

Experiencia de aprendizaje basado en proyectos en diseño de circuitos electrónicos digitales con VHDL

Felipe Machado, Susana Borromeo

Departamento de Tecnología Electrónica. Universidad Rey Juan Carlos. c/ Tulipán s/n, 28933, Móstoles, España

En este trabajo se expone la experiencia docente en la enseñanza del diseño de circuitos y sistemas electrónicos digitales con FPGA mediante VHDL. La asignatura sigue una metodología de aprendizaje basado en proyectos en la que los alumnos aprenden a diseñar circuitos y sistemas digitales de manera práctica. A lo largo del curso los alumnos realizan circuitos digitales de complejidad incremental. En consecuencia, al final del curso son capaces de realizar un proyecto de relativa complejidad, como lo son sistemas de procesamiento de imágenes o videojuegos. Como resultado, los alumnos aprenden de manera activa el diseño de circuitos digitales.

I. INTRODUCCIÓN

El aumento del empleo de dispositivos lógicos programables (FPGA, CPLD) y de herramientas CAD (*Computer Aided Design*) para el diseño de sistemas electrónicos digitales ha sido muy notable en los últimos años. Debido a este cambio en el ámbito profesional, los informes de la ACM (*Association for Computing Machinery*) y el IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) sobre el desarrollo de guías curriculares de programas docentes de titulaciones relacionadas con las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicaciones) recomiendan la introducción de nuevos contenidos docentes que incorporen estos aspectos [1-2].

Por otro lado, con la inminente implantación en la Universidad Española del Espacio Europeo de Educación Superior promulgado por la Declaración de Bolonia, se tendrán que incorporar nuevas metodologías docentes que fomenten un aprendizaje más activo de los alumnos [3].

Considerando estas dos circunstancias, en este trabajo se describe la metodología empleada para la asignatura "diseño de sistemas y circuitos electrónicos" (DCSE) de la titulación de Ingeniería de Telecomunicación en la Universidad Rey Juan Carlos (URJC). En la metodología docente de la asignatura se han incorporado las propuestas curriculares citadas anteriormente, aplicando la estrategia de aprendizaje basado en proyectos (*Project Based Learning: PBL*) en la asignatura [4-6].

La asignatura se lleva impartiendo desde hace sólo tres años debido a que la Universidad Rey Juan Carlos es una universidad de reciente creación y la carrera de Ingeniería de Telecomunicación se inició en el curso

2003-04. En este artículo se describe la metodología aplicada y los resultados en los dos últimos cursos.

La organización de este artículo es la siguiente: En primer lugar se resume el contexto formativo que tienen los alumnos que cursan esta asignatura. Posteriormente se detallan los objetivos y contenidos de la asignatura. Seguidamente se describen la infraestructura con la que se cuenta para poder llevar a cabo la metodología propuesta. En la sección V se describe la metodología. Por último se muestran los resultados y para terminar se elaboran las conclusiones.

II. CONTEXTO FORMATIVO

La asignatura "Diseño de circuitos y sistemas electrónicos" (DCSE) es una asignatura troncal de seis créditos que se imparte en cuarto curso del plan de estudios de Ingeniería de Telecomunicación. En la figura 1 se muestran las asignaturas previas relacionadas con DCSE. Como puede apreciarse, una vez llegado a este curso, los alumnos tienen una base de conocimientos importante en circuitos eléctricos y circuitos electrónicos analógicos.

| curso | Electrónica analógica | Electrónica digital | Fundamentos de computadores |
|-------|---|--|--|
| 1º | ADC (6cred) Análisis y diseño de circuitos | ED1 (4,5cr) Electrónica digital I | |
| | CEM (6cred) Componentes electrónicos y medidas | | |
| 2º | EA (6cred) Electrónica analógica | ED2 (4,5cr) Electrónica digital II | FC1(6cr) Fund. de los computadores I |
| | | | FC2(6cr) Fund. de los computadores II |
| 3º | | | SED (6cr) Sistemas electrónicos digitales |
| 4º | | DCSE (6 créditos) Diseño de circuitos y sistemas electrónicos | |

Figura 1: Asignaturas previas en el plan de estudios relacionadas con DCSE.

