

De la pizarra al circuito: una metodología para mejorar el aprendizaje en las prácticas de diseño lógico

José Luis Poza, Juan Carlos Cano, Juan Luis Posadas

Dpto. de Informática de Sistemas y Computadores
Escuela Técnica Superior de Informática Aplicada
Universidad Politécnica de Valencia. 46022 Valencia
e-mail: {jopolu, jucano, jposadas}@disca.upv.es

Resumen

En este artículo se presenta una metodología que pretende servir de apoyo para una mejor comprensión, por parte del alumno, de los conceptos de diseño de circuitos digitales. Dicha metodología se aplica a las prácticas de laboratorio y utiliza dos herramientas metodológicas complementarias.

Tradicionalmente las prácticas de apoyo relacionadas con lógica digital se vienen realizando, en la Universidad Politécnica de Valencia, en entrenadores lógicos, los cuales presentan el principal inconveniente de su limitación de uso y complejidad creciente del montaje en relación a la magnitud del circuito.

El objetivo principal de la metodología propuesta es ofrecer una herramienta de aprendizaje basada en simulaciones, que permita al alumno poner en práctica los conceptos que posteriormente serán utilizados en la implementación de circuitos en el entrenador.

Así, el alumno tiene la posibilidad de adquirir los conceptos tratados en clases teóricas y ponerlos en práctica mediante una transición más suave: pizarra, simulación, circuito real.

1. Introducción

La enseñanza de materias como Estructura y Tecnología de Computadores implica la transmisión de una gran cantidad de conceptos novedosos para el alumno de primer curso.

Para facilitar la comprensión de estos conocimientos se pueden utilizar diferentes herramientas didácticas de apoyo a las clases

magistrales de teoría, inevitables en un primer curso universitario.

La herramienta más utilizada son las clases prácticas de laboratorio. En la asignatura Estructura y Tecnología de Computadores I, impartida en la Escuela Técnica Superior de Informática Aplicada, dichas prácticas se realizan utilizando un entrenador de circuitos lógicos que permite implementar un amplio rango de circuitos digitales. Dicho entrenador resulta motivador para el alumno, debido a que construye circuitos reales a partir de una especificación teórica.

Sin embargo, la utilización del entrenador lógico, tiene sus principales inconvenientes en su reducida disponibilidad para el alumno y el gran número de cables necesarios para implementar un circuito de complejidad mediana. En ocasiones, aspectos tales como rotura de cables, mal conexionado, etc. provoca que el alumno se desvíe del objetivo que persigue la práctica. Para subsanar dichos inconvenientes se plantea la posibilidad de emplear una herramienta metodológica complementaria, que no suplementaria, que permita al alumno realizar una preparación previa a la realización de la práctica en el entrenador.

Los restantes apartados se organizan como sigue. En el apartado 2 se describe la asignatura de Estructura y Tecnología de Computadores en cuyas prácticas se ha ensayado el método. El apartado 3 se dedica a explicar los fundamentos pedagógicos y la problemática del entorno actual de las prácticas, así como las dos herramientas empleadas en la metodología presentada. Un ejemplo de aplicación se presenta en el apartado 4. Finalmente las conclusiones se exponen en el apartado 5.

2. Entorno

La asignatura *Estructura y Tecnología de Computadores 1* (ETC1) [1] aparece en los actuales planes de estudio de la Escuela Técnica Superior de Informática Aplicada en la Universidad Politécnica de Valencia.

Esta asignatura es de carácter troncal y anual con un total de 12 créditos (9 teóricos + 3 laboratorio) y se imparte en el primer curso de las titulaciones de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas (ITIS) e Ingeniería Técnica en Informática de Gestión (ITIG).

Los alumnos que cursan esta asignatura presentan una escasa integración en el sistema universitario, hay que tener en cuenta que es en los primeros cursos y, especialmente en las asignaturas troncales y obligatorias, donde se pone de manifiesto un mayor grado de masificación de los estudios de Informática en la Universidad Politécnica de Valencia. Este factor influye negativamente tanto en los alumnos como en el profesorado.

El número de alumnos de ETC1 en el actual curso académico es del orden de 600. Estos se dividen en 7 grupos de teoría y en 21 grupos de laboratorio. Así, resulta una media de 85 alumnos por grupo de teoría y un máximo de 30 por grupo de laboratorio. El laboratorio de prácticas dispone de 15 puestos de trabajo, donde trabajan 2 alumnos por puesto.

