

CURRÍCULO EN ELECTRÓNICA CENTRADO EN EL APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS

Alvaro Araujo, Rubén San Segundo, Javier Macías, Juan Manuel Montero, Octavio Nieto-Taladriz
Departamento de Ingeniería Electrónica. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid.

Este artículo presenta un currículum en Electrónica centrado en el Aprendizaje Basado en Proyectos (PBL). Este currículum consiste en 4 cursos teóricos y 4 laboratorios, donde los alumnos adquieren habilidades en 3 ejes: eje hardware vs. software, eje del ciclo de vida de un sistema (especificación, diseño, implementación y pruebas) y el eje de trabajo en grupo de alumnos vs grupo de I+D, y ha sido aplicado durante los últimos 5 años obteniendo una calificación media de los alumnos superior al 7,4 (en todos los cursos prácticos) y una valoración de los alumnos superior al 7,1.

1. Introducción

El papel de la electrónica se torna fundamental en su integración con otras disciplinas como son la telemática, el procesado digital de la señal y las comunicaciones. Por este motivo, a la hora de diseñar un Currículo de Sistemas Electrónicos, no sólo nos debemos centrar en los aspectos teóricos de los sistemas electrónicos, sino también en la aplicación de la electrónica a esas disciplinas. Este punto de vista es especialmente importante en los estudios de Ingeniero de Telecomunicación, que son un compendio de las tres disciplinas.

La estrategia de aprendizaje basada en proyectos (PBL: Project Based Learning) [1] es una de las más interesantes de cara a su aplicación en carreras técnicas [2]. Dicha estrategia [3][4] fomenta la participación del alumno en el proceso de aprendizaje consiguiendo unos resultados mejores, tanto por los conocimientos como por los hábitos adquiridos por el alumno. Los estudiantes, habitualmente organizados en grupos, realizan proyectos abiertos, multidisciplinares guiados por el profesor. Cada equipo de trabajo diseña e implementa un sistema completo con más de una implementación posible, simulando un entorno profesional en el que deben aplicar diferentes tipos de conocimientos y habilidades. De esta manera los alumnos aprenden, por ejemplo, cómo las prestaciones de un sistema de comunicación o de procesamiento de señal varían significativamente dependiendo de la electrónica utilizada para su implementación.

Con esta estrategia de aprendizaje, el estudiante desarrolla nuevas capacidades que completan su formación y le preparan mejor para el mundo laboral. Entre estas competencias destacan:

- Capacidad de acopio de requisitos: a menudo se les proporciona información imprecisa o incompleta, de forma que deben conseguir una definición de requisitos de sistema cada vez más refinada, preparándose a lo que les deparará el desarrollo de sistemas a nivel profesional.
- Autorregulación y compromiso: se involucran más en el proceso de aprendizaje debido a que especifican sus propios objetivos dentro de los límites aconsejados por el profesor del curso.
- Cooperación y trabajo en grupo: los estudiantes deben ser capaces de organizarse por sí mismos, dividiéndose el trabajo y realizando la integración de las diferentes partes.
- Enfoques interdisciplinares: resuelven problemas complejos que abarcan el conocimiento de varias disciplinas.

Estas capacidades son requisitos muy importantes demandados por la industria, como se deduce de unas de las conclusiones más importantes del Career Space Consortium: *“No es suficiente aprender temas teóricos y aprobar exámenes, sino aplicar las técnicas aprendidas a situaciones reales. Esto es particularmente importante para enfatizar las conexiones entre diferentes aspectos, tener una visión global del sistemas y comprender las restricciones practicas, humanas y tecnológicas del mundo real”*.

A lo largo de este artículo describimos el uso de PBL en las diferentes asignaturas que comprenden el Currículo de un Ingeniero Electrónico, y cómo adaptar la estrategia PBL a las características específicas de cada asignatura.

En los cinco años que comprende el diseño del Currículo, los profesores del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación han realizado un gran esfuerzo en el desarrollo de herramientas software [12][13][14] y plataformas hardware [11] que han hecho posible el diseño y la implementación de dicho Currículo.

El artículo se organiza de la siguiente forma: en la segunda sección se detalla el contexto académico y la estructura del currículo. Los recursos docentes (herramientas software y hardware) se presentan en la tercera sección. La sección cuarta describe las herramientas de gestión y supervisión de diferentes asignaturas. Por último, en la sección cinco se presentan los resultados de la evaluación y en la sección seis se resumen las conclusiones del artículo.

2. Estructura del currículo en electrónica

El Currículo propuesto está incluido dentro de los estudios de Ingeniero de Telecomunicación impartido por el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.