Relativo al aprendizaje de la electrónica digital, los alumnos han recibido dos cursos de 4,5 créditos cada uno. En el primer curso (ED1) han aprendido los fundamentos teóricos del diseño digital con puertas y bloques lógicos. En la práctica han empleado circuitos de pequeña escala de integración (SSI) pero sobre todo han realizado diseños en FPGA con esquemáticos [7].

En el segundo curso de electrónica digital (ED2) se profundiza en el diseño digital. Aprendiendo la metodología de diseño para realizar circuitos digitales con máquinas de estados finitos de cierta complejidad e implementándolos en las FPGA mediante VHDL [8].

Por último, los alumnos también han adquirido conocimientos sobre estructura de computadores. Además, en la asignatura de "sistemas electrónicos digitales" (SED) han trabajado con microcontroladores tanto en la teoría como en la práctica.

Así pues, los alumnos que llegan a este curso disponen de una notable base teórica y práctica en el diseño de circuitos digitales, además de conocimientos de estructura de computadores y electrónica analógica.

III. OBJETIVOS Y CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA

El objetivo principal de la asignatura es enfrentar al alumno con el diseño de sistemas electrónicos digitales reales, dando a conocer las distintas alternativas y enseñando a valorar sus implicaciones.

Otros objetivos que se pretenden que el alumno logre con esta asignatura son:

- Obtener una visión global del diseño electrónico digital y arquitectura de computadores, aunando los conocimientos aprendidos en los cursos precedentes
- Conocer las distintas alternativas de diseño de sistemas digitales
- Aprender a valorar las implicaciones de cada alternativa en sus diferentes aspectos: costes, tiempo de desarrollo, prestaciones, consumo, flexibilidad,...
- Utilizar herramientas de diseño digital y dispositivos electrónicos programables
- Dominar el lenguaje de descripción de hardware VHDL
- Diseñar componentes aritméticos y filtros digitales
- Saber optimizar los diseños en cuanto a velocidad, área y consumo. Conocer los compromisos entre estas variables.
- Diseñar estrategias de comprobación y verificación de los sistemas
- Establecer la comunicación entre los distintos componentes del sistema y con el exterior
- Aprender a trabajar en equipo

Estos objetivos se estructuran en los siguientes contenidos:

| Tema | Contenidos |
|------|--|
| T-1 | Introducción a los sistemas electrónicos - Diseño de sistemas electrónicos digitales - Especificaciones y requisitos del sistema - Microprocesadores, dispositivos programables, ASICs |
| T-2 | Dispositivos de lógica programable - Evolución histórica - Arquitecturas |
| T-3 | Herramientas de diseño - Síntesis y simulación: <i>Xilinx ISE, Modelsim</i> |
| T-4 | Metodología de diseño - Diseño con VHDL - Diseño modular y jerárquico - Diseño para síntesis - Diseño genérico y configurable - Reutilización, propiedad intelectual - Equipos humanos de diseño |
| T-5 | Comprobación de los circuitos - Diseño de bancos de pruebas - Estrategias de diseño para test |
| T-6 | Diseño de circuitos aritméticos y filtros digitales - Sumadores, restadores - Multiplicadores, divisores - Filtros digitales |
| T-7 | Sincronización, diseño de interfaces - Comunicación asíncrona - Protocolos y buses |
| T-8 | Optimización - Tipos: frecuencia, área, consumo - Segmentación y paralelización |

Tabla 1: Contenidos de la asignatura DCSE.

IV. INFRAESTRUCTURA Y MATERIALES

Para la asignatura se dispone de un laboratorio equipado para electrónica digital en el que hay ordenadores con las herramientas de diseño *ISE Webpack* de *Xilinx* [9] y *ModelSim XE* de *Mentor Graphics* [10].

Para la implementación de los diseños digitales se usa una FPGA *Virtex 2P* de *Xilinx* integrada en la tarjeta *Virtex-II Pro Development System (XUP-V2P)* [11].

La capacidad de la FPGA supera con creces la lógica que se quiere implementar. La FPGA contiene bloques de memoria RAM, multiplicadores y dos núcleos de procesadores PowerPC.

