



Simulación: Un curso innovador en los estudios de Aeronáutica

Francesc Comellas, Ricard González-Cinca y Eduard Santamaria

Escuela Politécnica Superior de Castelldefells

Universitat Politècnica de Catalunya

comellas@ma4.upc.edu, ricard@fa.upc.edu, esantama@ac.upc.edu

Resumen

Presentamos aquí una nueva metodología en la impartición de un curso de ciencias de la computación con énfasis particular en aspectos de dinámica de fluidos computacional (DFC) y las experiencias que se derivan de esta implementación. Las actividades principales que los estudiantes realizan en este curso son: el desarrollo de un proyecto inicial en la temática de ciencias de los materiales, la elaboración de un proyecto largo en DFC y una introducción al uso de un paquete de software específico de DFC. Los proyectos se realizan por grupos y consisten en la implementación (programación) de modelos matemáticos y una interfaz gráfica que permita la visualización de los resultados que se obtengan mediante la resolución numérica de los modelos considerados. La innovación en la asignatura se da en la utilización de técnicas de aprendizaje basado en proyectos o *Project Based Learning* y en el hecho que el curso es impartido de forma coordinada por varios profesores que provienen de áreas distintas. Otro aspecto novedoso lo constituye la oportunidad que presenta el curso para que los estudiantes redacten informes escritos, hagan presentaciones orales, utilicen el inglés y trabajen en un entorno Linux para el desarrollo de los proyectos.

Palabras clave: Análisis numérico; Ecuaciones diferenciales; Ciencias físicas e Ingeniería; Aprendizaje colaborativo.

Recibido: 12 de noviembre de 2009; **Aceptado:** 20 de noviembre de 2009

1. Introducción

La asignatura Simulación está incluida en el plan de estudios de la titulación de Ingeniería Técnica Aeronáutica (especialidad Aeronavegación) que se imparte en la Escuela Politécnica Superior de Castelldefells (EPSC) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Esta titulación se comenzó a impartir en el año 2002 y la asignatura se ofreció por primera vez en el año 2004. Se trata de una asignatura optativa que los estudiantes (25 a lo sumo) pueden elegir en el tercer año de la carrera. El curso complementa otros anteriores con una orientación específica en temas de aeronavegación.

Esta asignatura se ha diseñado con la intención de aplicar nuevas metodologías en la enseñanza de ciencias de la computación, con un énfasis particular en dinámica de fluidos computacional (DFC). Recordamos que actualmente en el sistema universitario español, las Escuelas asignan la docencia de cada asignatura a un departamento correspondiente al área de conocimiento más próxima a la misma. Aunque una asignatura tenga características que correspondan a distintas áreas, se acostumbra a asignar a un único departamento y no es nada usual que se asigne simultáneamente a varios departamentos. De esta forma, las dos características principales de este curso son, por un lado, el uso de técnicas de Aprendizaje Basado en Proyectos o *Project Based Learning* (PBL) y por otro, la participación de docentes de tres áreas: Física, Matemáticas e Informática.

En la sección que sigue se presentan los objetivos de apren-

dizaje científico-técnicos del curso en las tres áreas así como los objetivos transversales que debería adquirir el estudiante. En la Sección 3 se presenta la metodología que se usa, incluyendo una descripción general de los proyectos e información sobre la organización del curso. El sistema considerado para la evaluación del progreso de los estudiantes se discute en la Sección 4. Finalmente se comenta el resultado de la experiencia en estos últimos años en la Sección 5.

2. Objetivos

El objetivo principal de aprendizaje científico-técnico de la asignatura Simulación es la aplicación del análisis numérico a la ciencia básica de materiales y a problemas de dinámica de fluidos en el contexto de la ingeniería aeronáutica. En concreto, se espera que al finalizar el curso los estudiantes:

- Sepan identificar los modelos que describen ciertos problemas básicos en aeronáutica
- Sepan plantear los métodos numéricos que se usan habitualmente en el análisis de sistemas aeroespaciales
- Tengan capacidad para usar estos métodos numéricos y cierta experiencia en su implementación
- Puedan interpretar desde el punto de vista físico los resultados que se derivan de las simulaciones numéricas

- Sean utilizar de forma práctica técnicas de visualización
- Sean utilizar paquetes comerciales de DFC.