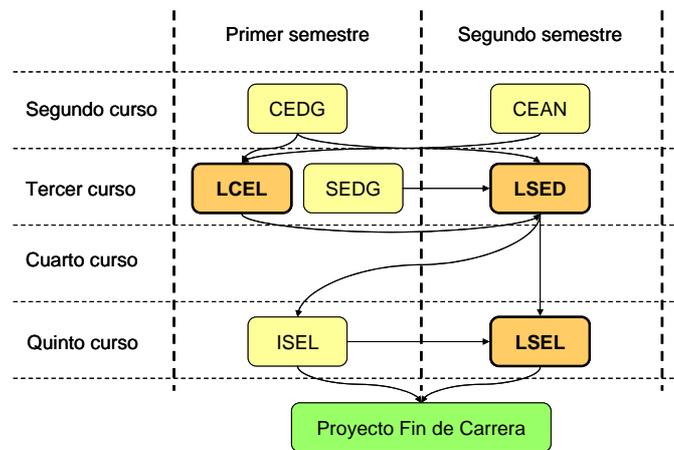


Figura 1. Estructura del currículo

El currículo está formado por 4 asignaturas teóricas y 4 prácticas (Figura 1). Las 4 asignaturas teóricas están centrados en el análisis de problemas o proyectos completos ofreciendo los conocimientos teóricos necesarios: CEDG (Circuitos Electrónicos Digitales) y CEAN (Circuitos Electrónicos Analógicos) introducen los fundamentos de los circuitos analógicos y digitales. SEDG (Sistemas Electrónicos Digitales) se centra en la programación a bajo nivel de un microcontrolador, e ISEL (Ingeniería de Sistemas Electrónicos) profundiza en el diseño global de un sistema centrado en un microprocesador, combinando diseño software (SW) y hardware (HW).

Las 4 asignaturas prácticas son LCEL (Lab. de Circuitos Electrónicos), LSED (Lab. de Sistemas Electrónicos Digitales), LSEL (Lab. Sistemas Electrónicos) y el PFC (Proyecto Fin de Carrera). En

todos los casos el método educativo se centra en la estrategia de aprendizaje basado en proyectos, proyectos que ofrecen una visión de la electrónica como soporte a la ingeniería de telecomunicación en todas sus áreas: control de procesos, tratamiento de señal, comunicaciones y telemática. Además abordan el diseño de un sistema completo y real, justificando las simplificaciones utilizadas (por motivos económicos, temporales o docentes).

Los objetivos pedagógicos que se han buscado son:

- Proporcionar unos fundamentos teóricos sólidos en el análisis y diseño de circuitos analógicos y digitales, así como sistemas basados en microcontrolador.
- Desarrollar de un compendio de sistemas multidisciplinares combinando la implementación de circuitos electrónicos y la programación de sistemas.
- Obtener experiencia práctica en todos los pasos de ciclo de vida de un sistema electrónico: especificaciones, diseño, implementación y pruebas.
- Adquirir otras competencias como pueden ser: iniciativa, trabajo en grupo, capacidad de comunicación, compromiso, etc.

2.1 Asignaturas teóricas

Las cuatro asignaturas teóricas, cuyo objetivo es afianzar los conocimientos teóricos, están orientados a la resolución de problemas, con gran énfasis en el contenido pero con una evaluación basada en el análisis y diseño de sistemas sencillos. Las asignaturas son las siguientes:

- **CEDG (Circuitos Electrónicos Digitales) y CEAN (Circuitos Electrónicos Analógicos):** Estas asignaturas introducen los fundamentos en sistemas analógicos y digitales. Están basadas en el análisis de un sistema hardware completo.
- **SEDG (Sistemas Electrónicos Digitales).** Los estudiantes adquieren los conocimientos básicos para la programación de un microcontrolador (arquitectura, ensamblador, recursos...). El microcontrolador de referencia elegido es un Motorola Coldfire 5272.
- **ISEL (Ingeniería de Sistemas Electrónicos):** Se centra en los sistemas empotrados: arquitectura, microcontroladores, periféricos, interfaces, sistemas operativos, herramientas, sistemas de tiempo real, etc.

