

Experiencia en la realización de trabajos tutorizados en la enseñanza de la Electrónica Digital

Raúl Rengel¹, Beatriz G. Vasallo¹, Miguel A. Rabanillo¹, y María J. Martín²

¹ Escuela Politécnica Superior de Zamora, Universidad de Salamanca

² Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca

Resumen

En este artículo presentamos una serie de actividades y estrategias docentes puestas en práctica en la asignatura Arquitectura de Computadores I, impartida por primera vez en el curso 2010-2011 en el Grado en Ingeniería Informática en Sistemas de Información de la Escuela Politécnica Superior de Zamora. El objetivo de estas técnicas docentes fue la organización de los trabajos finales tutorizados realizados por los alumnos en grupos pequeños (2 a 3 personas). Concebidos como problemas avanzados o mini-proyectos que sirvieran de compendio de los conocimientos adquiridos durante la mayor parte de la asignatura, se introdujeron como factores clave elementos de competitividad entre grupos y la asunción de un rol profesional por parte del alumnado. El resultado fue un elevado grado de motivación e implicación en la actividad y una extensión de los conocimientos de los alumnos basada en el autoaprendizaje requerido para la realización de los trabajos.

Palabras clave

Enseñanza de la Electrónica Digital, trabajos tutorizados, aprendizaje basado en problemas, evaluación mediante rúbricas, técnicas de motivación

Abstract

In this paper we present a series of activities and teaching strategies implemented in the subject "Computers Architecture I", given for the first time in the academic year 2010-2011 in the Degree in Computer Engineering in Information Systems in the Superior Technical College of the USAL at Zamora. The main objective of these teaching strategies was the organization of the final tutored coursework developed by the students in small groups (2 or 3 people). Conceived as advanced problems or small projects that should serve as a compendium of the knowledge acquired during the most part of the course, competitiveness among the groups and the assumption of a professional role by the students were introduced as key factors. The result was a high degree of motivation and implication in the activity and the extension of the knowledge of the students based on the self-learning required for the execution of the coursework.

Keywords

Teaching of Digital Electronics, tutored coursework, problem-based learning, evaluation with rubrics, motivation techniques

Introducción

La adaptación de las enseñanzas universitarias a los requerimientos del Espacio Europeo de Educación Superior [1] implica una serie de cambios metodológicos en la forma de impartir las materias que renueve la práctica docente y facilite el aprendizaje de los alumnos con un mayor protagonismo del estudiante en la construcción de su propio aprendizaje. En el caso de la Electrónica Digital, y en particular en el caso de nuestra Universidad, su enseñanza tradicionalmente se ha caracterizado por un método centrado en la exposición magistral del profesor tanto de la teoría como de una serie de problemas tipo, y en la realización de prácticas guiadas centradas en ejemplos vistos en clase. Sin embargo, por sus características esta materia se presta especialmente a la consideración de innovaciones metodológicas que impliquen un papel más activo de los alumnos, centrándose en aspectos relacionados con el desempeño profesional en esta actividad, en particular para el diseño de circuitos digitales en aplicaciones de control. Por tanto, históricamente ha sido una materia propicia para la introducción de nuevas metodologías [2, 3]; además, existen numerosos ejemplos en la literatura sobre investigación educativa de la aplicación de métodos innovadores en el ámbito de la electrónica digital (véase como ejemplo [4, 5]).

En el presente artículo presentamos los resultados de una experiencia educativa relacionada con la elaboración de trabajos tutorizados en el ámbito de la electrónica digital. La actividad que hemos realizado se encuadró en el proyecto de innovación docente "Innovación docente aplicada al aprendizaje activo de los fundamentos del diseño de circuitos digitales", que se desarrolló en el curso 2010-2011 en la asignatura "Arquitectura de Computadores I" del Grado en Ingeniería Informática en Sistemas de Información de la Escuela Politécnica Superior de Zamora. Dentro de este proyecto, una parte estaba orientada a desarrollar un nuevo enfoque metodológico para los trabajos finales de los alumnos. Tradicionalmente en las enseñanzas no adaptadas al EEES estos consistían en la redacción de un documento sobre un tema concreto relacionado con la asignatura y la exposición ante el resto de los alumnos del mismo. Esta dinámica resultaba en muchas veces insatisfactoria debido a la tendencia general a copiar y pegar información obtenida en la red, sin un análisis crítico de la misma, y no se traducía en una verdadera adquisición de conocimiento.