A fin de lograr estos objetivos de una forma eficiente, un especialista en cada área presenta las bases de los modelos teóricos y diversas técnicas de métodos numéricos y de programación. El curso cuenta así con la participación de docentes de los departamentos de Física Aplicada, Matemática Aplicada IV y Arquitectura de Computadores de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), especializados en la descripción física, análisis numérico y programación (incluyendo técnicas de visualización), respectivamente.

Además de los objetivos relacionados con el aprendizaje científico-técnico, el curso pretende también que los estudiantes desarrollen algunas competencias transversales, como son el trabajo en grupo, el desarrollo de proyectos, la redacción de documentos científicos, el uso de la lengua inglesa y la presentación de comunicaciones orales.

Los objetivos y temas específicos de cada área, así como una explicación de las competencias transversales se presentan en las subsecciones que siguen.

2.1. Física

Cuando los estudiantes se matriculan en Simulación, ya han cursado las asignaturas Fundamentos de Física, Termodinámica, Ciencia de los Materiales y Aerodinámica. Sin embargo, no conocen técnicas computacionales para resolver problemas relacionados con estas materias.

El objetivo principal desde el punto de vista de la Física es mostrar cómo ciertos fenómenos físicos relacionados con aplicaciones aeroespaciales en dinámica de fluidos y ciencia de los materiales pueden tratarse de una forma relativamente simple mediante modelos simplificados y técnicas numéricas adecuadas. Además de este objetivo, es importante también introducir en los estudiantes un punto de vista crítico con relación a los resultados numéricos que obtengan. Los temas que se consideran son:

- Crecimiento de cristales.
- Flujo de gases en el interior de toberas.
- Flujo de fluidos en conductos con paredes móviles.
- Flujo de gases alrededor de perfiles no planos.

2.2. Métodos numéricos

Una introducción básica al análisis numérico y al estudio de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales constituyen el principal objetivo de la asignatura con relación a los métodos numéricos. Los temas que se consideran son:

- Integración numérica (regla de los trapecios y método de Simpson, incluyendo estimación de errores).
- Aproximación discreta de derivadas.
- Métodos numéricos para ecuaciones diferenciales ordinarias (métodos de Euler y Runge-Kutta, introducción a métodos corrector-predictor).

- Ecuaciones en derivadas parciales (únicamente segundo orden, y principalmente ecuaciones parabólicas e hiperbólicas).

2.3. Programación y visualización

Desde el punto de vista de programación, el objetivo principal del curso lo constituye la adquisición por parte de los estudiantes de un conocimiento básico de la Programación Orientada a Objetos en C++ y de las capacidades necesarias para desarrollar aplicaciones con Interfaz de Usuario Gráfica (GUI). Hay que señalar que la experiencia previa en programación de los estudiantes se limita a un curso de introducción a la programación en C seguido de otro curso en que se introduce la Programación Orientada a Objetos únicamente en el aspecto de encapsulación.

La lista siguiente resume los temas de la asignatura respecto a programación:

- Introducción a GNU/Linux, que constituye la plataforma de desarrollo.
- Programación Orientada a Objetos en C++.
- Números reales en computación: dado el carácter numérico de los algoritmos unas nociones en este aspecto proporcionarán una mejor comprensión de su comportamiento.
- Programación de aplicaciones con interfaz gráfica utilizando Eclipse (<http://www.eclipse.org>) y las librerías Qt (<http://qt.nokia.com>).

2.4. Objetivos transversales

También forman parte de los objetivos del curso la adquisición por parte del estudiante de ciertas capacidades:

- *Trabajo en grupo.* La mayor parte del trabajo del curso se realiza en grupo.
- *Autoaprendizaje.* No se dan en clase explicaciones muy detalladas, sino que se proporcionan ideas básicas e indicaciones para tratar los distintos temas que el estudiante deberá elaborar.
- *Redacción de informes.* Al final de cada proyecto se deberá entregar un informe completo.
- *Presentaciones orales.* Cada grupo debe realizar una presentación en clase explicando los aspectos más destacables de su proyecto principal y haciendo una demostración práctica de la aplicación desarrollada.
- *Uso del inglés.* El conocimiento de la lengua inglesa no está integrado en los estudios de forma que los estudiantes sean capaces de usarlo fluidamente. Se trata de mejorar la situación proporcionando los materiales del curso en inglés y estimulando la redacción y presentación de los proyectos en esta lengua. El objetivo es que los estudiantes no tengan dificultades en la posterior lectura de documentación técnica en inglés.

