

Digital Logic Design: asignatura de máster en el área TIC en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona según los criterios del Espacio Europeo de Educación Superior

Juan Antonio Chávez, Joan Pons

*Departamento de Ingeniería Electrónica. E.T.S. de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona.
Universidad Politècnica de Catalunya*

1. Introducción

En este trabajo se muestra el proceso de adaptación de los estudios impartidos en la E. T. S. de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona, ETSETB, al Espacio Europeo de Educación Superior a partir del análisis de una asignatura, Digital Logic Design (en adelante DLD), que nació en el año 1993 como Sistemas Digitales I, SD1, cuando se creó la titulación de Ingeniería Electrónica en la Universidad Politècnica de Catalunya, UPC.

Desde su creación tanto el temario de SD1 como el material de laboratorio utilizado han estado en continuo proceso de mejora y adaptación. En el curso 2000-2001 la ETSETB decide de forma pionera implantar la titulación de Ingeniería Electrónica en formato semipresencial [1]: realización de prácticas de laboratorio en el formato presencial tradicional e impartición de la teoría mediante el uso de las técnicas y medios de aprendizaje a distancia. Por último, en el año 2004 la Escuela vuelve a tomar la iniciativa y propone un máster en el ámbito de las tecnologías de la información y las comunicaciones que se adaptará a la filosofía emanada de los diferentes acuerdos tomados por las organizaciones y gobiernos encargados de desarrollar un ámbito común que pueda hacer viable la existencia de un Espacio Europeo de Educación Superior. El máster propuesto por la ETSETB, *Master of Science in Information and Communication Technologies* [2,3], tiene como objetivo formar profesionales altamente cualificados en el desarrollo y las aplicaciones de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, TIC. El programa de estudios está diseñado para profundizar con rigor en los conocimientos y las habilidades que se requieren para especializarse en los diversos campos de las TIC que demanda el mercado laboral actual. Es, por tanto, un modelo sólido en cuanto a sus objetivos y dinámico en cuanto a su capacidad de adaptación a un entorno tan cambiante. Ofrecer el máster en inglés potencia sus objetivos, ya que está más abierto a la posibilidad de que alumnos de todo el mundo puedan sentirse atraídos por el mismo sin que sea un impedimento la lengua; así en su elección pesará en mayor medida la oferta de formación. Ofrecer una titulación en un ámbito tan grande requiere un análisis minucioso de las necesidades comunes a los alumnos que vienen de diferentes países, de los diferentes niveles de formación, habilidades y capacidades que ello implica, y todo ello estableciendo una estructura que favorezca la movilidad.

Partiendo de la experiencia adquirida por los profesores de la asignatura y los miembros de la Escuela se ha propuesto, implementado y desarrollado el máster durante dos años. Actualmente estamos en disposición de mostrar los resultados y establecer comparaciones entre el nuevo sistema y el anterior. Nuestro objetivo en este trabajo es ofrecer a la comunidad universitaria los resultados de nuestro trabajo para que puedan servir en la futura aplicación de los nuevos marcos de las titulaciones de grado y máster que están desarrollándose en el ámbito del Espacio Europeo de Educación Superior, EEES.

En primer lugar, este trabajo expone la estructura del máster y su adaptación al EEES. Posteriormente se enmarca la asignatura DLD dentro de los objetivos del máster y a continuación se expone la metodología docente, los materiales disponibles y la estructura de la asignatura. Por último se detallan los resultados obtenidos y se comparan con la asignatura SD1, en sus formatos presencial y semipresencial [4], que podemos considerar la misma asignatura antes de ser adaptada al EEES.

2. Descripción del *Master of Science in Information and Telecommunication Technologies*

El *Master of Science in Information and Communication Technologies*, MSICT, de la ETSETB ha sido una experiencia pionera en España con el objeto de adquirir conocimiento y experiencia sobre la nueva estructura de los estudios que se deberá implantar a partir del año 2010. El diseño del máster se hizo siguiendo las directrices de la declaración de Bolonia de junio de 1999 [5], materializadas en las recomendaciones de la conferencia de Helsinki de marzo de 2003, donde el trabajo se centró en las titulaciones de máster [6]. El MSICT ha pasado de ser un plan piloto reconocido por la Universidad Politécnica de Catalunya en 2004, a ser reconocido el año 2004 por la Generalitat, formando parte de sus planes piloto en el proceso de adaptación al EEES, y finalmente llegar a culminar el proceso de homologación por parte del gobierno español en el año 2005.

