

Evidencias para la renovación de la enseñanza universitaria de Física

Una aplicación de la estrategia REUBE

ALBERT GRAS-MARTÍ* | CARLOS BECERRA LABRA**

ANDRÉS FERNANDO REYES-LEGA*** | JOSÉ ALEJANDRO GARCÍA-VARELA****

MANU FORERO-SHELTON*****

A partir de la estrategia REUBE (Renovación de la Enseñanza Universitaria Basada en Evidencias), abordamos la problemática de la renovación didáctica del proceso de enseñanza/aprendizaje de la docencia universitaria de Física de pregrado. La estrategia de acompañamiento e innovación pedagógica REUBE se basa en la recolección de evidencias puntuales sobre deficiencias observadas en el proceso de enseñanza/aprendizaje de un profesor concreto, y que se pueden documentar de manera relativamente sencilla y de forma simultánea con el desarrollo del curso. Al mismo tiempo que se recogen evidencias, conjuntamente con el docente se analizan y evalúan estos datos, recopilados a lo largo de un semestre, y se propone un plan de innovación específico que se implementará y evaluará en semestres sucesivos. Se describen las etapas e ingredientes del proceso de recogida de evidencias, se analizan algunas de las pruebas recogidas, y se plantean elementos de innovación pedagógica que tienen en cuenta las condiciones de contorno institucionales existentes.

Based on the REBUT (Renovation of Evidence-Based University Teaching) strategy, this paper addresses the didactic problem of the educational renewal of teaching/learning regarding university teaching staff for undergraduate physics programs. The support strategy and pedagogical innovation of REBUT is based on the collection of evidence on the specific deficiencies in the teaching/learning of a particular teacher, and can be relatively easily documented whilst running simultaneously with the development of the course. Whilst the evidence is collected, it is analyzed –together with the teacher– and the data is evaluated throughout a whole semester, then, a specific plan of innovation is proposed, implemented and evaluated in subsequent semesters. The steps and ingredients of the collection of evidence are described, some of the evidence collected is discussed, and elements of pedagogical innovation are proposed, taking into account the existing institutional guidelines.

Palabras clave

Aprendizaje
Renovación basada en evidencias
Física
Enseñanza universitaria
Pregrado
Innovación
Investigación didáctica

Keywords

Learning
Renewal based on evidence
Physics
University education
Undergraduate
Innovation
Teaching research

Recepción: 17 de noviembre de 2011 | Aceptación: 16 de febrero de 2012

* Doctor en Física por la Universidad Complutense, catedrático de Física de la Universitat d'Alacant (España), profesor visitante en el Departamento de Física de la Universidad de los Andes, y en el Departamento de Física de la Universidad de Talca. Líneas de investigación: enseñanza y aprendizaje de la Física, y colisiones atómicas en sólidos. CE: agm@ua.es

** Doctor en Didáctica de la Física por la Universidad de Alicante, España. Académico y coordinador docente del Instituto de Matemática y Física, Universidad de Talca (UT), Chile. Línea de investigación: didáctica de la Física. CE: cbecerra@utalca.cl

*** Doctor en Física teórica por la Universidad de Mainz. Profesor asociado en el Departamento de Física de la Universidad de los Andes, Colombia. Temas de investigación: física teórica, con énfasis en el desarrollo y aplicación de métodos geométricos y algebraicos en Física. CE: anreyes@uniandes.edu.co

**** Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad de Concepción (UdeC), Chile. Profesor asociado del Departamento de Física de la Universidad de los Andes. Línea de investigación en astronomía observacional: escala de distancias, variables cefeidas y variabilidad estelar. CE: josegarc@uniandes.edu.co

***** Doctor en Ciencias por la Escuela Politécnica Federal de Zúrich (ETH Zurich), Suiza. Profesor asociado del Departamento de Física de la Universidad de los Andes, Colombia. Líneas de investigación: biomecánica a nivel celular y molecular; microscopía de fuerza atómica y microscopía de hoja de luz; enseñanza de ciencias de bajo costo. CE: manu.forero@gmail.com

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La denominada “metodología científica” orienta el trabajo de los científicos y se aplica para investigar determinados tipos de problemas de orden natural, personal o social. La comunidad científica y la sociedad en general aprovechan los resultados establecidos por la investigación científica para avanzar en el conocimiento y en las aplicaciones de este conocimiento. A veces, los científicos, especialmente los “investigadores noveles” o investigadores en periodo de formación, reproducen algunas de las investigaciones bien conocidas con el fin de apropiarse profundamente de los avances obtenidos.

Uno de los campos de conocimiento establecidos en décadas recientes es el de la investigación en didáctica de las ciencias, y de la Física en particular (Fraser *et al.*, 2011). Aunque en este trabajo nos centraremos en la enseñanza de la física universitaria, mucho de lo que digamos es aplicable a otros niveles educativos, así como a la enseñanza de otras ciencias y otras disciplinas, como las ingenierías o las matemáticas. A pesar de todas estas investigaciones y propuestas concretas de mejora del proceso de enseñanza/aprendizaje (E/A) de la Física, muchas publicaciones denuncian que la investigación didáctica (especialmente la investigación en didácticas específicas, como la PER/IEF (Physics Education Research/Investigación en Enseñanza de la Física) no llega a las aulas universitarias de ciencias (Andrews, 1989; Gil y Pessoa de Carvalho, 2000). Entre los docentes del nivel universitario no hay suficiente conciencia de que, en muchos casos, es necesario replantearse las prácticas docentes actuales (tanto la metodología y la evaluación, como los recursos de aprendizaje) y no existe en ese colectivo una tradición de formación y actualización didáctica, como puede haberla entre sus colegas de enseñanza primaria o secundaria.

Recientemente, Becerra Labra *et al.* (2012) han descrito con detalle los fundamentos

conceptuales de la estrategia REUBE (Renovación de la Enseñanza Universitaria Basada en Evidencias), que promueve la innovación didáctica en el ámbito universitario, especialmente para la enseñanza de las ciencias, de las matemáticas y de la ingeniería. En el presente trabajo aplicaremos esta estrategia al caso de la E/A de la Física en cursos de pregrado de la Universidad de los Andes. En esta publicación se recoge tanto la experiencia de acompañamiento pedagógico y de reflexión sobre la práctica docente, como las conclusiones que han llevado a plantear una nueva metodología para la E/A de la Física en esta Universidad.

En el siguiente apartado analizaremos la aplicación de esta estrategia a la enseñanza de Física de nuestros pregrados; las evidencias obtenidas nos permitirán establecer, como veremos en el tercer apartado, las bases para un rediseño de la E/A de la Física, que discutiremos en el siguiente apartado. Finalmente, presentaremos algunas conclusiones.

APLICACIÓN A LA E/A DE FÍSICA EN LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