La tarjeta utilizada para la asignatura proporciona una plataforma de desarrollo avanzada ya que, además de la FPGA de altas prestaciones que contiene, se dispone de un amplio conjunto de periféricos que pueden ser usados para crear un sistema electrónico complejo. Entre los periféricos se encuentran: VGA, puertos serie, ethernet y PS/2, codificador de audio, memoria externa, LED, interruptores y pulsadores.

Con este entorno el alumno dispone de los medios para implementar un sistema electrónico complejo.

V. METODOLOGÍA

A. Planteamiento

Para impartir los contenidos de la asignatura (tabla 1) se ha optado por la metodología de aprendizaje basado en proyectos (PBL). Además, en vez de seguir una estructura separada por temas como la mostrada en la tabla, se han introducido los temas según las necesidades de cada proyecto propuesto. Con esto se pretende que la necesidad del alumno de resolver un problema le conduzca a querer conocer los métodos para su resolución.

En los cursos anteriores los alumnos ya han demostrado los conocimientos teóricos fundamentales para el diseño electrónico digital, además de conocimientos relativos a la estructura de computadores y electrónica analógica. En esta asignatura se pretende que el alumno aprenda la metodología de diseño de forma práctica, que integre los conocimientos adquiridos en cursos anteriores y, sobre todo, que se enfrente a los problemas reales del diseño electrónico digital y los sepa resolver.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que un importante número de alumnos provenía de otras

universidades. Por tanto no tenían la formación específica, especialmente en VHDL, que poseían los alumnos de la propia universidad. Esto fue más notorio en el curso 2007-08 en donde un 31% de los alumnos venía de fuera. En el curso 2008-09 la proporción fue menor (17%).

B. Estructura del curso

El curso se estructura en tres tipos de clases: seminarios, prácticas guiadas y proyecto final

Los **seminarios** son clases teóricas impartidas a lo largo del curso para explicar los temas iniciales (temas 1 y 2) e introducir cada una de las prácticas y el proyecto final. En estos seminarios se esbozan los problemas principales con los que se enfrentarán los alumnos y las distintas estrategias para abordarlos. Se incluyen también referencias para obtener una mayor información.

Las **prácticas guiadas** constituyen la base del aprendizaje de la asignatura. Los alumnos se enfrentan con proyectos con una complejidad gradual. La realización de estas prácticas les permite tener la experiencia necesaria para afrontar el proyecto final

| nº | Práctica | Horas | Objetivos | |
|----|-------------------------------------|---------------------------------|--|--|
| 1 | Manejo elemental de la tarjeta | 2 | - Conocer la tarjeta de desarrollo - Introducir el entorno de desarrollo | - Comprobar que todo funciona bien - Interfaz con pulsadores |
| 2 | Simulación | 2 | - Recordar cómo se simula - Herramientas para simulación | - Diferencias entre VHDL sintetizable y de simulación |
| 3 | Registros de desplazamiento | voluntaria | - Repaso de ED2 | |
| 4 | Máquinas de estados finitos | voluntaria | - Repaso de ED2 | |
| 5a | Transmisor UART | 12 | - Realizar un diseño de cierta complejidad - Integrar lo aprendido en cursos anteriores - Realizar bancos de pruebas complejos | - Comprender los problemas de la comunicación asíncrona - Diseño genérico |
| 5b | Transmisor-receptor UART | 8 | - Diseño jerárquico - Reutilización | - Profundizar en los bancos de pruebas y simulación - Diseño genérico |
| 6 | Controlador VGA | 8 | - Temporización y sincronización - Realizar un diseño complejo | - Comprender el funcionamiento de aparatos que conocen - Profundizar en los bancos de pruebas y simulación - Vislumbrar las posibilidades del diseño digital |
| 7 | Videojuego de tenis | 8 | - Operaciones matemáticas - Concurrencia | - Profundizar en la sincronización y temporización |
| 8 | Puerto PS/2 | voluntaria (útil para proyecto) | - Reutilización - Concurrencia | - Interfaz, puertos de entrada/salida |
| 9 | Operaciones matemáticas | voluntaria (útil para proyecto) | - Paralelización - Segmentación | - Dificultad y alternativas de las operaciones matemáticas - Frecuencia, área y consumo |
| 10 | Dibujar imagen en pantalla | voluntaria (útil para proyecto) | - Uso de memorias (ROM), direccionamiento - Representación de imágenes en memoria - Temporización y sincronización | - Operaciones matemáticas - Reutilización |
| 11 | Escritura de caracteres en pantalla | voluntaria (útil para proyecto) | - Temporización y sincronización - Reutilización - Diseño jerárquico | - Uso de memorias ROM y RAM, control de acceso - Integración de un sistema - Simulación de un sistema complejo |
| 12 | Procesamiento digital de imágenes | voluntaria (útil para proyecto) | - Operaciones matemáticas - Filtros digitales - Temporización y sincronización - Reutilización | - Uso de memorias ROM y RAM, control de acceso - Diseño jerárquico - Integración de un sistema - Simulación de un sistema complejo |

