

# Uso de Recursos Profesionales en la Enseñanza del Desarrollo de SW Embebido

Hector Posadas and Eugenio Villar, *Member, IEEE*

**Title— Using Professional Resources for Teaching Embedded SW Development**

**Abstract— In order to prepare the student for its future professional performance, it is required to propose complex and realistic practical activities. However, these kind of activities typically requires large times, resources and collateral knowledge to be carried out. To overcome these difficulties, this work presents a subject of Telecommunication Engineering Degree, taught making use of different professional materials. Using these materials, it is easier to transmit information to the students through case-study methodologies. Additionally, their use simplifies the preparation of problems and complex projects without generating the perception that the activities are mostly resolved thanks to teaching help instead of due to student's performance. To demonstrate these ideas, the article focuses on three practical activities covered by the subject: one based on the use of web resources, one using information from a professional design contest, and the last one focused on technical datasheets and application notes. These activities have been selected in order to achieve an adequate difficulty degree and to be attractive for students.**

**Index Terms— competences; design contest; technical documents; datasheets, embedded systems education**

## I. INTRODUCCION

LA creación del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) ha situado la adquisición de competencias en el foco de la formación universitaria. De esta forma, se establece que la formación universitaria debe centrarse en una formación profesionalizadora, que prepare adecuadamente a los alumnos para su inserción en el mercado laboral. Los estudiantes deben obtener las capacidades que les permitan desarrollar los procedimientos que aplican los profesionales para resolver problemas reales.

En consecuencia, el mundo académico está transformando su papel en la enseñanza, pasando de metodologías basadas en las clases magistrales a ofrecer una combinación de clases teóricas en el aula y actividades aplicadas con relevancia industrial [1]. Así, se ha propuesto el desarrollo de métodos de aprendizaje activos que alienten a los estudiantes a ser más activos, participativos y creativos como uno de los objetivos de los planes de estudio para el siglo XXI [2].

Sin embargo, el desarrollo de actividades docentes capaces de obtener estos resultados es un desafío para los docentes. Primero, el tiempo que un profesional dispone en

su puesto de trabajo para buscar información, comprenderla y resolver los problemas que se le presentan está lejos de las horas disponibles en una asignatura universitaria. Además, este tipo de problemas suelen requerir de una combinación de conocimientos de diferentes áreas, lo que los hace difíciles de aplicar al temario específico de una asignatura.

Para resolver estos problemas, los docentes suelen preparar actividades parciales, proporcionando a los alumnos la información que necesitan para su realización. Como resultado, el uso de estos materiales desarrollados específicamente puede acelerar la adquisición de conocimientos. No obstante, su uso de manera generalizada puede provocar problemas en el futuro desempeño profesional de los alumnos, ya que dichos materiales son bastante diferentes de los que tendrán a su disposición en el futuro.

Por lo tanto, es necesario incluir en los currículos actividades donde los estudiantes trabajen con recursos profesionales. Con ellos podrán adquirir la capacidad de identificar los conceptos clave y de extraer la información necesaria para realizar las tareas encomendadas de los medios disponibles que pueden encontrar, que puede ser incompletos o difíciles de entender [3].

Así, los profesores deben proponer tareas complejas, para lo que deben resolver una serie de problemas:

- En primer lugar, es necesario identificar y desarrollar una actividad motivadora que encaje con los contenidos de la materia y los conocimientos previos de los alumnos.
- En segundo lugar, esta actividad debe involucrar una logística que se pueda utilizar por los alumnos en el aula e, incluso, en su casa, con el fin de mejorar su autonomía.
- Es necesario encontrar materiales profesionales que puedan ser utilizables por los alumnos.
- Y, por último, es necesario definir cómo se combina el uso autónomo de estos materiales con la ayuda del profesor, para obtener buenos resultados en un tiempo razonable.

Para resolver estos problemas, este artículo propone el uso de diversos materiales en el desarrollo de las actividades de enseñanza, como ayuda para obtener actividades realistas y que proporcionan capacidades directamente utilizables por los estudiantes en su futuro desempeño profesional. Además, el uso de estos recursos de manera habitual en la asignatura hace que se perciban por parte del alumno como algo habitual en el área de trabajo, y no como una complicación puntual.

Para mostrar esta idea en detalle, se presenta durante el artículo la docencia de una asignatura de Sistemas

Hector Posadas y Eugenio Villar trabajan en la Universidad de Cantabria, Santander, 39005, Spain (corresponding author to provide phone: 942-200878; e-mail: {posadash, villar}@teisa.unican.es).

Embebidos en el área de Telecomunicaciones. Esta presentación se centra en tres de las actividades realizadas. En la primera se aplica el uso de recursos web como soporte a la tarea de compilación y generación de código binario. En la segunda se aplican recursos de un concurso de diseño de optimización [4] y en la tercera se usan hojas de características para manejar un display de cristal líquido (LCD) externo.

Para ello, el artículo se organiza de la siguiente manera. En primer lugar, se presenta un estado de la técnica en el contexto de actividades de enseñanza realistas. En segundo lugar, se introduce el objeto de enseñanza y el contexto en que se ha desarrollado la actividad. Después de eso, se describen las tres actividades docentes listadas anteriormente.

## II. ESTADO DEL ARTE

Siguiendo con las ideas presentadas en la introducción, la integración de las actividades realistas es una tarea cada vez más importante en la innovación docente.

