

Metodología de enseñanza de diseño electrónico digital a través de la colaboración con PYMEs del entorno de la universidad.

Alfonso Gago Calderón
Dpto. I+D+I
Fundación Solitec
Málaga, España
alfonso_gago@solydi.com

José Fernandez Ramos
Dpto. de Electronica
Universidad de Málaga
Málaga, España
josefer@ctima.uma.es

Resumen— En este artículo se presenta la descripción de un plan docente desarrollado en dos asignaturas de diseño electrónico cuyas principales características son que utiliza un método de educación basada en proyectos y que se ha desarrollado en colaboración con tres pequeñas empresas del entorno industrial próximo a la universidad. Se fundamenta la idoneidad de la colaboración con pequeñas empresas desde un punto de vista tanto económico como educativo y se exponen de forma detallada las tareas que realizan los alumnos, su temporización y las competencias que deben adquirir en su desarrollo. Por último, se exponen los requisitos que han sido necesarios para llevar a cabo el proyecto y se comentan los resultados de la experiencia y los aspectos a mejorar en el futuro.

Palabras Claves: Educación basada en proyectos; Educación de Ingeniería Electrónica; Aprendizaje activo; Colaboración Universidad-Empresa; Pequeña y mediana empresa.

I. INTRODUCCIÓN

La rápida evolución de las tecnologías de la información y de la producción está produciendo un profundo cambio en todos los ámbitos de la industria y la economía. Este cambio está influyendo en gran medida en las funciones que desempeñan los ingenieros. Como se indica en [1]: *Engineers are asked to join organizations and get up to speed more quickly, with less training, in more complex work arrangements (teaming, concurrent engineering, etc.). As a result, the modern engineering graduate is expected to come to work “fully assembled”*. Esto supone un reto para las instituciones de educación superior de ingeniería, que deben introducir cambios tanto en el enfoque y la metodología del aprendizaje como en el diseño de estrategias de coordinación con la industria, con el objetivo de mejorar la capacitación de los alumnos que desarrollarán su profesión en este nuevo entorno.

En relación al enfoque del aprendizaje y teniendo en cuenta que *“the engineering problems are not naturally restricted to artificial discipline-oriented boundaries”* [2], los enfoques interdisciplinares o multidisciplinares están siendo propuestos para tener en cuenta esta realidad. La necesidad de esta nueva orientación en la enseñanza de la ingeniería es percibida cada vez en mayor medida por los egresados que se enfrentan al nuevo mercado laboral. A modo de ejemplo, en un estudio realizado sobre 280 ingenieros de las mayores

empresas electrónicas israelíes que respondieron a un cuestionario. Se concluyó que un buen currículo en ingeniería electrónica requiere, entre otras cosas de una visión completa de los procesos de desarrollo e implementación (*“engineering systems thinking” capability*) [3].

En cuanto a la metodología para implementar este enfoque, la educación basada en proyectos es ampliamente utilizada en la actualidad. Existe una amplia literatura que expone experiencias sobre este método [4-9], con resultados bastante favorables en términos tanto de aprendizaje y competencias adquiridas como de motivación por parte de los alumnos. Deams et al. concluye que *“interdisciplinary project-based education focuses attention on practical skills that the traditional approach neglects; it is an excellent framework to train nontechnical skills essential for every engineer; and finally, it causes a clear motivation boost for the students”* [4]. En esta metodología, *“teaching will primarily consist of providing methods and techniques to the students so that they can obtain knowledge as needed”* [2]. Con esto se pretende conseguir que los alumnos tengan una mayor implicación en su proceso de aprendizaje, de forma que no se vean relegados a una función de receptores pasivos de información. De este modo, la metodología se basa en: bibliografía, tutoriales, uso de software y herramientas de laboratorio y talleres guiados por profesionales de la industria, entre otros, como ayudas para el proceso educativo. *“Projects are the core of the proposed methodology”* [6].