Tabla 2: Prácticas obligatorias y voluntarias de la asignatura.

La tabla 2 muestra las prácticas guiadas de la asignatura. Éstas se realizan durante las horas de clase, aunque como los programas de diseño y simulación tienen versión gratuita, los alumnos pueden realizar el diseño fuera de las horas de clase y luego probarlo en el laboratorio.

Todas las prácticas tienen un guión para su realización. En éste se resaltan los aspectos nuevos o importantes que el alumno debe tener en cuenta [12].

En el curso 2007-08, las prácticas 3 y 4 fueron obligatorias para asentar los conceptos básicos. Esto se hizo así a causa de la gran proporción de estudiantes que venían de otras universidades. Esto hizo que hubiese menos tiempo para el proyecto final, y por tanto, éste tuvo una menor exigencia.

Tanto las prácticas guiadas como el proyecto final se realizan por parejas, aunque también se les daba la posibilidad de realizarlas individualmente. Durante el curso 2007-08 había 19 alumnos mientras que en el curso 2008-09 había 29 alumnos.

El **proyecto final** es un diseño digital de cierta complejidad y tamaño en el que se integra todo lo aprendido en las prácticas.

Para la elección del proyecto final se permite a cada grupo proponer un proyecto que les parezca interesante. Durante la propuesta, el profesor y los alumnos estudian las distintas maneras de abordar la realización del proyecto, se evalúa su complejidad y se valora si tiene suficiente entidad como para considerarlo como proyecto final o si por el contrario, excede con creces los requisitos de la asignatura. Durante esta fase se establecen los objetivos mínimos del proyecto y la calificación aproximada según los objetivos alcanzados.

Aquellos alumnos que no tuviesen ninguna propuesta de proyecto final, se les planteaban varias posibilidades entre las que tenían que elegir.

En general los alumnos optaron por dos tipos de proyecto: realizar un videojuego (ver figura. 2) o realizar un procesamiento de imágenes.

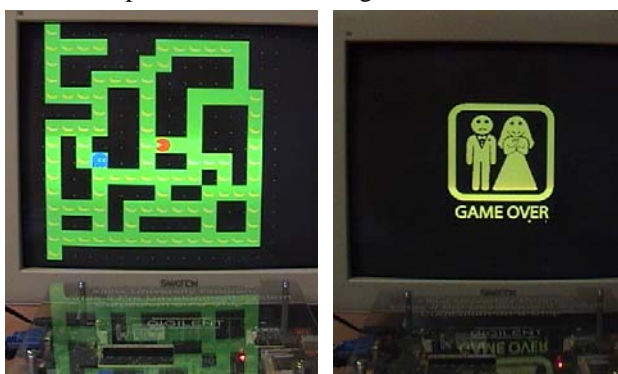


Figura 2: Imágenes de proyectos finales de videojuegos

Para el videojuego, los requisitos mínimos eran hacer uso de memorias ROM para mostrar imágenes y poner marcadores numéricos realizados con mapas de bits. Se realizaron videojuegos como el Come-cocos,

Arkanoid, Super Mario Bros, Tetris, Serpiente, Pang o de carreras de coches.

Para el videojuego, los requisitos mínimos eran hacer uso de memorias ROM para mostrar imágenes y poner marcadores numéricos realizados con mapas de bits. Se realizaron videojuegos como el Come-cocos, Arkanoid, Super Mario Bros, Tetris, Serpiente, Pang o de carreras de coches.