Los objetivos de la asignatura son:

- Conocer y comprender las técnicas de representación de datos tanto numéricos como alfanuméricos en el computador.
- Iniciar al alumno en la comprensión del funcionamiento e implementación de circuitos combinacionales y secuenciales a partir de puertas lógicas. Estos circuitos serán la base utilizada posteriormente para la creación de los circuitos correspondientes a las unidades funcionales del computador.
- Comprender los principios de la programación en ensamblador, tanto de programas elementales como de subrutinas.
- Conocer una ruta de datos de una máquina elemental capaz de ejecutar un conjunto de instrucciones, y comprender cómo se ejecutan.

- Como último objetivo, que fundamenta la existencia de las prácticas, es adquirir una formación práctica, con ejemplos reales en el laboratorio, en la que se apliquen y consoliden los conocimientos aprendidos en clases de teoría.

2.1. Teoría

Los contenidos teóricos [2], se han estructurado en los cuatro bloques que se muestran en la tabla 1.

BLOQUE 1: Representación
Introducción al Computador, Representación de la información, Aritmética Básica
BLOQUE 2: Circuitos Lógicos
Puertas, Circuitos Combinacionales (circuitos de aritmética básica, ALU), Circuitos Secuenciales (Biestables, Banco de Registros, Contadores)
BLOQUE 3: La Interfaz HW/SW
Juegos de Instrucciones y Modos de Direccionamiento, Lenguaje Ensamblador, Ensamblado, Enlace y Carga
BLOQUE 4: La Estructura del Computador
Procesador: Buses, Ruta de Datos, Unidad de Control, microprogramación

Tabla 1. Bloques temáticos para ETC1

2.2. Prácticas

Las prácticas en el laboratorio son el complemento esencial a las clases de teoría y problemas, sobre todo cuando se están enseñando materias tecnológicas y de carácter aplicado. Hay que pensar que en ellas se acerca al alumno a la realidad del mundo laboral exterior además de servirle para aplicar los conceptos asimilados en las clases de teoría.

Los objetivos que se persiguen con las prácticas de laboratorio son:

- Permitir que el alumno compruebe experimentalmente una gran parte de la materia explicada en teoría.
- Permitir la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en las clases teóricas.

- Despertar el interés por los temas tratados, procurando que el alumno razone y profundice en estos temas de forma práctica.
- Aprender a trabajar en equipo, facilitando el intercambio de ideas, como después es usual que ocurra en su actividad profesional.

Con estos objetivos, se plantea la realización obligatoria de un conjunto de 11 prácticas (tabla 2) directamente relacionadas con los bloques temáticos impartidos en las clases teóricas.

BLOQUE 1: Representación	
P1	Problemas de representación de la información.
BLOQUE 2: Circuitos Lógicos	
P2	Manejo del entrenador lógico. Puertas y circuitos básicos. Álgebra de Boole.
P3	Formas canónicas, simplificación, diseño e implementación de circuitos.
P4	Decodificadores y Multiplexores.
P5	La Unidad Aritmético Lógica (UAL).
P6	Circuitos secuenciales. Registros y Contadores.
BLOQUE 3: La Interfaz HW/SW	
P7	Introducción al simulador de procesadores MIPS. Codificación de instrucciones y datos.
P8	Programación en ensamblador.
BLOQUE 4: La Estructura del Computador	
P9	Introducción al Xilinx. El procesador I: Banco de Registros y UAL
P10	El procesador II: Ruta de Datos
P11	El procesador III: Unidad de Control

Tabla 2. Prácticas en ETC1

El control de las prácticas se realiza en el propio laboratorio, al resolver las dudas planteadas y al revisar el correcto funcionamiento del circuito o del programa. Además, el alumno entrega al finalizar la sesión de prácticas la memoria correspondiente donde debe resolver una serie de cuestiones que se le plantean.

