* cualitativo son bastante deficientes (sólo 35 por ciento de los alumnos superó la prueba) y no se corresponden con las buenas calificaciones de los alumnos en el examen anterior basado en problemas estándar de equilibrio de sólidos. Este es un resultado bien conocido de la investigación en la enseñanza de las ciencias (Becerra, 2004).

El tercer *test* fue de recuerdo de conceptos básicos, para alumnos que habían superado la materia un par de semestres atrás. Se eligieron alumnos de ingeniería industrial porque estudian más física y matemáticas que los de arquitectura y, además, acceden a la universidad

con calificaciones más elevadas. Los resultados de los *tests* fueron bastante desalentadores, en términos de aprendizaje conceptual de los alumnos (Becerra y Gras-Martí, 2011). Este resultado no es sorprendente en términos de PER, porque la enseñanza de física habitual no cuida aspectos como el desarrollo de competencias en los distintos lenguajes de la ciencia (Touger, 2000).

Como consecuencia de éstas y otras pruebas estratégicas, los docentes implicados iniciaron un proceso de cuestionamiento de contenidos y métodos didácticos en las materias implicadas (Becerra y Gras-Martí, 2011).

Cambios en matemáticas aplicadas en estudios de ingeniería en línea

El aprendizaje de matemáticas en estudios de ingeniería en línea de la UOC debe abordarse teniendo en cuenta los factores que le son característicos: perfil de los estudiantes, papel del profesor, canales y espacios de comunicación así como recursos de aprendizaje. Las asignaturas de matemáticas de las ingenierías técnicas en informática y telecomunicaciones deberían proporcionar a los estudiantes las competencias necesarias para alcanzar los objetivos fijados en otras materias del plan de estudios de la titulación. En particular, el cálculo es una asignatura de segundo semestre (en primero se cursa álgebra) donde, aunque se plantea el aprendizaje desde una perspectiva práctica e instrumental, las dificultades de los estudiantes para seguir la planificación prevista son considerables. La metodología de trabajo que se propone consiste tradicionalmente en el estudio de unos contenidos y la realización sistemática de ejercicios y problemas a partir de una guía de estudio que, semana a semana, concreta y detalla la actividad recomendada para el periodo correspondiente. La estructura de los contenidos y los ejercicios del material de estudio, así como su formato, son absolutamente tradicionales: para cada tema, un ejemplo motivador y una sucesión de definiciones, ejemplos y proposiciones

con una colección final de ejercicios por resolver. Para facilitar el estudio de los distintos módulos y seguir el ritmo de progreso del estudiante, se proponen distintas pruebas de evaluación continua, optativas, que consisten en la resolución de actividades de dificultad similar a las del examen final (presencial). La calificación final de estos ejercicios matiza la calificación de dicho examen.

La primera señal de alarma en todas las asignaturas de matemáticas de primer y segundo semestre es el hecho que el número de aprobados está muy por debajo de 50 por ciento de los matriculados. Este hecho, junto con cierta preocupación por la innovación docente desde el equipo de gobierno de la universidad, motivó algunas acciones encaminadas a soslayar problemas concretos: la utilización de recursos interactivos (Sancho y Masià, 2007), la notación matemática a través de Internet (Sancho *et al.*, 2008), el uso de anotaciones a páginas web para mejorar la interacción (Escudero y Sancho, 2010) o el sistema de evaluación. En particular, los resultados académicos, el grado de satisfacción de los estudiantes y la percepción del profesorado sobre el proceso de E/A nos llevó a replantear la estrategia docente en asignaturas de cálculo (Sancho Vinuesa y Gras-Martí, 2010), concretada en un plan de aprendizaje y unos materiales de estudio basados en un proceso de E/A activo. Esta nueva estrategia está actualmente en funcionamiento y en proceso de revisión en los nuevos grados universitarios.