En el procesamiento de imágenes, la FPGA recibía una imagen por el puerto serie, le aplicaba un filtro digital y mostraba por pantalla la imagen original y procesada.



Figura 3: Imagen de proyecto final de procesamiento

C. Evaluación

Los alumnos son evaluados a través de cuatro fuentes

- El proyecto final (80%)
- Las prácticas obligatorias (apto - no apto)
- Las prácticas optativas (punto adicional)
- Una prueba teórica (20%)

El **proyecto final** es la principal fuente de evaluación del alumno, ya que cuenta un 80% de la nota. Al finalizarlo, los alumnos deben presentarlo indicando sus características generales y las dificultades que afrontaron. La entrega del proyecto va acompañada de una memoria descriptiva que se asemejaría a las especificaciones del sistema realizado.

Sin embargo, la evaluación de este proyecto no se realiza únicamente en el día de la presentación debido al seguimiento continuo por parte de los profesores. Ya que durante las horas de laboratorio y en tutorías los alumnos solicitan orientación para resolver los múltiples problemas con los que se enfrentan. Por tanto la evaluación es continua y los alumnos pueden mejorar el proyecto en caso de que quieran subir nota. Hasta cierto punto, los alumnos pueden decidir hasta donde quieren llegar y a qué nota aspiran.

Las **prácticas obligatorias** deben entregarse durante el transcurso del curso. Estas prácticas son necesarias para aprobar la asignatura ya que dan los conocimientos y experiencia adecuada para afrontar el proyecto final

Las **prácticas optativas** son un conjunto de prácticas adicionales que el alumno puede realizar voluntariamente para reforzar los conocimientos adquiridos, aumentar su destreza o repasar conceptos de cursos anteriores. La entrega de estas prácticas se valora positivamente en la nota final de la asignatura. También se consideran prácticas voluntarias las mejoras sustanciales de las prácticas obligatorias.

Por último, se ha realizado una **prueba teórica** para evaluar los conocimientos de los alumnos. No es condición necesaria superar esta prueba para aprobar la asignatura.

VI. RESULTADOS

Los resultados de la asignatura se han evaluado por las calificaciones obtenidas por los alumnos y por el grado de satisfacción que han mostrado los alumnos al finalizar la asignatura.

A. Resultados académicos

Como se ha dicho, el proyecto final ha constituido la principal fuente de evaluación, el resto de la nota la ha aportado el examen teórico. Las prácticas voluntarias podían hacer subir hasta un punto la nota final.

Algunos de los proyectos finales superaron ampliamente los objetivos del curso, en concreto cinco grupos en el curso 2008-09 y tres grupos en el curso 2007-08.

Por otro lado, hubo tres grupos en el curso 2008-09 que no pudieron terminar a tiempo el proyecto y dos grupos en el curso 2007-08.

Aunque los alumnos presentan el proyecto para su evaluación, éstos tienen un seguimiento continuo del profesor, ya que solicitan tutorías para resolver los problemas con los que se enfrentan. Por tanto, normalmente los profesores conocen la evolución del proyecto y las aportaciones de los alumnos para solventar las dificultades que surgen. Este seguimiento hace que realmente no sea necesaria la presentación final del proyecto para saber de manera aproximada la calificación. En cierta medida, esto permite a los alumnos decidir la calificación a la que aspiran y el esfuerzo que quieren dedicar.

La tabla 3 muestra la distribución de las calificaciones en el examen, el proyecto y la nota final.

| | curso 2007-08 | | | curso 2008-09 | | |
|---------|---------------|----------|-------|---------------|----------|-------|
| | Examen | Proyecto | Final | Examen | Proyecto | Final |
| Susp. | 16% | 11% | 11% | 48% | 10% | 10% |
| Aprob | 16% | 37% | 37% | 24% | 28% | 31% |
| Notable | 32% | 21% | 21% | 21% | 28% | 31% |
| Sobres | 37% | 32% | 32% | 7% | 34% | 28% |

Tabla 3: Distribución de las calificaciones obtenidas

Es interesante observar la nota del examen teórico. Mientras que en el curso 2007-08 aprobaron la mayoría de los alumnos, en el curso siguiente casi la mitad de los

alumnos no superó la prueba. Las siguientes causas pueden explicar esta situación:

- En 2008-09 el examen fue bastante más difícil que en el curso anterior
- Por tanto, los alumnos habrían supuesto una dificultad similar
- El examen se realizó antes de que muchos alumnos finalizaran su proyecto. Algunas de las cuestiones hacían referencia a aspectos teóricos que no habían implementado aún.
- Los alumnos conocían los criterios de evaluación, y sabían que se podía aprobar la asignatura sin superar el examen.