El MSICT pretende formar a los estudiantes en todos aquellos aspectos que les permitan adquirir los niveles de competencias adecuados para trabajar en el campo de las telecomunicaciones con el valor añadido de la perspectiva internacional. Tal como muestra la Figura 1, el programa completo del MSICT consta de 120 créditos evaluados según el Sistema Europeo de Transferencia de Créditos, ECTS [7], repartidos en 4 semestres de 30 ECTS cada uno. Tal como muestra la Figura 1, hay dos puntos de acceso:

- Al curso *núcleo*, si se cumple alguno de los siguientes requisitos: a) haber superado todas las asignaturas troncales y obligatorias, excepto el proyecto fin de carrera, de la titulación de Ingeniería de Telecomunicación; b) cumplir los requisitos marcados en los diferentes convenios bilaterales de doble titulación; c) tener una titulación de grado superior afín al área de las TIC.
- Al curso *punte*, cuando no se cumple ninguno de los requisitos anteriores y los estudiantes que desean acceder al máster necesitan algunos complementos de formación que refuercen sus conocimientos previos.

El segundo semestre, curso *núcleo*, se compone de siete asignaturas, siendo una de ellas DLD:

- Communications Theory and Signal Processing (5 ECTS)
- Propagation and Radiowaves (5 ECTS)
- Communications Networks Systems and Services (5 ECTS)
- Advanced Programming and Distributed Applications (5 ECTS)
- Digital Logic Design (5 ECTS)
- Lectures on Science, Technology and Society (2,5 ECTS)
- Management and Innovation in Telecom Companies (2,5 ECTS)

Una vez superado el curso *núcleo* los alumnos deben escoger cuatro asignaturas de una especialidad y otras dos de cualquier especialidad (incluida la propia), del resto de asignaturas optativas impartidas en la ETSETB en otras titulaciones, o incluso se puede hacer un breve proyecto equivalente a 5 ECTS (150 horas de trabajo).

Finalmente, durante el último semestre los estudiantes deben realizar su tesis de máster y defenderla a su finalización mediante un examen oral.

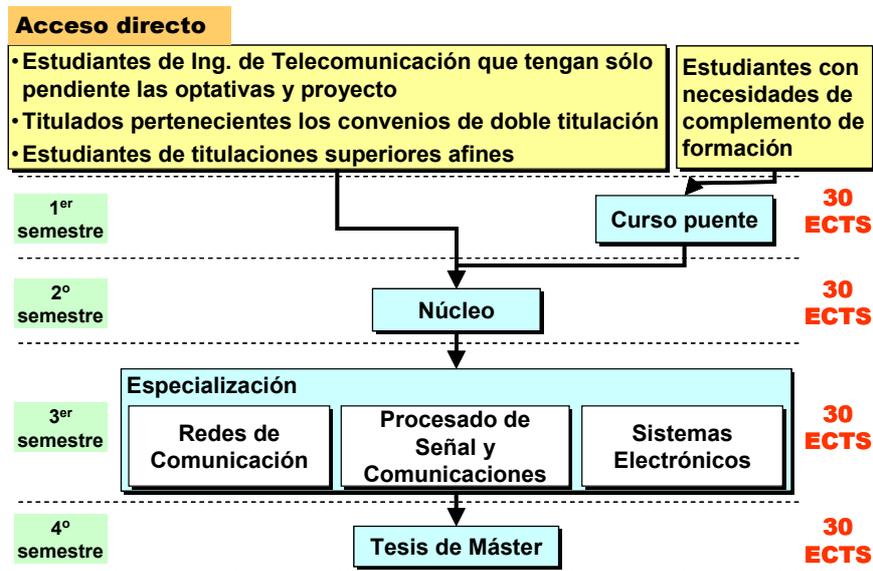


Figura 1.- Estructura del MSCT.