2.2 Asignaturas basadas en proyectos

Una vez conseguido afianzar los conocimientos teóricos necesarios, nos centramos en el resto de objetivos docentes. Como consecuencia de esto se imparten las siguientes asignaturas:

- **LCEL (Laboratorio de Circuitos Electrónicos).** Se centra en el diseño, montaje y medida de diferentes módulos que comprenden un sistema con parte analógica y digital. Los conocimientos previos necesarios se imparten en CEDG y CEAN.
- **LSED (Laboratorio de Sistemas Electrónicos Digitales):** Está muy relacionado con SEDG y, en este caso, los estudiantes desarrollan un sistema electrónico basado en microcontrolador haciendo especial énfasis en la programación, incluyendo un componente en tiempo real, depuración, etc.
- **LSEL (Laboratorio de Sistemas Electrónicos):** El objetivo de esta asignatura es desarrollar un sistema empotrado completo, aplicando la misma metodología que un desarrollo industrial: diseño, trabajo a bajo nivel (controlador), medio (aplicación) y alto (interfaz de usuario), documentación técnica y transferencia tecnológica.
- **PFC (Proyecto Fin de Carrera):** Los encuadrados dentro del Departamento de Ingeniería Electrónica realizan un proyecto completo dentro de las áreas de investigación de los diferentes grupos, inmersos en diferentes proyectos con contacto con la industria.

El desarrollo del Currículo comprende un trabajo en tres dimensiones diferentes, de acuerdo con los objetivos pedagógicos perseguidos Figura 2.

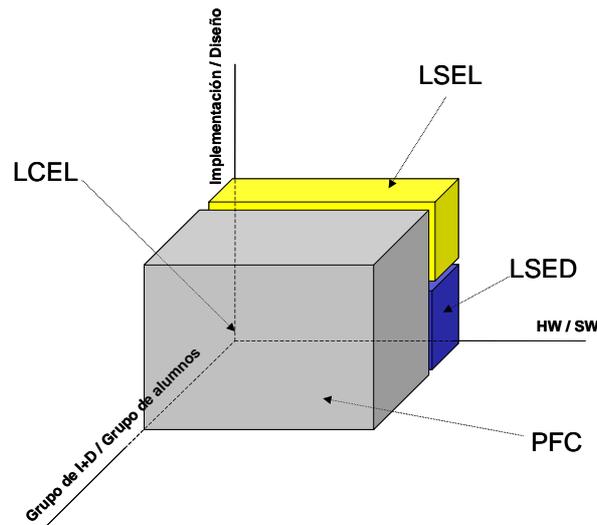


Figura 2. Dimensiones del Currículo

- *Dimensión HW-SW.* El LCEL se centra en la componente hardware mientras que en el LSED prima la componente software de la programación. Posteriormente, en los cursos LSEL y PFC, ambas componentes cobran una relevancia similar que depende del proyecto abordado en cada caso.
- *Dimensión según el ciclo de vida de un sistema.* Mientras los cursos LCEL y LSED se centran en la implementación y prueba de determinados módulos del sistema (la especificación, el diseño y metodología son proporcionados por los profesores), el LSEL se centra en las fases de especificación, diseño y metodología, y no en la implementación de los módulos concretos (se fomenta la reutilización de módulos ya desarrollados). Finalmente el PFC cubre todas las fases: especificación, diseño, implementación de módulos y pruebas.
- *Dimensión grupo de alumnos-grupo de I+D.* LCEL, LSED y LSEL son laboratorios donde los alumnos realizan el proyecto en grupos de dos: fomentándose la definición de la organización y planificación del trabajo. Finalmente en el PFC los alumnos se integran en la estructura de un grupo de I+D con mecanismos de organización y planificación ya definidos.

3. Recursos docentes

El principal esfuerzo en la generación de recursos se ha centrado en los laboratorios PBL. Este esfuerzo se ha orientado a conseguir un nuevo entorno de desarrollo completo y lo suficientemente flexible como para ser adaptado a cada asignatura. De esta manera se permite a los estudiantes reutilizar el conocimiento en el manejo del entorno y la plataforma de un curso a otro. En este apartado introducimos brevemente el equipamiento hardware y las herramientas software desarrolladas, por considerar que son una parte fundamental para la implantación de esta técnica de aprendizaje. Detalles adicionales se pueden encontrar en [11][12][14].

3.1 Una plataforma hardware común

Uno de los principales objetivos cuando diseñamos las asignaturas PBL era el uso de la misma plataforma hardware a lo largo de los diferentes niveles que conforman el Currículo. Dicho esto, la plataforma diseñada tiene requisitos de diseño muy estrictos: robustez (para estudiantes que no tienen demasiada práctica manejando componentes electrónicos), flexibilidad (amplio rango de posibilidades: desde sencillos módulos electrónicos hasta sistemas hardware y software complejos) y profesionalidad (puesto que queremos poder realizar también proyectos industriales).

Con todas estas consideraciones el equipo docente diseñó la plataforma ANTARES [15], una plataforma industrial para el desarrollo de sistemas electrónicos. Esta plataforma contiene un microcontrolador Motorola MCF5272 de 32 bits, con 16 MB de memoria SDRAM y 4 MB de memoria FLASH y diversos periféricos: módulo Ethernet, puertos serie, USB, entradas/salidas digitales...