Así, se han propuesto varias alternativas, donde los estudiantes desarrollan o manipulan sistemas reales, mecánicos y / o electrónicos. Por ejemplo, la transformación de coches teledirigidos en vehículos de guiado autónomo es una actividad que se ha utilizado en varias propuestas docentes [5]. En esa línea, también se han propuesto actividades como el desarrollo de los sistemas de control de pequeños helicópteros o drones [6].

De forma similar, el uso de robots para los propósitos educativos tampoco es nuevo. Diversos trabajos han propuesto el uso de varios kits y recursos robóticos que pueden ser utilizados para las actividades de enseñanza [7]. Por ejemplo, en [8] un brazo robótico con 6 grados de libertad se presenta para ser controlado usando el lenguaje Python.

En la misma línea, en [9] se presenta un brazo robótico utilizado para realizar dibujos en una hoja de papel. Este brazo robótico se construye usando paquetes NXT LEGO, siendo el objetivo de la actividad la de crear un sistema de control basado en la cinemática inversa para mover el brazo.

Por otra parte, en [10], un brazo robótico se utiliza para enseñar a un caudal de diseño SoC completa, incluyendo el SW para ejecutarse en una plataforma basada en ARM.

Sin embargo, estas soluciones presentan dos dificultades para su aplicación docente. En primer lugar, el costo de estos sistemas reales es típicamente bastante alto. Por ejemplo, los precios típicos para sistemas robóticos se mueven desde un centenar de euros los robots más simples, a varios miles de los más complicados [11]. Esto presenta varios problemas asociados. En primer lugar, los costes necesarios para montar un laboratorio completo con varios puestos puede ser un problema, sobre todo ahora que la crisis económica ha reducido los presupuestos disponibles. Así mismo también hay problemas adicionales en el mantenimiento y la adquisición por parte de los alumnos que deseen llevar su aprendizaje más lejos.

La segunda dificultad está relacionada con el apoyo que requieren los estudiantes del profesor para resolver las actividades propuestas, que suele ser bastante alto, lo que limita la autonomía de los estudiantes.

Como alternativa, los sistemas diseñados con plataformas de bajo coste basadas en arquitecturas como Arduino [12], Raspberry Pi [13], Nucleo (ST), Kinetis (NXP) y pequeñas FPGAs (Arrays de puestas lógicas programables en campo) también se ha utilizado con fines didácticos [14] [15]. Con ellas se puede disponer de infraestructuras asequibles que resuelvan parte del problema de aplicación docente. Sin embargo, la definición de las actividades concretas a realizar y de los recursos que el estudiante debe utilizar para resolver los problemas propuestos aún dependen del profesorado, siendo, por lo general, los resultados no muy realistas.

En ese contexto, por ejemplo, [16] propone un uso de los libros blancos durante las actividades de enseñanza, pero este método sólo es aplicable a un conjunto limitado de temas.

Para superar esta limitación, en este trabajo se propone el uso de distintos recursos profesionales, entre los que destaca el uso de las ideas y materiales proporcionados por los concursos de diseño profesionales, como mecanismo para resolver los problemas descritos anteriormente.

## III. CONTEXTO DOCENTE

Como consecuencia de los avances en tecnologías de información y las comunicaciones (TIC), los ingenieros de las áreas de electrónica y computación están involucrados en el diseño de sistemas capaces de hacer frente a aplicaciones altamente especializadas y específicas en distintas industrias, como la aeroespacial, las telecomunicaciones, la energética, o la relacionada con defensa.

En el desarrollo de estos sistemas de cómputo es habitual integrar uno o varios procesadores junto con un grupo de periféricos. Es por ello que una de las competencias que debe tener un diseñador de este tipo de sistemas es la capacidad para desarrollar los mecanismos de diseño y optimización de SW, así como de comunicación entre componentes SW y componentes HW. Como resultado, las escuelas de base tecnológica están proponiendo planes de estudios innovadores, que incluye las áreas de comunicaciones, redes de computadoras, sistema en chip (SoC), sistemas de cómputo embebido [17], e interfaces hardware [18], entre otros.

Por ello, es interesante que un curso moderno en sistemas embebidos incluya un procesador de 32 bits [19], de gran importancia en el mercado actual, y varios temas relacionados con el desarrollo metodológico de los sistemas. Así se puede dar una gran atención a las actividades de análisis y diseño [20], fundamentales en este área.

Sin embargo, los sistemas embebidos presentan una serie de características que hacen que su desarrollo extremadamente difícil, especialmente cuando es necesario para manejar los requerimientos funcionales y no funcionales, como tiempos de ejecución y consumo. En este contexto, los conocimientos relacionados con la generación de SW embebido, la optimización de dicho SW y su conexión con el mundo exterior son capacidades críticas que debe ser adquiridas por los estudiantes.

De esta forma, este artículo pretende mostrar cómo los recursos profesionales se han utilizado en el contexto de la asignatura "Sistemas Electrónicos de Gestión de la Información", impartida en el cuarto curso del Grado en Tecnologías de Telecomunicación.

Esta asignatura se centra en el diseño de sistemas embebidos HW / SW, y sus relaciones con las tecnologías de la información y la comunicación. La asignatura abarca las áreas de la arquitectura HW de los sistemas embebidos, el desarrollo de SW embebido, incluyendo la optimización de SW y las comunicaciones HW / SW.