En los grupos de prácticas se han detectado algunos problemas que han motivado la búsqueda de herramientas complementarias de apoyo al trabajo habitual del laboratorio. Algunos de estos problemas, y sus consecuencias son los siguientes:

- Masificación de alumnado. Consecuentemente es habitual que dos alumnos compartan el entrenador, con lo que sólo uno de ellos lo manipula directamente. Además, el elevado número de grupos de prácticas no permite el acceso libre al laboratorio.
- Distancia conceptual y metodológica con el contenido: Los alumnos pasan de ver o dibujar circuitos estáticos, a manipular cables reales, circuitos integrados alimentados.
- Falta de disponibilidad: El entrenador no se puede llevar al aula para mostrarlo.

3. Metodología propuesta

En la enseñanza universitaria [3], los alumnos aprenden los conceptos de la teoría por medio de los contenidos, estos pueden proporcionarse al alumno por medio de varias vías (figura 1). Las clases magistrales o las sesiones de problemas pertenecen a la vía teórica. El profesor explica los conceptos y el alumno estudia los contenidos por medio de los apuntes.

Las prácticas aparecen en el proceso de enseñanza-aprendizaje para facilitar la comprensión de los contenidos dando diferentes visiones que le facilitarán el estudio. A partir de los conocimientos adquiridos en la teoría y, por medio de las habilidades desarrolladas en las prácticas, el alumno tiene diferentes puntos de vista del mismo contenido.

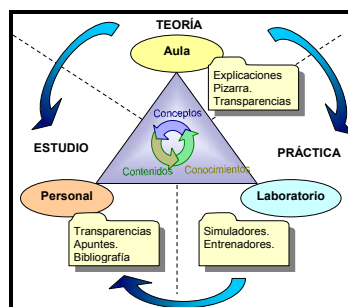


Figura 1. Vías de aprendizaje.

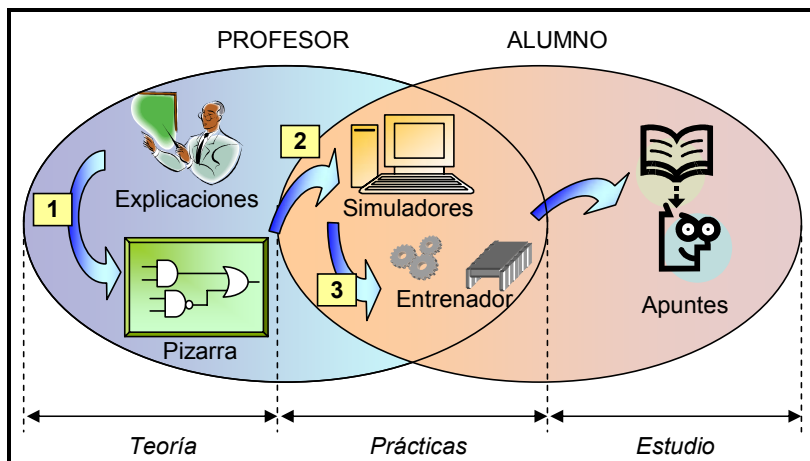


Figura 2. Esquema de la metodología propuesta y ensayada.

De las vías de aprendizaje, algunas dependen de un profesor que asesore, ayude o acompañe en el proceso y de las explicaciones, tanto verbales como en pizarra. En estos casos el protagonista es el profesor. Las prácticas también requieren de un profesor, sin embargo, en las prácticas el alumno es el protagonista, todo lo contrario que en las sesiones de teoría.

Tanto las metodologías que se emplean en teoría como las que se emplean en prácticas sirven para proporcionar al alumno unos conocimientos y unas destrezas que le permitan, por medio del estudio, adquirir los conocimientos necesarios (figura 2).

La metodología propuesta se basa en apoyar los contenidos que el profesor explica, por medio de ejemplos de la pizarra (figura 2, vía 1). El circuito explicado de forma estática en la pizarra se visualiza dinámicamente por medio del simulador, esta simulación se puede realizar directamente en el aula. A continuación, el alumno construye el circuito con el simulador XILINX (figura 2, vía 2), de esta manera se reafirman los conceptos de construcción, composición y conexión de componentes. A continuación, el alumno realiza la práctica más fácilmente debido a que ya tiene claro el funcionamiento (figura 2, vía 3) en el entrenador.

3.1. Xilinx

La herramienta XILINX [4] se emplea para diseño de circuitos digitales. Las características más notables de esta herramienta son:

- Realización de esquemas de circuitos digitales por medio de los símbolos correspondientes.
- Inserción de componentes de librerías o creación de componentes personales.
- Simulación de circuitos, tanto de forma visual como por medio de cronogramas.