2.1 Sistema Europeo de Transferencia de Créditos

Uno de los cinco objetivos acordados en la declaración de Bolonia es el establecimiento de un sistema de créditos que permita la movilidad de los estudiantes entre diferentes países. El ECTS se desarrolló en primer lugar como experiencia piloto dentro del programa Erasmus; más adelante, la Comisión Europea decidió integrarlo en el programa Sócrates. Actualmente el ECTS ha sido adoptado como sistema europeo de reconocimiento académico.

El ECTS no determina el contenido, la estructura o la equivalencia de los programas de estudios, es únicamente un sistema de cómputo integral del trabajo efectivo del estudiante, incluidos los periodos de evaluación. Esto significa que son los centros de enseñanza superior los que deben establecer convenios bilaterales o multilaterales que permitan sentar las bases de cooperación que perseguía la declaración de Bolonia. El reconocimiento pleno del trabajo del estudiante permite comparar el trabajo realizado en diferentes centros, aún habiendo diferencias en el contenido de los programas. Así, los instrumentos del sistema de transferencia de créditos son:

- Los ECTS que representan el volumen de trabajo que debe realizar el estudiante para superar una asignatura.
- Un documento, denominado catálogo informativo, que proporciona información sobre los centros de enseñanza, departamentos, organización, estructura y asignaturas.
- Un documento denominado Certificación Académica, que contiene los resultados académicos del estudiante.
- El contrato de estudios, que describe el programa que debe seguir el estudiante y los créditos que obtendrá si supera los estudios. Este contrato es vinculante tanto para los centros de envío como para los de acogida.

A la hora de planificar una asignatura, una vez definidos los objetivos formativos de la misma, se debe tener clara la definición de la unidad básica de valoración del rendimiento académico de los estudiantes, esto es del ECTS. La valoración se hace teniendo en cuenta el volumen de trabajo de los estudiantes e incluye las clases magistrales, las clases de laboratorio, el trabajo personal, los actos de evaluación y todo aquello que esté relacionado con el proceso de aprendizaje de la asignatura. Se considera que un semestre es un volumen de trabajo total del estudiante de 30 ECTS. Así, si una asignatura tiene asignados 5 ECTS entonces una sexta parte de sus horas de trabajo las debería dedicar a ella. Por ejemplo, para un semestre de 20 semanas efectivas y 40 horas de trabajo por semana, esto supone un volumen total de 800 horas de trabajo para los 30 ECTS, o sea unas 27 horas por crédito ECTS aproximadamente. Normalmente se está aplicando el criterio de que un crédito ECTS esté entre un mínimo de 25 horas y un máximo de 30 horas de trabajo del estudiante.

3. Descripción de la asignatura DLD

3.1 Objetivos y contenidos

La asignatura DLD forma parte del semestre *núcleo* del máster y se organiza en dos sesiones presenciales semanales de 2 horas, una de teoría y otra de laboratorio. Esta asignatura proporciona al estudiante los conocimientos que constituyen la referencia y el punto de partida para el resto de asignaturas “digitales” del máster, centrándose en el diseño de subsistemas digitales y haciendo hincapié en las opciones basadas en lógica programable y en el lenguaje VHDL. El programa de teoría consta de cuatro módulos. El primero se dedica a generalidades sobre diseño digital y al VHDL. El segundo capítulo se centra en máquinas de estados simples, algorítmicas y microprogramación. El tercer capítulo se ocupa de CPLDs y FPGAs. Finalmente, el módulo 4 se centra en técnicas y problemáticas concretas de diseño: espurios, consumos, retardos, diseño síncrono o asíncrono, metaestabilidad, interconexiones, señales de reloj, concurrencia y jerarquización de máquinas de estados, etc.

El laboratorio de DLD está dedicado al diseño digital con CPLDs. El programa de laboratorio consta de tres módulos. El primero de ellos familiariza al estudiante con las herramientas a emplear: realización guiada de un diseño (captura de esquemas, HDLs, jerarquización, compilación, simulación y análisis de prestaciones, grabación y verificación *hardware*). El módulo 2 incide en el VHDL mediante el análisis y verificación de un diseño complejo. Finalmente, el tercer módulo consiste en la realización de un diseño complejo a partir de una especificación básica.