Aunque haber puesto el examen antes de la fecha oficial (a petición de los alumnos) pudo haber sido determinante para que suspendiese un mayor número de alumnos, esto aporta una ventaja en el aprendizaje, pues los alumnos se dan cuenta de sus deficiencias y de aspectos que no habían tenido en cuenta. A la hora de aplicar esos conceptos en el proyecto final les es más fácil de entender. Seguramente que la propuesta de realizar una segunda prueba teórica para los que no han aprobado sea más acertada [14].

B. Evaluación de la asignatura por los alumnos

La evaluación de la asignatura por parte de los alumnos se ha basado en las encuestas oficiales (informes de valoración docentes) realizadas por la universidad y también a través de una encuesta voluntaria y anónima que se entregó en el día del examen teórico.

En el curso 2007-08, la **encuesta oficial** de la asignatura tuvo una participación del 84,2%. De ella extraemos los siguientes apartados (puntuación sobre 5):

- Planificación y organización de la asignatura: 3,9
- Metodología docente: 4,4
- Implicación del alumno: 4,1

Destacando que el apartado de la encuesta que pregunta si los contenidos de la asignatura le parecen interesantes se obtuvo una puntuación de 4,5. Del curso 2008-09 no se disponen aún de las encuestas oficiales.

Es importante señalar que las encuestas oficiales se realizan antes de que los alumnos hayan empezado a realizar el trabajo final que es cuando llegan a tener una visión global de la asignatura.

Las **encuestas voluntarias** entregada por el profesor fueron rellenadas por el 72% de los alumnos en el curso 2008-09 y por el 76% de los alumnos en el curso anterior. La tabla 4 muestra un extracto de las respuestas de los alumnos.

No se han incluido todas las preguntas de la encuesta porque algunas no eran con respuesta definida sino que se les pedía opiniones personales y comentarios.

Hay varias preguntas que merecen un análisis más detallado. Por ejemplo, se debe citar que bastantes alumnos creen que la electrónica digital no les va ser

útil en su futuro profesional debido a las escasas posibilidades de trabajo que, en su opinión, tiene este campo en España (pregunta 2).

| | 07-08 | 08-09 |
|--|-------|-------|
| 1 ¿Te gusta la electrónica digital? | 1,9 | 1,9 |
| 2 ¿Crees que es útil para tu futuro profesional? | 1,6 | 1,5 |
| 3 ¿Te ha gustado la asignatura? | 1,9 | 2 |
| 4 ¿Consideras que has aprendido? | 1,7 | 1,7 |
| 5 ¿Preferirías más contenidos (2) o menos (0)? | 1,8 | 1 |
| 6 ¿Te gusta que la asignatura sea tan práctica? | 1,9 | 1,8 |
| 7 ¿Estas conforme con el método de evaluación? | 2 | 2 |

Tabla 4: Extracto de la valoración de la asignatura por parte de los alumnos. 0: Poco; 1: Normal; 2: Mucho.

Nótese la diferencia de respuestas en la pregunta 5 según el curso. En el curso 2008-09 la mayoría de los alumnos indicaron que el contenido de la asignatura era apropiado (nota: 1). Sin embargo, en el curso anterior, hubo muchos alumnos que hubiesen preferido haber aumentado los contenidos a costa del tiempo dedicado al repaso. Se ha comentado que este repaso se alargó debido a la alta proporción de alumnos que venían de fuera. No obstante, en la encuesta, un alto porcentaje de alumnos declaró que el repaso fue fundamental para poder seguir la asignatura.