Redes de innovación didáctica

Una de las formas de implementar la estrategia REUBE, tal vez la de mayor alcance, es mediante la conformación de equipos de trabajo de profesores, que hacen pruebas en varias asignaturas simultáneamente bajo la orientación de un colega conocedor de los resultados de la PER. Dado que esta forma de actuación está documentada (Gras-Martí *et al.*, 2003) para el caso de la UA, sólo se presentarán aquí las ideas y resultados generales.

Los problemas que se abordaron en aquella ocasión son los de repaso de conceptos básicos de física y de matemáticas, que son prerequisites para la materia en curso. Estos conocimientos básicos son los trabajados en sus estudios de secundaria o en otras materias de pregrado, cursadas en semestres anteriores. Para no recargar más aún los densos programas y limitados espacios de tiempo disponibles, por sugerencia del asesor se recurrió a cuestionarios en línea, administrados de forma regular durante el semestre. Estos ejercicios también se orientaron al repaso constante de la materia estudiada en el semestre en curso.

Se comprobó que mediante el diseño de actividades extra se conseguía un mejor seguimiento de la materia actual, así como una mejor actitud de los estudiantes hacia las materias intervenidas, consecuencia de la mejor comprensión conceptual y operativa de las mismas. Se observó también un efecto positivo sobre el clima en el aula, consecuencia de la abundante interacción virtual profesor-alumnos.

Por otra parte, la constitución de una red de investigación didáctica entre varios profesores tuvo como consecuencia un efecto multiplicador sobre los resultados de las actuaciones innovadoras en cada disciplina (Gras-Martí *et al.*, 2003).

Seguimiento, acompañamiento e innovación

El cuarto ejemplo de aplicación de la propuesta REUBE trata de la recogida sistemática de evidencias puntuales de disfunciones en el desarrollo de la asignatura que inciden en el proceso de E/A. En la Universidad de los Andes se inició un proceso de acompañamiento, seguimiento e intervención en dos de los seis grupos de Física II, una materia de tercer semestre de las carreras de ciencias e ingeniería. Bajo la orientación del asesor, los objetivos generales del acompañamiento fueron los siguientes:

- obtener evidencias de disfunciones en los aprendizajes de los alumnos relacionadas con la metodología de E/A empleada en las aulas;
- crear espacios de comunicación y de diálogo entre los docentes involucrados;
- diseñar, con base en las observaciones, herramientas de recogida de información relevante que alimente y guíe la intervención, con el fin de recabar datos que sustenten un rediseño más global de las prácticas docentes en la asignatura implicada.

A continuación se muestran algunas de las evidencias encontradas y se señala brevemente, en cada caso, qué tipo de intervención se experimentó.

En primer lugar, un cuestionario anónimo en línea y varias consultas en el aula permitieron detectar que los alumnos no efectúan la lectura previa de los materiales que después se trabajarán en clase. Este problema es especialmente severo, porque todo el planteamiento teórico de la asignatura se basaba en la prelectura y el trabajo autónomo de los estudiantes. Para paliar este hecho se programaron nuevas prelecturas, de extensión mucho más reducida.

Otra evidencia, constatada cuantitativamente, es que los alumnos no trabajan suficientemente la materia entre una clase y la siguiente. Como medida para corregir este problema se diseñaron cuestionarios en línea que contenían actividades de enlace entre las sesiones de aula. La participación de los estudiantes en esta actividad extra, opcional, fue muy positiva: más de 50 por ciento de ellos trabajaron estos cuestionarios de manera regular.

También se detectó un problema de coordinación entre las clases de teoría y de problemas, pues los docentes encargados de cada ámbito no conocían con detalle, ni de forma regular, lo que acontecía en las clases respectivas. Se corrigió esta disfunción mediante cuestionarios

breves en línea que cada docente rellenaba en pocos minutos al terminar cada clase.