3. Metodología

Presentamos en esta sección la metodología de aprendizaje. Después de una corta introducción al Aprendizaje Basado en Proyectos se comentan brevemente los proyectos que desarrollan los estudiantes sobre ciencia de los materiales y dinámica de fluidos computacional. Finalmente se describe cómo se organiza el curso alrededor de estos proyectos.

3.1. Aprendizaje basado en proyectos

La idea central del Aprendizaje Basado en Proyectos [?, ?, ?] es la organización del curso (o su mayor parte) en base a un proyecto que los estudiantes desarrollan trabajando en grupo. El propio trabajo en este proyecto crea la necesidad de aprender los temas necesarios para su correcta finalización.

PBL es un modelo que se centra en el proceso de aprendizaje del estudiante más que en las actividades docentes del profesor. Esta metodología se ha extendido considerablemente en los últimos años, en especial en estudios de ingeniería ya que se adapta bien a ellos. Sin embargo no es fácil su implementación por los retos que supone tanto para los docentes como para los estudiantes. En concreto, y como ejemplo, el equipo docente debe proponer proyectos que permitan alcanzar los objetivos del curso y que sean a la vez sugerentes y con un grado de dificultad adecuado y los estudiantes han de ser capaces de gestionar su tiempo eficazmente y lograr una buena colaboración con los miembros de su grupo de trabajo.

Es esencial un seguimiento continuado de la marcha de los proyectos. Este se realiza principalmente mediante la entrega quincenal, por parte de cada grupo, de un pequeño informe de carga de trabajo o informe de actividades en el que indican las tareas realizadas, su distribución dentro del grupo y el tiempo dedicado fuera de las horas regladas de clase. La observación directa en las horas de clase y tutoría complementa esta información.

3.2. Proyectos

A lo largo del curso los estudiantes deben desarrollar dos proyectos distintos y unas prácticas guiadas. Un primer proyecto, corto e introductorio, trata del modelado del crecimiento de cristales, mientras que el segundo proyecto, más extenso, estudia algún tema de dinámica de fluidos computacional (DFC). Las prácticas finales se centran en la utilización de una herramienta de software comercial. Comentamos en esta sección los dos proyectos que realizan los estudiantes. Ambos proyectos comportan programación en C++.

El primer proyecto que se desarrolla durante el curso es un proyecto de iniciación, siendo el mismo para todos los grupos. Se trata de una simulación numérica del proceso de crecimiento de un cristal a partir de un líquido subenfriado. Se considera una versión simple de un modelo de campo de fase (*phase-field*) introducida en [?] para reproducir este fenómeno físico. El proyecto permite a los estudiantes familiarizarse con las técnicas de diferencias finitas, esquemas implícitos, problemas de mallado y

comenzar a implementar técnicas de visualización. Se consideran diferentes condiciones iniciales y de contorno, así como tamaños. Desde el punto de vista físico, los estudiantes adquieren una idea del papel que juega el subenfriamiento y las anisotropías en la evolución temporal de un sistema de solidificación.

En el campo de la dinámica de fluidos, e inspirados en [?], se proponen los siguientes proyectos:

- Flujo subsónico-supersónico isoentrópico en una tobera.
- Flujo incompresible de Couette.
- Onda de expansión Prandtl-Meyer.

Cada grupo realiza uno solo de los proyectos sobre DFC y, aunque los estudiantes profundizan con su desarrollo aquellos aspectos directamente relacionados con su proyecto, también llegan a asimilar en buena medida los de los demás proyectos gracias a las presentaciones orales que deben realizar a final de curso para el conjunto de la clase. En estas presentaciones se muestran los programas realizados (ver Figura ??) y se analizan los resultados obtenidos en la simulación objeto de estudio. Si bien los conocimientos adquiridos serán menores en lo que se refiere a proyectos que el estudiante no ha trabajado directamente, el hecho de acabar totalmente su proyecto y presentarlo le proporciona la formación que permitiría resolver con éxito otros proyectos similares.