Los objetivos, contenidos y la carga presencial de DLD son, en primera instancia, similares a los de su predecesora SD1. Las principales diferencias radican en que, atendiendo al origen y formación de los alumnos (ver apartado 4) y a los objetivos del máster, DLD tiene un contenido teórico y un nivel de exigencia general superiores, mientras que el volumen de trabajo en el laboratorio es algo inferior.

3.2 Metodología y materiales

A. Curso y materiales de Teoría

Las sesiones presenciales de teoría incluyen clases expositivas por parte del profesor, resolución de dudas, realización de ejercicios y problemas, presentación de trabajos por parte de los estudiantes, etc. Se ha reducido la parte expositiva al mínimo necesario para introducir los conceptos esenciales objetivo de cada sesión, suministrando información adicional (documentación específica, ejercicios, bibliografía, direcciones de internet, etc.) que permite al estudiante ampliarlos por su cuenta, pasando por tanto parte de

la iniciativa a manos del estudiante. Esta distribución de la iniciativa entre profesor y estudiantes varía según el tipo y la complejidad de los contenidos de cada sesión. En particular, el módulo 3 del temario lo desarrollan casi totalmente los estudiantes en forma de trabajos realizados en grupo y presentados públicamente. De acuerdo con todo esto, los materiales generados específicamente para cada uno de los cuatro capítulos de teoría son:

- Transparencias de clase, en formato minimalista, necesitando *de facto* ser completadas vía la asistencia del alumno a las clases.
- Resúmenes de contenidos y ejemplos. Incluyen ejemplos, cuestiones, ejercicios de autoevaluación, colección de problemas y algunos problemas resueltos.

Durante el curso se realizan tres actos de evaluación, dos ejercicios y el trabajo en grupo, que fuerzan una sincronización mínima. Los ejercicios se individualizan para cada estudiante y, una vez corregidos, le son devueltos; así dispone de una referencia “fresca” sobre sus progresos.

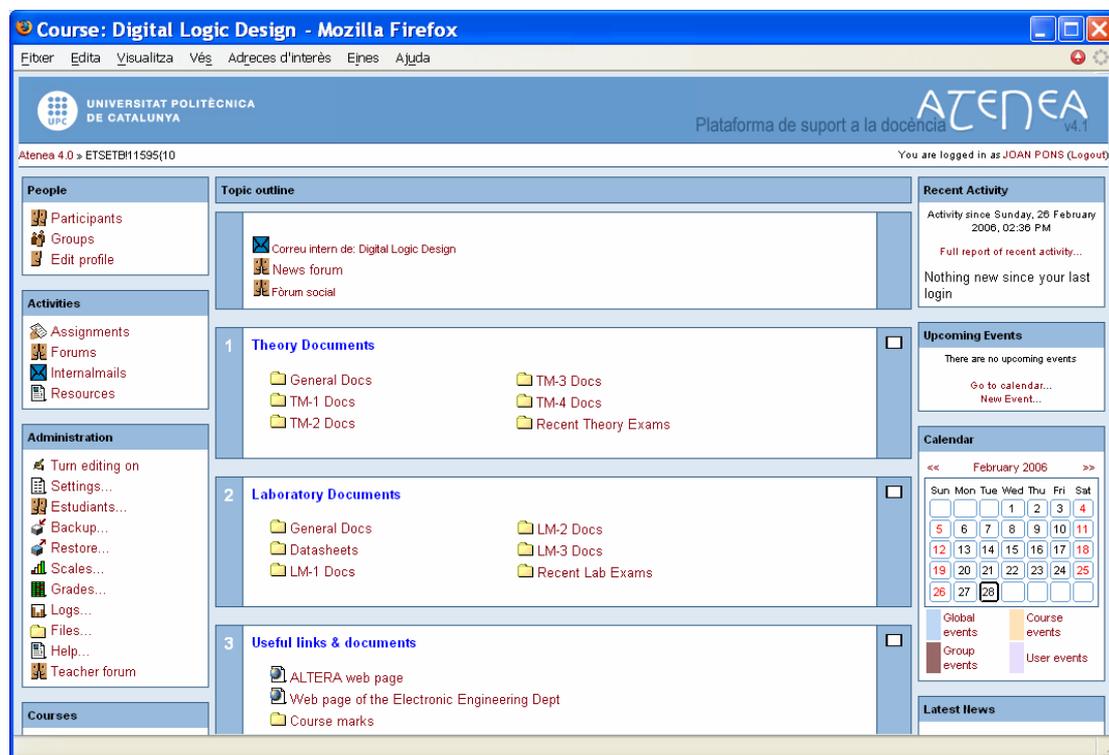


Figura 2.- Página de la asignatura DLD en Atenea 4.1.