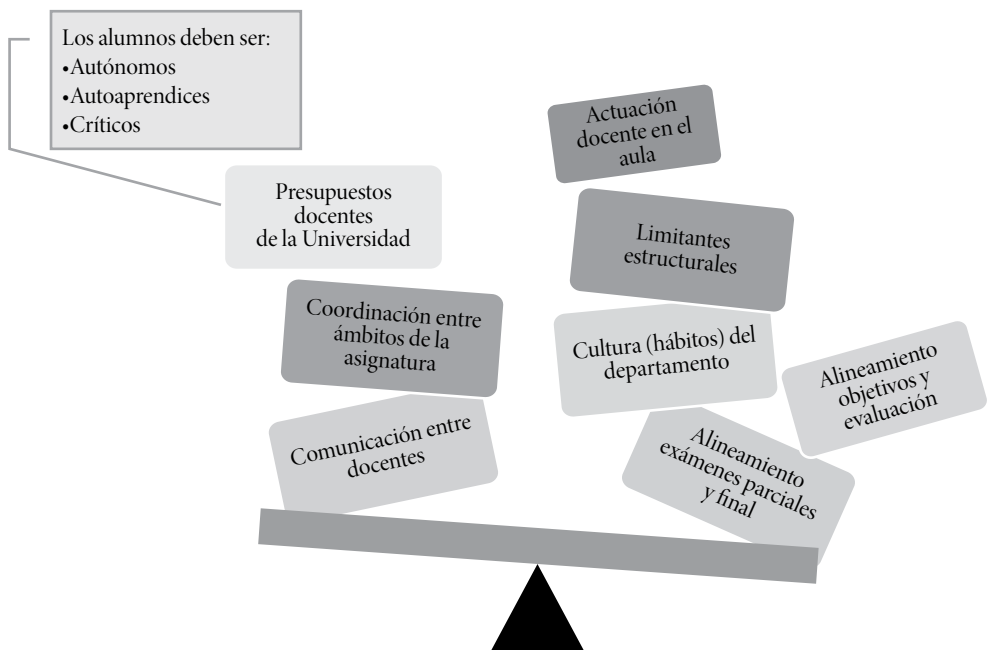
Abordamos la problemática de la renovación didáctica del proceso de E/A de la docencia universitaria de Física de pregrado a partir de la estrategia de acompañamiento e innovación pedagógica REUBE. Esta estrategia se basa en la recolección de evidencias puntuales sobre deficiencias observadas en el proceso de E/A de un profesor concreto, y que se pueden documentar de manera relativamente sencilla y de forma simultánea con el desarrollo del curso. Estas evidencias, por lo general, se hallan descritas, analizadas y con propuestas de superación en la investigación en didáctica de la Física. Al tiempo que se recogen evidencias a lo largo de un semestre, se analizan conjuntamente con el docente, se evalúan los datos recopilados y se propone un plan de innovación específico que se implementará y evaluará en semestres sucesivos.

En la aplicación de la estrategia REUBE para la mejora de la enseñanza de la Física de esta Universidad se inició un proceso de acompañamiento pedagógico, seguimiento y pruebas múltiples en busca de evidencias de deficiencias en el proceso de E/A en dos de los ocho grupos de Física 2, una materia de tercer semestre de las carreras de Ciencias e Ingeniería. El acompañamiento estuvo a cargo de un equipo de investigadores de la Universidad de los Andes. Todos los estudiantes de estas titulaciones cursan esta materia en grupos mezclados, que no diferencian en el pregrado entre la posterior orientación del alumno hacia una determinada ciencia o ingeniería. Típicamente, en uno o dos semestres anteriores se cursa Física 1 en las mismas condiciones. Uno de los investigadores acompañó en todas las clases del semestre a los dos docentes, en sus clases respectivas. Los objetivos generales del acompañamiento pedagógico, con relación al proceso de E/A implementado en ese momento por el docente respectivo, fueron los siguientes:

- hacer surgir evidencias de deficiencias en los aprendizajes de los estudiantes relacionadas con la metodología de E/A empleada en las aulas;
- diseñar, con base en las observaciones, herramientas de recogida de información relevante que permitieran recoger información (evidencias) que guiaran la posible innovación.

Para el logro de estos objetivos se analizaron todos los aspectos de la práctica docente. En la Fig. 1 se esquematiza la complejidad de la tarea docente en la Universidad, que incluye elementos de la misión de la Universidad, temas inter e intradepartamentales, limitantes estructurales (a los que nos referiremos en otro lugar), cuestiones de comunicación y, por supuesto, todos los elementos del proceso de E/A (evaluación, alineamiento entre objetivos, metodologías y evaluación, etc.).

Figura 1. Complejidad del proceso de enseñanza-aprendizaje en la docencia universitaria



En la aplicación de la estrategia REUBE en nuestro caso hay que tener en cuenta que, por ser el experto en didáctica de la Física un docente también experimentado en la enseñanza de la misma a nivel universitario, la comunicación con los docentes de los grupos “intervenidos” era muy fluida, y despojada de posibles prejuicios sobre “pedagogía” o “teorías educativas”, es decir, que el lenguaje de comunicación contenía los elementos pedagógicos necesarios, pero adaptados a un lenguaje aceptable para los docentes universitarios de Física, que no suelen tener (ni, en muchos casos, ser conscientes de la necesidad de) una formación pedagógica básica. Otra consecuencia importante de la experiencia del acompañante como docente universitario y experto en PER/IEF es que resultaba innecesario un “diagnóstico” previo del proceso de E/A, pues esta información se halla descrita en la abundante bibliografía sobre didáctica de la disciplina.

El experto en PER/IEF asistía a todas las clases de teoría de los dos docentes, y se reunía con ellos unos minutos, de manera informal (descanso del café) tras cada clase. Durante estas reuniones se planificaba de manera incremental (y sin un plan específico previo), qué actuaciones serían deseables y cuáles eran posibles de realizar de inmediato. El experto también colaboraba en la implementación en el aula de las pruebas propuestas con el propósito de extraer evidencias sobre posibles deficiencias en el proceso de E/A. Además, la actuación del experto era proactiva: una vez acordada alguna actuación con el docente correspondiente, el experto generalmente tomaba la iniciativa para implementarla. Una característica importante de la actuación del experto fue tomar la iniciativa para proponer acciones, así como para suministrar pequeñas dosis de “material para la reflexión” (*food for thought*) sobre la práctica docente, en forma de breves lecturas extraídas de publicaciones en el campo de la PER/IEF.

Los planes del seguimiento del proceso de E/A fueron siempre abiertos (y no

formalizados). Las ideas (tanto por parte del profesor como del experto) surgieron en cada momento del proceso de acompañamiento pedagógico, a la vista de las evidencias que se iban acumulando. De esta manera, muchas propuestas se convertían en obvias y necesarias, y constituían la base para una reestructuración más a fondo de la práctica docente. Por ejemplo, como veremos más adelante, así surgieron las propuestas de crear la figura del super-asistente, de usar *clickers* (tarjetas de respuesta), de incentivar el trabajo en los cuestionarios en línea mediante preguntas en los exámenes parciales y, la más importante de todas, la propuesta de que las clases de “teoría” fueran lo más activas posible por parte de los estudiantes.

Herramientas y muestra utilizadas

Para obtener evidencias tras el planteamiento de actividades, tanto en el aula de teoría como en el resto del proceso de E/A, se utilizaron los siguientes instrumentos:

- redes de análisis (de textos y de observaciones de clase);
- cuestionarios abiertos y semiabiertos (a los estudiantes);
- entrevistas semiestructuradas a los estudiantes y a los docentes (profesores y docentes asistentes).

Dada la dificultad de introducir cuestionarios y test durante las horas de clase, por la gran densidad del programa, así como la gran concentración de materias y de horas de clase presenciales que tienen los alumnos, se recurrió a herramientas en la nube (Becerra *et al.*, 2011) para desarrollar los siguientes cuestionarios:

- cuestionarios para incentivar el trabajo de los estudiantes;
- encuestas anónimas para obtener información sobre las percepciones de los estudiantes sobre la asignatura;

- cuestionarios en línea a los docentes asistentes.

En resumen, las principales actuaciones llevadas a cabo para la obtención de las evidencias que describiremos en la sección siguiente fueron:

- asistencia a todas las clases de los docentes a quienes se practicó el acompañamiento pedagógico;
- informes para mejorar la coordinación entre las clases de teoría y de problemas;
- pruebas de ejercicios y talleres para tratar de conseguir clases más activas, menos magistrales;
- cuestionarios en línea para favorecer el trabajo entre clases teóricas;
- ejercicios de F1, de repaso para el examen final de F2;
- creación del Grupo PER/IEF-UniAndes para el intercambio de opiniones, ideas, artículos, etc.