Para cubrir estas áreas, la asignatura está dividida en dos partes fundamentales. La primera parte está orientada a la plataforma HW, y basa sus actividades en el diseño de sistemas basados en el procesador Microblaze [21] e integrados en FPGA. Estas actividades se desarrollan con una placa Basys2, y hacen uso de los recursos HW que esta proporciona: botones, interruptores, leds, displays de 7 segmentos y conector VGA. Con ellos, los alumnos practican el diseño e interconexión de componentes al bus, utilizando lenguajes de descripción de SW, y los mecanismos de acceso desde el procesador, incluyendo lectura por encuesta e interrupciones. Así, realizan el desarrollo de un cronómetro y desarrollan un juego gráfico sencillo tipo tetris, serpiente, etc. Dichas actividades están planteadas de una forma tradicional, proponiendo principalmente actividades guiadas.

La segunda parte de la asignatura, se centra en el desarrollo del SW embebido, la optimización de código y la comunicación con el exterior. Esta parte ha sido desarrollada conforme a la propuesta presentada, y por ello el resto del artículo se centrará en esta parte de la asignatura.

En esta segunda parte, la docencia comienza cubriendo el área de generación y análisis de códigos ejecutables. Para ello se han propuesto un par de actividades basadas en páginas web externas, donde el alumno encuentra la información que debe utilizar para la realización de la práctica.

A continuación, se ha utilizado un concurso profesional de diseño propuesto durante una conferencia internacional de prestigio, para realizar la docencia de técnicas de optimización de código.

Por último, se ha cubierto la relación del sistema con el exterior, analizando el uso de sensores, actuadores y dispositivos de visualización. En este caso los alumnos han realizado sus actividades teniendo como única fuente de información las hojas de características y las notas de aplicación proporcionados por los fabricantes.

Para la realización de las actividades prácticas, se ha utilizado la plataforma de bajo coste Raspberry Pi [13] (Figura 1). Esta plataforma se ha seleccionado por tener un gran auge en la actualidad, y ser válida tanto para proyectos profesionales como para actividades particulares y lúdicas.

La plataforma Raspberry Pi es un sistema de cómputo del tamaño de una tarjeta de crédito que puede trabajar por su cuenta, o ser conectado a un televisor, utilizando un teclado y un ratón como entradas. Se trata de un pequeño computador, que puede ser utilizado en proyectos de electrónica, y para muchas otras actividades para las que los PCs de escritorio no están diseñados, por problemas como el tamaño o el consumo. También reproduce vídeo de alta definición. La plataforma Raspberry Pi puede trabajar con o sin sistema operativo, siendo Linux el sistema operativo más habitual utilizado.



Figure 5. Plataforma Raspberry Pi

#### IV. GENERACIÓN DE CÓDIGO: MATERIAL WEB

El primer elemento importante a conocer por parte del alumno en el desarrollo de SW embebido son las herramientas y procesos de compilación, análisis de código y depurado. A tal efecto, se enseña al alumno las distintas etapas de compilación y sus particularidades en los sistemas embebidos, incluyendo un estudio de las distintas herramientas proporcionadas por el entorno GNU: compilador, depurador, utilidades binarias, "makefiles", etc.

Para realizar prácticas con estas herramientas, se ha decidido desarrollar actividades donde los estudiantes tienen que acceder a uno de los recursos más utilizados actualmente por los ingenieros: la información disponible en la web. Así, durante las actividades los alumnos deben comprender la información disponible en una página web externa a la asignatura, y aplicar dicha información para la resolución del problema propuesto.

##### A. Descripción de las Actividades Realizadas

El uso de páginas web como fuente de información se ha aplicado en dos actividades concretas. Estas actividades se han desarrollado sobre Linux, no siendo necesaria la plataforma Raspberry Pi. La posibilidad de uso de Linux en PC ha facilitado la ejecución de las actividades por los alumnos, especialmente en el trabajo autónomo.

En primer lugar, se ha propuesto a los alumnos la realización de "makefiles" complejos. Para ello los alumnos han tenido que combinar las explicaciones realizadas previamente en clase con la información proporcionada por GNU en su página web (<http://www.gnu.org/software/make/manual/make.html>). Esta actividad se ha propuesto como ejercicio entregable autónomo de los estudiantes.

En segundo lugar, se ha propuesto una actividad de laboratorio donde los alumnos deben generar librerías estáticas y dinámicas, utilizándolas para la generación de los ejecutables finales, analizando sus distintas capacidades, y utilizando las utilidades binarias de GNU para desentrañar algunas de sus interioridades. En este caso, para la generación de las librerías los alumnos han tenido que entrar en una página web recomendada (<http://www.yolinux.com/TUTORIALS/LibraryArchives-StaticAndDynamic.html>) y aplicar su información para la realización de la práctica. Esta actividad se realiza en una sesión de prácticas de dos horas.

##### B. Resultados

Tras realizar la actividad, es interesante señalar que todos los alumnos han realizado la práctica, necesitando un

mínimo soporte por parte del profesor para la interpretación de la información disponible en las páginas webs.

Fundamentalmente, la mayor parte de los problemas encontrados han sido derivados del uso de páginas en lengua inglesa, demostrando su necesidad de mejorar el dominio del lenguaje, ya que dicho tipo de páginas suele ser una de las mejores fuentes de información en actividades de ingeniería.

## V. OPTIMIZACIÓN DE CÓDIGO: CONCURSO DE DISEÑO

El desarrollo de actividades que desarrollen en el alumno competencias en la optimización de SW embebido es una tarea difícil, debido a la dificultad intrínseca de la actividad. En primer lugar, la optimización del SW embebido requiere de grandes aplicaciones que puedan ser analizadas y optimizadas. De lo contrario, la necesidad de tal optimización no será apreciada por los estudiantes.