Para distribuir los materiales de la asignatura y potenciar la interacción no presencial con los alumnos se utiliza la plataforma *Atenea 4.1* (ver Figura 2), desarrollada a partir del entorno de programación de libre utilización llamado *Moodle*. Esta plataforma ha sido objeto de una experiencia piloto en el MSICT durante el curso 2005-2006 antes de extender su uso al resto de la UPC. El primer objetivo de *Atenea* es facilitar el intercambio de información digital entre los diferentes actores del proceso de aprendizaje de una forma personalizada y sistemática. Se pueden encontrar herramientas muy diversas: espacios abiertos de colaboración (fóruns), *e-mail* particular, herramientas de tipo personal para organizar los materiales propios y actividades (agendas) y herramientas para diferentes grupos, asignaturas o escuelas.

microinterruptores, 4 visualizadores de siete segmentos (accesibles mediante descodificadores 74LS47), un visualizador de cristal líquido de 2 líneas y 20 caracteres por línea, etc. Otros recursos y características significativas de la placa son: a) circuitos de alimentación estabilizada de 5 V y 3,3 V, b) adaptadores de niveles bidi-reccionales 74LVC4245, c) señales globales de reloj rápido (10 MHz) y lento (2,44 kHz), obtenidos respectivamente de un cristal de cuarzo y de un divisor de frecuencia, d) parrilla de conexiones, utilizable como una pequeña *protoboard* donde añadir componentes adicionales a la placa, e) zócalo para el dispositivo que, en caso de avería o mal funcionamiento, permite reemplazarlo sin tener que recurrir a farragosos trabajos de soldadura, f) resistencias de limitación de corriente en prácticamente todas las E/S para evitar que un error en la configuración de la CPLD destruya algún componente, g) existencia de placas de ampliación para realizar, por ejemplo, una interfaz con un *bus* USB, conexión via *Ethernet*, ...

C. Mecanismo de evaluación

El mecanismo de evaluación (ver Figura 4) pondera al 50 % las notas de teoría (NT) y laboratorio (NL). Esta última incluye los tres módulos de laboratorio (NML, 75 %) más un control individual (NCL, 25 %). La nota de teoría se obtiene como el máximo entre: a) la calificación del examen final (NET), b) la ponderación del examen final (NET) y de los ejercicios y trabajos realizados durante el curso (NMT).

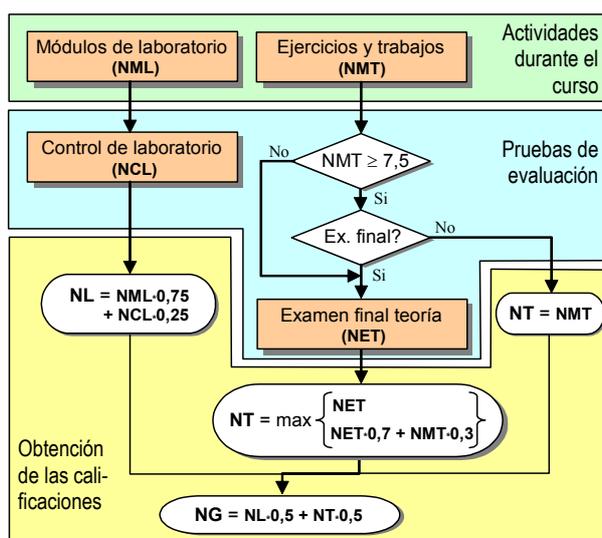


Figura 4.- Mecanismo de evaluación aplicado en la asignatura DLD.

Ahora bien, tanto la organización del trabajo del estudiante como el mecanismo de evaluación pretenden fomentar y premiar el trabajo continuado y de calidad realizado por éste durante el curso, especialmente en las actividades relacionadas con la teoría de la asignatura. Así, se ofrece además la posibilidad de aprobar la teoría “por curso”: si la nota de los ejercicios y el trabajo realizados durante el curso (NMT) es igual o superior a 7,5 puntos, el alumno puede optar por no realizar el examen final, siendo en este caso su nota de teoría la de los ejercicios y el trabajo realizados durante el curso.