El carácter interdisciplinar de los proyectos hace que su desarrollo suponga una experiencia enriquecedora, estimulante y realista. Además, su carácter abierto permite que los grupos más capaces y motivados añadan aspectos más allá de los mínimos requeridos.

3.3. Organización del curso

La asignatura Simulación tiene asignados 9 créditos ECTS. Cada estudiante debe dedicarle 15 horas semanales, 7 de las cuales transcurren en el aula distribuidas en dos sesiones de 2 horas y una de 3. El tiempo de dedicación acumulado a lo largo de las 15 semanas que dura el curso es de 225 horas. El curso dispone de 25 plazas que siempre se han cubierto.

Al principio los estudiantes del curso se organizan en grupos de tres o cuatro personas. No hay unos criterios prefijados para la formación de los grupos, los propios estudiantes se organizan libremente. Estos grupos se mantienen a lo largo de todo el curso.

Como se puede ver en el Cuadro 1, la asignatura está organizada en tres bloques. El primero corresponde al proyecto inicial que debe entregarse en la cuarta semana. Una vez concluido este proyecto, proceden a trabajar otro proyecto más completo en el contexto de dinámica de fluidos. Trabajarán en él unas siete semanas. Las últimas cuatro semanas se dedican al aprendizaje práctico de una herramienta de software comercial de modelado de fluidos. Todos los profesores asignados al curso participan en los dos proyectos, mientras solamente uno de los profesores se encarga de la última parte.

Durante las 4 primeras semanas se introducen los temas principales que se tratarán a lo largo del curso. Simultáneamente se propone el proyecto inicial cuyo objetivo es que los estudiantes se familiaricen con los conceptos básicos y las herramientas que

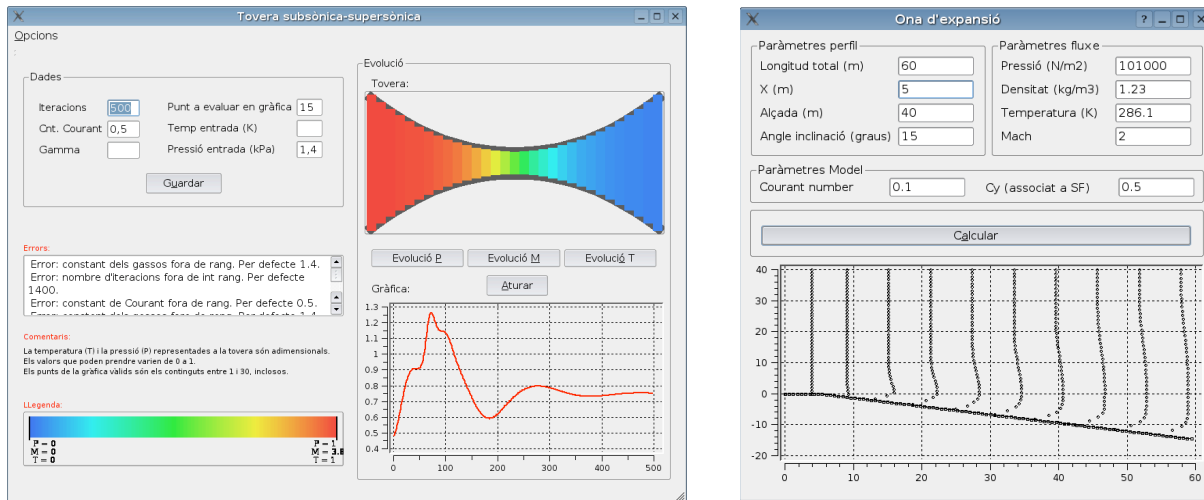


Figura 1: Ejemplos de proyecto. Izquierda: Tobera subsónica-supersónica. Derecha: Onda de expansión Prandtl-Meyer

Bloque	Duración	Entregas	Docentes
Proyecto Inicial	4 semanas	Código	Física, Matemáticas, Computación
Proyecto Principal	7 semanas	Código, informe escrito y presentación oral	Física, Matemáticas, Computación
Paquete CFD	4 semanas	Tutoriales e informe escrito	Física

Cuadro 1: Organización de la asignatura

deberán usar durante el curso. También les obliga a comenzar rápidamente el trabajo y ayuda al establecimiento de una dinámica de trabajo en grupo.