La colaboración con la industria es el otro reto que deben afrontar los centros educativos en este nuevo entorno de aprendizaje que se propone. Está demostrado que la Universidad tiene una gran influencia en la ubicación de las empresas industriales, fundamentalmente en las pequeñas empresas y en las dedicadas a las nuevas tecnologías. No obstante, parece ser que esa influencia está más originada por los *“knowledge spillovers”* que por programas concretos de colaboración universidad/industria. En [10] se expone un estudio realizado en el mercado laboral de los EE.UU. en la década de 1990 en el que se concluye que *“University R & D expenditures are positively related to new firm formations, and these new firm formations are positively related to employment level. Entrepreneurial firms are often, as if not, more innovative than their larger counterparts. The mechanism by which these start-ups are able to innovate is through unidirectional knowledge spillovers from universities”*

to small firms". También en los EE.UU., Acs et al. han encontrado que *"R&D spillovers are apparently more decisive in promoting the innovative activity of small firms than of large corporations. R&D expenditures made by private companies play a particularly important role in providing inputs to the innovative activity of large firms, while expenditures on research made by universities serve as an especially key input for generating innovative activity in small enterprises."*[11]. En Alemania, a partir de un estudio en más de 295 empresas del Neuer Markt (correspondiente alemana del NASDAQ) entre 1997 y 2002, Audretsch et al. [12] han encontrado que *"University spillovers have a strong influence in the strategic locational decisions of Firms, shaped not only by the output of universities, but also by the nature of that output. Young firms tend to locate closer to universities with a high academic output and a high number of students in natural sciences"*. En España, con datos de 604 empresas and 63 universidades entre 2001 y 2004, Acosta et al. han obtenido resultados similares: *"University spillovers are relevant in explaining the location of new businesses in high technology sectors in Spain. The main source of university spillovers to explain new business location near universities is generated by the number of graduates, while research activities and university technology do not have significant effects. The traditional mission of universities (education) is the only source of spillovers."* [13]. Estos artículos ponen en evidencia que desde el punto de vista de la transferencia de resultados de investigación las pequeñas empresas tienen una mayor relación con las universidades que las grandes.

Hay otros aspectos que son interesantes en relación con las relaciones con las pequeñas empresas. Diaz et al. [14] han analizado los resultados obtenidos en empresas en España entre 1995 y 2001, haciendo incapié en el grado de ineficiencia técnica y concluyen que las pequeñas y medianas empresas son mucho más eficientes. Además, sobre datos de 14 empresas de producción electrónica en 13 países europeos, Carre et al. [15] concluye que países con baja presencia de PYMEs han crecido económicamente mucho menos que países con este tipo de estructuras. Con respecto a creación de empleo, particularmente en España, Calvo [16] afirma que *"employment in small, young and innovating firms has grown more than employment in other type of firms"*, en un estudio realizado en 1272 empresas productivas en el periodo de 1990–2000. En el mismo artículo se afirma que *"firms situated in sectors with high technological development also have had higher growth, and innovation has been a key factor for firm survival over the years considered"*. En estudios más recientes realizados por el Banco de España [17] que recoge datos de empleo entre 1996 y 2003 se concluye que *"firms with less than 20 employees are responsible for more than 60% of annual manufacturing net employment creation and the optimal firm size in Information and Communications Technologies manufacturing industries seems to be decreasing, and this is true for new and mature firms, which suggests that small technology manufacturing firms are gaining comparative advantages over larger ones and that it is a development which is here to stay."*

Estos estudios nos inducen a pensar que la colaboración Universidad/industria tendría mejores resultados si se realizara

con pequeñas empresas tecnológicas en lugar que con grandes firmas. No obstante, es difícil encontrar trabajos que reporten este tipo de colaboración. Por el contrario, son más frecuentes los casos de colaboración entre Universidades y grandes empresas, como los que se citan a continuación: En [18], se expone la experiencia de la constitución de una cátedra universitaria basada en programas de colaboración de tecnología de transferencia de calor entre la universidad de Zaragoza y Bosch and Siemens Home Appliances Group. En [19] se presenta el 'Danfoss Professor Program', financiado por Danfoss A/S, el Ministerio Danés de Educación y la universidad de Aalborg. En [2] se presenta una la colaboración entre The Institute for Design and Advanced Technology (IDEATE), la Universidad de Ingeniería Texas Tech University y Raytheon. In [5] se describe el programa de colaboración entre Arizona State University y Motorola University para desarrollar un proyecto de software de gestión y en [20] se registra una colaboración entre the Department of Electrical and Computer Engineering (Ohio State University) y Texas Instruments para generar un curso de pruebas de circuitos integrados. De estos ejemplos puede deducirse que este modelo de colaboración Universidad/Gran Empresa se caracteriza por tener como eje central el trabajo sobre algún producto específico de la empresa colaboradora. Desde nuestro punto de vista, este modelo no fomenta suficientemente la adquisición de una habilidad que consideramos es fundamental para el ingeniero en el entorno actual, que consiste en la capacidad de interactuar con las diferentes empresas que pueden participar en un proyecto.