La aplicación de la plataforma tiene diferentes adaptaciones dependiendo de la asignatura, especialmente teniendo en cuenta las herramientas software proporcionadas y los objetivos de la misma. En la Figura 3 se muestra la integración de la plataforma así como las adaptaciones desarrolladas, tanto de las asignaturas PBL (LCEL, LSED, LSEL y PFC) como de las teóricas (CEAN, CEDG, SEDG e ISEL). También se incluyen las relaciones con las herramientas software (EDColdfire y Sistema Operativo uCLinux) y el hardware común con las diferentes adaptaciones DANTARES (aplicada a la docencia) y FANTARES (aplicada a los dispositivos de lógica programable).

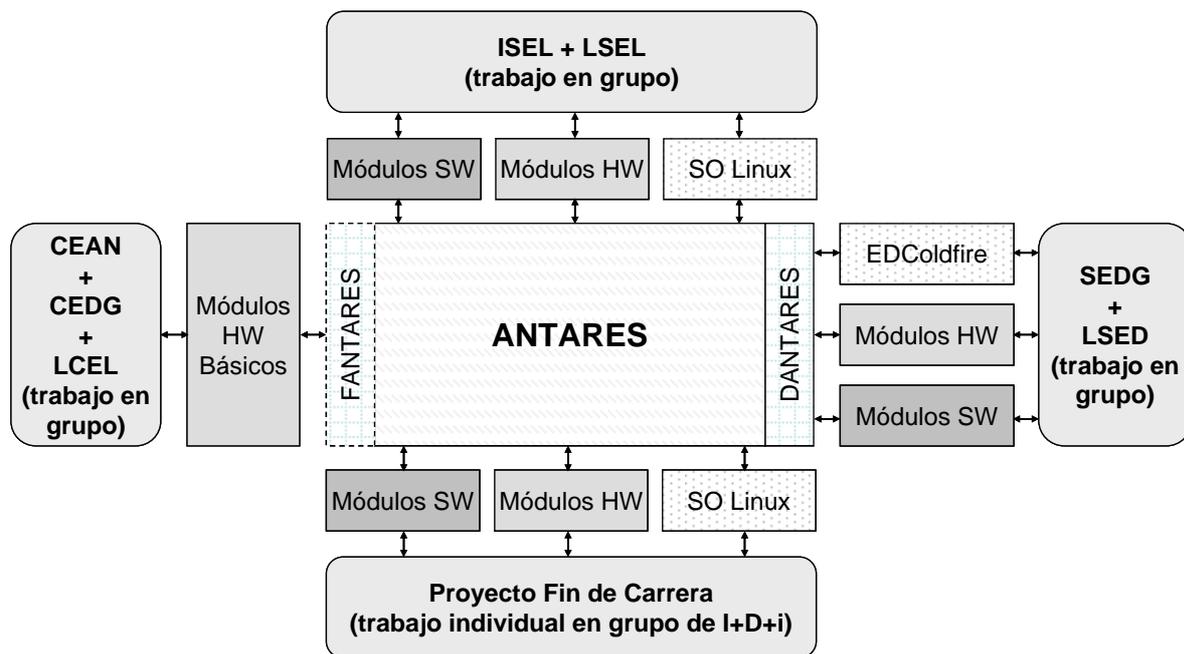


Figura 3. Planteamiento en torno a la plataforma común

3.2 LCEL: La plataforma FANTARES

En LCEL los alumnos tienen que diseñar, simular, montar, probar y documentar un sistema electrónico completo que combina electrónica analógica y digital (laboratorio basado en hardware), en grupo de dos estudiantes. Las herramientas software consisten en entornos de simulación visual que cubren las dos primeras etapas (diseño y simulación). Para la fase de implementación se usan placas de inserción con circuitos integrados estándar y un equipamiento completo de laboratorio. Actualmente se está trabajando en la inclusión de un sistema basado en una FPGA a la plataforma Antares (FANTARES), de forma que tengan una primera toma de contacto con la plataforma común.

3.3 LSED: Plataforma DANTARES

Los estudiantes que cursan esta asignatura no tienen experiencia suficiente para manejar sistemas electrónicos basados en microcontrolador, con lo que es necesario (demostrado empíricamente), incluir protecciones externas a la plataforma común. Esto se consigue mediante un bus de expansión que posee ANTARES, de manera que tenemos todas las entradas y salida optoacopladas y libres de

sobretensiones. En la Figura 4 se muestra la plataforma DANTARES conectada a una placa externa de prototipado. El software utilizado para el desarrollo es un entorno integrado para el sistema operativo Windows denominado EDColdFire. Ha sido íntegramente desarrollado por los profesores y permite edición, carga, ejecución y depuración de código fuente (tanto en C como en ensamblador).