3.1 Estimación de la carga ECTS

El cumplimiento de las directrices y los objetivos anteriormente descritos se traduce en la organización del trabajo de la asignatura descrita en la Tabla I, donde puede verse que DLD se articula en torno a cuatro tipos de actividades (teoría, problemas, laboratorio y trabajos de teoría). Para cada tipo de actividad se describen los objetivos, el tipo de trabajo a realizar, el mecanismo de evaluación y la carga integral (en horas y en créditos ECTS) que supone para el alumno. De acuerdo con las directrices de la ETSETB, se ha optado por no llegar al equivalente máximo de 30 horas de trabajo del alumno por crédito ECTS.

	Descripción	Actividad con Profesor		Actividad Estudiante		Evaluación		ECTS	
		Objetivos	h/s	Trabajo estudiante	h/s	Procedimiento	h	horas	crédts.
Teoría	Clase magistral	Explicar los conceptos teóricos principales	1	Conocer, comprender y sintetizar conocimientos	1,25	Examen escrito	2	35,75	1,27
Problemas	Clase participativa y actividad dirigida	Resolver ejemplos realistas y reforzar aprendizaje	1	Aprender a solucionar problemas manualmente y mediante simulaciones	1,25	Prueba escrita, entrega de simulaciones y/o problemas resueltos	1,5	35,25	1,25
Laboratorio	Trabajo práctico de laboratorio	Utilización de herramientas reales y resolución de casos prácticos de diseño	2	Comprender especificaciones y documentación, realizar diseños, verificarlos y presentar resultados	2	Demostraciones en vivo, entrega de estudios previos y memorias, pruebas escritas o en vivo	2	62	2,2
Otras actividades	Trabajo de teoría	Reforzar conceptos y trabajo en grupo	-	Búsqueda y procesado de información, trabajo en grupo, generación de documentación	0,5	Informe escrito, presentación pública y defensa del trabajo	0,5	8	0,28
Totales curso			60		75		6	141	5

Tabla I.- Estimación de la carga ECTS de la asignatura DLD.

Hay que tener en cuenta que tanto el diseño de la asignatura descrito a lo largo de este apartado como, especialmente, la distribución ECTS mostrada en la Tabla I se han obtenido tras un proceso que partía de unas previsiones iniciales y que ha sufrido iteraciones sucesivas de rediseño y reajuste de la asignatura durante los cursos 2004 y 2005, utilizando como dato más relevante la opinión de los propios alumnos, recogida en encuestas detalladas realizadas al final de cada curso. En este sentido hay que destacar que los únicos cambios significativos se realizaron al final del curso 2004 mientras que los realizados con posterioridad son mínimos, pudiéndose afirmar que el diseño descrito es ya bastante estable y fiable.

4. Comparativa de resultados

Dada su reciente implantación, no existe un volumen de datos suficiente que permita realizar estadísticas completas sobre la asignatura, pero sí es posible destacar algunas tendencias y hacer una primera valoración de los resultados de DLD en relación con su referente próxima SD1 en sus versiones presencial y semipresencial. En primer lugar, hay que destacar que la composición del alumnado en ambas asignaturas es muy diferente. Así, la asignatura SD1 se nutre de tres tipos de alumnos:

- Alumnos propios de la ETSETB, procedentes del primer ciclo de Ingeniería de Telecomunicación, o que cursan la doble titulación Telecomunicación+Electrónica, o que cursan la asignatura

como optativa desde el segundo ciclo de Telecomunicación. En general se trata de alumnos “a tiempo completo” y suelen matricularse en la modalidad presencial.

- Alumnos procedentes de otras escuelas, que han obtenido una titulación de primer ciclo en el área TIC y deciden cursar el segundo ciclo de Ingeniería Electrónica. Pueden ser alumnos “a tiempo completo” o alumnos que trabajan y que, por tanto, tienen disponibilidades de tiempo muy limitadas. Estos últimos suelen cursar la modalidad semipresencial.
- Alumnos extranjeros del programa *Erasmus*. Son alumnos “a tiempo completo” y de modalidad presencial. Suelen proceder básicamente de Francia o Italia y no tienen problemas con el idioma.