Por otra parte, la búsqueda de soluciones de optimización requiere experiencia e imaginación. No es fácil definir una solución sencilla capaz de obtener los mejores resultados de cualquier tipo de aplicación embebida. Así, algunas guías generales en el enfoque y las herramientas útiles (Figura 2), deben combinarse con sugerencias específicas con el fin de que los alumnos obtengan resultados interesantes durante la optimización de una aplicación específica.

Sin embargo, los mismos problemas que complican la enseñanza de esta área, la hacen muy interesante para su utilización en concursos de diseño.

Por ello, los temas de enseñanza que implican una gran complejidad pueden obtener un gran beneficio de la aplicación de las ideas propuestas en los concursos profesionales. Así, esta propuesta se puede aplicar a muchos otros temas de enseñanza con características similares.

### A. Uso de los Recursos de un Concurso de Diseño

Los concursos de diseño profesionales normalmente proponen actividades desafiantes y motivadoras y proporcionan los materiales necesarios para llevarlas a cabo. Además, están orientados para permitir la participación del máximo número de jugadores, ajustando el esfuerzo necesario para resolver el problema y la logística necesaria.

Así mismo, las publicaciones de las soluciones de los concursos pueden ser un medio muy útil para que los estudiantes puedan resolver las actividades con cierta autonomía. Las soluciones suelen presentarse en documentos orientados a los profesionales que incluyen guías sobre cómo hacer frente a los concursos y que pueden

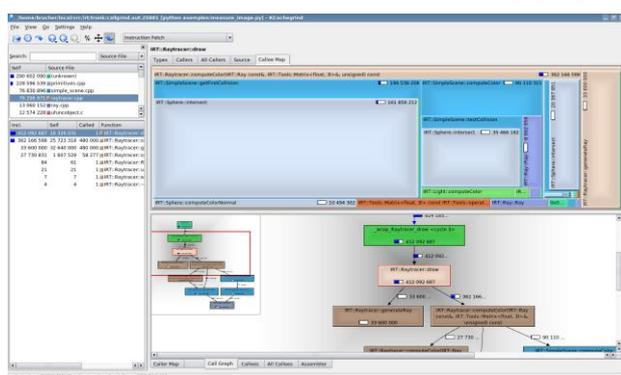


Figure 2. Herramienta de análisis de código Valgrind

mejorar la adquisición de competencias profesionales por los estudiantes.

En consecuencia, el uso de materiales de concursos de diseño profesional puede ser de mucha ayuda para desarrollar actividades docentes, ya que proporcionan tanto ideas, como códigos y documentos que pueden ser utilizados de manera directa por el profesor, reduciendo el esfuerzo necesario para la preparación de la actividad.

Con el fin de mostrar cómo los materiales propuestos por un contexto de diseño se pueden utilizar en un tema específico de enseñanza, a continuación se describe la aplicación de un concurso de diseño propuesto en la conferencia MEMOCODES 2014 [4] durante las actividades de enseñanza de diseño de SW embebido (Figura 3).

### B. Contexto del Concurso

El concurso de diseño del congreso internacional MEMOCODES para el 2014 [4] se centra en torno a la ejecución del videojuego clásico Space Invaders sobre la plataforma Raspberry Pi (Figura 1). Space Invaders es un juego de disparos fijo de dos dimensiones en el que el jugador controla un cañón láser moviéndolo horizontalmente a través de la parte inferior de la pantalla y dispara a los alienígenas según van descendiendo.

El problema de diseño presentado en el concurso se basa en el hecho de que el juego fue desarrollado para ejecutarse en una CPU Intel 8080. Por contra, la Raspberry Pi está basada en un procesador ARM [22], y no puede ejecutar el código original. Para resolver este problema, se proporciona un SW que emula el procesador 8080 en la placa. La versión original del emulador está disponible en la web del concurso, en formato de código abierto. De esta manera, es posible optimizar el emulador mediante la modificación de su código y su compilación.

Además, con el fin de simplificar su aplicación para el concurso, el emulador está provisto de dos modos de funcionamiento principales, PlayGame y RePlayGame. El primer modo permite al usuario jugar el juego, y registrar los eventos recibidos en la entrada estándar. Además, este modo permite guardar el estado final de la máquina. El segundo modo permite aplicar estos eventos, repitiendo la partida, y comprobar la salida. Así, es sencillo evaluar los beneficios de las optimizaciones realizadas en el código y confirmar que estas optimizaciones no han provocado un

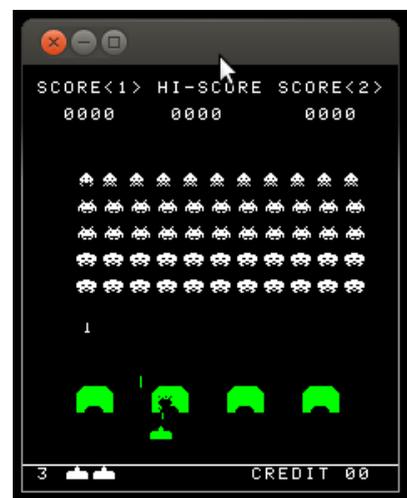


Figure 3. Juego propuesto para el concurso MEMOCODES'14

mal funcionamiento del sistema.

El objetivo del concurso de diseño de software consiste en conseguir una versión del emulador lo más rápida posible, llegando al mismo resultado que el emulador original tras cada una de las secuencias de movimientos predefinidos proporcionadas por el concurso. Para ello, el concurso solo permite la optimización del código software del emulador.

