

# SISTEMAS DIGITALES COMPLEJOS Y SU APRENDIZAJE BASADO EN UNA METODOLOGÍA PBL-MIXTA

M. PRIM , J. OLIVER, R.ARAGONÉS

*Escola Tècnica Superior d'Enginyeria.*

*Universitat Autònoma de Barcelona.*

*08193 Bellaterra*

*En la enseñanza de materias informáticas/electrónicas una de las tareas más difíciles del docente es conseguir que el alumno adquiera buenos fundamentos de la materia al mismo tiempo que el rendimiento (o proporción de número de alumnos que aprenden correctamente) en la clase se mantiene a niveles aceptables.*

*Este artículo presenta la planificación que se ha realizado en una asignatura teórico-práctica de diseño de sistemas digitales, así como los resultados que se han obtenido en la misma mediante la aplicación de una metodología de aprendizaje basada en problemas mixta. La asignatura se imparte en el tercer curso de la Ingeniería Informática Técnica de Sistemas. La metodología combina el PBL con la enseñanza tradicional con el objetivo que el estudiante consiga un aprendizaje bueno en un tiempo limitado, y en un entorno de aprendizaje basado en la calidad.*

## **1. Introducción**

El aprendizaje de conocimiento práctico en el diseño de sistemas digitales de altas prestaciones (desde el concepto a la implementación) requiere que en la asignatura se integren conocimientos teóricos profundos así como competencias prácticas. La consecuencia de esto es que debe impartirse una cantidad importante de materia cuando se desea que el alumno adquiera las competencias teóricas y prácticas programadas. Proporcionar estos conocimientos en nuestra asignatura implica aprender a describir los sistemas digitales utilizando lenguajes de descripción del hardware a alto nivel y llegar a la implementación de los sistemas digitales utilizando herramientas de desarrollo con circuitos programables. A final de curso, los alumnos han de demostrar que han adquirido los conocimientos que se necesitan para el desarrollo de sistemas digitales y que saben utilizarlos de forma correcta, profundizando en la necesidad del diseño de sistemas basado en la calidad.

El principal problema que existe en todo el proceso, es colocar en el orden correcto las materias que se tienen que introducir. Normalmente, y debido a la temporización del curso (más cuando se trata de asignaturas semestrales), suele suceder que las clases prácticas tienen que empezar cuando aún queden por explicar algunos de los conceptos teóricos. O que los estudiantes vayan al laboratorio cuando aún no han solidificado los conocimientos teóricos. En consecuencia, el programa de la asignatura debe ser reorganizado temporalmente si se desea conseguir el aprendizaje previsto en la asignatura en un tiempo delimitado, más cuando se pretende que el alumno sea capaz de comprender y realizar el diseño en todas sus etapas. Una forma de conseguir esto es combinando aspectos de la metodología de aprendizaje clásica con el *Program Based Learning* (PBL).

Este artículo resume los objetivos y los resultados obtenidos mediante el aprendizaje basado en una metodología PBL-mixta. Esta metodología se puso en funcionamiento hace tres años en la asignatura y los resultados obtenidos por los alumnos demuestran que puede ser un buen método para la enseñanza teórico-práctica cuando la limitación temporal impone duras restricciones en la temporización de la materia.

## 2. Sílabus en el diseño de sistemas digitales

La asignatura de diseño de sistemas digitales está programada en el tercer curso de la Ingeniería Técnica Informática de Sistemas. Los estudiantes que llegan al curso tienen ya una buena base sobre diseño de sistemas digitales y de estructura del computador. Este es un curso avanzado en el que los estudiantes han de aprender a desarrollar sistemas digitales complejos y a sintetizar los módulos del sistema a partir de *Intellectual Properties* (IP's) utilizando descripciones de los mismos implementadas mediante lenguajes de descripción del hardware a alto nivel (VHDL, Verilog). Por consiguiente, en el programa del curso deben introducirse y desarrollar los siguientes aspectos:

### 1- Desarrollo de sistemas digitales: del concepto a la implementación

- El proceso: de la idea a la implementación.

- Herramientas CAD de ayuda al diseño.

- El proceso de diseño.

- Modelización y simulación.

- El diseño en la placa de circuito impreso: herramientas CAD para el diseño, reglas de diseño y fabricación.

- Herramientas de comprobación.

### 2- El prototipaje mediante circuitos programables.

- Evolución de los circuitos programables.

- Principales familias lógicas.

- Kits de desarrollo.

### 3- Lenguajes de descripción del hardware

- Modelización, simulación y síntesis en VHDL

- Concurrencia y secuencialidad: conceptos e instrucciones.

- Diseño de bloques combinatoriales y secuenciales.

- Especificación y diseño de máquinas de estado finito.

- Implementación estructurada.

- Librerías y empaquetamiento.

### 4- Implementación de sistemas: del concepto a la aplicación.

- Presentación del proyecto a desarrollar.