En el caso de la asignatura "Arquitectura de Computadores I", orientada al aprendizaje de la electrónica digital, optamos en este caso por un nuevo enfoque de los trabajos, más orientado a la puesta en práctica de los conocimientos aprendidos en clase en un entorno en el que los alumnos asumieran un rol profesional, debiendo buscar información y completar sus conocimientos en base a los requerimientos que les exigiría un desempeño laboral relacionado con la materia. La actividad propuesta (que será descrita a continuación) incluye elementos propios del aprendizaje basado en problemas (ABP) [6], aunque no se puede encuadrar con precisión en esa categoría, ya que la mayor parte de los conocimientos que necesitaban para realizar el trabajo se aprendieron en clase por mediación del profesorado. En todo caso, en las etapas iniciales de los grados no resulta recomendable una utilización exhaustiva de esta técnica, que es más adecuada en los últimos cursos de las titulaciones. Por ello, se aplicó en una escala reducida y centrada sobre todo en aspectos puntuales: los alumnos debían realizar en esencia un mini-proyecto, parte del cual les serviría para aprender nuevos conceptos mediante técnicas ABP.

Metodología

La metodología que empleamos para la realización de esta actividad fue la que describiremos a continuación. En primer lugar, debemos señalar que trabajamos con un grupo reducido de alumnos (17 en total) que fueron divididos en seis sub-grupos. Estos subgrupos correspondían a los grupos de prácticas de laboratorio, por lo que los estudiantes ya se conocían entre sí y estaban acostumbrados a colaborar entre ellos, lo cual resultó un factor positivo para el desarrollo de la actividad. El planteamiento general fue el siguiente: cada sub-grupo de trabajo jugaría el papel de una empresa de servicios de diseño de circuitos electrónicos para aplicaciones industriales y comerciales. Los profesores tendrían por su parte el rol de “clientes” que solicitan el presupuesto para una aplicación en un entorno industrial y que debía cumplir una serie de requisitos mínimos. El presupuesto (que no era otra cosa que el trabajo en sí) no debía consistir en simplemente un desglose económico: debían incluir un diseño de circuito para la aplicación (de dificultad parecida a alguno de los problemas que se hacían en clase), una demostración mediante software de simulación de que el circuito cumplía las especificaciones requeridas, y finalmente un listado de los componentes (incluyendo su precio) que proponían utilizar para la realización física del circuito en caso necesario. Cada dos sub-grupos recibirían la misma propuesta de trabajo. Una vez presentado el presupuesto, los clientes/profesores elegirían el mejor trabajo “comprando” el diseño, lo que se traducía en una bonificación adicional en la nota de una décima sobre la nota total (además de la valoración del trabajo en sí, que representaba el 15% de la nota), de carácter eminentemente simbólico. Esta estrategia, al no penalizar a nadie e introducir factores de competitividad mediante un incentivo adicional casi simbólico, dio excelentes resultados desde el punto de vista pedagógico, como comentaremos posteriormente.

Seis semanas antes de la fecha de presentación de los trabajos (fijada para la última semana del curso) se procedió a la entrega de tres enunciados o “solicitudes de presupuesto” distintos, de modo que cada trabajo fuera realizado en paralelo por dos grupos, que pasaban a jugar el papel de empresas rivales que como hemos mencionado competían por ofrecer el mejor diseño de circuito con la mejor relación precio/calidad para cada situación o problema propuesto. Los problemas eran de carácter aplicado, en nuestro caso los siguientes:

- Sistema de control de compuertas de un pantano para mantener los niveles de agua en el mismo
- Control de bombas de alimentación y toberas en un depósito de una fábrica
- Regulación de un cruce mediante semáforos con solicitud de paso por los peatones

En todos los casos, se trataba de ejemplos con las siguientes características comunes: situaciones realistas que requerían diseño de circuitos sencillos para su control; dificultad media en la resolución del problema desde el punto de vista de la obtención del circuito digital correspondiente; y finalmente, posibilidad de implementación real con pocos elementos adicionales más allá de los previamente conocidos por los alumnos.

