

Empleo de satélites demostradores en la docencia en ingeniería aeroespacial

Jacobo Rodríguez

Escuela Superior de Ingenieros Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

José Miguel Ezquerro

Escuela Superior de Ingenieros Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

José Javier Fernández

Escuela Superior de Ingenieros Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

Palabras clave: Diseño de satélites, innovación educativa, motivación del alumnado, seguimiento continuo, metodologías activas, aprendizaje basado en proyectos.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, debido fundamentalmente a la creación del nuevo Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), se ha ido produciendo una transformación en las metodologías de enseñanza y aprendizaje en la universidad española orientándose cada vez más hacia el empleo del aprendizaje activo en el aula [1,2]. En concreto, en las carreras de ingeniería, en las que la componente práctica es fundamental, la aplicación de nuevos modelos de aprendizaje se hace especialmente interesante en asignaturas del segundo ciclo de la carrera que, por su carácter muy tecnológico y sistémico están especialmente indicadas para ser cursadas con un modelo de aprendizaje basado en proyectos [3]. Previamente a este trabajo se han iniciado algunas acciones en este sentido [4].

En este trabajo se presentan las actividades de innovación educativa realizadas desde el curso 2009/10 en la asignatura de Vehículos Espaciales II (VEII). Ésta es una asignatura de segundo ciclo de la carrera de Ingeniero Aeronáutico en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos (ETSIA) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Aunque esta titulación es del plan antiguo (Plan 2000), tiene continuidad en la nueva titulación de Graduado en Ingeniería Aeroespacial en la asignatura de “**Vehículos espaciales**”, que comenzará a impartirse durante el curso 2012/13, por lo que las

metodologías se irán adaptando gradualmente a la nueva asignatura.

2. DESCRIPCIÓN DE ACCIONES DE INNOVACIÓN EDUCATIVA

El planteamiento básico de todas las acciones descritas en este trabajo se centra en intentar dar una formación lo más global posible al alumno, que abarque tanto su formación en ingeniería, como el que adquiera unas destrezas y una madurez que no se restrinjan al ámbito de la ingeniería aeronáutica. En todo momento se tiene muy presente el acercar al alumno a la tecnología actual y al modo de trabajo que se sigue actualmente en el sector aeroespacial.

Satélite demostrador para docencia

Durante el curso 2010-11 se creó un nuevo laboratorio para la realización de prácticas en las que los alumnos trabajan en grupo para llevar a cabo la validación e integración de los subsistemas de un microsatélite:

- Control térmico
- Control de actitud
- Potencia
- Data handling y Comunicaciones
- Gestión de datos

Para ello se adquirió diverso material de laboratorio (PCs, fuentes de alimentación, multímetros,...) así como un microsatélite educativo, que sirve para demostrar las funcionalidades básicas de un satélite en un entorno de laboratorio normal. La Figura 1 muestra el satélite y las Figuras 2 y 3 muestran dos de los subsistemas.



Figura 1. Satélite demostrador

El cambio de modelo de enseñanza y la creación del laboratorio ha requerido la formación del profesorado en el uso en las tecnologías que se necesitan para la puesta en práctica del satélite, así como la generación de materiales de trabajo que puedan ser utilizados por el alumno, en particular ha sido necesario:

- Obtención de licencias educativas gratuitas del programa de análisis de misión STK (Satellite Tool Kit) [5]. Este programa es ampliamente utilizado en la industria espacial.
- Asistencia a cursos de formación en STK de profesores de la asignatura
- Adquisición de licencias de software ESARAD-ESATAN para el diseño de un sistema de control térmico para un satélite real. Este software es ampliamente utilizado en la industria espacial.
- Desarrollo de materiales docentes (manuales, guiones de prácticas) puestos a disposición de los alumnos en la plataforma Moodle de la UPM

Durante el curso 2011-12 se ha adquirido un segundo microsátélite educativo (uno sólo no era suficiente para atender la gran demanda de los alumnos).