Durante el segundo bloque del curso los estudiantes trabajan en el desarrollo del proyecto principal. Después de una presentación de todos los proyectos, el coordinador de la asignatura pacta su distribución entre los distintos grupos. Puesto que el nivel de dificultad puede ser distinto entre proyectos, los resultados del proyecto inicial pueden ayudar a realizar esta distribución. A partir de la asignación cada grupo trabaja por su cuenta y los estudiantes se encontrarán con distintos problemas físicos, matemáticos y de programación que deberán ir superando para progresar. Esto les motiva el estudio de distintos temas del curso que pueden encontrar en las dos referencias básicas del curso: los libros de J.D. Anderson [?, ?], que proporcionan una guía e incluyen resultados que deberían coincidir con los de las simulaciones. Esta fase concluye con la entrega de:

1. El programa que simula el problema de dinámica de fluidos,
2. Un informe que contenga:
 - a) un resumen tanto en inglés como en español o catalán,
 - b) una descripción del problema físico,
 - c) su resolución matemática,

d) los detalles esenciales de la implementación del programa juntamente con un manual de usuario elemental,

3. Una presentación oral de 20 minutos que resuma la información contenida en los documentos, y a la vez una demostración del programa.

Durante la última parte del curso, los estudiantes usan Gambit, una herramienta de generación de geometría y mallado del paquete de software comercial Fluent CFD (<http://www.fluent.com/>). Esta parte del curso la imparte un profesor del Departamento de Física. En este punto los estudiantes ya tienen una comprensión básica de los principios de simulación numérica que facilita el uso de herramientas comerciales. Después de algunas sesiones de introducción los estudiantes realizan seis tutoriales que proporciona Fluent para practicar los puntos básicos de creación de formas geométricas y generación y refinado de mallas. La última parte de este bloque se dedica al desarrollo de un proyecto con Gambit. Bajo la supervisión del profesor, los estudiantes escogen un sistema aeroespacial (p.e. alas, globos, etc.) y generan su geometría, creando y estudiando distintas mallas. Los estudiantes tienen la posibilidad de completar su trabajo en el curso de dinámica de fluidos computacional que se ofrece en el semestre siguiente: En este otro curso, se introduce la parte de resolución de ecuaciones de Fluent y los estudiantes pueden usarlo para estudiar el comportamiento de fluidos en las geometrías construidas en el

proyecto de Simulación.

Durante el primer bloque del curso, en las sesiones en el aula, predominan la clase magistral y actividades prácticas muy dirigidas. En el segundo bloque, las explicaciones dirigidas al gran grupo desaparecen y los alumnos deben organizarse para llevar a cabo el desarrollo del proyecto principal. Las horas de clase se dedican a estudiar, trabajar en las ecuaciones del fenómeno físico asignado y programar el proyecto. En este sentido, las actividades no son muy distintas a lo que debe ocurrir fuera del aula, excepto por dos aspectos importantes. Por un lado, estas horas constituyen una oportunidad para reunirse con el grupo, poner en común los aspectos trabajados por separado y planificar el avance del proyecto. Por otro lado, en el aula es el momento para resolver dudas con el profesor que estará con ellos, que realizará las explicaciones pertinentes de forma personalizada y aprovechará para supervisar el progreso de los proyectos.

3.4. Implicaciones para el profesorado

Hay dos aspectos fundamentales en la organización del curso que tienen un impacto importante en la forma en que el profesorado desarrolla su actividad. Por un lado, la estructuración del curso con un gran proyecto (Bloque 2) como eje central, y por otro lado la responsabilidad compartida entre profesores de distintos departamentos. A partir de nuestra experiencia, podemos afirmar que ambos aspectos se complementan y se benefician mutuamente.