Un aspecto clave de la actividad es que mientras que el diseño básico del circuito (el núcleo de la actividad) era un compendio de gran parte de los conocimientos adquiridos en clase, el presupuesto que debían elaborar tenía que incluir ciertos elementos y conceptos (elaboración de placas de circuitos, inclusión de elementos de control, relés, temporizadores, etc.) sobre los cuales los estudiantes debían buscar información por su

cuenta al no haberse tratado específicamente ni en clases de teoría ni en seminarios de problemas. Es decir, el elemento diferenciador del trabajo de “empresas rivales” (grupos con el mismo enunciado) vendría dado fundamentalmente por el esfuerzo que pusieran en aprender por su cuenta nuevos conceptos y aspectos prácticos directamente relacionados con lo visto en clase de forma más teórica o elemental.

Respecto a la acción tutorial, se desarrolló de la siguiente manera. Inicialmente (durante las primeras 4 semanas) se plantearon una serie de tutorías de carácter voluntario en las que los alumnos podían aclarar cualquier tipo de duda respecto a la tarea a resolver. En este caso los profesores actuaban en su papel de clientes, solventando las cuestiones respecto al enunciado o a las especificaciones del circuito solicitado, pero sin dar indicaciones acerca de la resolución del mismo. En una segunda fase, aproximadamente diez o quince días antes de la presentación de trabajos, se plantearon una serie de tutorías obligatorias para cada grupo, en las que debían presentar a los profesores el esquema básico del circuito que proponían, con el fin de detectar posibles errores graves de diseño o deficiencias notorias en ese mismo. En ese caso los profesores ayudaban a los alumnos a reorientar el trabajo en caso necesario y a enfocar adecuadamente la actividad.

El resultado de los trabajos presentados se expuso en una sesión común para el grupo completo. Durante la presentación del trabajo de un grupo en concreto asistían todos los demás alumnos menos el grupo que tenía la misma tarea asignada. En el acto de presentación de trabajos los alumnos debían explicar los pasos dados para elaborar el diseño del circuito, la implementación elegida para el mismo, realizar una demostración del funcionamiento del mismo mediante software de simulación y exponer el desglose de precios y la oferta final para el producto terminado. La evaluación de esta tarea se efectuó por medio de rúbricas, elaboradas mediante la herramienta on-line RubiStar [7]. Es importante hacer hincapié en que el “precio” final del circuito no era un factor a considerar a la hora de valorar los trabajos o de elegir entre grupos rivales, sino que se tenían en cuenta factores como la calidad del diseño o la completitud del mismo y el conjunto del circuito.

Evaluación de trabajos de Arquitectura de Computadores I

CATEGORÍA	4	3	2	1
Presentación y diagramas	El trabajo es presentado de una manera ordenada, clara y organizada que es fácil de entender.	El trabajo es presentado de una manera ordenada y organizada, que es en su mayor parte fácil de entender.	El trabajo es presentado en una manera organizada, pero puede ser difícil de entender.	El trabajo se ve descuidado y desorganizado. Es difícil saber qué información está relacionada.
Verificación del circuito	El circuito cumple con todas las especificaciones del enunciado y se demuestra en la presentación mediante uso de simuladores	El circuito cumple con todas las especificaciones del enunciado y se demuestra por escrito	El circuito cumple con las especificaciones principales del enunciado y se demuestra por escrito o en la presentación	Se presenta un circuito incompleto sin demostrar su funcionamiento
Terminación del producto y presupuesto	Se dan indicaciones sobre coste de componentes, conexiones, placa, etc. con un acabado profesional, incluyendo una argumentación razonable sobre beneficios	Se dan indicaciones sobre el coste de componentes, conexiones, placa, etc. con un acabado profesional, sin incluir beneficios o haciéndolo de forma no adecuada (exceso o defecto)	Se da un listado de precios de componentes, sin evaluar costes de integración o de mano de obra	Se realiza una enumeración simple de los componentes del circuito, sin indicar costes, o haciendo una evaluación deficiente de los mismos
Diseño del circuito	El diseño del circuito base está totalmente optimizado, y se incluyen de manera correcta todos los componentes adicionales y los elementos necesarios para su funcionamiento (resistencias, transistores, etc.)	El circuito base está altamente optimizado y se indican los componentes adicionales necesarios, sin considerar los elementos para su conexión en una placa	El circuito base está optimizado, pero no se incluyen los componentes adicionales exigidos en el enunciado o se hace parcialmente	Se presenta únicamente el circuito base, sin optimizar o con un número de elementos excesivo, y sin tener en cuenta elementos adicionales exigidos por el enunciado
Respuesta a cuestiones y aclaraciones	Se responde satisfactoriamente a todas las cuestiones, aclarando cualquier pregunta sobre el producto presentado y defendiendo satisfactoriamente el mismo	Se responde satisfactoriamente a la mayor parte de las cuestiones, defendiendo satisfactoriamente el producto presentado	Se da una explicación aceptable a algunas de las preguntas realizadas acerca del trabajo	No se responde de manera adecuada a las preguntas sobre el trabajo, o se da información errónea