En resumen, se puede ver que el concurso tiene todas las características necesarias para su aplicación docente, facilitando la tarea del profesor. En primer lugar, el concurso ofrece un conjunto completo de códigos y herramientas que ya han sido adaptados de manera adecuada para un uso. En segundo lugar, al ser la placa de bajo coste (25 €), es asequible para el mundo académico y facilita que los estudiantes que deseen continuar sus actividades de aprendizaje en casa puedan hacerlo fácilmente.

### C. Aplicación Docente

La aplicación del concurso de diseño a la enseñanza de técnicas de optimización de SW embebido se ha dividido en varias etapas, como se describe a continuación.

#### C.1 Actividades Iniciales

La aplicación del concurso de diseño para la enseñanza de soluciones de optimización, requiere que los alumnos tengan ciertos conocimientos previos. Por ello, la docencia ha comenzado explorando la forma de analizar la ejecución de código y cómo integrar los elementos de hardware y software que afectan el rendimiento del sistema. Entre ellos, se ha mostrado la utilización de herramientas como "gprof" y "valgrind" (Figura 2), como una forma que tienen los diseñadores de analizar la ejecución del código, detectando las partes de la aplicación que más tiempo requieren. Este análisis es fundamental para poder centrar las optimizaciones en las secciones más críticas del código SW, maximizando los beneficios obtenidos.

#### C.2 Primera Etapa: Introducción al Concurso de Diseño

Una vez presentados estos conocimientos previos, los alumnos han comenzado familiarizándose con los materiales del concurso de diseño. Durante esta actividad, los estudiantes tienen que acceder a la página web del concurso, leer toda la información proporcionada, descargar los códigos y ejecutarlos. Por otra parte, se les pide analizar el tiempo de ejecución de la aplicación, utilizando una de las herramientas de análisis que se presentaron en el punto anterior.

Tras realizar la actividad, los estudiantes obtuvieron una idea inicial del programa, su estructura general y las funciones que consumen más tiempo y que deben ser optimizadas.

#### C.3 Segunda Etapa: Análisis de los Documentos

Una vez analizado el código es necesario comenzar con las optimizaciones. Sin embargo, este paso es bastante difícil para un diseñador novel, y se requiere de apoyo adicional.

Para abordar este punto, la propuesta desarrollada se basa en que los alumnos utilicen los artículos escritos por los ganadores del concurso como fuente de ideas para optimizar el código.

En el primer artículo [23], se presenta una implementación alternativa del emulador basado en traducción binaria. Este enfoque esencialmente consiste en la generación de un emulador completamente distinto al proporcionado por el concurso, que obtiene muy buenos resultados en la optimización del rendimiento. El problema es que no se trata de una solución genérica que se pueda aplicar a otros códigos y, por ello, su aplicación en el resto de la actividad ha sido mínima.

Por el contrario, los otros dos enfoques son más adecuados para su aplicación como técnicas de optimización generales. El segundo documento [24] utiliza varias técnicas de optimización para aumentar el rendimiento de la implementación de referencia. Mejoras en el uso de las estructuras de datos y modificaciones en las llamadas a función han conseguido que los autores obtuvieran una implementación que tiene un aumento de velocidad de aproximadamente 2,5 veces sobre el código de original.

El tercer enfoque [25] presenta un ejemplo práctico de cómo las técnicas de perfilado se pueden utilizar para obtener información valiosa de la ejecución del programa, y cómo esta información se puede utilizar para realizar optimizaciones útiles. Como resultado, se proponen tres tipos de optimizaciones:

- Optimizaciones dirigidas a reducir el número de instrucciones a ejecutar en el código fuente ejecutadas
- Optimizaciones para adaptarse mejor a la arquitectura del procesador
- Las optimizaciones para mejorar la utilización de caché

Estas alternativas son bastante genéricas y muy interesantes en el área de los sistemas integrados, por lo que son muy adecuadas para su aplicación en la actividad de enseñanza, al igual que las del enfoque anterior.

Así, los estudiantes fueron divididos en grupos, en los que analizaron las propuestas, haciendo posteriormente una presentación para compartir sus conclusiones con el resto de los estudiantes.

Como resultado de la actividad se esperaba que los estudiantes pudieran identificar cómo optimizar el código y replicar las acciones en el siguiente paso de la siguiente actividad. En cambio, las presentaciones mostraron que, después de leer los papeles, los estudiantes no eran capaces de aplicar las optimizaciones por su cuenta. En consecuencia, se definió una tercera actividad que solucionara estos problemas antes de la aplicación práctica.

#### C.4 Tercera Etapa: Resumen de las Ideas

Una vez que los estudiantes presentaron sus análisis autónomos de los documentos, el profesor lideró una actividad interactiva donde se identificaron las alternativas de optimización más importantes y se exploró la forma en que estas se pueden aplicar a ejemplos sencillos.

#### C.5 Cuarta Etapa: Aplicación de las Optimizaciones

Teniendo en cuenta toda la información obtenida en las actividades anteriores, en la cuarta actividad los alumnos tuvieron que optimizar el emulador SW, modificando el código original y comprobando los impactos resultantes en su velocidad.

### C.6 Quinta Etapa: Demostración por Parte del Profesor

Por último, el profesor presentó un estudio rápido de algunas de las funciones optimizadas y el impacto en el rendimiento, explicando las razones de las optimizaciones y conociendo la opinión de los estudiantes sobre sus experiencias.

#### D. Resultados de la Actividad

En primer lugar, la propuesta de un juego como base de la actividad resultó en un cierto aumento del interés por parte de los alumnos al comienzo del proceso.