En un entorno de creciente especialización, cada día es más difícil encontrar un producto que sea producido completamente en una única industria. Es bastante frecuente que cada parte del producto sea realizada por diferentes empresas. Por ejemplo, en la producción de un producto pequeño como es una prótesis auditiva intervienen una gran cantidad de industrias. La carcasa, la PCB, los transductores, los componentes electrónicos, las baterías y el ensamblado final son a menudo realizados por diferentes empresas, cada una con unos criterios de producción y un tipo de especificaciones propios. Además, estas empresas pueden ser las mismas que intervengan en la fabricación de un producto tan diferente como puede ser una lámpara LED para sistemas alimentados por baterías. El ingeniero de diseño de sistemas electrónicos debe estar preparado para integrar en un proyecto concreto todos los requerimientos de las empresas involucradas en su realización.

En este artículo presentamos una experiencia docente basada en la colaboración con tres pequeñas empresas, dos de ellas ubicadas en un entorno muy próximo a la Universidad de Málaga, que cubren la mayor parte del proceso de fabricación de sistemas electrónicos, exceptuando los componentes.

II. FUNDAMENTOS DEL PROYECTO EDUCATIVO

El diseño electrónico es una tarea esencialmente innovadora y creativa, pero que en la práctica está limitada por una serie de factores tanto económicos como tecnológicos. Un problema que suele ser habitual en la enseñanza de esta disciplina es que este tipo de restricciones no siempre son tenidas en cuenta, reduciéndose la tarea del diseño a que los

circuitos cumplan con una determinada funcionalidad. La consecuencia es que, en la mayoría de las ocasiones, si se quisiera realizar un producto útil y comercializable utilizando estos circuitos habría que realizar modificaciones en su diseño. Estas modificaciones, por pequeñas que sean, pueden ser muy importantes desde un punto de vista económico si hay que realizarlas en una etapa avanzada del diseño. Una solución a este problema sería que el alumno tenga en cuenta, desde las primeras etapas del diseño, no sólo las especificaciones funcionales sino también criterios económicos (selección de componentes en función del coste y el volumen estimado de producción, etc.) y tecnológicos (parámetros de fabricación de PCBs, restricciones de las máquinas de montaje automatizado de componentes, etc.) y establezca soluciones de compromiso entre todas las especificaciones, ya que están relacionadas entre sí.

Desde nuestro punto de vista, mientras que el lugar más adecuado para aprender a resolver los problemas del diseño a nivel funcional es la Universidad, la adquisición de habilidades para integrar los requerimientos económicos y tecnológicos debe realizarse directamente en las empresas donde se desarrollan los procesos de fabricación de los productos. De este modo, pensamos que la formación del alumno debe incluir el conocimiento de los procesos que se llevan a cabo en las empresas del sector y como se debe trabajar integrando muchas disciplinas para generar un producto final.

Para materializar este concepto, proponemos que en la planificación de la actividad educativa esté presente la adquisición de parte de las competencias mediante su vivencia de forma práctica en la interacción con el entorno industrial. Por ello, el plan docente se genera en torno a la realización de un proyecto industrial tutorizado en sus distintas etapas por profesores universitarios y por profesionales de la industria, haciendo trabajar a los estudiantes de manera continua y adecuando cada bloque de conocimientos a una etapa del desarrollo del proyecto.