El enfoque multidisciplinar es un valor añadido del proyecto, le confiere un carácter más realista, y la presencia de profesores con experiencia en distintos ámbitos facilita su desarrollo. Al mismo tiempo, la propia metodología simplifica la coordinación entre el profesorado. Al poner el acento en las actividades del alumno, el papel del profesorado consiste principalmente en orientar y resolver dudas de los estudiantes. El rol del profesor como fuente de conocimiento se atenúa y, como consecuencia, también disminuye la posibilidad de conflictos por lo que podría ser considerado como una invasión de competencias entre profesores de distintos departamentos. Lo importante es ayudar al alumno a progresar y no de quién proviene la ayuda.

A nivel organizativo, hay una fase inicial del curso con más carga teórica donde se introducen los distintos temas y las herramientas necesarias para iniciar el desarrollo de los proyectos. Es en este punto donde es necesaria una mayor coordinación para asegurar que no se produzcan lagunas ni excesivo solapamiento. También hay que ser cuidadoso con la carga de trabajo de los estudiantes para que ésta sea equilibrada. Las exposiciones teóricas disminuyen progresivamente y los estudiantes empiezan a trabajar en sus proyectos.

Con respecto a los horarios, éstos se organizan de modo que cada profesor tiene una sesión semanal. Al final de la semana los alumnos han tenido la posibilidad de contactar con los expertos de cada área. Si hay dudas que no pueden esperar, los alumnos pueden utilizar los horarios de consulta o incluso abandonar momentáneamente el aula para visitar al profesor correspondiente. También puede ocurrir que sea el profesor quien momentáneamente visite el aula para aclarar una duda generalizada. Esta situación no es habitual, pero se puede dar con más facilidad en

las primeras iteraciones del curso o en los días previos a alguna de las entregas. El reparto inicial de las clases es flexible, puede haber intercambio de sesiones según las necesidades del momento y no es extraño que en algún momento coincidan más de un profesor en el aula.

Otro elemento que precisa especial atención es la comunicación relativa a temas como los requerimientos de los proyectos, los materiales que deben acompañar cada entrega, flexibilidad en los plazos, etc. Este punto es importante en cualquier situación, pero lo es aun más en un curso con este formato. Debe haber un esfuerzo extra de coordinación para evitar disparidad de mensajes.

4. Esquema de calificación

Las actividades realizadas por los estudiantes se evalúan de forma independiente en los distintos bloques de la asignatura. La evaluación es hecha conjuntamente por los tres profesores de la asignatura.

La primera parte de esta evaluación se basa en el proyecto inicial entregado por los estudiantes. Las notas se asignan considerando la calidad del proyecto y constituyen un 10 % de la nota total.

Durante la semana 7 del curso, tiene lugar un examen de mitad de semestre con una duración de 90 minutos y en el que se plantean cuestiones generales o específicas con relación a conceptos físicos, de análisis numérico o sobre visualización. Este examen contribuye un 20 % a la nota total.

El proyecto principal se evalúa en base al documento que han presentado los grupos, así como a la presentación efectuada. Para superar esta evaluación deben mostrar resultados predeterminados que han de servir para validar las simulaciones efectuadas. Para mejorar sus calificaciones se estimula a los estudiantes a que amplíen su proyecto. Esta parte supone un 50 % de la nota total.

El trabajo que se ha realizado en el último bloque del curso se evalúa a partir del informe referente a la construcción de la geometría y el mallado realizado con Gambit y representa un 10 % del total.

Finalmente, el 10 % restante procede de la evaluación subjetiva realizada por la comisión y que tiene en cuenta la participación y contribución de cada estudiante en las distintas actividades.

5. Consideraciones finales

Hemos presentado en este artículo la organización de la asignatura Simulación que se imparte en la Escuela Politécnica Superior de Castelldefels (titulación Ingeniería Técnica Aeronáutica). Los principales aspectos innovadores del curso son el uso de PBL como metodología de aprendizaje y, sobre todo, la colaboración participativa de docentes provenientes de áreas distintas. El curso se viene impartiendo desde 2004 y la experiencia de estos años nos permite obtener algunas conclusiones.