En segundo lugar, el análisis de los documentos demostró que la gestión de documentos técnicos complejos no es una tarea fácil, y se requiere que el apoyo adicional por parte del profesor con el fin de identificar los elementos clave y que los alumnos sean capaces de aplicarlos al problema real.

Al final, los estudiantes tuvieron una experiencia interesante y aprendieron diversas alternativas mediante las que un código SW puede ser optimizado para aumentar el rendimiento en sistemas embebidos.

La segunda y cuarta etapas se desarrollaron en sendas sesiones de laboratorio, siendo el resto realizado en el aula.

## VI. COMUNICACIONES EXTERNAS: DOCUMENTOS TÉCNICOS

Como tercera actividad, se diseñó una tarea práctica que permite desarrollar competencias en el uso de interfaces del sistema con el exterior. Para ello se realizó el desarrollo de un programa que implementa la comunicación entre el SW y un display LCD, de uso convencional y utilizable en con multitud de dispositivos, que permite mostrar dos filas de caracteres con los que el sistema envía información al usuario. Los alumnos tuvieron que utilizar alguno de los mecanismos de comunicación HW/SW explicados en la sesión previa de teoría, y que se pueden ver en [26].

Esta actividad se desarrolló también sobre la plataforma Raspberry Pi

#### A. Descripción de la Actividad

El control de un display LCD es una actividad compleja. En primer lugar, el alumno debe comprender los procedimientos requeridos para realizar las diferentes actividades necesarias para utilizar adecuadamente el display: inicializar el display, escribir un carácter, mover el cursor, limpiar el display, etc.

Una vez comprendidos dichos procedimientos, el alumno debe generar el código que permita implementarlos. Por tanto, la cuestión a resolver es cómo conseguir que, de forma sencilla pero interesante, el alumno comprenda los procedimientos, los implemente en forma de un controlador de dispositivo y defina los servicios de comunicación que deben estar presentes en la interfaz SW.

Para ello se han utilizado las hojas de características y notas de aplicación proporcionadas por los fabricantes de LCDs como material profesional donde los alumnos han de buscar toda la información relevante.

Para optimizar el desarrollo de la práctica conforme a los objetivos definidos se ha realizado una búsqueda entre los distintos documentos técnicos disponibles para el LCD. Como hoja de características se ha seleccionado la hoja proporcionada por Bolymin Inc. [27]. En esta hoja se describen todas las características del dispositivo (eléctricas,

ópticas, físicas, etc.), así como la utilidad de cada uno de los pines de conexión del display, y todos los comandos que acepta el display en detalle. Además, se incluyen diagramas temporales describiendo como deben realizarse diversos procedimientos en el display.

Con esta hoja tenemos toda la información necesaria para manejar adecuadamente el display. Sin embargo, el uso exclusivo de dicha hoja va a requerir un trabajo excesivo para los alumnos, ya que no están familiarizados con este tipo de situaciones, y requiere un gran trabajo que consigan implementar las secuencias descritas en los diagramas temporales adecuadamente sin más información. Por ello junto con esta hoja se decidió utilizar una nota de aplicación de Fujitsu [28] sobre el funcionamiento de dicho dispositivo.

En esta nota de aplicación se detallan los procedimientos necesarios para comunicar el display con un microcontrolador. Para ello se describen cada uno de los procedimientos convencionales de utilización del display (inicialización, colocación del cursor, escritura de un carácter,...) utilizando diagramas de estados en los que se identifican las instrucciones de control que deben ser enviadas al display y los tiempos de espera necesarios (Figura 4).

Con esta información los alumnos pueden comprobar cómo se han de implementar las secuencias de órdenes para cumplir con los diagramas temporales descritos en la hoja de características.