Como último ejemplo mencionaremos que, aunque el examen final de esta asignatura contiene preguntas de la asignatura Física I, cursada por los alumnos en el semestre anterior (o, en ocasiones, dos semestres antes), los contenidos de la materia de Física II son tan extensos que no cabía fácilmente la introducción de sesiones de repaso y preparación para el examen final. Para remediar este problema, que redundaba en una peor preparación y resultados de los exámenes, se inició el envío de “un problema de repaso al día”, al correo electrónico de los alumnos. Esta medida fue valorada muy positivamente por los estudiantes, con comentarios de reconocimiento tanto en la lista de correo como en el aula.

Las pruebas anteriores, junto con otras evidencias encontradas, proporcionaron elementos suficientes para renovar significativamente el proceso de E/A de la física de pregrado en esta universidad (Reyes Lega *et al.*, 2011).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La estrategia REUBE conduce a la implementación de innovaciones en el aula, guiadas por los resultados de la investigación didáctica disciplinar, y sus efectos sobre el proceso de E/A son a su vez investigados en un proceso continuo de *design research*, que se retroalimenta. Dado que la renovación didáctica es un proceso de maduración, la estrategia de seguimiento y acompañamiento REUBE es de aplicación lenta: requiere un trabajo conjunto del asesor con el docente durante un semestre, típicamente, para la recogida de evidencias, y al menos otro semestre para implementar un plan más concreto de renovación de la asignatura. Además, en muchos casos exige la elaboración de nuevos materiales docentes.

Aunque estas exigencias temporales y de dedicación de esfuerzos personales (tanto del docente como del asesor) pueden parecer muy costosas, realmente tienen un “precio”

muy reducido si se compara con los beneficios que reporta a los estudiantes y al propio docente innovador, en términos de mejores aprendizajes (para los alumnos), mejor ambiente en el aula (tanto para el docente como para los alumnos), y mayor satisfacción con respecto a la asignatura (para ambos, también). Estos beneficios de la aplicación de la estrategia se recogen en las publicaciones citadas (Reyes Lega *et al.*, 2011; Gras-Martí *et al.*, 2003; Sancho Vinuesa y Gras-Martí, 2010; Becerra y Gras-Martí, 2011). En estas referencias se muestra también cómo con la aplicación pausada de la estrategia REUBE, el asesor observa cómo el docente se vuelve consciente de sus características particulares en relación al proceso de E/A, a su rol y a su evolución. En consecuencia, se constata que el docente se apropia paulatinamente de los recursos y procedimientos propuestos, tiene tiempo de asimilar las consecuencias de su aplicación, y se ve empoderado para tomar en el futuro sus propias iniciativas innovadoras.

De los ejemplos mencionados en la sección anterior sobre la aplicación de la estrategia REUBE, así como de otras instancias en que se aplicó, se va configurando una base de datos sobre ideas de posibles intervenciones en otros casos. Hay que hacer notar, sin embargo, que un componente especial de la estrategia que proponemos es su especificidad y particularidad a un docente o un grupo concreto de docentes. Es justamente la dificultad de aprovechar en la enseñanza universitaria las experiencias y propuestas publicadas en investigación didáctica, lo que originó esta propuesta de intervención.

Para terminar esta visión general de la estrategia REUBE diremos que como conse-

cuencia de su puesta en práctica se obtienen datos sobre lo que denominamos “limitantes estructurales”, es decir, aquellos factores sobre los cuales sería deseable intervenir en la innovación pedagógica, pero que pertenecen al modelo general imperante en la universidad en cuestión, o que afectan a su infraestructura material o tecnológica. Por ejemplo, un determinado modelo de campus virtual, una distribución rígida de mesas y de sillas en el aula, o unos contenidos demasiado extensos y poco coordinados con los de otras materias. Estos limitantes estructurales pueden condicionar fuertemente la introducción de innovaciones, pero no han de constituir una excusa para postergar el inicio de las mismas. Uno de los principios básicos de la estrategia REUBE es que esta renovación pedagógica se debe de abordar cuanto antes, y con los medios disponibles. En paralelo, por supuesto, se debe de incidir en la eliminación de otros limitantes que trascienden el ámbito del docente y a su grupo de estudiantes.