5.1. Coordinación entre profesores de distintos departamentos

Dado el carácter interdisciplinar del curso, parece natural la participación en él de docentes de distintas áreas de conocimiento. Esta característica es muy poco común en el contexto de la Universidad española, donde normalmente cada asignatura se asigna a un único departamento. Pensamos que esta iniciativa es muy conveniente tanto para los docentes como para los estudiantes. Los profesores se familiarizan con las actividades de sus colegas de otros departamentos y los estudiantes adquieren una visión más amplia de los diferentes temas del curso. Los estudiantes, en encuestas realizadas, valoran positivamente esta característica. El principal reto que hay que afrontar es una adecuada coordinación de los profesores, de forma que los estudiantes tengan una carga de trabajo progresiva y uniforme. También hay que procurar que obtengan una visión común y coherente de todos los aspectos del curso. Por otra parte, es importante una cierta flexibilidad en la disponibilidad de los profesores que permita, a partir del seguimiento continuado del trabajo en grupo, la asistencia del profesor más indicado a determinadas sesiones.

5.2. Resultados académicos

El sistema PBL claramente hace que los estudiantes se impliquen más en el curso. El tener que trabajar un proyecto actual y próximo a la realidad es un estímulo y hace que perciban el aprendizaje como una consecuencia directa de su esfuerzo personal y cuando finaliza el curso hay una sensación de satisfacción por el trabajo realizado. El hecho de tratar con un proyecto “real” les sugiere que los conocimientos adquiridos serán útiles en su vida académica o profesional futura.

Con respecto a los resultados académicos, en las cuatro ediciones realizadas hasta el momento, sólo en dos ocasiones ha habido alumnos que no superaron el curso. En ambos casos se trataba de alumnos que formaban parte de grupos poco cohesionados y que no dedicaban el tiempo que la asignatura requiere.

Podría ser motivo de preocupación el posible acceso a proyectos realizados en cursos anteriores, puesto que podrían ahorrar mucho trabajo al grupo. La supervisión continuada de los grupos en clase hace muy difícil esta posibilidad y no ha sido detectada hasta la actualidad.

Un aspecto que estamos analizando es cómo tratar un excesivo grado de especialización dentro del grupo. Por ejemplo, se constata tanto en la clase como en los resultados del examen que no todos los miembros del grupo realizan la programación de las simulaciones. También en algunos casos hemos detectado que diferencias entre estudiantes de un mismo grupo no se han visto reflejadas adecuadamente en la nota final. Hasta el momento se ha considerado que esto entra dentro de la normalidad y no ha habido actuaciones específicas para evitarlo. Un posible mecanismo para conseguir que todos los alumnos adquieran unos conocimientos básicos de los distintos temas es mediante controles de mínimos. Esto consiste en identificar aquellos aspectos fundamentales que todo alumno que supere la asignatura debe dominar y plasmarlos en unos controles. Cada conocimiento básico se evalúa como superado o no superado y es requisito para

aprobar superar una cantidad preestablecida, que puede ser todos menos uno o dos en función cuántos sean los conocimientos básicos identificados. Este mecanismo [?] se utiliza con éxito en otras asignaturas de la EPSC.

En conclusión, debemos manifestar nuestra satisfacción por la calidad de la mayoría de los proyectos entregados y por el curso en general así como la buena percepción de la asignatura por parte del estudiantado como muestran las encuestas realizadas. Por otra parte debemos destacar que la metodología considerada de aprendizaje activo centrado en los estudiantes [?, ?] encaja perfectamente con el cambio de paradigma docente asociado con el proceso de adaptación al nuevo marco europeo.