La versión que se ha empleado en las prácticas es la de aprendizaje (figura 3), esta versión no es operativa para un entorno de desarrollo empresarial, pero sí en un entorno académico.

XILINX está preparado para realizar complejos circuitos sobre tarjetas reales, por ello todo el proceso que se realiza aparece en el marco de diseño. De este marco se emplea la herramienta de diseño (Schematic Editor) y la de simulación (Simulation) que aparecen destacadas en la figura.

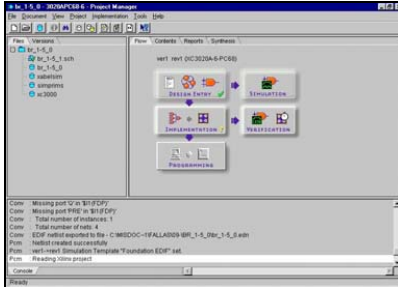


Figura 3. Entorno de desarrollo XILINX

Todo circuito que se cree y simule con XILINX estará compuesto de una serie de componentes como puertas lógicas, codificadores, multiplexores, etc. En XILINX estos componentes se encuentran agrupados en librerías. Las librerías se pueden crear y personalizar, de manera que en las prácticas se le puede proporcionar al alumno una serie de componentes ya seleccionados previamente.

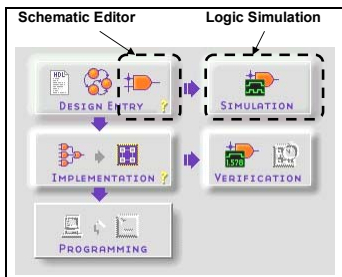


Figura 4. Herramientas de XILINX

3.2. Entrenador

El entrenador digital utilizado en prácticas es un laboratorio portátil diseñado especialmente para comprobar todo tipo de circuitos digitales. Esta herramienta es un instrumento de trabajo que permite al alumno poner en práctica los diferentes conceptos tratados en clases teóricas, verificando el funcionamiento de los diferentes circuitos que se proponen de una forma motivadora e instructiva.

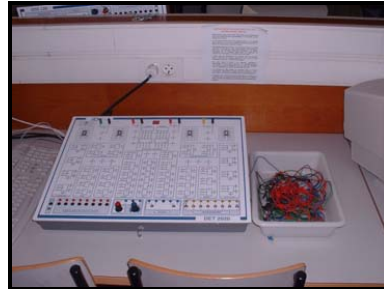


Figura 5. Entrenador lógico utilizado.

La figura 5 muestra una imagen del entrenador de circuitos digitales utilizado en prácticas. El entrenador incorpora los siguientes elementos:

- Interruptores y monitores lógicos: permiten obtener las entradas de los diferentes circuitos digitales realizados así como monitorizar las salidas de los mismos.
- Puertas lógicas de diferente tipo y con diferente número de entradas.
- Biestables J-K así como Registros y Contadores, que permiten realizar una amplia gama de circuitos secuenciales.
- Zócalos: los zócalos del entrenador se utilizan para conectar circuitos integrados comerciales. A través de los bornes asociados se tiene acceso a las patillas del circuito integrado.

4. Práctica ejemplo: multiplexores

La metodología propuesta en el apartado 3 se ha puesto en práctica con los alumnos voluntarios en un grupo "piloto" de la asignatura. Debido a las características de la asignatura, se decidió realizar esta experiencia con alumnos que se ofrecieran voluntarios.

La práctica escogida para probar esta metodología fue la práctica de multiplexores y decodificadores. Esta práctica es la tercera en la que emplea el entrenador, y la primera en la que los contenidos están relacionados con lógica digital, pudiendo ser fácilmente implementada con la herramienta de simulación XILINX.

4.1. Descripción de la práctica

En prácticas anteriores, los alumnos han puesto en práctica los conceptos de la lógica combinacional, trabajando con puertas y funciones lógicas elementales. Igualmente han utilizado la lógica digital para implementar funciones simplificadas.

El objetivo de esta tercera práctica es que el alumno conozca el funcionamiento de circuitos de mayor complejidad que serán utilizados en la construcción de unidades funcionales tales como el Banco de Registros y la Unidad Aritmético Lógica. En concreto, en esta práctica los alumnos trabajan con circuitos decodificadores y multiplexores.