Como forma de continuar el proceso siempre abierto de innovación en el aula, tras la aplicación de la estrategia se puede diseñar una “comunidad de práctica” (Wenger, 1998). En otros casos es suficiente con una lista de debate tipo *Google groups*, por ejemplo (Becerra *et al.*, 2011). En cualquier caso es importante que el lento y costoso proceso de concienciación de la necesidad de introducir resultados de la investigación didáctica en la práctica docente se mantenga en el tiempo, y se actualice. En el ámbito institucional la aplicación del modelo REUBE puede ser el punto de partida para intervenciones mucho más profundas y sistemáticas, como las mencionadas en el segundo apartado de este artículo (Osorio *et al.*, 2009).

REFERENCIAS

- ANDREWS, S.V. (1989), “Changing Research Perspectives. A critical study of Elliot Eisner”, *Journal of Curriculum and Supervision*, vol. 4, núm. 2, pp. 106-125.
- BAUSELA Herreras, E. (2004), “La docencia a través de la investigación-acción”, *Revista Iberoamericana de Educación*, sección “De los lectores”, en: <http://www.rieoei.org/>

- deloslectores/682Bausela.PDF (consulta: 1 de diciembre de 2010).
- BECERRA Labra, C. (2004), *La enseñanza de la mecánica newtoniana con una estructura problematizada en el primer curso universitario*, Tesis de Doctorado, Universitat d'Alacant, en: <http://www.meet-physics.net/recercadidactica/tesi-Becerra/TesisCBL-completa.zip> (consulta: 4 de octubre de 2010).
- BECERRA Labra, C. y A. Gras-Martí (2011), "Correlaciones entre habilidades cognitivas de estudiantes de física de primer curso de ingeniería", en dictamen en *Revista Brasileira de Ensino de Física*.
- BECERRA Labra, C., A. Gras-Martí, Á. Gras Velázquez y C. Vargas Díaz (2011), "Sobre plataformas institucionales y recursos 'en la nube'", *Aula Abierta* (en prensa).
- Boletín (2006), *Boletín Informativo Educación Superior*, Ministerio de Educación Nacional, núm. 7, diciembre, en: http://menweb.mineducacion.gov.co/educacion_superior/numero_07/index.htm (consulta: 23 de mayo de 2010).
- CAILLOT, Michel (2007), "The Building of a New Academic Field: The case of French didactics", *European Educational Research Journal*, vol. 6, núm. 2, pp. 125-130.
- CAMPANARIO, Juan Miguel (2003), "Contra algunas concepciones y prejuicios comunes de los profesores universitarios de ciencias sobre la didáctica de las ciencias", *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 21, núm. 2, pp. 319-328, en: <http://www2.uah.es/jmc/didactica.htm> y <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v21n2p319.pdf> (consulta: 3 de noviembre de 2010).
- DOWNES, Stephen (2006), *Sameness*, en: <http://halfanhour.blogspot.com/2006/09/sameness.html> (consulta: 30 de septiembre de 2010).
- ESCUADERO, N. y T. Sancho (2010), "Analysis of Interactions through a Web Annotation Tool in a Pre-university Mathematics Online Course", en N. Lambropoulos y M. Romero (eds.), *Educational Social Software for Context-Aware Learning: Collaborative methods and human interaction*, Hershey, Pennsylvania, IGI Global, pp. 79-97.