Como se puede observar, el curso condensa en unas sesiones un programa en el que cada ítem descrito puede formar parte de una unidad que, a su vez, podría ser monotemática para todo un curso. La necesidad de sintetizar estos conceptos en una asignatura implica una organización detallada y precisa del momento en que cada tema debe ser expuesto en clase.

### 3. Programación de la asignatura

Una programación estándar de la asignatura enseñaría las materias de forma secuencial. Esto es, tal como se ha descrito en el programa. El orden en que se impartirían (de forma lógica) los distintos temas es el mismo en el que se han descrito. En consecuencia, el punto 3 de la materia, la descripción de sistemas hardware mediante el uso de lenguajes de alto nivel se introduciría a mediados de curso, cuando ya sería casi imprescindible que los alumnos lo conocieran para empezar a preparar el proyecto. Por consiguiente, la impartición clásica de la materia provocaría el problema de que se empezaría la parte práctica sin siquiera conocer los fundamentos teóricos.

Por otra parte, en los últimos años se ha ido popularizando la aplicación de metodología de enseñanza denominada *Program/Project Based Learning* (PBL). La aplicación de esta metodología en esta asignatura de último curso de la ingeniería técnica sería ideal en un entorno preparado para una impartición global (de acuerdo con la filosofía) del PBL.

Sin embargo, la aplicación correcta del PBL en todo su sentido en este caso no es posible puesto que el entorno no es el suyo propio. Pero sí que la filosofía del PBL como tal, reforzando la materia mediante la realización de un proyecto propio de la asignatura puede realizarse si se distribuye la impartición de la materia temporalmente de acuerdo con las prioridades de adquisición y uso del conocimiento más que por el orden cronológico en qué idealmente debería impartirse.

Por consiguiente, la asignatura se imparte de acuerdo a un modelo mixto de aprendizaje que se puede situar en un punto medio entre metodología clásica (a base de examen final) y PBL. La metodología tiene como base:

- Una redistribución de la cronología en que se imparten los distintos capítulos. Se empieza desarrollando los temas esenciales para el correcto desarrollo del proyecto que debe realizar el alumno dejando para el final los capítulos más teóricos o de filosofía de trabajo en el diseño de sistemas digitales.
- Una exigencia de trabajo constante y continuo en la asignatura a través de ejercicios que se deben entregar ( y se evalúan) cada semana durante las semanas iniciales, que es cuando se enseña el lenguaje de descripción del hardware de alto nivel.
- Cuando se han adquirido estos conocimientos se realiza el examen de la materia. Suele coincidir, aproximadamente, en las tres cuartas partes del curso. El trabajo constante que se ha realizado hasta el momento suele dar como resultado que la mayor parte de los alumnos aprueban el examen.
- De esta forma, se asegura que el alumno empieza a planificar y desarrollar el proyecto con los conocimientos necesarios para la realización práctica consolidados.
- En paralelo a las sesiones del proyecto se termina de impartir el temario.

La tabla 1 muestra la programación que se ha realizado del programa de la asignatura. Puede comprobarse que se basa en una coordinación global y rígida de la materia que se imparte en la asignatura. La distribución de la asignatura realizada en 15 semanas, se reparte a los alumnos a inicio de curso. En ella se detalla claramente la programación de cada semana así como las sesiones que deben dedicar a la realización del proyecto. En los seminarios se resuelven las dudas que han surgido durante la realización

de las hojas de ejercicios y/o se realizan aquellos que contienen aportaciones adicionales al programa explicado en clase.

**Tabla 1. Programación de la materia**

Semana	Temario	Cuestiones prácticas	Recursos	Tareas
1	Introducción. VHDL concurrente		Ejemplos: VHDL estructurado, sumadores	
2	VHDL: librerías, VHDL secuencial		Ejemplos: contador Hoja de ejercicios	
3	Módulos secuenciales en VHDL	Seminario	Hoja de ejercicios	Entrega hoja 1
4		Seminario		Entrega hoja 2
5	Máquinas de estado finito		Hoja de ejercicios	
6				Entrega hoja 3
7	Diseño del sistema	Seminario		
8	Modelos de test en VHDL		Hoja de ejercicios	
9		Seminario		Entrega hoja 4
10	Prototipado y circuitos programables			
11	Examen			
12	Herramientas CAD: circuitos programables y PCBs		Proyecto	
13	Discusión del proyecto y desarrollo			
14	Discusión del proyecto y desarrollo			
15	Entrega del proyecto y defensa			

#### 4. Análisis de resultados

En los tres años que hace que se lleva aplicando la metodología se ha conseguido mejorar de forma notable el rendimiento de la asignatura al mismo tiempo que también se considera que ha aumentado el nivel de profundización en la materia que adquiere el alumno. Ello se observa tanto en las notas del examen como durante la realización del proyecto.