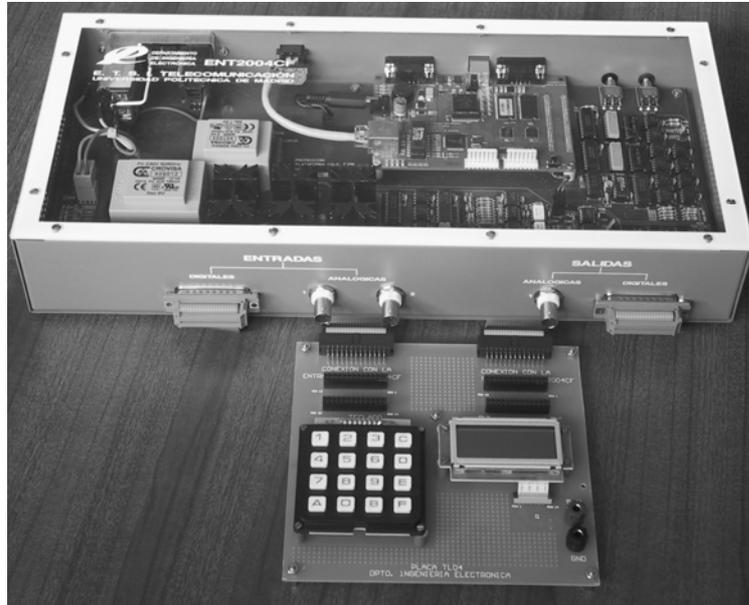


Figura 4. Plataforma DANTARES

3.4 LSEL y PFC: ANTARES

Puesto que LSEL se imparte en el último curso, no es tan necesario la utilización de protecciones, de la misma manera que en el PFC. En estas asignaturas los estudiantes no desarrollan todos los módulos de un sistema, sino que la principal labor está en la integración de diferentes módulos. La plataforma se proporciona con un sistema operativo empotrado: uCLinux (un sistema GNU/Linux para microprocesadores que no disponen de unidad de gestión de memoria). De esta forma los alumnos aprenden a realizar un controlador, incluido dentro del núcleo de un sistema operativo, que maneje el hardware diseñado por ellos y por último una aplicación que controle todo el sistema.

Para desarrollar la práctica libre se utiliza un ordenador de desarrollo con las herramientas cruzadas necesarias para trabajar con la plataforma destino, en este caso Antares.

4. Herramientas administrativas y docentes basadas en web

Cuando incluimos la filosofía PBL en el Currículo, surgieron algunas dificultades, debido a las características especiales que exigen el PBL y la atención intensiva que necesita el estudiante. Al hablar de PBL lo asociamos a un grupo compuesto por pocas personas debido a la carga que impone esta estrategia. En el escenario de la educación en nuestro país, únicamente podría impartirse PBL en las asignaturas de últimos cursos. Sin embargo, pretendimos extender esta técnica a asignatura masivas (mas de 400 alumnos), con las dificultades que esto conlleva: carga administrativa, control del alumno, realimentación, detección de plagios...

Para cubrir estas dificultades se desarrollaron por parte de los profesores varias herramientas web, usando tecnologías basadas en software libre, como son:

- Herramienta de inscripción en el laboratorio: de cara a establecer los turnos físicos en los puestos de laboratorio teniendo en cuenta las restricciones de horarios, disponibilidad y profesores requeridos.
- Gestión de recursos del laboratorio: proporcionando a los estudiantes una herramienta de solicitud de puestos extras (dependiendo de sus necesidades o trabajo extra), asignados por orden de solicitud.
- Gestión de planificación: que permite de una manera sencilla ver el progreso de cientos de estudiantes y detectar problemas con el seguimiento de la asignatura de manera inmediata, especialmente crítico en la filosofía PBL. Permite obtener estadísticas con diferentes grados de detalle según las necesidades.
- Encuestas automáticas: para comprobar la opinión de los alumnos y la generación automática de resultados, garantizando la seguridad y el anonimato de los alumnos.
- Herramientas para la detección de plagio. Aunque compartir información entre los estudiantes es algo deseable, un exceso en esa compartición no es admisible. Con estas herramientas automáticas se detectan copias del código fuente, habiendo reducido el número de copias de un 5% a un 1 %.
- Herramientas para el análisis automático de la calidad de software. El estilo de programación es analizado teniendo en cuenta 48 características básicas de un programa (variables globales, número y tamaño de subrutinas,...)