- FRASER, B. y K. Tobin (eds.) (1998), *International Handbook of Science Education*, Nueva York, Springer International Handbooks of Education Series.
- FRASER, B.J., K. Tobin y C. McRobbie (eds.) (2011), *Second International Handbook of Science Education*, vol. 24, Nueva York, Springer International Handbooks of Education Series.
- GARCÍA Carmona, Antonio (2005), "Un estudio de caso sobre la eficiencia de los procesos de autorregulación en el aprendizaje de la física", *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, vol. 7, núm. 1, pp. 1-13, en: <http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/view/89/137> (consulta: 17 de octubre de 2010).
- GIL, Daniel (1994), "10 años de investigación en didáctica de las ciencias: realizaciones y perspectivas", *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 12, pp. 154-164.
- GRAS-Martí, A., J.V. Santos Benito, M. Pardo Casado, J.A. Miralles Torres, A. Celdrán Mallol y M. Cano-Villalba (2003), "Revision of Prerequisites: ICT tools", *Academic Exchange Quarterly (AEQ)*, vol. 7, núm. 3, pp. 312-316.
- GUISASOLA, J., A. Gras-Martí, J. Martínez-Torregrosa, J.M. Almudí y C. Becerra Labra (2004), "¿Puede ayudar la investigación en enseñanza de la física a mejorar su docencia en la universidad?", *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 26, núm. 3, pp. 197-202, en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S1806-11172004000300002&lng=en&nrm=1&tlng=es (consulta: 28 de octubre de 2010).
- GUSKEY, Thomas R. (2002), "Professional Development and Teacher Change", *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, vol. 8, pp. 381-391.
- HAKE, R.R. (1992), "Socratic Pedagogy in the Introductory Physics Lab", *The Physics Teacher*, vol. 30, pp. 546-552, en: <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/SocPed1.pdf> (consulta: 10 de septiembre de 2010).
- HEALEY, Mick (2000), "Developing the Scholarship of Teaching in Higher Education: A discipline-based approach", *Higher Education Research & Development*, vol. 19, pp. 169-189.
- HERVÁS Avilés, R.M. (2003), *Estilos de enseñanza y aprendizaje en escenarios educativos*, Granada, Grupo Editorial Universitario.
- IEEE (2011), International Conference on Engineering Education series, en: <http://www.ieeemalaysia.org/iceedu/> (consulta: 15 de septiembre de 2010).
- IMBERNÓN, F. (2000), "Un nuevo profesorado para una nueva universidad. ¿Conciencia o presión?", *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, vol. 38, pp. 37-46.
- JOHNSON, Stuart (2010), *Physics Suite Home*, en: <http://www.wiley.com/college/sc/cummings/suite.html> (consulta: 12 de noviembre de 2010).
- JURDANT, B. (coord.) (2003), *Imposturas científicas: los malentendidos del caso Sokal*, Madrid, Ediciones Cátedra/Universitat de València/ Frónesis.
- KELLY, A.E., R.A. Lesh y J.Y. Baek (2008), *Handbook of Design Research Methods in Education. Innovations in Science, Technology, Engineering, and Mathematics Learning and Teaching*, Nueva York, Routledge.
- LAUREL, B. (2003), *Design Research: Methods and perspectives*, Cambridge, M.I.T. Press.