Referencias

- [1] Anderson, J.D.: *Computational Fluid Dynamics. The basics with applications*, McGraw-Hill, 1995.
- [2] Anderson, J.D.: *Fundamentals of Aerodynamics*, McGraw-Hill, 2001
- [3] Crawford, A., Tennant J.: *A Guide to Learning Engineering Through Projects*. University of Nottingham, 2003.
- [4] Del Canto, P., Gallego, I., Hidalgo, R., López, J., López, J.M., Mora, J., Rodríguez, E., Santamaria, E., Valero, M.: *Aprender a Programar Ordenadores mediante una Metodología Basada en Proyectos*. 18 Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas, 2007.
- [5] Del Canto, P., Gallego, I., Hidalgo, R., López, J., López, J.M., Mora, J., Rodríguez, E., Santamaria, E., Valero, M.: *Cómo congeniar los exámenes y los proyectos en asignaturas PBL*, XIII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, Jenui 2007. Ed. Thomson, Teruel, 2007. Disponible en <http://bioinfo.uib.es/~joemi/aenui/procJenui/Jen2007/cacomo.pdf>.
- [6] Markham, T.: *Project Based Learning, a guide to Standard-focused project based learning for middle and high school teachers*. Buck Institute for Education, 2003
- [7] Wang, S-L., Sekerka, R.F., Wheeler, A.A., Murray, B.T., Coriell, S.R., Braun, R.J., McFadden, G.B.: *Physica D*, 69, 1993



Francesc Comellas Padró (Olesa de Montserrat, 1954) es profesor del Departamento de Matemática IV de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Ha sido Subdirector de la ETSETB y Jefe de Estudios de la EUPBL. Participó en el desarrollo de la versión piloto del campus digital de la UPC, Atenea, por el que obtuvo un premio con el trabajo “Intranet de una asignatura” publicado en

Acciones de Mejora (Premios Convocatoria 2000) del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte y el Consejo de Universidades en la sección “Aplicaciones de las Nuevas Tecnologías a la Docencia”. Utiliza desde hace varios años técnicas de aprendizaje cooperativo y PBL en sus asignaturas. En colaboración con profesores de la Universidad de Paris VI y el Politecnico di Torino desarrolló, en el marco del programa Erasmus, diversas prácticas de matemáticas con ordenador para uso conjunto en los distintos centros.

Su actividad investigadora, además de la relacionada con metodologías docentes, se centra en el estudio de redes complejas y teoría espectral de grafos y la desarrolla en el grupo Combinatoria, Teoría de Grafos y Aplicaciones de la UPC. Ha dirigido 4 tesis doctorales y más de 30 proyectos final de carrera y tesis de master y es autor de unos 60 artículos en revistas internacionales.



Ricard González Cinca (Barcelona, 1968) es profesor del Departamento de Física Aplicada de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Ha sido Subdirector de Recursos y Subdirector de Estudios Aeronáuticos en la Escuela Politécnica Superior de Castelldefels (EPSC). En los últimos años ha coordinado y puesto en marcha varias nuevas asignaturas en la titulación de Ingeniería Técnica Aeronáutica en la EPSC, introduciendo en algunas de ellas técnicas de PBL. Actualmente es el coordinador del Master in Aerospace Science and Technology de la UPC, en el que imparte dos asignaturas.

Su actividad investigadora se centra en el campo de los procesos de solidificación y en el de la dinámica de fluidos. Sus estudios

sobre solidificación se han centrado mayoritariamente en los aspectos de modelización y simulación numérica. Los trabajos en el campo de la dinámica de fluidos se llevan a cabo tanto a nivel numérico como experimental. Actualmente está dirigiendo dos tesis doctorales, ha dirigido unos 15 proyectos final de carrera y tesis de master, y es autor de unos 20 artículos en revistas internacionales.



Eduard Santamaria Barnadas (Sant Pere Pescador, 1974) es Ingeniero en Informática por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) desde 1998. Después de un breve periodo trabajando en el sector privado, en el año 2000 se incorpora al Departamento de Arquitectura de Computadores de la UPC como ayudante de investigación. En 2004 obtiene una plaza de profesor ayudante en la Escuela Politécnica Superior de Castelldefels, donde se incorpora a un equipo de profesores muy activo en tareas de innovación docente, para impartir docencia principalmente en asignaturas de programación. En estos momentos cursa estudios de doctorado y compagina las tareas docentes con la investigación en el ámbito de los vehículos aéreos no tripulados.

©2009 F. Comellas, R. González, E. Santamaria. Este artículo es de acceso libre, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons de Atribución, que permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra en cualquier medio, sólido o electrónico, siempre que se acrediten a los autores y fuentes originales