En cuanto a la muestra de estudiantes con que se trabajó durante el semestre, hay que notar que éstos tienen la opción de abandonar el curso, sin penalización académica, tras la 8ª semana del semestre, cuando ya han realizado dos exámenes parciales y tienen asignado un 30 por ciento de la calificación del curso. Los resultados que daremos en este trabajo se refieren al conjunto de 130 estudiantes de dos grupos de Física de tercer semestre (Física 2) que quedaron tras el retiro de 25 por ciento de ellos de cada curso, aproximadamente. En este trabajo no investigamos las causas que subyacen a los elevados porcentajes de retiros y de reprobación en estos cursos básicos, pero se dispone de datos de varios semestres y las cifras de abandono son bastante estables en el tiempo. Cabe mencionar, sin embargo, que uno de los objetivos de esta innovación didáctica es reducir el porcentaje de retiros en futuras ediciones del curso.

EVIDENCIAS: LOS DATOS BÁSICOS DEL REUBE

El objetivo principal de la estrategia REUBE para promover la renovación didáctica en la Universidad es recoger evidencias que muestren al profesor que esta renovación es conveniente y necesaria. Se trata de recopilar datos concretos sobre los estudiantes de los docentes implicados. Sólo con evidencias personalizadas, relativas a los estudiantes del propio docente, y que muestren claramente las problemáticas detectadas, se podrá comenzar a concienciar al docente de la necesidad de introducir cambios, y a implementarlos. En esta línea, mostraremos a continuación algunas de las evidencias de deficiencias encontradas en el proceso de E/A de la Física de pregrado en nuestra Universidad. Comentaremos brevemente, en cada caso, qué acción se llevó a cabo, con el fin de recabar datos que sustenten un rediseño más global de las prácticas docentes en la asignatura implicada. Hay que resaltar, de entrada, que habitualmente no hacen falta *muchas* evidencias para que un docente universitario se percate de que existe un problema que hay que abordar e intentar resolver. Numeraremos las evidencias para podernos referir fácilmente a ellas, pero no se presentan en ningún orden específico.

Evidencia #1: no hay pre-lectura. Una encuesta anónima en línea sobre hábitos de estudio de los estudiantes, y varias consultas en el aula, en semanas diferentes, permitieron detectar que, a pesar de las indicaciones contenidas en el *syllabus* de la materia, y de las indicaciones del docente, más de 85 por ciento de los estudiantes no efectúan de manera regular la pre-lectura de los materiales que se trabajarán en clase. Este problema es especialmente severo, porque todo el planteamiento teórico de la asignatura se basa, en principio, en la pre-lectura y el trabajo autónomo de los estudiantes.

La consecuencia de esta realidad, percibida por los docentes (aunque no se tenían

evidencias cuantitativas de su grado de veracidad), es que los profesores “explican” la materia presuponiendo que los estudiantes no han preparado las clases. En descarga de los estudiantes hay que notar, sin embargo, que cuando se les pregunta por la cantidad de horas de trabajo presencial en aulas y laboratorios por semana, este número es del orden de 25 horas o más, por lo que el modelo teórico que impulsa la Universidad de 2x1 (dos horas de trabajo autónomo por cada hora lectiva) es inaplicable en la práctica. Hay, pues, una contradicción entre el modelo de créditos ECTS (*European Credit Transfer System*, Dias Sobriho, 2005), que ha adoptado la Universidad, y la carga académica tradicional (sesiones presenciales de aula) que se exige a los estudiantes cada semana.

Para paliar las consecuencias de este hecho se programaron nuevas pre-lecturas, de extensión mucho más reducida, que sirvieron de apoyo a las clases teóricas. Más adelante se discutirá cómo se integra esta propuesta en un modelo global revisado del proceso de E/A de la Física.

Evidencia #2: poco trabajo entre clase y clase. Otra evidencia que se constató es que los estudiantes no trabajan suficientemente en el periodo comprendido entre las clases de teoría o de problemas. En tres clases de teoría seguidas se preguntó a los estudiantes de un curso si habían tenido alguna dificultad en la resolución de una tarea propuesta para la casa. No hubo respuesta significativa (sólo un alumno reaccionó, y con una cuestión superficial). Ante la pregunta directa de quién había abordado la tarea, la respuesta mayoritaria (más de 90 por ciento de los estudiantes) fue negativa. Además, en la encuesta en línea sobre hábitos de estudio mencionada en la anterior evidencia, se apreció que sólo 15 por ciento de los estudiantes dedica al menos una hora al estudio de la materia entre una clase teórica y la siguiente.

Como medida para corregir este problema se diseñaron cuestionarios en línea que se

trabajaban entre clase y clase, y que contenían preguntas, ejercicios y actividades de enlace entre las mismas. La respuesta en cuanto a participación de los estudiantes en esta actividad (extraordinaria y opcional) fue muy positiva: más de 50 por ciento de ellos trabajó estos cuestionarios de manera regular a lo largo del semestre.

Evidencia #3: descoordinación teoría-problemas. También se detectó un problema de coordinación entre las clases de teoría y de problemas. Los docentes de cada ámbito no conocían con detalle, ni de forma regular, lo que acontecía en las clases respectivas.

Se intervino sobre esta deficiencia mediante cuestionarios breves en línea que cada docente rellenaba en pocos minutos al terminar cada clase. Ello permitió la comunicación regular de las apreciaciones de los docentes asistentes sobre la preparación y carencias detectadas en los estudiantes, como se verá en la evidencia 14.

Evidencia #4: uso en exclusividad de las clases magistrales. La docencia de las asignaturas de Física de pregrado se planteaba, prácticamente en su totalidad, en forma de clases magistrales expositivas por parte de los docentes y con actitudes pasivas por parte de los estudiantes. Una simple observación desde una posición situada en la mitad o el final del aula permite apreciar que el grado de atención de los estudiantes es muy bajo, y los distractores de su atención son muchos (especialmente en forma de portátiles, celulares, etc.). También se aprecia en las encuestas de los alumnos: “No me parece bueno que sea una clase magistral ya que es difícil concentrarse y las personas que quedan al final del salón muchas veces no escuchan o no ven el tablero”.

Tras comentar algunas veces con los docentes que la PER/IEF muestra que las lecciones magistrales no obtienen los resultados deseados (Mazur, 1996), se hicieron las pruebas siguientes en unas cuantas sesiones de teoría:

el profesor introducía algún ejercicio para que lo desarrollaran los estudiantes, y tanto el profesor como el acompañante pedagógico se paseaban por el aula. Se constataba que los estudiantes no sabían por dónde empezar a resolver el ejercicio. De esta forma, el profesor comenzaba a darse cuenta de que algo no funcionaba como él esperaba, pues aquellos ejercicios que el docente suponía de resolución sencilla, a la vista de la explicación teórica que acababa de proporcionar, no eran percibidos como sencillos por los estudiantes.

Esta evidencia, que se hizo cada vez más clara con el paso del semestre, condujo a un replanteamiento total de las clases teóricas, como veremos más adelante.

Evidencia #5: demostraciones en el aula poco aprovechadas. Tal como se mencionó, desde hace pocos semestres se introdujo en las materias de F1 y F2 la novedad de que un monitor del departamento efectúa, durante los primeros minutos de la clase de teoría, una demostración experimental relevante para el capítulo de la asignatura que se va a iniciar. Estas demostraciones (UniAndes, 2011) se producen unas seis veces a lo largo del semestre. Se constató empíricamente (a partir de los cuadernos de aula de los estudiantes, así como de la exploración de las actividades en las sesiones complementarias), que las “demostraciones” experimentales hechas en la clase de teoría no se aprovechan, pues no constaba que se retomaran en ejercicios o discusiones de la materia. La observación efectuada durante el seguimiento de las clases teóricas constató también que el docente tampoco hacía referencia a las demostraciones de aula salvo en muy contadas ocasiones, y de manera tangencial.