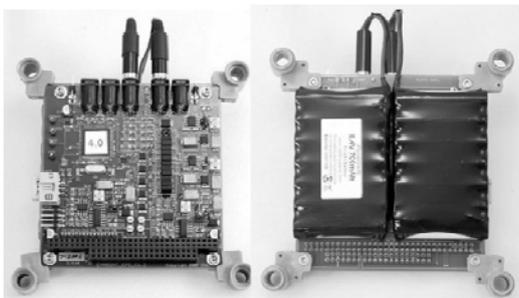


Figura 2. Subsistema de potencia

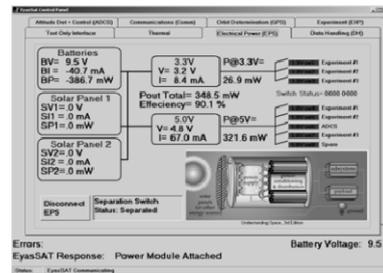


Figura 3. Subsistema de data handling y comunicaciones

Diseño conceptual de un satélite

De forma paralela a las prácticas, a lo largo del curso se emplea la metodología de aprendizaje basado en proyectos organizando grupos de 7 alumnos para el diseño conceptual de un satélite, de forma que los alumnos realicen una labor semejante a la que se desarrolla en distintas empresas y agencias espaciales en las fases preliminares de un proyecto.

La ESA dispone en Holanda de la llamada Concurrent Design Facility (CDF) en la que expertos en cada una de las áreas se reúnen durante un tiempo limitado, normalmente inferior a una semana, para desarrollar una fase de viabilidad de una misión espacial. Oficinas semejantes existen en el CNES, en EADS-Astrium, etc.

En cuanto a la metodología empleada, cada alumno asume uno de los siguientes roles dentro del grupo:

- Director de proyecto,
- Ingeniero de análisis de misión,
- Ingeniero mecánico,
- Ingeniero eléctrico,
- Ingeniero de Propulsión,
- Ingeniero de órbitas y control de actitud,
- Ingeniero de cargas de pago.

Cada rol debe responsabilizarse del diseño de su correspondiente subsistema. Para ello es necesario que todos los alumnos estudien su subsistema para poder integrarlo en el sistema completo, por lo que es necesario que negocien entre ellos ya que las decisiones de unos

afectan a los requisitos y actuaciones de los demás subsistemas, y por tanto al diseño y actuaciones finales del sistema.

La evaluación del trabajo se hace a través de varias herramientas:

1. Se hace un seguimiento de todos los grupos en el aula, para lo cual se dedican al menos 1.5 horas/semana a trabajo en grupo en el aula con un profesor que supervisa y guía a los alumnos en su trabajo
2. Cada grupo entrega un informe con el análisis de su misión a mitad del cuatrimestre. Dicho informe es evaluado y, si se detectan fallos importantes, deben ser corregidos en el análisis de misión del informe final
3. Se entrega un informe final que contiene el análisis de misión y el diseño de todos los subsistemas del satélite
4. El tribunal de evaluación de la asignatura hace una evaluación oral de cada grupo:
 - a. Los alumnos elaboran una presentación
 - b. En el momento de la presentación el tribunal selecciona a dos alumnos que son los encargados de hacer la presentación
 - c. Una vez terminada la presentación, el tribunal comienza una ronda de preguntas a todos los alumnos del grupo. Las preguntas versan sobre el informe final entregado y se pregunta a cada alumno sobre todos los subsistemas, incidiendo especialmente en aquellos que no han sido su responsabilidad.
 - d. Se realiza una autoevaluación y coevaluación a través de Moodle. Cada alumno debe puntuarse a sí mismo y a todos los miembros de su grupo.

De cada una de las herramientas anteriores se obtiene una calificación que permite obtener una calificación individualizada para cada alumno.

Durante el curso 2011/12 se ofreció a los alumnos la posibilidad de orientar sus diseños para poder ser presentados en el Mission Idea Contest for Micro/Nano-satellite Utilization [6], en la categoría 1: Mission Idea and Satellite Design. Dos grupos se presentaron al concurso y uno de ellos quedó semifinalista con el satélite ASAT (“Ad Solis, Ad Terram”). Asimismo otro grupo desarrolló su satélite de forma que cumpliera con los requisitos de la misión QB50 [7]. Los tres proyectos fueron muy buenos y los alumnos que participaron en ellos tuvieron la posibilidad de desarrollar un proyecto real. La idea es continuar con actividades de este tipo en cursos sucesivos.