Planteamos ofrecer a los alumnos conocimientos y habilidades que están fuera de su alcance de manera autónoma (en libros o por Internet) y presentarle y hacerle partícipe de un proceso productivo real, de manera guiada por el personal docente y apoyada por profesionales del sector productivo. Es decir, ofrecer de manera filtrada y condensada parte de la experiencia laboral de profesionales relacionados con el campo de conocimiento tratado. La experiencia se ha desarrollado en dos asignaturas pertenecientes a distintas titulaciones, ambas impartidas durante el segundo semestre del curso 2010/2011. Una asignatura se denomina “Sistemas Electrónicos Avanzados” y se imparte en el último curso de la titulación de “Ingeniero en Electrónica”. El contenido de esta asignatura está orientado al diseño de sistemas de tratamiento de señales. La otra asignatura se denomina “Diseño Electrónico Avanzado”, pertenece al “Master en Ingeniería Mecatrónica” y está orientada al diseño de sistemas de control de sensores y actuadores industriales. En ambas asignaturas, los alumnos deben adquirir los conocimientos de diseño de circuitos mixtos (analógicos, digitales y de potencia) en lo referente a la inmunidad al ruido y a la compatibilidad electromagnética.

El plan docente se ha articulado en torno un proyecto de diseño de un circuito electrónico que sea funcional, que utilice componentes accesibles en el mercado local y que cumpla con los requisitos de una línea automatizada de producción de un producto electrónico comercializable. De esta forma, el diseño se afronta de forma global, integrando todas las etapas desde las especificaciones de funcionamiento hasta la evaluación del prototipo final y teniendo en cuenta desde el principio las restricciones y límites que impone cada etapa del proceso. El proyecto que se ha propuesto en cada asignatura ha sido diferente, mientras que todo el proceso del diseño ha sido común en ambas. En AES se ha propuesto el diseño de un sistema de adquisición de datos que integre un filtro de capacidades conmutadas y un conversor A/D sigma-delta. En AED el diseño propuesto consistió en un sistema de control de un motor DC de tracción basado en microcontrolador.

Las empresas que han colaborado en el desarrollo de esta experiencia son las siguientes:

- Gallega de Circuitos (Rúa B. de Conxo, 17, Santiago de Compostela, Spain): Dedicada a la fabricación de PCBs.
- Clock Technology S.L. (calle La Gitanilla, 17, Málaga, Spain): Dedicada al montaje automatizado de componentes electrónicos en PCBs.
- Dated S.L. (calle Marea Baja, 19, Málaga, Spain): Dedicada al diseño y ensamblado de productos electrónicos.

Estas tres empresas mantienen entre sí importantes relaciones económicas y convenios para el desarrollo de nuevos productos.

III. OJETIVOS Y METODOLOGÍA

Los objetivos fundamentales que pretendemos que consigan los alumnos que participan en esta experiencia son los siguientes:

- Adquirir competencias en el diseño de circuitos que, además de satisfacer los requerimientos específicos de funcionamiento, que son particulares de cada asignatura, incluyan la necesidad de integrar los siguientes aspectos:
 - Requisitos de los fabricantes de PCBs.
 - Requisitos de los montadores de componentes en PCBs.
 - Requisitos de los ensambladores que instalan los circuitos en los equipos finales.
- Desarrollar una metodología de trabajo centrada en los procesos de diseño – simulación – montaje – evaluación y que contemple los objetivos fundamentales de los laboratorios docentes: Diseño, Modelado, Instrumentación, Experimentación, Análisis de datos, Aprendizaje a partir de fallos, Creatividad, Seguridad, Comunicación, Trabajo en equipo y ética en el laboratorio [21].

Los resultados de aprendizaje que se espera que obtengan los alumnos pueden ser divididos en dos bloques:

- a) Los específicos de cada asignatura, que son los que determinan la funcionalidad del proyecto a realizar.

b) Los que son comunes a las dos asignaturas, que son los relacionados con los procesos de diseño, fabricación y evaluación del proyecto. Estos resultados comunes pueden ser divididos a su vez en tres grupos:

1) Relacionados con el diseño y la fabricación de circuitos impresos:

- Fundamentos de diseño de PCBs para circuitos mixtos. Técnicas de reducción de ruidos y emisión e inmunidad electromagnética.
- Propiedades, ventajas e inconvenientes de los materiales utilizados en la fabricación de PCBs
- Elección del número de capas de trazado de pistas de la PCB y procesos de fabricación de PCBs multicapa.
- Configuración del resto de las capas en el diseño de las PCBs: capas de metalización, taladros, 'solder resist' y serigrafía.
- Clases de diseño y métodos de elección: Características geométricas, coste económico, etc.
- Procesos de taladrado y realización de vías (taladros metalizados).
- Técnicas de diseño para ayuda al montaje automatizado: Marcas fiduciales, de posicionamiento y calibración.
- Panelizados y recrecidos.
- Repercusión medioambiental de los procesos de fabricación de PCBs: Tratamiento de los residuos.