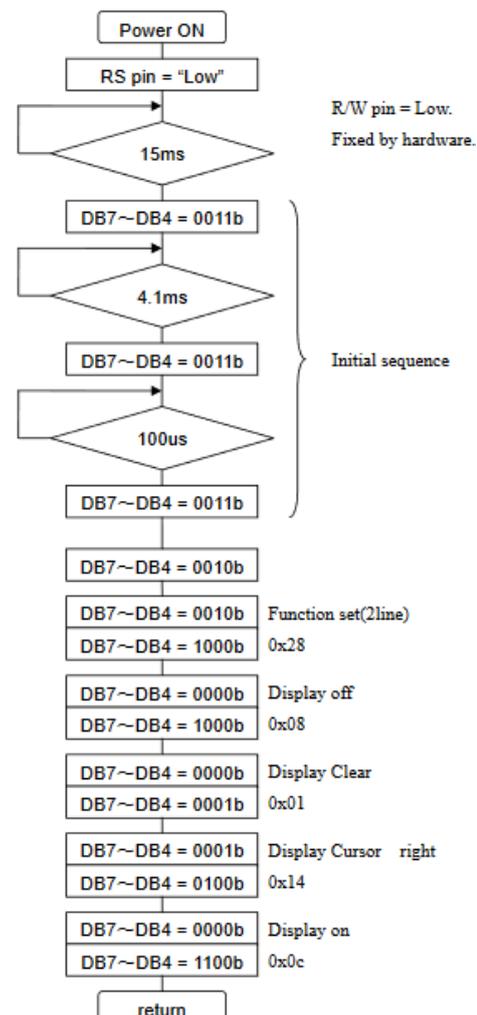


Figure 4. Diagrama con el procedimiento de inicialización del LCD

```

/*****
 *
 NAME: LCD_Initial()
 FUNCTION: SC1602 Initialization
 *****/
 /
 void LCD_Initial(void) {
 // Port direction
 LCD_Control_DDR &= 0xf0; /*Lower 4bit output */
 LCD_Enable = 0;
 LCD_Register_sel = 0;

 mDelay(15); /* delay time */
 SC1602LCD_4bit(LCD_DL_8BIT >> 4);
 mDelay(5); /* delay time */
 SC1602LCD_4bit(LCD_DL_8BIT >> 4);
 mDelay(1); /* delay time */
 SC1602LCD_4bit(LCD_DL_8BIT >> 4);

 SC1602LCD_4bit(LCD_DL_4BIT >> 4);
 SC1602LCD_Control(LCD_DL_4BIT |
 LCD_N_2LINE | LCD_DH_NORMAL);
 SC1602LCD_Control(LCD_DISP_OFF);
 SC1602LCD_Control(LCD_DISP_CLEAR_HOME);

 mDelay(2); /* delay time */
 SC1602LCD_Control(LCD_CURSOR_RIGHT);
 SC1602LCD_Control(LCD_DISP_ON);
 }

```

Figure 6. Código con el procedimiento de inicialización del LCD

Adicionalmente, la nota de aplicación también proporciona los códigos SW básicos para implementar estos procedimientos desde un procesador (Figura 5). El análisis de estas funciones permite el desarrollo de otras dos actividades. En primer lugar, el código SW proporcionado no tiene todas las funciones necesarias para su correcto funcionamiento. Funciones sencillas, como por ejemplo las necesarias para la espera de tiempo (e.g. “sdelay()”) o las necesarias para acceder a los pines de entrada/salida (GPIO), han de ser implementadas por el alumno, permitiendo su participación activa en el desarrollo del código.

En segundo lugar, el código indica qué elementos físicos del display han de ser accedidos para manejar el LCD.

### B. Desarrollo de la Práctica

Con la información anterior en mente, el desarrollo de la práctica se realizó conforme a los siguientes pasos.

Primeramente, fuera del aula los alumnos realizaron la lectura del problema y el análisis preliminar de las hojas de características y notas de aplicación.

Después, en el aula se realizaron los siguientes pasos:

- Análisis de los diagramas para implementar el funcionamiento del display y comparación con la información de las hojas de características
- Análisis del código SW para implementar el controlador del display, obteniendo las dependencias entre funciones, las funciones no implementadas y las variables para comunicación HW/SW
- Integración del código SW proporcionado e implementación del código de las funciones ausentes.
- Compilación de SW y prueba en placa

### C. Resultados

Como resultado, esta actividad fue adecuadamente desarrollada en un plazo inferior a las tres horas de aula, divididas en una hora de trabajo basado en el estudio de casos, y dos dedicadas a la resolución del proyecto.

La actividad fue bien valorada por los alumnos, contribuyendo a la evaluación global de la asignatura de 5º de Ingeniería Informática con un 4.41 sobre 5.

## VII. CONCLUSIONES

El presente artículo muestra como el empleo de diversos recursos profesionales en la docencia puede facilitar el desarrollo simultáneo de varias competencias, y mecanismos de docencia, involucrando al alumno en el proceso.

Por un lado, estos documentos contienen información de casos de aplicación reales, lo que permite realizar actividades de estudio de casos, que complementen los conocimientos adquiridos por el alumno en otras actividades más teóricas. Así mismo, facilitan la ejecución de problemas o la resolución de proyectos al proporcionar al alumno la información y ayuda necesaria sin alterar la percepción de aprendizaje y consecución de objetivos por parte del alumno.

De esta forma estos documentos técnicos permiten al profesor focalizar las actividades en la consecución de las competencias específicas buscadas, además de permitir el desarrollo de otras competencias como búsquedas de información en Internet o capacidad de manejo de materiales profesionales reales.

En el artículo se muestra la aplicación de páginas web externas en un par de actividades referentes al proceso de compilación de SW embebido, y el uso de hojas de características y notas de aplicación para el desarrollo de la comunicación de un procesador con un display LCD.

Además, el artículo describe una actividad que demuestra los beneficios que se pueden obtener a partir de la utilización de los concursos de diseño profesional durante el desarrollo de las actividades docentes. Los concursos de diseño profesionales normalmente proponen actividades desafiantes y motivadores y proporcionan los materiales necesarios para llevarlas a cabo, lo que minimiza el esfuerzo requiere para la actividad de puesta a punto. Por otra parte, la publicación de las soluciones de los concursos proporciona un medio útil para que los estudiantes pueden utilizar para resolver las actividades con cierta autonomía.

Estas ideas han sido aplicadas en una actividad de enseñanza donde los estudiantes tienen que resolver un problema de optimización, utilizando los materiales proporcionados por el diseño MEMOCODE'14 para resolver con éxito la actividad.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado con el soporte del proyecto MINECO TEC2014-58036-C4-3-R

## REFERENCIAS

- [1] R.C. Hsu, W-C Liu: “Project Based Learning as a Pedagogical Tool for Embedded System Education”. International Conference on Information Technology: Research and Education (ITRE), 2005
- [2] J. Grimson, "Re-engineering the Curriculum of the 21<sup>st</sup> Century", European Journal of Engineering Education, Vol. 27, No. 1, 2002
- [3] P. H. Gregson, T.A. Little: "Using Contests to teach Design to EE Juniors", IEEE Transactions on Education, 1999
- [4] MEMOCODE Software Design Contest 2014, <https://caesr.uwaterloo.ca/memocode/#>
- [5] A.K Ray, M. Gupta, L. Behera, M. Jamshidi: "Sonar based Autonomous Automatic Guided Vehicle (AGV) navigation“, Int. Conf on System of Systems Engineering (SoSE), 2008
- [6] C. Nitschke, Y. Minami, M. Hiromoto, H. Ohshima, T. Sato: "A quadcopter automatic control contest as an example of interdisciplinary design education“, Int. Conf. on Control, Automation and Systems (ICCAS), 2014