Es relevante señalar que muchos comentarios expresaban el entusiasmo de los alumnos por la asignatura y que gracias a este tipo de metodología habían descubierto lo que les gustaba la electrónica digital.

Sin embargo, también se debe indicar que en el curso 2008-09 casi un 20% de los alumnos encuestados hubiesen preferido más contenido teórico y que uno de ellos estaba bastante disconforme con el planteamiento de la asignatura (pregunta 6). En el año anterior sólo un alumno hubiese preferido más contenido teórico (aunque no estaba disconforme con el planteamiento de la asignatura).

VII. CONCLUSIONES

En este artículo se ha expuesto una experiencia docente en una asignatura de electrónica digital con metodología orientada al aprendizaje basado en proyectos. Desde nuestro punto de vista los resultados pueden considerarse muy positivos. En general, tras cursar la asignatura, los alumnos adquieren experiencia y confianza en sus capacidades como diseñadores. Es interesante observar cómo, antes de realizar los proyectos, los alumnos consideran casi imposible la tarea de llevar a cabo un desarrollo de la magnitud que se plantea y que, tras terminarlos, se dan cuenta de que en realidad saben mucho más de lo que pensaban.

Por otro lado, los alumnos aprenden a trabajar en equipo y a analizar las distintas soluciones antes de ponerse a realizar el diseño. Asimismo, cuando empiezan a resolver el problema de una manera poco

óptima, se dan cuenta de sus inconvenientes, y comprenden de forma práctica las ventajas de otras soluciones más adecuadas. Es habitual incluso ver cómo alumnos de distintos grupos se ayudan mutuamente a resolver las dificultades con las que se enfrentan.

Al terminar la asignatura, en muchos de los casos, los alumnos expresan su agradecimiento por un planteamiento tan práctico e incluso entretenido, a la vez que descubren que la materia impartida les gusta más de lo que pensaban.

Sin embargo, este tipo de metodología no siempre es del agrado para todos los alumnos y además plantea ciertos problemas al evaluar los conocimientos teóricos. Por otro lado, cuando el número de alumnos es elevado se hace más complicado llevar a cabo un metodología de estas características.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a los alumnos de cuarto curso de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad Rey Juan Carlos por su dedicación y esfuerzo en las clases, así como su participación en la encuesta voluntaria de la asignatura.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] "Computing Curricula 2005, the Overview Report". ACM, IEEE-Computer Society 2005
- [2] A. McGettrick, M. D. Theys, D. L. Soldan, and P. K. Srimani, "Computer engineering curriculum in the new millennium," *IEEE Trans. Educ.*, vol.46, no. 4, pp. 456–462, Nov. 2003.
- [3] *ECTS Users' Guide*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburgo 2009
- [4] J. Macías, J. M. Montero, R. San-Segundo, A. Araujo, O. Nieto, "A project-based learning Approach to design Electronic System Curricula", *IEEE Trans. Educ.*, vol.49, no. 3, pp. 389–397, Agosto 2006.
- [5] J. Cerdá et al, "An active methodology for teaching electronic system designs", *IEEE Trans. Educ.*, vol. 49, no. 3 Agosto 2006
- [6] T.Sansaloni et al, "FFT spectrum analyzer project for teaching digital signal processing with FPGA devices" *IEEE T. on Education*, 50(3), 2007
- [7] F. Machado, S. Borromeo, N. Malpica "Diseño digital con esquemáticos y FPGA", ed. Dykinson, 2009
- [8] S. Borromeo, B. Romero, "Experiencia docente de la enseñanza de la electrónica digital basada en tarjetas de desarrollo en la Universidad Rey Juan Carlos", Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, Madrid, España 2006
- [9] <http://www.xilinx.com>
- [10] <http://www.model.com>
- [11] <http://www.digilentinc.com>
- [12] F. Machado, S. Borromeo, N. Malpica, "Diseño digital avanzado con VHDL". ed Dykinson, 2009.
- [13] Página de la asignatura: <http://gtebim.es/docencia/DCSE>
- [14] P. Canto et al, "Cómo congeniar los exámenes y los proyectos en asignaturas PBL", *Jorn. de la Enseñanza Universitaria de la Informática*, Teruel, España, 2007