El alumno debe realizar las siguientes tareas:

- Implementación y composición de decodificadores binarios, utilizando el integrado 74139 (incorpora dos decodificadores de dos entradas)
- Implementación y composición de multiplexores, utilizando el integrado 74153 (incorpora dos multiplexores de 4 entradas)
- Implementación de funciones lógicas utilizando los circuitos anteriormente construidos.
- Construcción de circuitos con entrada de selección. A partir de los circuitos anteriores el alumno debe modificarlos para incorporar una entrada de selección.

Los alumnos realizan la práctica utilizando un boletín de prácticas (ver figura 6) en el que se les va dirigiendo a través de las diversas actividades que deben realizar. Para aprovechar el tiempo de utilización del laboratorio los alumnos deben tener preparado dicho boletín antes de iniciar su correspondiente sesión práctica. Este boletín puede consultarse en la página Web de la asignatura [5]. En el mismo boletín tienen el espacio necesario para responder a las preguntas.

Para realizar un seguimiento de las actividades del alumno, éste entrega el boletín al profesor para que lo corrija. Finalmente, el profesor, devuelve el boletín al alumno, para que pueda verificar los diferentes errores que haya podido cometer.

A continuación se describen algunos montajes de la práctica utilizando ambas metodologías.

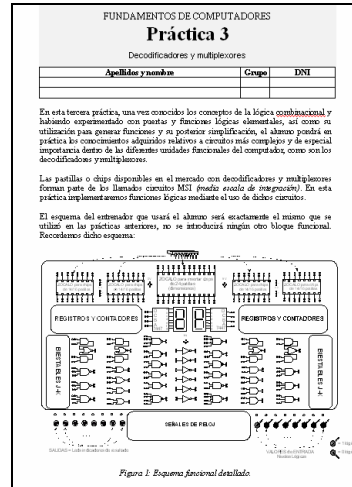


Figura 6. Boletín de prácticas.

4.2. Montaje con XILINX

En el montaje de la práctica con XILINX, el alumno desarrolla primero el circuito lógico que va a construir. Éste circuito implica la conexión de las entradas del multiplexor a nivel alto o nivel bajo, según corresponda, para a continuación realizar las conexiones de la selección del multiplexor. El circuito desarrollado se puede ver en la figura 7.

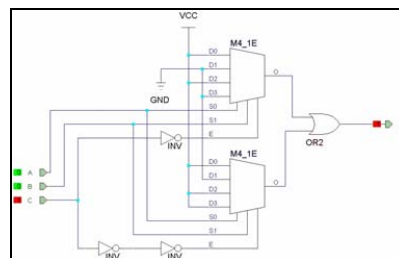


Figura 7. Simulación del circuito de la práctica explicado en el aula.

Este circuito se desarrolla de manera similar al desarrollado en la pizarra, de tal manera que sirve de conexión de la clase teórica con la herramienta XILINX. La gran ventaja de desarrollar el mismo circuito que en el explicado en el aula, es poder realizar una simulación de manera dinámica, con la observación directa de los resultados y la comparación con la tabla de verdad del comportamiento del circuito presentada por el profesor en la teoría.

A continuación el alumno realiza el mismo circuito, pero utilizando el circuito integrado 74153 que es proporcionado por las librerías de circuitos del XILINX. El resultado se puede ver en la figura 8.

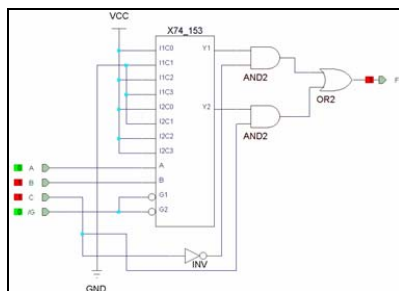


Figura 8. Simulación del circuito a desarrollar en la práctica.

Este último paso de simulación se corresponde con el circuito que deben construir en el entrenador, de esta forma se logra la conexión de lo explicado en la pizarra con lo practicado en el entrenador.

4.3. Montaje en el entrenador

La Figura 9 muestra el esquema del patillaje del integrado 74153. A partir de esta descripción, el alumno debe ser capaz de montar dicho circuito en uno de los zócalos del entrenador comprobando su correcto funcionamiento.