Una forma posible de aprovechar más estas experiencias, que pueden ser de gran ayuda para producir cambios conceptuales y actitudinales en los estudiantes, es que ellos mismos las lleven a cabo para sus compañeros (Soler-Selva y Gras-Martí, 2003). Se puede

preparar un grupo de dos a tres estudiantes (voluntarios, por ejemplo, y diferentes para cada práctica) de manera que sean capaces de hacer estas demostraciones. Esta propuesta se planteó para un semestre futuro.

Resulta más inmediato y sencillo, por otra parte, integrar los experimentos demostrativos con cuestiones y ejercicios de las clases de teoría y de problemas.

Evidencia #6: problemas rutinarios, descoordinados, poco conceptuales. La PER/IEF ha denunciado repetidamente (Becerra *et al.*, 2005) que los problemas de Física que trabajan habitualmente los estudiantes (y que se proponen en los libros de texto tradicionales) son poco conceptuales, rutinarios y descoordinados, y no se corresponden a lo que se entiende como problema. Además, la forma como se trabaja la resolución de problemas en F1 y F2 es la siguiente: en algunos casos el profesor pasa una lista de problemas del libro de texto recomendado para que los trabajen los estudiantes en las sesiones complementarias (sesiones de problemas); en otros casos, son los propios docentes asistentes quienes proponen los problemas a realizar. Si tenemos en cuenta que no hay suficiente coordinación entre las sesiones teóricas y las de resolución de problemas podemos concluir que este procedimiento no es muy eficiente en términos del proceso de E/A.

Como propuesta de futuro se planteó el rediseño de las clases de teoría y de problemas, de manera que verdaderamente se trabajen problemas, y de forma coordinada.

Evidencia #7: hábitos de estudio irregulares a lo largo del semestre. Se preguntó a los estudiantes en una encuesta a mitad de semestre sobre sus hábitos de estudio. Se obtuvo un 67 por ciento de respuestas. Sólo 20 por ciento de los estudiantes dedica más de tres horas a la semana a la asignatura, y más de 50 por ciento dedica entre una y dos horas. Además, la mayor parte de esta dedicación se produce los fines de semana. Sólo en vísperas de exámenes

aumenta la dedicación a la asignatura de forma ostensible.

Como plan de acción futura se planteó la necesidad de que los estudiantes tengan tareas que les inciten a desarrollar un trabajo regular de la asignatura. Uno de los elementos de este plan es el considerado en la evidencia #2.

Evidencia #8: ausencia de retroalimentación en los exámenes, y de modelos de examen. Hay que resaltar que el docente que imparte clases de teoría no corrige los exámenes parciales, aunque sí los formula. Otro de los asistentes (denominado “monitor”, y que no tiene interacción alguna con los estudiantes del curso) corrige estos parciales. El examen final es de dos horas de duración; se propone en forma de preguntas de respuesta múltiple, y lo constituyen entre 20-25 ejercicios o problemas que se pueden resolver, cada uno, en pocos minutos. Este examen se corrige de manera automática y no queda en poder del alumno ni lo revisa el profesor.

Por otra parte, los exámenes parciales no se suelen devolver a los estudiantes. Los estudiantes tampoco tienen acceso a parciales de semestres anteriores, ni a modelos de examen final. Este hecho va contra las tradiciones de muchos departamentos o profesores de Física del mundo, que colocan en Internet los ejercicios, los exámenes, etc., con sus resoluciones, para que sirvan de muestra y para que puedan practicar los estudiantes. Como forma de resolver este problema se confeccionó una página web donde el profesor puede colocar los elementos de ayuda anteriores. Este hecho fue muy valorado por los estudiantes en las encuestas hechas a mitad de término.

Evidencia #9: deficiente repaso para el examen final. Dada la extensión y la densidad de los contenidos de las materias de F1 y F2, habitualmente no existen mecanismos de acompañamiento pedagógico a los estudiantes en el proceso de repaso para el examen final. Este hecho, unido al mencionado en el punto

anterior, y a la saturación de actividades presenciales, hace que los estudiantes estén poco preparados para dichos exámenes. El plan de estudio semestral no deja tampoco un periodo suficientemente largo entre el fin de las clases del curso y el inicio de los exámenes finales. Este periodo habitualmente es de pocos días.

Por otra parte, aunque el examen final de la asignatura F2 contiene un porcentaje elevado (del orden de 20 por ciento) de preguntas de la asignatura de F1, que muchos estudiantes cursaron dos semestres atrás, no se ha establecido ningún sistema de repaso coordinado, y la preparación del examen final se deja en manos de los estudiantes. Además, los estudiantes prácticamente no reciben información sobre el examen final; como muestra puede verse una pregunta de un alumno a dos días del examen final, que le fue planteada al asesor pedagógico, no al profesor del curso: “Quisiera hacerte unas preguntas acerca del parcial final. La verdad no estoy bien informada acerca de dicho parcial: ¿Tanto la parte de F1 y F2 son de selección múltiple? ¿Las preguntas son del tipo que el profesor XX nos hacía en los parciales? ¿El parcial lo elabora el profesor?”.

Como se ha dicho también en la evidencia #8, en el departamento hay poca tradición de dar a conocer exámenes pasados, especialmente los exámenes finales, comunes a todos los grupos. Además, en las últimas semanas del semestre de F2, cuando se están abordando los temas más difíciles del electromagnetismo, los estudiantes tienen una enorme presión con el estudio de los contenidos de F2 y no tienen tiempo suficiente para repasar la primera parte del curso (elementos de termodinámica), y mucho menos la asignatura de F1. Como consecuencia de todos los hechos anteriores, y aunque el examen final contiene un porcentaje suficiente de cuestiones básicas y sencillas, de forma que casi 50 por ciento de las preguntas se podrían responder con los conocimientos más básicos de las materias de F1 y F2, los estudiantes no disponen de preparación suficiente

para afrontar con seguridad este examen. El remedio a esta situación, que redundaba en una peor preparación y resultados de los estudiantes, no es sencillo, porque los contenidos de la materia de F2 son tan extensos que saturan el calendario y no dan la posibilidad de que se programen sesiones de repaso y de preparación para el examen final.

Para paliar ligeramente esta situación se propuso la inclusión de problemas de F1 en los cuestionarios semanales en línea de F2 (evidencia #2), basados en el trabajo de White (2011) y, también, de cuestiones cualitativas de repaso en todos los cuestionarios semanales. Además, se inició con carácter regular el envío de “un problema de repaso al día”, al correo electrónico de los estudiantes. Esta medida fue valorada muy positivamente por los estudiantes; como muestra este correo de una alumna: “¡Gran idea! Eso va a ayudar mucho a aterrizar las cosas. No sé si las alcance a responder todas en el tiempo establecido, pero para el parcial final tendré un banco de preguntas que me ayudarán a consolidar mi conocimiento. Agradezco tu colaboración”.

Evidencia #10: poco aprovechamiento de los recursos de comunicación virtual. No se utilizan suficientemente las herramientas disponibles de comunicación virtual profesor-estudiantes. Aunque la Universidad dispone de un aula virtual con todos los elementos más actualizados de los LMS (*learning management systems*, o sistemas de gestión de contenidos), como foros, *blogs*, *wikis*, generadores y autocorrectores de test, etc., no se hace uso de casi ninguno de ellos. Tampoco se aprovechan las herramientas de tipo social. Eso dificulta la retroalimentación profesor-alumno.

Para remediar parcialmente esta situación se implementó un grupo de debate en Google que incorporaba a los estudiantes de los dos grupos. Con ello se consiguió, además, crear un grupo más extenso de docentes y de estudiantes, el correspondiente a dos secciones de F2, y romper el aislamiento de cada grupo de

la asignatura. Las cuestiones o dudas planteadas al grupo de debate eran contestadas por algún alumno o por algún docente. Los estudiantes apreciaron esta forma de intercambio, como se reflejó en las encuestas finales de la asignatura: un 70 por ciento recomendaría que se abordara este tipo de comunicación y de debates en línea en otras asignaturas.