- [7] Z. Dodds, L. Greenwald, A. Howard, S Tejada and J. Weinberg "Components, Curriculum, and Community: Robots and robotics in undergraduate AI education" in AI Magazine, vol. 27, Number 1, 2006
- [8] D. Rivas et al, "BRACON: Control system for a robotic arm with 6 degrees of freedom for education systems", Automation, Robotics and Applications (ICARA), 2015
- [9] A. Hamori, J. Lengyel, B. Resko: "3DOF drawing robot using LEGO-NXT", Intelligent Engineering Systems (INES), 2011
- [10] Bindal, A. ; Mann, S. ; Ahmed, B.N. ; Raimundo, L.A., "An undergraduate system-on-chip (SoC) course for computer engineering students", IEEE Transactions on Education, 2005
- [11] F. Mondada et al., "The e-puck, a Robot designed for education in engineering", in Proc. of the 9th Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions, 2009.
- [12] Arduino Forum: Education and teaching, <http://forum.arduino.cc/index.php?board=18.0>
- [13] Raspberry Pi: Teacher's Classroom Guide, <https://www.raspberrypi.org/learning/teachers-classroom-guide/>
- [14] H. Mahmoodi, A. Montoya et al. "Hands-on teaching of embedded systems design using FPGA-Based tPad development kit", Interdisciplinary Engineering Design Education Conference (IEDEC), 2012
- [15] K. Nakano, K. Kawakami, K. Shigemoto, Y. Kamada, Y. Ito: " A Tiny Processing System for Education and Small Embedded Systems on the FPGAs", International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC), 2008.
- [16] H. Posadas, E. Villar: " Using technical documents as support for developing competences in HW/SW design", International Symposium on Computers in Education (SIIE), 2012
- [17] W. Ping, "Research on the Embedded System Teaching", International Workshop on Education Technology and Training, 2008
- [18] J. M. Fernandes, R. J. Machado, "Teaching Embedded Systems Engineering in a Software-oriented Computing Degree", IEEE Frontiers in Education Conference, 2007
- [19] W. Nooshabadi, J. Garside: "Modernization of Teaching in Embedded Systems Design? - An International Collaborative Project", IEEE Transactions on Education 49(2):254-262, 2006.
- [20] W. Wolf J. Madsen, "Embedded Systems Education for the Future", Proceedings of the IEEE 88(1):23-30, 2000.
- [21] MicroBlaze Soft Processor Core, <http://www.xilinx.com/products/design-tools/microblaze.html>
- [22] ARM information center, <http://infocenter.arm.com/help/index.jsp>
- [23] D. Richie, J. Ross: "Cycle-accurate 8080 emulation using an ARM11 processor with dynamic binary translation", Int. Conference on Formal Methods and Models for Codesign (MEMOCODE), 2014
- [24] N. Eskandari, H. Madani, A. Ahmadzadeh, M.M. Aznaveh, S. Gorgin: "A fast emulator for ARM-based embedded systems", Int. Conference on Formal Methods and Models for Codesign (MEMOCODE), 2014
- [25] P. Gonzalez-Aledo, L. Diaz, A. Diaz, P. Sanchez: "Profiling and optimizations for embedded systems", Int. Conference on Formal Methods and Models for Codesign (MEMOCODE), 2014
- [26] RPi GPIO Code Samples, [http://elinux.org/RPi\\_GPIO\\_Code\\_Samples](http://elinux.org/RPi_GPIO_Code_Samples)
- [27] LCD Module Specification - BC1602A: [www.oomlout.com/LCDD/LCDD-DATA-BC1602A.pdf](http://www.oomlout.com/LCDD/LCDD-DATA-BC1602A.pdf). Bolymin Inc.
- [28] LCD Module: Connection to SC1602BS, <https://www.spansion.com/fjdocuments/fj/aplnote/en-pdf/MB95F264K-AN702-00001-1v0-E.pdf>.

**Héctor Posadas** obtuvo el título de Doctor en Tecnología Electrónica por la Universidad de Cantabria en 2011. Desde 2016 es Profesor Contratado Doctor Interino en el Departamento de Tecnología Electrónica, Ingeniería de Sistemas y Automática de esta Universidad. Ha sido autor de más de 50 publicaciones en actas de congresos, libros y revistas nacionales e internacionales. Sus líneas de investigación actuales se centran en la especificación, modelado, simulación y diseño de sistemas embebidos HW/SW.

**Eugenio Villar** obtuvo el título de Doctor en Ciencias Físicas (Electrónica) en 1984 por la Universidad de Cantabria. Desde 2002, es Catedrático de Tecnología Electrónica en el Departamento de Tecnología Electrónica, Ingeniería de Sistemas y Automática de esta Universidad. Ha sido el investigador principal en más de 50 proyectos de Investigación financiados por empresas, el Gobierno de España y la UE. Ha impartido 35 conferencias invitadas en distintas jornadas, congresos y cursos y es autor de más de 150 publicaciones en actas de congresos, libros y revistas nacionales e internacionales. Ha participado como experto para la Comisión Europea, la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología del Gobierno de España y el FONARSEC de la República Argentina. Sus líneas de investigación actuales se centran en la especificación, modelado, simulación y diseño de sistemas embebidos HW/SW.