5. Resultados de la evaluación

El proceso de evaluación a lo largo de cuatro cursos académicos consecutivos tiene en cuenta tanto los resultados académicos, como la impresión de los estudiantes recogidas en las encuestas.

5.1 Resultados académicos

Durante todos estos años el equipo docente ha seguido muy de cerca las notas de los alumnos para poder evaluar el grado de cumplimiento de nuestros objetivos. La Figura 5 muestra un histograma acumulado de las notas de LCEL y LSED, que se podría resumir en los siguientes datos:

- La mayoría de los estudiantes aprueban la asignatura: 97,2 % y 96,8% , para LCEL y LSED respectivamente.
- Un 42,77 % y un 39,4%, respectivamente, superan la calificación de 8.
- Un 5,8 % y un 7,3% tiene la nota más alta posible (Matrícula de Honor)
- La nota media está en un 7,5 y 7, respectivamente, muy alta en comparación con otras asignaturas de la carrera.

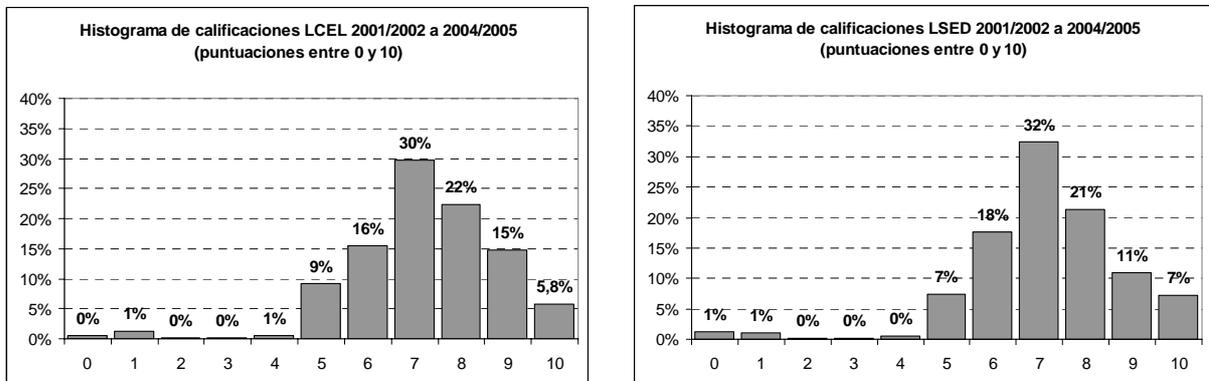


Figura 5. Resultados académicos de LCEL y LSED

Los resultados muestran como, a pesar de que la dificultad y complejidad de los objetivos ha aumentado, los estudiantes los han cumplido de manera satisfactoria.

Por otro lado, observando los resultados de LSEL (Figura 6), se ven que las notas mejoran, debido a la motivación extra de los últimos cursos en asignaturas de especialidad, llegando a una media de 8,5 puntos.

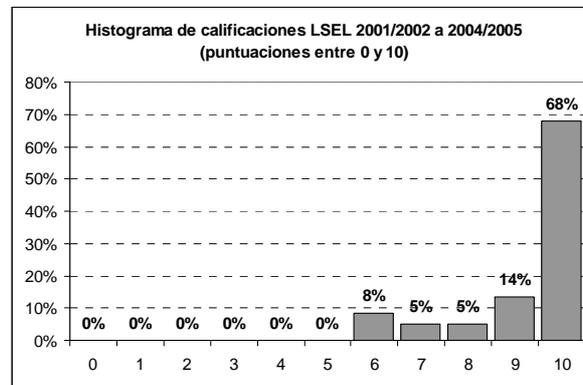


Figura 6. Resultados académicos de LSEL

5.2 Encuestas de alumnos

Cuando iniciamos el nuevo Currículo, el equipo docente monitorizaba concienzudamente las medidas que ofrecían las encuestas de los estudiantes. Se les propone a los alumnos que evalúen una serie de cuestiones (0 totalmente en desacuerdo hasta 5, totalmente de acuerdo). De la Figura 7 podemos obtener las siguientes conclusiones:

- [Q1] La asignatura resulta interesante, proporcionando una media de 3,9 sobre 5.
- [Q2] El esfuerzo que ha supuesto la asignatura merece la pena comparado con el nivel de conocimientos y competencias adquiridos, con una media de 3,2 sobre 5.
- [Q3] La asignatura ha aumentado el interés del alumno por la electrónica, con una media de 3,2 sobre 5.
- [Q4] La evaluación de la asignatura por parte de los estudiantes es muy buena (71,7 sobre cien)