Evidencia #11: contenidos demasiado extensos. Como se ha mencionado en la evidencia #9, los contenidos de la materia de F2 son demasiado extensos para el tiempo disponible. Al comparar los contenidos de esta asignatura con una asignatura similar de la EHU (Euskal Herriko Unibertsitatea/Universidad del País Vasco) constatamos que la asignatura de nuestra Universidad contiene cinco semanas de introducción a la termodinámica que no está contenida en la asignatura de la EHU. Así y todo, los estudiantes vascos tienen un 20 por ciento de tiempo mayor para trabajar los contenidos de electromagnetismo de la asignatura, que tiene dificultades conceptuales bien estudiadas en la bibliografía PER/IEF (Guisasola *et al.*, 2004). Además, los estudiantes de la EHU trabajan activamente en clase los contenidos a partir de un programa-guía especialmente elaborado, teniendo en cuenta los resultados de la investigación didáctica. Los materiales docentes desarrollados por este equipo de investigadores en PER/IEF se encuentran libremente disponibles en línea (Guisasola Aranzabal *et al.*, 2009).

Aunque la ampliación del tiempo disponible para la asignatura de F2 no es posible sin una modificación del plan de estudios, se aprovechó el acceso a los materiales didácticos proporcionado por la EHU para probar la viabilidad de plantear una enseñanza más activa en la clase de teoría. Así, se utilizaron durante dos semanas de clase los programas-guía de actividades elaborados por un colega de la EHU (Guisasola *et al.*, 2009). El experimento resultó bien apreciado por los estudiantes, que participaron activamente de los

grupos de trabajo en el aula, bajo la orientación del docente y del acompañante pedagógico. En una encuesta en línea se valoraron de la siguiente manera estas sesiones de enseñanza activa con materiales especialmente elaborados: 63 por ciento de los estudiantes preferían este método y estos materiales a los del libro de texto recomendado; 24 por ciento de estudiantes preferían el libro de texto, y 13 por ciento era indiferente.

Evidencia #12: libro de texto poco adecuado. El libro de texto elegido para la asignatura de F2 no parece el más adecuado. En efecto, en la traducción del texto que se utiliza (Halliday *et al.*, 2009) se ha detectado un buen número de erratas, algunas muy importantes, tanto en expresiones matemáticas como en la definición de conceptos y de términos. Además, muchas frases resultan incomprensibles en la traducción. Estos hechos se demuestran por las constantes reclamaciones de los estudiantes en el aula, así como en sus mensajes de correo al grupo de debate. En la encuesta de mitad de semestre sólo 30 por ciento de los alumnos se mostraba satisfecho con el libro de texto recomendado (aunque 25 por ciento de ellos consultaba ocasionalmente otro texto), y 40 por ciento no lo utilizaba, sino que usaba otro diferente. Un 17 por ciento de alumnos no consultaba regularmente ningún texto.

Una posibilidad que se plantea para remediar esta situación es el manejo de materiales de trabajo y de estudio diseñados especialmente para la asignatura, en la línea de los diseñados por Guisasola *et al.* (2009), o por McDermott (1996), que están basados en los resultados de la PER/IEF. Más adelante, en este mismo escrito, volveremos sobre este punto.

Evidencia #13: opiniones de los estudiantes. Las encuestas oficiales que tradicionalmente realiza nuestra Universidad al final de cada semestre para que los estudiantes valoren la materia y el desempeño del docente, mostraban valoraciones positivas sobre la actitud o

conocimientos del profesor, pero más negativas sobre su práctica como docentes. Algunos ejemplos son: “Excelente profesor, pero pienso que las clases de Física no deberían ser magistrales, sino al estilo del cálculo diferencial [más personalizadas]”; “Las explicaciones muchas veces no son claras, tienden a ser confusas y un poco desviadas del programa del curso”; “Su metodología/pedagogía del aprendizaje no motiva en absoluto el interés por la materia”. Sin embargo, tras la experiencia de las clases más activas (evidencia #4), así como los ejercicios propuestos en línea entre clase y clase (evidencias #2 y #9), los estudiantes destacaron estos elementos como positivos en la encuesta de final de semestre: “Los talleres propuestos en clase ayudan e incentivan el querer aprender sobre los temas”; “Enviar más talleres con los cuales los estudiantes puedan trabajar”. Como se ha comentado también en la evidencia #4, esta opinión está en la línea del conocido artículo de Mazur (1996), donde se cuestiona la efectividad de las clases magistrales.

Evidencia #14: opiniones de los docentes asistentes. Los asistentes mencionan reiteradamente en los informes en línea de sus clases (véase la evidencia #3) que los estudiantes no preparan adecuadamente las actividades de las sesiones complementarias. En efecto, dicen que “Hay que insistir en que los estudiantes hagan ejercicios antes de llegar a la sesión. Quienes llegan con dudas concretas son los que más aprovechan la clase”. Y también: “Los estudiantes que intentan hacer problemas antes de la clase y llegan con dudas específicas son quienes más aprovechan la clase”. También denuncian la baja preparación matemática: “Los conceptos físicos son trabajados correctamente, pero existen deficiencias matemáticas que se podrían corregir en otros cursos”. Por último, detectan falta de comunicación entre las clases teóricas y las de problemas: “Relacionar lo visto en clase con los ejercicios desarrollados”.

Esta información es muy valiosa para remodelar el proceso de E/A y se pudo obtener gracias a los mecanismos de comunicación que se establecieron entre los ámbitos docentes de teoría y de problemas (evidencia #3).

Evidencia #15: deficiente manejo de lenguajes no algorítmicos. En la resolución de los ejercicios y problemas que se trabajan habitualmente, los estudiantes no ejercitan el manejo de todos los lenguajes de la ciencia (verbal formal, verbal informal, tabular, algebraico, algorítmico, gráfico, etc.). Este es un hecho denunciado reiteradamente por la bibliografía en PER/IEF (Becerra *et al.*, 2005 y 2007). En los cuestionarios en línea que se aplicaron a lo largo del semestre se propusieron a menudo cuestiones de tipo cualitativo, que sólo se podían responder con palabras y no con el manejo de ecuaciones o fórmulas, lo que dejó ver las grandes dificultades de expresión verbal de los estudiantes. Además, hay que constatar como un hecho significativo que uno de los estudiantes comentó, en una entrevista, que tras muchos cursos de Física preuniversitaria, y en su segundo año de Física en la Universidad, era la primera vez que veía que “en Física se podían usar palabras”. Una constatación del hecho de que muchos docentes de Física se quedan en el puro manejo de fórmulas, en los procesos algorítmicos y repetitivos.

Como forma de corregir estos déficits formativos se propone continuar manejando cuestiones de tipo conceptual y cualitativo en los cuestionarios en línea y en las propuestas de ejercicios para la clase de problemas.

Evidencia #16: poca relación con los intereses de los alumnos. Los alumnos no perciben que los contenidos de las materias de F1 y F2 tengan relación con sus intereses en las otras materias de pregrado. Este hecho se refleja en las encuestas de opinión de mitad y de fin de semestre. Cuando se introdujeron algunos talleres con ejercicios directamente relacionados con temas de interés en el pregrado

correspondiente a determinados alumnos, se constataron opiniones positivas: “Me parece importante que realicen más talleres. Los problemas del libro son buenos, pero es necesario realizar talleres que involucren la Física con las aplicaciones a la Biología o Medicina”.

Hay muchas más actividades que se podrían haber implementado para recoger evidencias de más aspectos del proceso de E/A. Por ejemplo, el experto en PER/IEF podría haber tomado el papel del docente durante algunas semanas para comparar las prácticas de ambos y discutir posibles ventajas/desventajas. Esta opción resulta muy complicada en una asignatura tan densa en contenidos como F2, pero se podría implementar en F1.

También se podrían analizar las correcciones de los parciales que realizan los monitores. Y se podría investigar la posible correlación entre los resultados de los parciales y el examen final, o entre los resultados de la asignatura de F1 y los de F2.