Figura 1. Matriz de rúbricas empleada para la evaluación de los trabajos

Resultados

En primer lugar, debemos señalar que la recepción por parte de los alumnos de la actividad propuesta fue muy positiva. En la encuesta final realizada al terminar la asignatura la pregunta sobre si el planteamiento del trabajo final era adecuado recibió una valoración de 4.2 sobre 5 en una escala de Likert. Al plantearse como una competencia no excluyente entre grupos (todos podían sacar la nota máxima, simplemente los mejores obtendrían una bonificación extra fundamentalmente simbólica), se estableció un empeño particular entre los equipos por conseguir hacer el mejor presupuesto que fuera “comprado” por los clientes/profesores. Este hecho, junto con el buen ambiente existente dentro de la clase generó una sana rivalidad entre los alumnos, de forma que cada grupo se involucró mucho más en la tarea por el hecho de “ganar” a los compañeros que tenían que resolver el mismo problema. Ello redundó en un interés por la actividad muy notable respecto al resto de actividades realizadas en el curso, demostrando que una competitividad bien entendida combinada con un margen amplio de flexibilidad y autonomía en la realización de la tarea actúan como elementos muy positivos respecto a la motivación de los estudiantes.

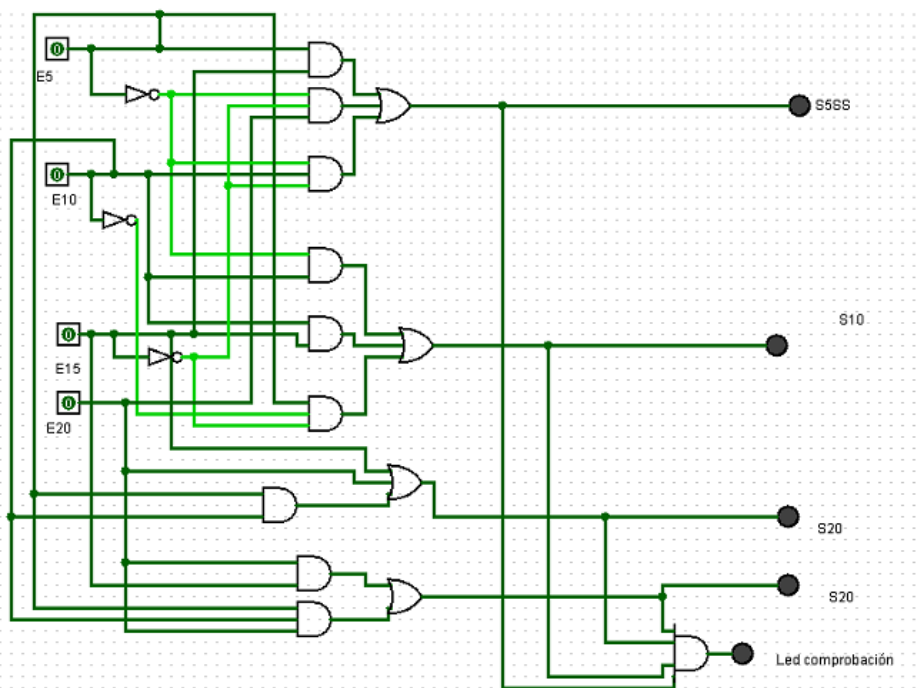


Figura 2. Ejemplo del diseño de un circuito para el control de las toberas de un depósito industrial realizado por uno de los grupos de alumnos