La composición del alumnado en DLD es radicalmente diferente: son siempre estudiantes “a tiempo completo”, seleccionados por la calidad de su *currículum*, procedentes de diversos países -e incluso continentes- (ver Figura 5) y que sólo tienen como idioma común utilizable el inglés. Esta variabilidad de orígenes, junto con la orientación no exclusivamente “electrónica” del MSICT, comporta también una diversidad de los conocimientos previos en electrónica digital por parte de los alumnos, diversidad que, curiosamente, es muy similar a la que se detecta entre los alumnos que cursan SD1.

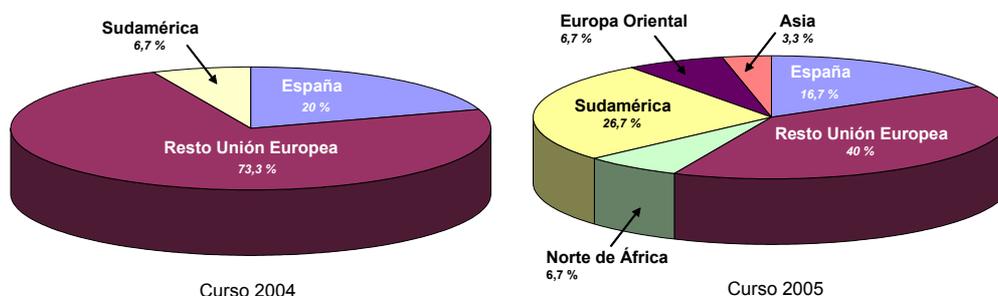


Figura 5.- Alumnado de DLD agrupado por zonas de origen.

Para comparar los resultados de DLD con los de SD1 se han tomado en primera instancia los dos indicadores absolutos mostrados en la Figura 6: a) el rendimiento académico global, calculado como el porcentaje de alumnos aprobados sobre matriculados, y b) el porcentaje de alumnos que han superado “por curso” la teoría de la asignatura. Aunque SD1 está separada en sus formatos presencial y semipresencial, hay que recordar que los contenidos, la formación práctica y el nivel de exigencia son idénticos para ambos formatos. Podemos ver que el rendimiento académico de DLD es claramente superior al de SD1, hecho no sorprendente si se tiene presente que la mayor parte de los alumnos que suspenden SD1 son aquellos que abandonan durante el curso [4], fenómeno prácticamente inexistente en DLD. En cuanto al porcentaje de alumnos que aprueban “por curso”, puede verse que a pesar de que tanto los contenidos de teoría como el sistema de evaluación son algo más “duros” en DLD, la selección a priori y la mayor motivación de los estudiantes hace que en esta asignatura los resultados sean muy superiores,.

La Figura 7 muestra la comparativa DLD-SD1 en base a dos indicadores asociables a la calidad de la formación recibida: las notas promedio efectivas de teoría y de laboratorio, computadas sólo para los alumnos que han realizado todos los actos de evaluación del curso. Por lo que respecta a la teoría, nuevamente entendemos que se impone la calidad y motivación de los alumnos de DLD. Este mejor resultado de DLD se da también, aunque menos claramente, en los resultados de laboratorio; aquí hay que destacar dos aspectos: a) que muchos alumnos de DLD provienen de titulaciones donde los laboratorios son de escasa relevancia o simplemente inexistentes, b) que uno de los cambios entre las ediciones 2004 y 2005 de DLD fue una reducción del trabajo de laboratorio (cifrible en un 20 %).