Con las 16 evidencias descritas en este apartado, junto con las consideraciones que haremos a continuación en torno a los limitantes estructurales con que se enfrenta todo proceso de renovación pedagógica, podremos configurar una propuesta amplia de renovación del proceso de E/A de la Física en nuestra Universidad.

Para terminar esta aplicación de la estrategia REUBE al proceso de E/A de la Física de pregrado de la Universidad de los Andes diremos que como consecuencia de su puesta en práctica se obtienen datos sobre lo que denominamos “factores limitantes” o “limitantes estructurales”, es decir, aquellos factores que sería deseable intervenir en la innovación pedagógica, pero sobre los cuales la incidencia es bastante difícil porque, o bien pertenecen al modelo y marco de actuación general imperante en la Universidad, o bien afectan a su infraestructura tecnológica o física. 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, pueden constituir fuertes limitantes a los cambios que se pueden proponer en el proceso de E/A. Pero aunque estos limitantes estructurales pueden condicionar fuertemente la introducción de innovaciones, no han de constituir una excusa para postergar el inicio de las mismas. Uno de los principios básicos de la estrategia REUBE es que la 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 superan el ámbito del docente individual y su grupo de estudiantes. En la sección siguiente separaremos las evidencias que son de tipo más estructural.

DISCUSIÓN Y BASES PARA UN REDISEÑO

De cada aspecto del proceso de E/A que hemos analizado en el apartado anterior, hemos proporcionado una breve discusión de los resultados de la intervención pedagógica y las (mínimas) evidencias necesarias. Plantearemos ahora una propuesta global de innovación didáctica para un semestre completo, que puede ayudar a resolver algunos de los problemas planteados, y renovar significativamente el proceso de E/A de la Física de pregrado en esta Universidad.

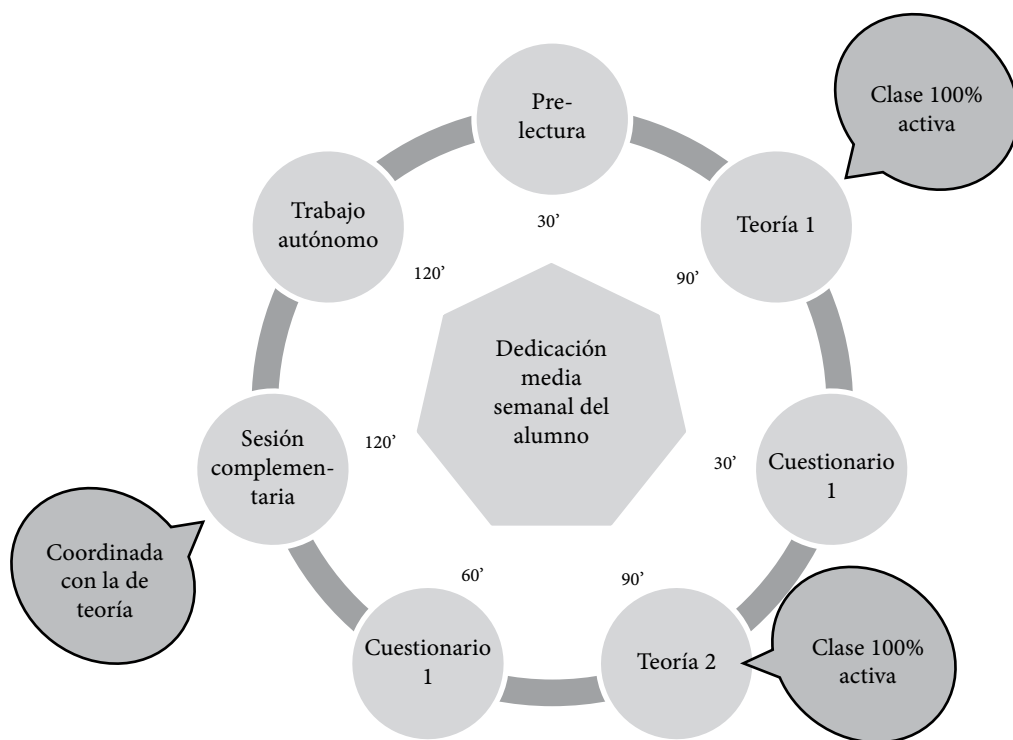
Cuadro 1. Evidencias para la renovación docente, clasificadas por tipo

Tipo	Evidencia
Evidencias sobre la actuación de los discentes	#1: no hay pre-lectura #2: poco trabajo entre clase y clase #7: hábitos de estudio irregulares a lo largo del semestre #9: deficiente repaso para el examen final #13: opiniones de los estudiantes #15: deficiente manejo de lenguajes no algorítmicos
Evidencias sobre la actuación de los docentes	#3: descoordinación teoría-problemas #4: uso en exclusividad de las clases magistrales #5: demostraciones en el aula poco aprovechadas #6: problemas rutinarios, descoordinados, poco conceptuales #8: ausencia de retroalimentación en los exámenes, y de modelos de examen #14: opiniones de los docentes asistentes
Evidencias que afectan el ámbito departamental o institucional	#10: poco aprovechamiento de los recursos de comunicación virtual #11: contenidos demasiado extensos #12: libro de texto poco adecuado #16: poca relación con los intereses de los alumnos

En el Cuadro 1 se recogen las evidencias reseñadas en el apartado anterior agrupadas en tres categorías o tipos: evidencias sobre los discentes, evidencias sobre los docentes y evidencias que afectan el ámbito departamental o institucional. También hemos encontrado un par de evidencias adicionales importantes que se refieren a las preconcepciones de los docentes (sobre estudiantes buenos y malos) y a la institución (coordinación entre pregrados), que entrarían en la tercera de las categorías anteriores.

En la Fig. 2 se recoge el modelo global de innovación propuesto, centrado en el trabajo del estudiante. El modelo se basa en una distribución temporal de tareas semanales que deben de desarrollar tanto los docentes como los discentes, así como la metodología con la que se abordará cada una de estas actividades. Como puede verse, la semana se inicia con prelectura breve previa a la clase (30 minutos, vértice superior de la Fig. 3), que prepara al alumno para la primera clase de teoría (T1). Esta clase, al igual que la segunda (T2), será eminentemente

Figura 2. Un modelo de siete vértices de dedicación del estudiante a la asignatura



activa, es decir, se aleja del carácter de clase magistral que tenía la docencia de la Física antes del ejercicio de acompañamiento pedagógico descrito en este trabajo. En las clases teóricas se contempla el uso de sistemas de seguimiento y de retroalimentación instantánea, como las “tarjetas de respuesta”. A continuación de la T1 se mandará a los estudiantes un cuestionario breve en línea, para incidir en la materia trabajada en la clase teórica; lo mismo ocurre tras la T2, pero esta vez el cuestionario contiene ejercicios de mayor complejidad y duración. Cierra la semana la sesión complementaria, con contenidos bien coordinados con los trabajados en las dos clases teóricas. Hay un margen adicional de dos horas para el trabajo autónomo de los estudiantes.

Por otra parte, la aplicación del modelo exige la elaboración (o recopilación) de materiales para las actividades siguientes: prelectura, las dos clases de teoría, los dos cuestionarios en línea y la sesión complementaria.