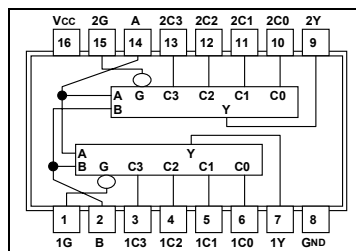


Figura 9. Patillaje del multiplexor 74153

Una vez implementado el circuito, el alumno debe comprobar su correcto funcionamiento completando una tabla de verdad que describa el comportamiento de dicho circuito.

A partir de esta comprobación inicial se plantean circuitos de mayor complejidad que permiten analizar la asimilación por parte del alumno, tanto de los conceptos teóricos como de sus habilidades de construcción de circuitos digitales.

Por medio del circuito integrado 74153 y de las puertas lógicas disponibles en el entrenador, se le plantea al alumno la composición de un multiplexor de 3 entradas de selección. Basándose en el esquema realizado como trabajo previo a la sesión de laboratorio, el alumno debe construir el circuito en el entrenador utilizando los latiguillos de conexiones que sean necesarios (ver figura 10).

Por cada uno de los circuitos construidos, el alumno debe verificar el funcionamiento del circuito implementado.

Por cada una de las posibles combinaciones de las entradas, el circuito construido debe implementar la función indicada en el boletín de prácticas.

Para ello, el alumno debe comparar la salida del circuito con los resultados previamente evaluados y anotados en una tabla de verdad de funcionamiento del circuito.



Figura 10. Construcción de un circuito en el entrenador.

Finalmente cabe indicar que la utilización de un entrenador lógico resulta una práctica altamente motivadora para el alumno, el cual construye pequeños circuitos utilizando integrados reales de una forma tangible. Sin embargo, este tipo de herramientas solamente son viables para pequeños circuitos, donde el número de cables no sea elevado. A medida que los circuitos necesitan de la utilización de un mayor número de cables el entrenador adolece de no ser modular y la construcción de los mismos se hace más compleja, aumentando la probabilidad de fallo debido a un mal montaje o simplemente a fallos de los elementos de conexión. Como ejemplo, la figura 11 muestra detalles del montaje anterior.

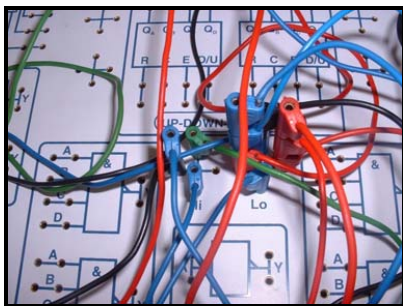


Figura 11. Detalles de implementación del circuito en el entrenador.

5. Conclusiones

En esta experiencia se ha evaluado un método consistente en la preparación previa de las prácticas por medio de un software de simulación de circuitos.

Aunque la experiencia presentada se ha llevado a cabo en un solo grupo de prácticas, los resultados obtenidos muestran que dichos alumnos incrementaron sus habilidades, tanto en el montaje como en la comprensión, de cada uno de los circuitos, así como las cuestiones de ampliación propuestas en las prácticas.

Finalmente, faltaría comprobar la incidencia en la evaluación de dicha metodología, comparando los resultados que estos alumnos obtengan en los ejercicios de examen relacionados con los contenidos de las prácticas, con las notas de sus compañeros. Aspectos que quedan como tareas pendientes.

Como propuestas futuras, aunque requerirá de un esfuerzo adicional, tanto por parte del profesor como del alumno, está el extender esta metodología a todas las prácticas en las que se emplee el entrenador y a todos los grupos. En una primera fase se plantea que sea de forma voluntaria, en tal caso se realizará un seguimiento de los resultados de estos alumnos tanto en las prácticas como en las preguntas del examen que estén relacionadas con los contenidos que se han aprendido en prácticas.

Referencias

- [1] Estructura de computadores. Julio Sahuquillo y otros. SPUPV. 1998.
- [2] Patterson D.A. y Hennesy J.L. Organización y diseño de computadores. Mc Graw-Hill, 1994
- [3] Benedito, I., Antoli, V. y otros. Innovaciones en el aprendizaje universitario. PPU. Barcelona, 1988.
- [4] Página Web de XILINX. www.xilinx.com/
- [5] Página Web de la asignatura ETC1. poseidon.disca.upv.es/etc1