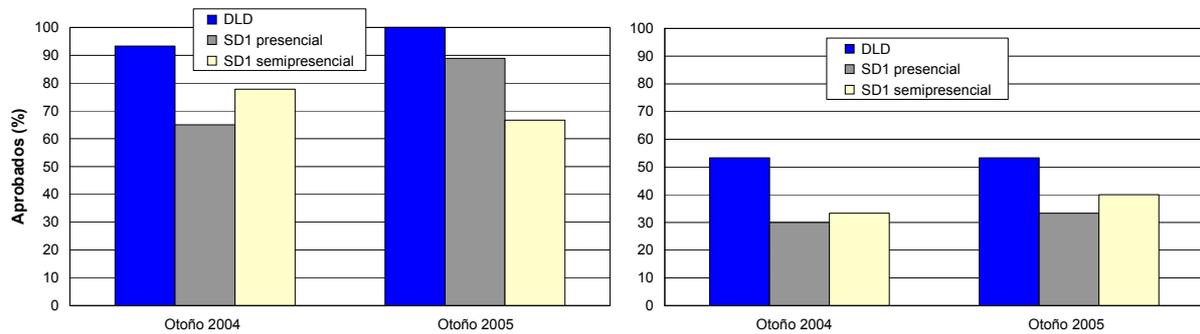


Figura 6.- Izda.: rendimiento académico global. Dcha.: % de alumnos aprobados por curso.

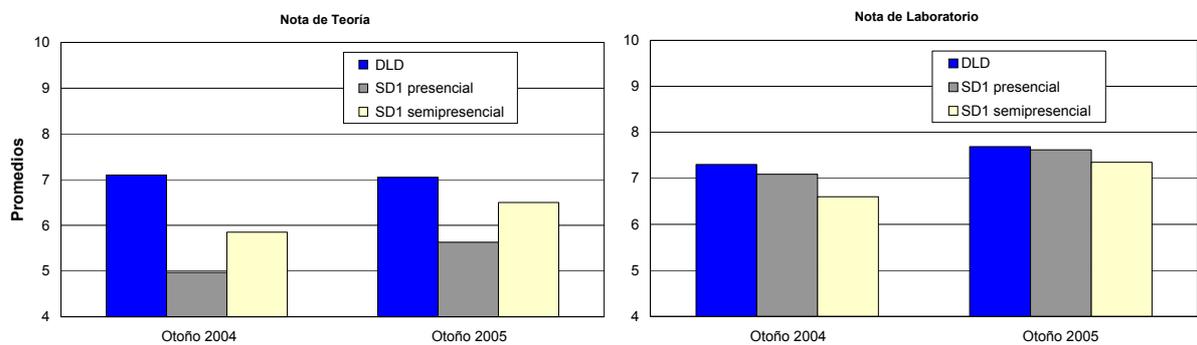


Figura 7.- Notas promedio efectivas de teoría y de laboratorio.

Otro fenómeno diferencial entre los alumnos SD1 y los de DLD es la existencia de una cierta ley de “optimización del esfuerzo” para superar la asignatura SD1: si comparamos las notas de laboratorio de los alumnos presenciales, vemos que son siempre superiores a las de los semipresenciales (ello no es extraño, dado que los primeros son “a tiempo completo” y están en situación de trabajar más tiempo en el laboratorio si lo creen necesario, cosa menos viable para los semipresenciales, que al trabajar disponen de menos tiempo y suelen tener horarios extremos; en cambio, los resultados de la parte de teoría son opuestos y provocan un cierto efecto de compensación, suponiendo al final unos resultados globales similares para los alumnos presenciales y para los semipresenciales que siguen toda la asignatura. Este efecto de “optimización del esfuerzo” es inexistente en DLD, donde la competitividad y la búsqueda del mejor expediente académico posible por parte de los alumnos son aspectos clave.

Referencias

- [1] L. Prat, D. Bardés et al. *Semi-distance learning vs. traditional organisation for a Master's Degree in Electronic Engineering: an experience at the the Technical University of Catalonia (UPC), Spain*. Int. J. Engng. Educ., Vol. 20, No. 1, pp. 31-38, 2004.
- [2] Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona. *Guia Docente 2005-2006*.
- [3] <http://www.etsetb.upc.es/intercanvis/master/>
- [4] J. Pons, J.A. Chávez, L. Prat, J. Calderer. *Ingeniería electrónica semipresencial en la UPC. Análisis de dos asignaturas-tipo*. Proc TAE 2004, Valencia, Junio 2004.
- [5] Bologna Declaration: http://www.bologna-berlin2003.de/pdf/bologna_declaration.pdf
- [6] S. Reichert, C. Tauch, *European Universities Implementing Bologna*, European University Assoc. Report, 2005.
- [7] *Sistema Europeo de Transferencia de Créditos. ECTS. Guía del Usuario* Comisión Europea, 1998.