Desarrollo de una estación de tierra de seguimiento de satélites abiertos

En las mejores universidades europeas del sector aeroespacial se llevan a cabo proyectos de diseño e implementación de equipos reales, gracias a los cuales los alumnos adquieren una sólida formación tanto de

contenidos, como de competencias. El resultado de estos proyectos es, en algunos casos, satélites que orbitan alrededor de la Tierra enviando telemetría accesible a cualquier estación de tierra que cumpla las especificaciones necesarias, como es el caso del Delfi-C³ [8]. No sólo este tipo de satélites ofrecen telemetría abierta, sino otros muchos ya en desuso, o importantes satélites de observación como el NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) [9]. Existe también una iniciativa de la ESA para la creación de un segmento de tierra distribuido en todo el mundo para la recepción de datos del satélite universitario puesto en órbita bajo la tutela de la ESA, el GENSO (Global Educational Network for Satellite Operations) [10]. Y, recientemente, se ha lanzado el proyecto QB50 [7], un proyecto aprobado por el 7º Programa Marco para poner en órbita una red internacional de 50 CubeSats, que se describe más adelante.

Todo lo anterior ha motivado la construcción de una estación de tierra (ver Figura 4) que sea capaz de comunicarse con satélites que emiten en abierto, bajando sus datos y procesándolos en tierra. La estación se ha instalado en la azotea del edificio del E-USOC (User Support and Operation Center) [11]. Éste es un centro asociado a la UPM y perteneciente a la ESA (European Spatial Agency) dedicado a operar y dar soporte a los experimentos que van a ser realizados en la ISS (International Space Station) dentro del laboratorio europeo Columbus. De manera que los alumnos, además de realizar sus prácticas, pueden conocer el funcionamiento de un centro puntero en el sector aeroespacial español.

La puesta en marcha de la estación se ha llevado a cabo mediante dos proyectos fin de carrera (PFC):

- Diseño, integración y validación de la estación de tierra
- Diseño, desarrollo y validación de un intérprete de telemetría de satélites siguiendo en estándar XTCE (CCSDS)

Los resultados de ambos proyectos se han validado adquiriendo e interpretando telemetría de diversos satélites universitarios actualmente operativos.

En cuanto al desarrollo de los distintos módulos de procesamiento de datos y de control, éste ha sido llevado a cabo por alumnos de la asignatura de VEII. Para el desarrollo de los módulos se formaron grupos de 6 ó 7 alumnos a los que se asignó el desarrollo de algún módulo de la estación de tierra. Para ello tuvieron que realizar una importante labor de documentación y aplicar creatividad para la resolución de los problemas que fueron surgiendo en el diseño y desarrollo. El trabajo es suficientemente complejo como para que sea necesario el trabajo en equipo.

El hecho de trabajar con satélites reales permite abordar el trabajo de forma realista y es muy motivador para los alumnos. Además la gran cantidad de satélites disponibles permite la elaboración de gran cantidad de módulos diferentes.

Gracias a la puesta en marcha de la estación los alumnos de la asignatura de VEII y de Vehículos Espaciales y Misiles (VEM) puedan realizar prácticas con datos de satélites reales y aprender a construir una estación de este tipo.



Figura 4. Estación de Tierra

Construcción de un satélite de laboratorio propio

Los satélites que se adquirieron en cursos anteriores son perfectos para la realización de las prácticas de laboratorio en la asignatura, pero no proporcionaban la flexibilidad adecuada para que los alumnos de PFC pudieran desarrollar nuevo hardware y software. Por ello se ha comenzado el desarrollo de un satélite de laboratorio propio, mediante 5 PFC y, para el curso 2012-13, se terminará de desarrollar el satélite mediante más PFC.

Proyecto QB50

El QB50 [7] es un proyecto aprobado por el 7º Programa Marco para poner en órbita una red internacional de 50 CubeSats dedicada a la adquisición de medidas in-situ y multi-punto de los parámetros y constituyentes claves de

la termosfera o ionosfera baja, y a la investigación de la re-entrada en la atmósfera. Será la primera gran red de CubeSats en órbita, concepto que ha suscitado gran interés en los últimos años, pero que hasta ahora ningún organismo universitario, institución o agencia espacial había tomado la iniciativa de crear y coordinar.