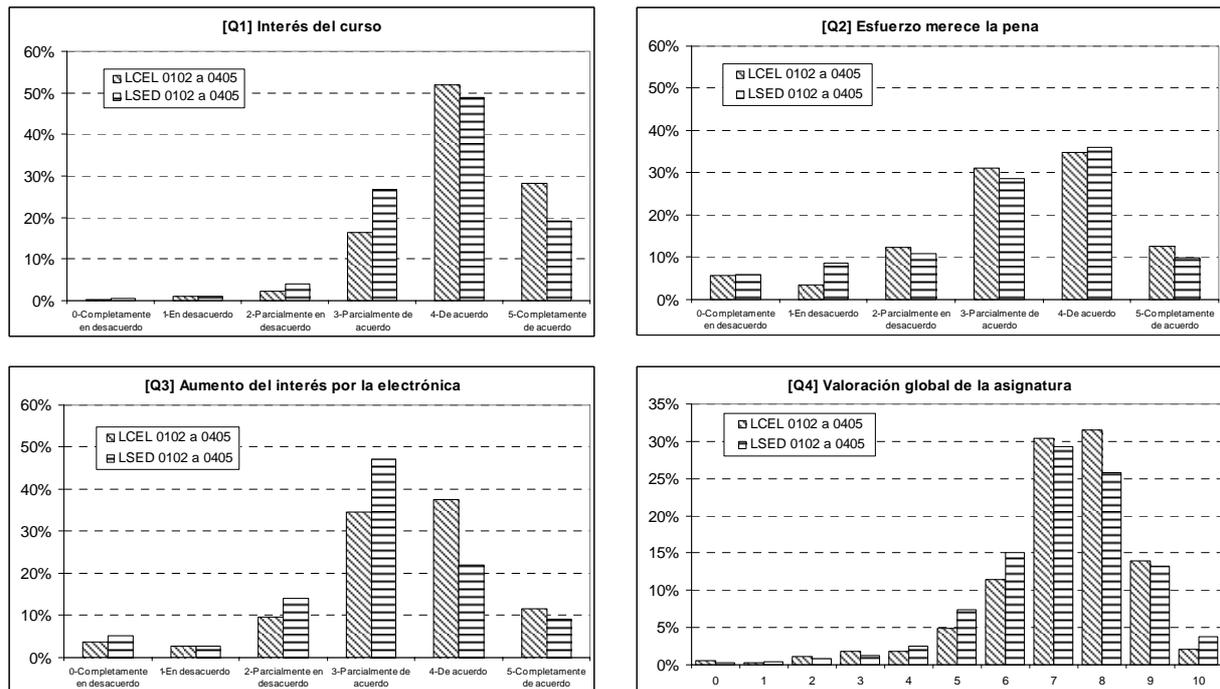


Figura 7. Resultados de las encuestas de LCEL y LSED

6. Conclusiones

Este artículo recoge el diseño de un Currículo en Sistemas Electrónicos centrado en el aprendizaje basado en proyectos en torno a una plataforma hardware común, que ha permitido que los alumnos sean capaces de realizar proyectos cada vez más complejos y multidisciplinarios. Este Currículo ha sido diseñado teniendo en cuenta la importancia creciente de la electrónica en otras disciplinas de las que componen la carrera de Ingeniero de Telecomunicación: telemática, procesado de señal y comunicaciones.

La estructura del Currículo consiste en ocho asignaturas: cuatro teóricas y cuatro basadas en proyectos (incluyendo el Proyecto Fin de Carrera). Estas últimas están organizadas según tres ejes de evolución. Cada eje se centra en un aspecto de diseño de sistemas electrónicos: Hardware /Software, Ciclo de vida y trabajo en grupo.

El proceso de diseño ha tenido en cuenta un método integrado, prestando especial atención a la progresiva adquisición de habilidades en torno a una plataforma hardware común. Las herramientas de desarrollo complementan el marco docente permitiendo aportar diferentes aspectos dependiendo de los objetivos concretos de la asignatura.

Las herramientas administrativas y docentes constituyen un elemento esencial a la hora de poner en práctica el aprendizaje basado en proyectos en asignaturas masivas. Estas herramientas web mejoran significativamente el trabajo de los profesores permitiéndole llevar a más de 400 estudiantes. La información obtenida mediante las mismas son muy útiles de cara a la planificación y detección de anomalías a lo largo del curso.