- LAURIALA, A. (1992), "The Impact of Innovative Pedagogy on Teacher Thinking and Action: A case study of an inservice course for teachers in integrated teaching", *Teaching and Teacher Education*, vol. 8, pp. 523-536.
- LÓPEZ-GAY R., J. Martínez-Torregrosa y A. Gras-Martí (2001), "On How to Best Introduce the Concept of Differential in Physics", *Developing Formal Thinking in Physics*, 1st International Girep Seminar, Udine (Italia), 2-6 de septiembre, en: http://www.fisica.uniud.it/girepseminar2001/CS07/MARTI_02_FINAL.pdf (consulta: 1 de septiembre de 2010).
- MARQUÈS Graells, Pere (2004), "Metodología didáctica y TIC en la enseñanza universitaria", *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, vol. 3, núm. 1, pp. 557-575, en: <http://balboa.unex.es/crai/personal/relatec/pmarques.pdf> (consulta: 6 de noviembre de 2010).
- McDERMOTT, L.C. (1991), "Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned. Closing the gap", *American Journal of Physics*, vol. 59, pp. 301-315.
- MELLADO Jiménez, Vicente (2003), "Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia", *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 21, núm. 3, pp. 343-358.
- OSORIO, L.A., M.F. Aldana, D. Leal, D. Carvajal, M. López, G. Cifuentes y C.I. García (2009), "Incorporación de las TIC en educación superior: experiencia institucional Universidad de los Andes", en *Educación para el siglo XXI. Aportes del Centro de Investigación y Formación en Educación, CIFE, 2001-2008*, Bogotá, Universidad de los Andes.
- REYES Lega, A.F., J.A. García Varela, A. Gras-Martí, A.M. Forero Shelton, J.C. Olarte Moyano y C. Becerra Labra (2011), "Evidencias para la renovación de la enseñanza universitaria de física: una aplicación de la estrategia REUBE", en dictamen en *Revista Brasileira do Ensino de Física*.
- RINCÓN Igea, D. (1997), "Investigación acción-cooperativa", en M.J. Gregorio Rodríguez, *Memorias del seminario de investigación en la escuela*, Bogotá, Quebecor Impreandes, pp. 71-97.
- SACKETT, D.L., W. Scott Richardson, W. Rosenberg y R.B. Haynes (2000), *Evidence Based Medicine: How to practice and teach EBM*, Nueva York, Churchill Livingstone.
- SANCHO, T y R. Masià (2007), "A Virtual Learning Environment for Pregraduate Mathematical Students", en D. Remenyi (ed.), *The Proceedings of 6th European Conference on e-Learning: ECEL2007*, Dublín, Academic Publishing Limited Reading, pp. 545-553.
- SANCHO, T., C. Córcoles, M.A. Huertas, A. Pérez Navarro, D. Marqués y J. Villalonga (2008), "Automatic Verbalization of Mathematical Formulae for Web-Based Learning Resources", en D. Remenyi (ed.), *The Proceedings of the 7th European Conference on e-Learning*, vol. 2, Dublín, Academic Publishing Limited Reading, pp. 405-414.
- SANCHO Vinuesa, T. y A. Gras-Martí (2010), "Teaching and Learning Undergraduate Mathematics in an Online University", en W. Kinuthia y S. Marshall (eds.), *Educational Technology in Practice: Research and practical case studies from the field*, Charlotte, NC, Information Age Publishing Inc., pp. 145-152.
- SHAVELSON, R.J. y L. Towne (eds.) (2002), *Scientific Research in Education, Committee on Scientific Principles for Education Research*, Washington, National Academies Press, en: <http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309082919> (consulta: 27 de septiembre de 2010).
- SIMKINS, S. y M. Maier (eds.) (2009), *Just in Time Teaching: Across the Disciplines, and Across the Academy*, Londres, Stylus Publishing.
- TAMBUTTI R., Luis R. (1989), "La estrategia SIGMA: una forma radical de abordar el fracaso y la deserción escolares", *Perfiles Educativos*, núm. 45-46, pp. 3-13.
- THORNTON, M.C. y R. Fuller (1981), "How do College Students Solve Proportion Problems?", *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 18, núm. 4, pp. 335-340, en: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1023&context=physicsfuller> (consulta: 5 de noviembre de 2010).
- TOUGER, J. (2000), "The Role of Language in Learning Physics: Beyond semantics", *American Journal of Physics*, vol. 68, núm. 4, pp. 306-307.
- UNESCO (2010), *Datos mundiales de educación*, España, WDE, agosto, en: http://www.ibe.unesco.org/fileadmin/user_upload/Publications/WDE/2010/pdf-versions/Spain.pdf (consulta: 24 de mayo de 2010).
- WENGER, Etienne (1998), *Communities of Practice. Learning, meaning, and identity*, Cambridge, Cambridge University Press.
- ZABALA, Miguel A. (2009), "Boloña. Unha nova folla de ruta", *Eduga-Revista Galega do Ensino*, vol. 57, pp. 16-25, en: http://www.edu.xunta.es/ftpsrver/portal/DXPL/revistagalega/rge57/eduga_57_Opinion_Bolona.pdf (consulta: 2 de diciembre de 2010).