2) Relacionados con el montaje industrial de componentes sobre circuitos impresos:

- Optimización del emplazamiento de los componentes en la PCB.
- Pasta de soldadura y procesos de serigrafía.
- Procesos de montaje de los componentes de inserción y SMD.
- Soldadura: Tipos de hornos y su utilización.
- Sistemas de inspección y gestión de la calidad.
- Sistemas de testeo: Cama de pinchos y su utilización.
- Procedimientos para adquisición de componentes y problemas relacionados con el 'stock'.
- Tipos de empaquetado de los componentes: 'reel', 'sticks', 'bandejas', etc.
- Normativas RoHS y su aplicación práctica.

3) Relacionados con el diseño del producto electrónico final:

- Conceptos de diseño global de sistemas electrónicos.
- Conceptos de economía de escala y rentabilidad de un diseño. Selección de componentes, escalado de precios, consecuencias de los errores, etc.
- Fundamentos del control de calidad y su repercusión en el diseño de productos electrónicos
- Importancia de la funcionalidad y la estética en un diseño: presentación y acabado, dimensión física, consumo eléctrico, la disipación térmica, tipos de anclajes en la carcasa, robustez, etc.

- Capacidad de diálogo y aprendizaje en un grupo de trabajo multidisciplinar.
- Capacidad de síntesis y razonamiento en la realización de un informe.

Los métodos utilizados en el proceso de aprendizaje incluyen seminarios, tutoriales, 'workshops' y asistencia en el trabajo de laboratorio. La enseñanza se desarrolla en el laboratorio universitario y en las dependencias de las empresas colaboradoras. Como soporte para el almacenamiento de la información y para su intercambio se ha utilizado de forma intensiva el Campus Virtual de la Universidad de Málaga.

Antes de comenzar el curso, toda la documentación necesaria para su seguimiento se almacena en el Campus Virtual. En esta documentación se han incluido materiales elaborados por los profesores, tutoriales y prontuarios de configuración para el uso de las herramientas de diseño y manuales de estilo de trabajo industrial que utilizan las empresas. También se han incluido referencias a vídeos que muestran de manera visual los procesos productivos de la industria electrónica. Con todo este material se ha intentado que el alumno sea capaz de trabajar sobre el proyecto propuesto con un alto porcentaje de autonomía.

TABLA I
SECUENCIA DE TAREAS A COMPLETAR

| TASK | LOCATION | WORK PERFORMED |
|-------------------------------------|---------------------------|--|
| Seminario Inicial | Laboratorio Universitario | Planteamiento de Proyectos: Especificaciones funcionales. Fundamentos de inmunidad electromagnética. |
| Diseño de esquemáticos de PCB | Laboratorio Universitario | Contacto con fabricantes de PCB. Instrucciones de diseño eficiente compatible con los procesos de fabricación. |
| Montaje de componentes automatizado | Clock Technology S.L. | Línea de ensamblaje real: Problemática de industrialización de diseños: prototipos y series. Como evitarlos desde el diseño. |
| Diseño de productos electrónicos | Dated S.L. | Especificaciones de generación de un producto: Diseño e industrialización para llevar un producto electrónico al mercado. |
| Simulación de circuitos y PCB | Laboratorio Universitario | Uso de herramientas de diseño asistido por ordenador de diseño electrónico. |
| Fabricación PCB | Gallega de Circuitos Ltd. | Revisión de las PCBs de los estudiantes con el fabricante de estos equipos y los profesores |
| Ensamblaje de componentes en PCB | Laboratorio Universitario | Cada alumno monta la mayoría de los componentes de sus diseños asistido por técnicos especialistas para completarlos |
| Pruebas y evaluación en proyectos | Laboratorio Universitario | Uso de instrumentos de laboratorio para verificar que el diseño y el montaje funcionan correctamente. |
| Informe final y presentación | Laboratorio Universitario | Presentación del informe del proyecto sobre el trabajo realizado y resultados obtenidos. |