En cuanto al desarrollo de la actividad en sí, cabe destacar que en general casi todos los grupos supieron buscar por sus propios medios y de forma autónoma la mayor parte de información necesaria para completar la tarea, fundamentalmente en páginas de proveedores electrónicos o incluso contactando con varias empresas para determinar el precio real de los componentes. Los dossiers presentados fueron en general de gran calidad técnica. Las incidencias o dudas respecto a la tarea fueron mínimas y se solventaron en su totalidad en la primera fase de tutorías. Si bien es cierto que en los resultados finales existieron algunas interpretaciones erróneas en cuanto a ciertos

aspectos técnicos puntuales (por ejemplo, en relación al coste de realizar las placas de circuito impreso), en general los resultados superaron claramente y de manera muy positiva nuestras expectativas iniciales. En particular el grado de calidad de los circuitos propuestos, su diseño, presentación y demostración práctica mediante simuladores fueron mayoritariamente mucho mejores de lo esperado. La totalidad de los grupos realizó la actividad con un resultado muy satisfactorio, obteniéndose en general un muy buen rendimiento en la nota final de la misma.

Conclusiones

En este trabajo hemos presentado los resultados de nuestra experiencia en la realización de trabajos finales tutorizados en la enseñanza de la Electrónica Digital, en particular aplicada al diseño de circuitos dentro del Grado en Ingeniería Informática en Sistemas de Información. La actividad tuvo como eje fundamental la asunción por parte de los alumnos de un rol profesional como ingenieros, de modo que para el desarrollo de la misma tuvieron que emplear tanto los conocimientos técnicos que habían adquirido en clase como nuevos conocimientos aplicados que debieron adquirir de manera autónoma.

Además de este importante aspecto, otro eje fundamental de la actividad fue la introducción de elementos de competitividad entre grupos con bonificaciones simbólicas para los mejores trabajos. Las metodologías empleadas demostraron un notable aumento de la motivación de los estudiantes gracias a estos dos factores (rol profesional y competencia entre grupos) lo que se tradujo en una notable capacidad de aplicación de los mismos y un mayor interés por la materia. En definitiva, el planteamiento realizado y las actividades desarrolladas permitieron reforzar una serie de competencias específicas y transversales de carácter fundamental para el futuro desempeño de los estudiantes como profesionales de la informática.

Referencias

- [1] Confederation of EU Rectors' Conferences and the Association of European Universities (CRE) (1999) *The Bologna Declaration on the European Space for Higher Education: An explanation*. Disponible en:
<http://ec.europa.eu/education/policies/educ/bologna/bologna.pdf>.
- [2] Yongmin K. y Thomas A., "A New Project-Oriented Computer Engineering Course in Digital Electronics and Computer Design", *IEEE Transactions on Education*, vol. E-29, pp. 157-165, 1986
- [3] Bormida G. D., Ponta D., Donzellini, G., "Methodologies and tools for learning digital electronics", *IEEE Transactions on Education*, vol. 40, pp. 294, 1997
- [4] Plaza I., Medrano C. T., "Continuous Improvement in Electronic Engineering Education". *IEEE Transactions on Education*, vol. 50, pp. 259-265, 2007
- [5] Boluda J. C., Peiro M. A., Torres M. A. L., Girones R., y Palero, R.J.C., "An active methodology for teaching electronic systems design", *IEEE Transactions on Education*, vol. 49, pp. 355-359, 2006
- [6] Albanese, M.A., y Mitchell S. "Problem-based learning: A review of literature on its outcomes and implementation issues", *Academic Medicine*, vol. 68, pp. 52-81, 1993
- [7] Rubistar, herramienta on-line para la elaboración de rúbricas. Disponible en <http://rubistar.4teachers.org/>