Varios profesores de la ETSIA presentaron una propuesta al proyecto QB50 que ha sido seleccionada y debe llevarse a cabo durante el periodo 2012-2015. El satélite propuesto se llama QBit. Durante el curso 2012/13 se realizará la mayor parte del diseño de los subsistemas. El proyecto va a ser realizado por alumnos de segundo ciclo, que serán dirigidos por profesores y personal de la escuela.

El objetivo principal de la presente propuesta es el diseño, desarrollo, construcción, lanzamiento y operación de uno de los CubeSats de dos unidades que alojarán como carga de pago un kit de sensores atmosféricos proporcionado por el consorcio. Como objetivo secundario de la misión se propone la demostración en órbita de un nuevo sistema de control de actitud desarrollado por el equipo de trabajo.

El desarrollo del proyecto tiene un alto interés educativo para las universidades, que junto con los resultados científicos y tecnológicos que se van a obtener, hacen del proyecto QB50 una oportunidad inmejorable para formar parte de un grupo internacional de más de 90 universidades de todo el mundo trabajando y compartiendo conocimientos para lograr una misión exitosa. Además de las Universidades que desarrollen y operen los satélites, otras Universidades participarán en la creación de una red de estaciones de tierra para apoyar la operación de la constelación de satélites y maximizar la descarga de datos científicos.

El 7º Programa Marco financia un 75% de los costes de integración y lanzamiento, así como del desarrollo y fabricación de los sensores científicos. El 25% restante, así como el coste de diseño y fabricación de los CubeSats y estaciones de seguimiento de la red deben ser financiados por los participantes en el proyecto.

3. CONCLUSIONES

Para fomentar la motivación de los alumnos es fundamental que tengan un papel más activo en el aprendizaje. Para conseguir esto está especialmente indicada la metodología de aprendizaje basada en proyectos que, no sólo permite que los alumnos adquieran una formación técnica, sino también una formación en competencias transversales como el trabajo en equipo, exposición oral, gestión del tiempo, etc.

Los alumnos reciben con gran interés todo tipo de acciones encaminadas a su participación activa en

proyectos relacionados con el trabajo en un entorno profesional. El hecho de trabajar con satélites reales permite abordar la docencia de forma realista y es muy motivador para los alumnos. De hecho, la experiencia del desarrollo de un satélite de laboratorio propio ha hecho que se triplique el número de alumnos interesados en realizar el PFC en este tema.

Por otra parte, la participación en proyectos internacionales permite la internacionalización de la docencia y fomenta el interés de los alumnos.

En general, todas las experiencias docentes descritas en este trabajo suponen una fuerte motivación, no sólo para los alumnos, sino también para los profesores y colaboradores que participan en las mismas.

4. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por el centro E-USOC y por la Universidad Politécnica de Madrid UPM (Proyectos nº IE10011007, IE01002).

5. REFERENCIAS

- [1] Johnson, D., R., Johnson, and K. Smith, Active Learning: Cooperation in the College Classroom, 2nd ed., Interaction Book Co., Edina, MN, 1998.
- [2] M. Prince, Does Active Learning Work? A Review of the Research, Journal of Engineering education, Vol. 93, No. 3, 2004, pp. 223- 231.
- [3] J. E. Mills, D. F. Treagust, Engineering education – is problem based or project-based learning the answer?, Australasian Journal of Engineering education, 2003,online reference:
http://www.aee.com.au/journal/2003/mills_treagust03.pdf
- [4] J.M. del Cura, A. Laverón y V. Lapuerta., “Experiencias de innovación en el campo del diseño de satélites”. Memorias del Sexto Simposium Iberoamericano de Educación, Cibernética e Informática SIECI, 2009.
- [5] Software STK, online reference:
<http://www.agi.com/products/stk/modules/default.aspx/id/stk-free>
- [6] Mission Idea Contest for Micro/Nano-satellite Utilization, online reference:
<http://www.spacemic.net>
- [7] Misión QB50, online reference:
<https://www.qb50.eu>
- [8] Delfi C³, online reference:
<http://www.delfispace.nl/>
- [9] NOAA, online reference:
<http://www.goes.noaa.gov/>
- [10] GENSO, online reference:
<http://www.genso.org/>
- [11] E-USOC, online reference:
www.eusoc.upm.es