La tabla I muestra la planificación secuencial de las tareas en que se divide el desarrollo del plan docente. El criterio que se ha seguido consiste en que los resultados del aprendizaje específicos de cada asignatura que afectan a la funcionalidad de los proyectos se obtengan mediante seminarios y trabajo en el laboratorio, mientras que los resultados comunes relacionados con los procesos industriales sean adquiridos mediante 'workshops' realizados en las empresas colaboradoras. Sólo hay dos excepciones a esta regla: El de fabricación de PCBs se ha programado en el laboratorio universitario, debido a que la empresa colaboradora dedicada a esta función se encuentra ubicada en otra ciudad, a gran distancia del Centro Universitario. Por otra parte, el montaje de componentes, pensado en principio para realizarlo en la empresa de montaje, se realizó también en el laboratorio debido a que el grupo de alumnos fue muy reducido y que la complejidad de los proyectos era lo suficientemente baja como para ser montados fácil manualmente.

En lo referente a la evaluación del trabajo del alumno, se ha implementado un sistema de evaluación continua en el que se ha valorado el trabajo realizado en el laboratorio, la participación en los 'workshops', la realización de las tareas en el intervalo de tiempo establecido y, fundamentalmente, la exposición del trabajo y la memoria técnica realizadas.

Al término de las exposiciones, a cada alumno se le propuso una calificación final, que fue comentada y analizada con ellos. Si algún alumno no estuviese de acuerdo con esa calificación, tiene la opción de realizar un examen final para tener la posibilidad de aumentar su calificación. En caso contrario, la calificación propuesta y aceptada por el alumno es la que se trasladará a su expediente. En el presente curso aprobaron todos los estudiantes y ninguno solicitó realizar el examen final.

IV. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

El reto principal que se ha superado para llevar adelante este proyecto docente ha sido buscar la colaboración de tres empresas con amplia experiencia en los campos del diseño electrónico, fabricación de PCBs y montaje de componentes en el entorno de la Universidad de Málaga. Es fundamental que los profesionales de la empresa deben conocer y estar de acuerdo con los objetivos del aprendizaje propuestos y que además deben contar con el tiempo y la motivación necesarios para participar en el proyecto, considerando que no han recibido compensación económica por ello. Sin duda, esto ha sido posible gracias a la larga experiencia de colaboración con empresas que tienen los autores y otros miembros del Departamento de Electrónica de la Universidad de Málaga y a que las dos empresas ubicadas en la ciudad de Málaga ya tienen establecidos lazos de vinculación con la UMA, ya sea por la participación de algunos de sus profesionales en el cuerpo docente universitario (el autor principal en Dateled S.L.) o a través de los convenios de colaboración Universidad-Empresa y premios Spin-Off (Clock Technology S.L).

El otro aspecto fundamental que ha permitido llevar adelante el proyecto docente de forma satisfactoria ha sido el pequeño número de alumnos matriculados en las asignaturas, cuyo número total ha sido de 11 alumnos. Esto ha permitido

que cada alumno haya realizado su propio proyecto y que, antes de pasar a la fase de producción, el proyecto de cada alumno haya sido revisado tanto por los profesores como por los técnicos de las empresas. Para llevar a cabo este proyecto educativo con un número superior de alumnos habría que formar grupos de alumnos que desarrollaran un mismo proyecto, de forma que el número total de proyectos nunca fuese mayor que 10, que es el número máximo que pensamos es razonable en función de los medios de que se dispone. Esto no debe suponer ningún problema, ya que puede ser aprovechado para desarrollar proyectos más complejos que requieran para su ejecución del trabajo coordinado de cada grupo de alumnos. De todas formas, teniendo en cuenta que consideramos que no debería haber más de 3 alumnos por grupo, pensamos que el máximo de alumnos con el que sería viable el desarrollo de este proyecto educativo es de 30.

En lo referente al coste económico del proyecto, hay que resaltar que su ejecución ha sido posible gracias a la colaboración desinteresada de los profesionales de las empresas colaboradoras. El único gasto monetario ha sido el de fabricación de los circuitos impresos diseñados por los alumnos y el de los componentes electrónicos, que ha sido financiado por el Departamento de Electrónica de la Universidad de Málaga. Para las tareas de diseño y evaluación de los prototipos se han utilizado las instalaciones y la instrumentación del laboratorio docente de dicho Departamento y para los 'workshops' las empresas colaboradoras han cedido gratuitamente sus instalaciones y maquinaria. Los desplazamientos a las empresas participantes han sido realizados por los propios medios de los alumnos y profesores, facilitado por la cercanía de todas las instalaciones universitarias y empresariales. (Siempre inferior a los 5 Km).