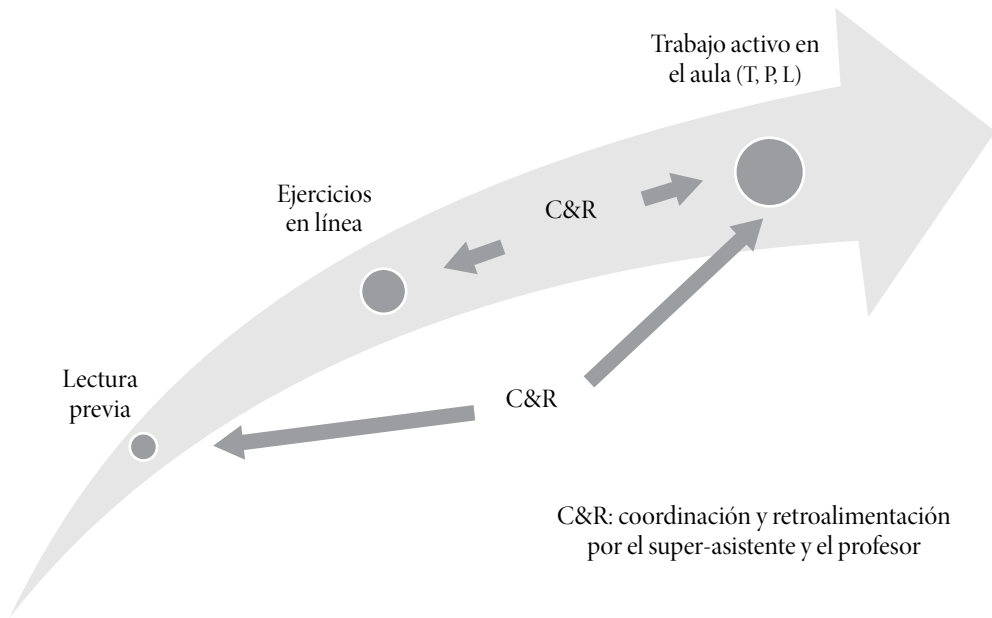
Para la elaboración de los materiales de prelectura nos guiaremos por las propuestas del llamado Método de Enseñanza por Investigación (MEPI) (Martínez-Torregrosa *et al.*, 2003). Según esta propuesta, el docente diseña un programa-guía de actividades para el trabajo en el aula y fuera de ella, que parte de una situación problemática, estructurante y globalizadora inicial, que genera un hilo conductor temático. Este hilo conductor se basa en una secuencia no arbitraria de temas y de actividades que plantea problemas más precisos, abordan problemas abiertos, genera nuevos problemas y utiliza la epistemología científica. El diseño de las actividades que han de realizar los estudiantes permite frecuentes recapitulaciones al principio y al final de cada tema y del curso. Estas actividades deben orientar al estudiante y permitirle elaborar un cuerpo de conocimientos coherentes, en forma de síntesis.

Un elemento muy importante que se evidenció en el presente acompañamiento

pedagógico es la necesidad de disponer de mecanismos de coordinación entre los distintos espacios de la asignatura. Con este fin se diseñó un mapa metodológico, que se muestra en la Fig.3. La coordinación y retroalimentación entre las sesiones de teoría (T), problemas (P) y laboratorio (L) corren a cargo del docente y se apoyan en la figura de un super-asistente,

es decir, en uno de los asistentes que apoya al docente en las sesiones de teoría, y que sirve de enlace con los docentes asistentes de las sesiones complementarias. Con este fin se propone, por ejemplo, eliminar una sección de problemas y crear la figura del super-asistente de apoyo y coordinador (de problemas con teoría).

Figura 3. Mapa metodológico para la coordinación entre los distintos espacios de la asignatura

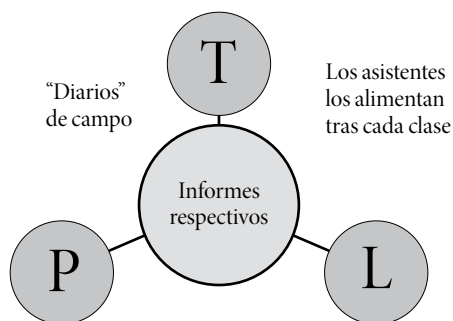


Uno de los componentes básicos del diseño propuesto son las herramientas para la coordinación entre los tres ámbitos de la asignatura (Fig. 4). Con ello se pretende evitar los problemas mencionados en el apartado anterior. Los diarios de campo de los docentes de cada ámbito se basan en breves formularios en línea que rellenan tras cada clase, o en *blogs* personales y de acceso restringido a los docentes. El super-asistente mencionado en la Fig. 3 es el responsable de analizar y hacer propuestas en función de los informes contenidos en los diarios de campo.

En relación con los contenidos de las materias de F1 y F2, el plan de innovación contempla una modalidad diferente para la

asignatura de F1. Se propone cubrir el temario de la asignatura en dos vueltas: en una primera vuelta, que comprende un poco más de la mitad del semestre, se cubrirán a nivel introductorio todos los conceptos del curso. En la segunda vuelta se integrarán los conceptos y se introducirán también aplicaciones a las materias de pregrado de interés de los alumnos. Un objetivo de este planteamiento de los contenidos en espiral a dos vueltas es que cuando se propongan ejercicios o problemas en la segunda parte del curso, los alumnos dispondrán de todo el bagaje de conceptos y leyes básicas de la asignatura, y podrán plantear la resolución a partir de todos ellos (Gras-Martí *et al.*, 2006).

Figura 4. Herramientas para la coordinación entre las sesiones de teoría (T), problemas (P) y laboratorio (L)



Con el plan propuesto se pretende lograr los objetivos que recoge el Cuadro 2. Estos objetivos están totalmente alineados con los principios de misión de nuestra Universidad. Así, se propone el desarrollo y puesta en práctica de metodologías innovadoras en la docencia, de modo que se mejore el proceso de E/A de los estudiantes.

Cuadro 2. Objetivos del rediseño del proceso de E/A

- Los aprendizajes sean más significativos y duraderos.
- Los alumnos sean capaces de razonar sobre fenómenos físicos, con el uso de todos los lenguajes de la ciencia (verbal, algebraico, gráfico, tabular, etc.).
- Los alumnos sean capaces de modelar fenómenos físicos, con ayuda de las matemáticas.
- Los temas enseñados estén integrados con los pregrados de los alumnos.
- Se reduzca el porcentaje de retiros.
- Los alumnos trabajen de forma constante entre clases y activamente en las clases.
- Mejore la actitud de los estudiantes hacia la Física.
- Mejore la satisfacción del docente en su trabajo.
- Se mejoren los resultados del examen final, y de la asignatura en general.

En cualquier programa de innovación docente es fundamental considerar los instrumentos de evaluación (Alonso, 1994). Las opciones que se proponen con este fin incluyen: cuestionarios en línea para analizar los posibles cambios actitudinales de docentes y discentes, el análisis de los exámenes y la comparación de los resultados de los exámenes y de los índices de abandono y reprobación con los grupos no intervenidos o de control. Antes de cada semestre se propondrán pretests que permitirán investigar los aprendizajes obtenidos con el desarrollo del curso.

El rediseño concreto de los aspectos relacionados con la evaluación será objeto de otro trabajo. Asimismo, se analizará la posibilidad de generar un ambiente virtual de aprendizaje (Osorio, 2010) para F1 y F2 que oriente y apoye a discentes y docentes, y que

sirva de referencia para colegas que busquen la innovación.

La propuesta de innovación en los frentes que se acaban de describir, consecuencia de la discusión de las evidencias presentadas, constituye el punto de partida para el diseño de un proceso renovado de E/A de la Física en nuestra Universidad, que se está implementando en la actualidad. En un trabajo posterior describiremos con más detalle los resultados que se han obtenido tras la implementación de esta propuesta de renovación.

Digamos, para terminar, que para facilitar la lectura y el debate sobre cuestiones básicas del proceso de E/A de la Física, especialmente de los trabajos más fundamentales en el campo, se creó un grupo en Google llamado "PER Uniandes", al cual se inscribieron los docentes que estaban siendo acompañados, y también

algunos otros que mostraron interés por la problemática de la docencia de la física universitaria. Este grupo se mantiene activo en la actualidad y permite la discusión asíncrona de lecturas y noticias de interés para la renovación pedagógica de los miembros del grupo.