El Currículo propuesto ha sido aplicado desde el curso 2000-2001 con muy buenos resultados. Se han diseñado y propuesto más de 50 proyectos diferentes (sistemas de procesado de audio y vídeo, decodificación, control de procesos, comunicaciones,...): 60% aprox. propuestos por los profesores y el resto por iniciativa de los propios alumnos. La calificación media obtenida por los alumnos, para todos los laboratorios basados en proyectos, fue superior al 7.4. La valoración en las encuestas de los alumnos fue superior al 7.1, revelando un aumento en su interés por la electrónica.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a todos los miembros del Departamento de Ingeniería Electrónica de la E.T.S.I.Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid su dedicación en los últimos años en pos de mejorar la calidad de la docencia.

Referencias

- [1] Solomon, G., "Project-Based Learning: a Primer," *Technology and Learning*, vol. 23, no. 6, pp. 20-30, Jan. 2003.
- [2] Hedley, M., "An undergraduate microcontroller systems laboratory," *IEEE Transactions on Education*, vol. 41, no. 4, pp. 345-353, Nov. 1998.
- [3] Markkanen, H., Donzellini, G. and Ponta, D., "NetPro: methodologies and tools for Project Based Learning in Internet," *World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications (ED-MEDIA 2001)*, Chesapeake, VA, pp. 1230-1235. 2001.
- [4] Ponta, D., Donzellini, G. and Markkanen, H., "NetPro: Network Based Project Learning in Internet," *European Symposium on Intelligent Technologies, Hybrid Systems and their implementation on Smart Adaptive Systems 2002*, Albufeira, Portugal, pp.703-708. 2002.
- [5] Ambrose, S.A. and Amon, C.H., "Systematic design of a first-year mechanical engineering course at Carnegie-Mellon University," *Journal of Engineering Education*, vol. 86, pp. 173-182, Apr. 1997.
- [6] San-Segundo, R., Montero, J.M., Macías-Guarasa, J., Ferreiros, J. and Córdoba R. "Towards the Acquisition of Soft and Systemic Skills: a Project Based Learning Experience in Massive Laboratories on Electronics," *International Conference on Engineering and Computer Education 2005 (ICECE'05)*, Madrid, Spain. Nov. 2005.
- [7] Career Space Consortium. Online http://www.career-space.com/project_desc/index.htm [last access April 2006]
- [8] Cheville, R. A., McGovern, A., and Bull., K. S., "The Light Applications in Science and Engineering Research Collaborative Undergraduate Laboratory for Teaching (LASER CULT)-Relevant Experiential Learning in Photonics," *IEEE Transactions on Education*, vol. 48, no. 2, pp. 254-263. 2005.
- [9] Somerville, M., Anderson, D. Berbeco, H., Bourne, J.R., Crisman, J., Dabby, D., Donis-Keller, H., Holt, S.S., Kerns, S., Kerns, D.V., Jr., Martello, R., Miller, R.K., Moody, M., Pratt, G., Pratt, J.C., Shea, C., Schiffman, S., Spence, S., Andrea Stein, J., Stolk, J.D., Storey, D.B., Tilley, B., Vandiver, B., and Zastavker, Y., "The Olin Curriculum: Thinking Toward the Future," *IEEE Transactions on Education*, vol. 48, no. 1, pp 198-205, 2005.
- [10] Martínez-Monés, A., Gómez-Sánchez, E., Dimitriadis, Y., Jorrín-Abellán, I., Rubia-Avi, B., and Vega-Gorgojo, G., "Multiple Case Studies to Enhance Project-Based Learning in a Computer Architecture Course," *IEEE Transactions on Education*, vol. 48, no. 3, pp. 482-489, 2005.
- [11] Nieto-Taladriz, O., Araujo, A., Fraga, D., Montero, J.M., Izpura, J.I., "ANTARES: A synergy between University Education and Research, Development and Technology Innovation Groups," *The Colloquium on Higher Education of Electronics*, Servia, pp. 9-22, May 2004..
- [12] San-Segundo, R., Montero, J.M., Macías-Guarasa, J., Córdoba, R., Ferreiros, J. "Automatic Tools for Diagnosis and Feedback in a Project Based Learning Course," *Frontiers in Education Conference (IEEE & ASEE)*, Indianapolis, IN, pp. S2D_17-S2D_22, Oct. 2005.
- [13] Macías-Guarasa, J., Montero, J.M., San-Segundo, R., Ferreiros, J., Córdoba, R., "Tools and Strategies for Improving PBL Laboratory Courses with a High Student-to-Faculty Ratio," *Frontiers in Education Conference (IEEE & ASEE)*, Indianapolis, IN, pp. F2C_7-F2C_12, Oct. 2005.
- [14] Montero, J.M., San-Segundo, R., Macías-Guarasa, J., Córdoba, R., Ferreiros, J., "Methodology For The Analysis Of Instructors' Grading Discrepancies In A Laboratory Course" to be published in the *International Journal of Engineering Education*, 2006.