En cuanto a los problemas que se han presentado en el desarrollo del proyecto docente, la mayor dificultad se ha encontrado en lograr que los alumnos cumplan con las fechas de entrega de los hitos del proyecto. En general, y aunque este es uno de los objetivos del Espacio Europeo de Educación Superior que actualmente se está implantando en España, no ha sido frecuente que a los alumnos se les haya exigido a lo largo de la trayectoria académica el trabajo diario, ni tampoco que tengan previsto con antelación los múltiples requisitos de trabajo de las distintas asignaturas en las que están matriculados, de forma que puedan estar terminados en una fecha fijada. En nuestro caso concreto, un hito fundamental era el de tener terminado el diseño de la PCB en una fecha concreta, para poder realizar el proceso de fabricación en un único lote. El hecho de que algunos alumnos no cumplieron con este requerimiento motivó un retraso en esta fase. Esto se unió además a que, por problemas de producción en la empresa fabricante de PCBs, hubo un nuevo retraso en la fabricación de las placas, que se añadió al retraso anterior. Debido a esto, se dispuso de menos tiempo para el montaje y la evaluación de los proyectos, a causa de lo cual algunos de ellos no alcanzaron la funcionalidad deseada.

Esta experiencia nos demuestra que es fundamental concienciar a los alumnos de que su trabajo influye decisivamente en el de sus compañeros. Si alguno no realiza las tareas necesarias en el tiempo adecuado, se perjudica no sólo así mismo sino también a los demás. No obstante, esta

experiencia también nos ha servido a los profesores para convencernos de que los plazos de realización de los hitos de los proyectos no deben flexibilizarse y que tenemos que hacer mayor hincapié en hacer entender al alumno la gran importancia que tiene cumplir con este requerimiento. Pensamos que a medida que todos los profesores vayamos incorporando técnicas de este estilo, los estudiantes estarán más acostumbrados a trabajar, aprender y participar de manera continua, a respetar los tiempos previamente fijados para cada tarea y, por tanto, estarán mejor preparados para su ingreso en el mercado laboral.

Para finalizar, indicar que los alumnos que han participado en el proyecto han expresado su satisfacción con el desarrollo de la asignatura, especialmente con que el resultado de su trabajo se ha plasmado en un producto final funcional y apto para ser producido de forma industrial.

V. CONCLUSIONS

Hemos desarrollado un proyecto educativo basado en la realización de un proyecto de diseño de un sistema electrónico desde un punto de vista global, atendiendo tanto a especificaciones de funcionamiento como a requerimientos de la industria. Este proyecto se ha llevado a cabo en colaboración con tres pequeñas empresas que completan la casi totalidad de procesos que intervienen en la fabricación de un producto electrónico comercializable. La colaboración se ha concretado en la adaptación de los diseños a los requerimientos de sus procesos y en la realización de 'workshops' en las instalaciones de las empresas.

Esta experiencia nos permite afirmar que la colaboración con pequeñas empresas del entorno industrial próximo a la Universidad constituye una herramienta de gran valor educativo para que los alumnos adquieran un conjunto de habilidades que les serán necesarias para una integración eficiente en el tejido empresarial donde desarrollarán su carrera profesional.

REFERENCIAS

- [1] Goldberg D.E., "Change in Engineering Education: One Myth, Two Scenarios and Three Foci", *Journal of Engineering Education*, pp. 107–116, April 1996.
- [2] Ertas A., Maxwell T., Rainey V.P. and Tanik M.M., "Transformation of higher education: the transdisciplinary approach in engineering", *IEEE Transactions on Education*, vol. 46, No. 2, pp. 289-295, May 2003.
- [3] Waks S. and Frank M., "Engineering curriculum versus industry needs-a case study", *IEEE Transactions on Education*, vol. 43, No. 3, pp. 349-352, August 2000.
- [4] Daems W., De Smedt B., Vanassche P., Gielen G., Sansen W., De Man H., "PeopleMover: an example of interdisciplinary project-based education in Electrical Engineering", *IEEE Transactions on Education*, vol. 46, No. 1, pp. 157-167, February 2003.
- [5] Collofello J. S., "University/industry collaboration in developing a simulation-based software project management training course", *IEEE Transactions on Education*, vol. 43, No. 4, pp. 389-393, November 2000.
- [6] Vélez I. And Sevillano J.F., "A Course to Train Digital Hardware Designers for Industry", *IEEE Transactions on Education*, vol. 50, No. 3, pp. 236-243, August 2007.
- [7] Machado F., Malpica N., Vaquero J., Arredondo B., Borromeo S., "A project-oriented integral curriculum on Electronics for

Telecommunication Engineers", *IEEE EDUCON Education Engineering 2010*, Madrid-Spain, pp. 99-106, April 2010.