La tabla 2 muestra una distribución de los resultados globales de los alumnos. La tabla distribuye los resultados por tipología de nota y por curso académico. En ella se detallan los resultados que se han obtenido a lo largo de estos tres años. De los resultados de la tabla pueden extraerse un conjunto de consideraciones que derivan de la propia aplicación de la metodología:

- En primer lugar debe remarcar el alto porcentaje de alumnos que aprueban la asignatura. Prácticamente todos los estudiantes aprueban el examen. Es mera constatación de una mejor preparación atribuida a un estudio continuado de la materia.

- Este curso ha habido, por primera vez, dos estudiantes que no han aprobado el examen. Coincide con dos estudiantes que no han realizado los ejercicios que semanalmente se proponían.
- El número de alumnos que siguen la asignatura es alto y ha ido en aumento. De un porcentaje (del 24%) que en el primer año se matricularon y no realizaron la asignatura se ha pasado a un 8% este año. En números reales, sólo dos alumnos de 25 este año han seguido la asignatura (ya desde el primer día).
- El rendimiento final (o número de alumnos que han aprobado la asignatura respecto a matriculados) es muy alto. Coincide en casi un 100% de los alumnos que han seguido la asignatura y esta cerca del 90% cuando se considera el global de la matrícula.

**Tabla 2. Rendimiento de la asignatura**

Curso 03/04	NP	S	A	N	E
Seminarios	24	0	28	41	7
Proyecto	24	0	0	34	41
Examen	24	0	31	24	21
<b>Resumen</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	<b>48</b>	<b>7</b>
Curso 04/05	NP	S	A	N	E
Seminarios	15	8	27	35	15
Proyecto	15	0	0	27	58
Examen	15	4	31	27	23
<b>Resumen</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>54</b>	<b>8</b>
Curso 05/06	NP	S	A	N	E
Seminarios	24	8	8	44	16
Proyecto	8	0	12	60	20
Examen	8	16	32	36	8
<b>Resumen</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>28</b>	<b>44</b>	<b>8</b>

Nota: La tabla muestra porcentajes sobre el total

Aparte del contexto meramente cuantitativo, hay que hacer notar también que la metodología ha aportado una mejora notable a nivel cualitativo. La reordenación en la impartición de las materias permite asegurar que el alumno conoce bien la herramienta de trabajo en el momento en que debe utilizarse en el proyecto. Ello se deduce de las dudas y cuestiones que plantean los estudiantes. En el momento de la realización del proyecto, las típicas preguntas sobre funcionamiento del lenguaje se han substituido por preguntas referentes al propio desarrollo a realizar.

## 5. Conclusiones

El artículo propone una metodología PBL-mixta aplicada al diseño de sistemas digitales avanzados que incide en el aprendizaje teórico y práctico de la materia en un tiempo razonablemente corto.

En comparación con la metodología clásica que se aplicaba en la asignatura, esta metodología PBL-mixta permite que los estudiantes adquieran los conceptos teóricos y desarrollen las competencias prácticas de la materia en el mismo semestre completando, al mismo tiempo, su formación con la realización de un proyecto práctico basado en el desarrollo de un sistema digital medianamente complejo.

La temporización del temario ha sido clave, en este caso, para conseguir los objetivos propuestos y completar el programa de la asignatura. En consecuencia, cualquier extensión del método a otras materias involucra un conocimiento profundo de la materia a impartir para poder realizar una temporización plausible de cada tema, y dejando en un segundo plano aquellos conceptos secundarios que no sean imprescindibles en el programa.

El éxito de la metodología reside en los resultados (rendimiento de la asignatura) que se obtiene. Es fruto del compromiso mixto entre metodología PBL y metodología clásica que obliga a los estudiantes a seguir diariamente la materia, consolidando los conceptos clave que se requieren para la buena práctica en los seminarios y en el proyecto final que desarrollan.

La metodología se ha aplicado a clases de unos 25 alumnos de promedio. No cabe decir que el incremento notable de este número de alumnos supondría una tarea adicional importante por parte del profesor en todo lo que se refiere a tarea adicional de corrección de ejercicios. Ello, probablemente, supondría aplicar variaciones significativas a la metodología tal como se ha expuesto en este artículo.

## **Referencias**

- [1] J.Oliver, M.Prim. *Mixed-Project-Based Learning Methodology in Computer / Electronic Engineering*. SIGITE-Proc. IEEE Internacional Symposium on industrial Electronics. 2005
- [2] Curso impartido por A.Kolmos, J.Moust. *Problem/ Project based Learning*. Universitat Politècnica de Catalunya. Febrero 2001.
- [3] *Benchmarking at BETA*. The Faculty of Engineering and Science. Aalborg University. 1994.
- [4] J Rué, M.Martínez. *Las Titulacions UAB en laEspai Europeu de Educació Superior*. Eines d'Innovació Docent en Educació Superior. Servei de Publicacions. Universitat Autònoma de Barcelona. 2000.
- [5] A.Kolmos. *Reflections on Project Work and Problem-based learning*. European Journal of Engineering Education, Vol 21, No 2, 1996.