CONCLUSIONES

El acompañamiento pedagógico hace surgir evidencias de deficiencias en el aprendizaje de los estudiantes, relacionadas con la metodología de E/A empleada en las aulas y fuera de ellas, y permite diseñar una propuesta de innovación basada en dichas evidencias. Los objetivos del acompañamiento se alcanzaron, como se muestra en los apartados correspondientes. Además, se alcanzaron otros no previstos, como el de crear espacios de comunicación y diálogo entre los docentes involucrados, o generar una lista preliminar de limitantes estructurales que se deben abordar para replantear el proceso de E/A más profundamente.

Vale la pena constatar que el proceso de seguimiento e innovación descrito en este trabajo y en Becerra *et al.* (2012) es lento y costoso

(requiere un mínimo de un semestre completo de seguimiento, análisis y discusión del proceso de E/A de docentes específicos), tanto en esfuerzos de los docentes del curso y de los expertos que hacen el seguimiento, como en términos económicos. Además, en muchos casos exige la elaboración de nuevos materiales docentes. Como resultado de esta etapa de recogida de información se han planteado propuestas cuya implementación exige todo un nuevo semestre y, seguramente, la puesta en práctica del plan diseñado exigirá análisis y retoques, es decir, otros semestres de prueba y ajuste.

En definitiva, el programa de investigación-acción sobre la docencia universitaria (mediante la metodología REUBE) exige un esfuerzo continuo que debería verse recompensado por los beneficios que esperamos conseguir: mejores aprendizajes (para los estudiantes), mejor ambiente en el aula (tanto para el docente como para los estudiantes), y mayor satisfacción con respecto a la asignatura (para ambos, también) (Gil-Pérez y Vilches, 2004). Las evidencias de estos logros, así como otros resultados de la implementación de la propuesta de renovación, se presentarán en otro trabajo.

REFERENCIAS

- ANDREWS, Sharon Vincz (1989), "Changing Research Perspectives. A critical study of Elliot Eisner", *Journal of Curriculum and Supervision*, vol. 4, núm. 2, pp. 106-125.
- ALONSO Sánchez, Manuel (1994), *La evaluación en la enseñanza de la Física como instrumento de aprendizaje*, Tesis Doctoral, Universidad de València, en: <http://www.meet-physics.net/recerca-didactica/tesiManolo/tesisManoloWord.pdf> (consulta: 11 de marzo de 2010).
- BECERRA Labra, Carlos, Albert Gras-Martí y Joaquín Martínez-Torregrosa (2005), "¿De verdad se enseña a resolver problemas en el primer curso de Física universitaria? La resolución de problemas de 'lápiz y papel' en cuestión", *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 27, núm. 2, pp. 299-308.
- BECERRA Labra, Carlos, Albert Gras-Martí y Joaquín Martínez-Torregrosa (2007), "La Física con una estructurada problematizada: efectos sobre el aprendizaje conceptual, las actitudes e intereses de los estudiantes universitarios", *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29, núm. 1, pp. 95-103, en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172007000100016&lng=en&nrm=iso (consulta: 18 de septiembre de 2010).
- BECERRA Labra, Carlos, Albert Gras-Martí, Águeda Gras Velázquez y C. Vargas Díaz (2011), "Sobre plataformas institucionales y recursos 'en la nube'" (inédito).
- BECERRA Labra, Carlos, Albert Gras-Martí, Carola Hernández Hernández, Juny Montoya Vargas, Luz Adriana Osorio Gómez y Teresa Sancho Vinuesa (2012), "Renovación de la Enseñanza Universitaria Basada en Evidencias (REUBE): una metodología de acción flexible", *Perfiles Educativos*, vol. XXXIV, núm. 135, pp. 62-77, en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/perfiles/articulo/>

- download/29171/27119 (consulta: 16 de febrero de 2012).
- DIAS Sobrinho, José (2005), *Dilemas da Educação Superior no Mundo Globalizado. Sociedade do Conhecimento ou Economia do Conhecimento?*, São Paulo, Casa do Psicólogo, en: http://www.ige.unicamp.br/gapi/reformas_da_educacao_superior_na_europa_e_na_america_latina.pdf (consulta: 27 de abril de 2010).
- FRASER, Barry, Kenneth Tobin y Campbell McRobbie (2011) (eds.), *Second International Handbook of Science Education*, Nueva York, Serie Springer Handbooks of Education.
- GIL, Daniel y Anna Pessoa de Carvalho (2000), "Dificultades para la incorporación a la enseñanza de los hallazgos de la investigación e innovación en didáctica de las ciencias", *Educación Química*, vol. 11, núm. 2, pp. 250-257.
- GIL-Pérez, Daniel y Amparo Vilches (2004), "La formación del profesorado de ciencias de secundaria... y de universidad. La necesaria superación de algunos mitos bloqueadores", *Educación Química*, vol. 15, núm. 1, pp. 43-58.
- GRAS-Martí, Albert, Marisa Cano Villalba y Teresa Sancho Vinuesa (2006), "Metodologia docent per a una assignatura de matemàtiques de la UOC basada en un ensenyament / aprenentatge actiu", *Jornades en Xarxa sobre l'Espai Europeu d'Ensenyament Superior*, en: <http://agm.cat/recerca-divulgacio/comunicacio-UOC-jornades-ECTS-oct2006.pdf> (consulta: 25 de agosto de 2010).
- GUISASOLA, Jenaro, Albert Gras-Martí, Joaquín Martínez-Torregrosa, José Manuel Almudí y Carlos 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).
- GUISASOLA, Jenaro, José Manuel Almudí García, Mikel Ceberio Garate, José Luis Zubimendi Herranz, Kristina Zusa Elozegi y Ángel Franco García (2009), "Actividades para el aprendizaje del electromagnetismo en primer curso de Física para ciencias e ingeniería", en: <http://ocw.edu.es/enseñanzas-tecnicas/actividades-para-el-aprendizaje-del-electromagnetismo-en-primer-curso-de-fisica-para-ciencias-e-ingenieria/> Course_listing (consulta: 23 de abril de 2010).
- HALLIDAY, David, Robert Resnick y Jear Walter (2009), *Fundamentos de Física*, vols. I y II, México, Grupo Editorial Patria.
- MARTÍNEZ-Torregrosa, Joaquín, Daniel Gil Pérez y Sebastian Bernat (2003), "La universidad como nivel privilegiado para un aprendizaje como investigación orientada", en Carles Monereo y Juan Ignacio Pozo (coords.), *La universidad ante la nueva cultura educativa*, Barcelona, Síntesis, pp. 231-244.
- MAZUR, Eric (1996), "Science Lectures: A relic of the past?", *Physics World*, vol. 9, pp. 13-14, en: http://mazur-www.harvard.edu/sentFiles/Mazur_22862.pdf (consulta: 9 de septiembre de 2010).
- MCDERMOTT, Lilian (1996), *Physics by Inquiry. An introduction to Physics and the Physical sciences*, Nueva York, Wiley.
- OSORIO G., Luz Adriana (2010), "Ambientes híbridos de aprendizaje: elementos para su diseño e implementación", *SISTEMAS: Ambientes Educativos Modernos Basados en Tecnología*, núm. 117, pp. 70-79, en: http://www.acis.org.co/fileadmin/Revista_117/Uno.pdf (consulta: 28 de mayo de 2010).
- SOLER-Selva, Vicent y Albert Gras Martí (2003), "Experimentació amb tecnologia ExAC des d'una orientació de l'ensenyament com a investigació", *Ensenanza de las Ciencias*, vol. 21, pp. 173-181.
- UniAndes (2011), "Experimentos demostrativos de Física", en: <http://fisicaexpdemostrativos.uniandes.edu.co/> (consulta: 23 de septiembre de 2011).
- WHITE, Richard (2011), "Learn AP Physics. A problem a day", en: <http://www.learnapphysics.com/index.html> (consulta: 21 de agosto de 2010).