- [8] "An assignment project based approach for engineering education", *2010 IEEE International Conference on Information and Automation*, Harbin-China, pp. 191-194, June 2010.
- [9] Sarik J., Akinwande A. I. And Kymissis I., "A Laboratory-Based Course in Display Technology", *IEEE Transactions on Education*, vol. 54, No. 2, pp. 314-319, May 2011.
- [10] Kirchoff, B. A., Newbert, S. L., Hasan, I., & Armington, C., "The influence of university R&D expenditures on new business formations and employment growth", *Entrepreneurship: Theory and Practice*, 31, pp. 543–559, 2007.
- [11] Acs, Z. J., Audretsch D. B., Feldman M. P., "R&D spillovers and recipient firm size", *The Review of Economics and Statistics*, 76, pp. 336–340, 1994.
- [12] Audretsch, D., Lehmann, E., and Warning, S., "University spillovers: Does the kind of science matter?", *Industry and Innovation*, 11, pp. 193–206, 2004.
- [13] Acosta M., Coronado D. and Flores E., "University spillovers and new business location in high-technology sectors: Spanish evidence", *Small Business Economics*, 36, pp. 365–376, 2011.
- [14] Diaz M. A., Sanchez R., "Firm size and productivity in Spain: a stochastic frontier analysis", *Small Business Economics*, 30, pp. 315–323, 2008.
- [15] Carree M. A., Thurik A. R., "Small Firms and Economic Growth in Europe", *Atlantic Economic Journal*, vol. 26, No. 2, pp. 137-146, 1998.
- [16] Calvo J. L., "Testing Gibrat's law for small, young and innovating firms", *Small Business Economics*, 26, pp. 117–123, 2006.
- [17] Lopez-Garcia P., Puente S., Gómez Á. L., "Employment Generation by Small Firms in Spain", *Banco de España Occasional Paper No. 0903*. (March 4, 2009). Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1353919>.
- [18] Lucía O., Burdío J.M., Acero J., Barragán L.A., García J.R., "Educational activities and results obtained from a University-Industry collaborative framework experience", *2011 Promotion and Innovation with New Technologies in Engineering Education (FINTDI 2011)*, Teruel, SPAIN, Session S5 Paper 3, May 2011.
- [19] Blaabjerg F., Kazmierkowski M. P., Pedersen J. K., Thøgersen P., Tønnes M., "An industry-university collaboration in power electronics and drives", *IEEE Transactions on Education*, vol. 43, No. 1, pp. 52-57, February 2000.
- [20] Hu J., Haffner M., Yoder S., Scott M., Reehal G., "Industry-Oriented Laboratory Development for Mixed-Signal IC Test Education", *IEEE Transactions on Education*, vol. 53, No. 4, pp. 662-671, November 2010.
- [21] Feisel L.D., Rosa A.J., "The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education", *Journal of Engineering Education*, pp. 121-130, January 2005.



Alfonso Gago-Calderón Ingeniero. (best academic achievement), y doctorado en ingeniería industrial en 2002 y 2010, respectivamente, y Master de Postgrado en 2010, todos de la Universidad de Málaga, España.

Desde 2003 es el director del departamento de I+D de Solitec, España.

Líneas de Investigación: Diseño y algoritmos de pantallas LED, procesamiento de imágenes, iluminación LED y circuitos y sistemas de visión por computador.



José Fernández-Ramos licenciado en física por la Universidad de Sevilla, España, en 1984, y doctorado por la Universidad de Málaga, España, en 1998.

En 1991 se unió a la Universidad de Málaga como profesor en Informática e Ingeniería electrónica.

Líneas de Investigación: tecnología LED, fuentes de alimentación y sistemas fotovoltaicos.