

METODOLOGÍAS CDIO (CONCEIVE, DESIGN, IMPLEMENT AND OPERATE) Y APRENDIZAJE BASADO EN RETOS APLICADOS AL DESARROLLO DE UN SISTEMA RADAR DE BAJO COSTE PARA APLICACIONES INDUSTRIALES

Eduardo Carrasco¹, Jaime Esteban¹, Zoraida Frias²,
Gerardo Pérez-Palomino¹, Jesús Grajal³

1: Grupo de Electromagnetismo Aplicado (GEA)

2: Grupo de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (GTIC)

3: Grupo de Microondas y Radar (GMR)

Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación &
Information, Processing and Telecommunications Center
Universidad Politécnica de Madrid

{eduardo.carrasco, jaime.esteban, zoraida.frias, gerardo.perezp, jesus.grajal}@upm.es
<http://iptc.upm.es>

Resumen. *Basados en la experiencia previa de asignaturas prácticas, y buscando aumentar la motivación de los estudiantes, un grupo interdisciplinar de profesores adscritos al Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones (SSR) de la UPM, decidió preparar una nueva asignatura adaptándola al sistema de aprendizaje basado en retos y la filosofía CDIO. El reto consistió en diseñar un sistema completo radar de bajo coste en la banda ISM, de 2,4 GHz. El objetivo era que grupos de alumnos diseñaran un producto desde su origen (necesidad identificada en el mercado) hasta la implantación del mismo, buscando optimizar los recursos técnicos y financieros. Por tanto, tenían que considerar no sólo razones científicas y de ingeniería, sino también razones económicas y de oportunidad. Contando con especificaciones mínimas y un kit básico modular, los grupos tenían libertad de mejorar las prestaciones del sistema e incluso fabricar y medir algún componente específico después de rediseñarlo.*

Palabras clave: Aprendizaje Basado en Problemas, Aprendizaje Basado en Retos (ABR), Aprendizaje Cooperativo, Aprendizaje Experiencial, Aprendizaje Basado en Proyectos, Competencias Transversales, Máster, Trabajo en Equipo/Grupo.

1. Introducción

En los últimos años la asignatura optativa Taller de Sistemas de Comunicaciones, correspondiente al segundo año del Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación (MUIT), se había impartido con el objetivo de que equipos de alumnos desarrollaran de forma práctica un sistema completo de comunicaciones. Cada alumno realizaba una parte del sistema y posteriormente se integraban los diferentes módulos. Utilizando esta experiencia, y buscando incrementar la motivación de los estudiantes, un grupo de profesores de distintos grupos de investigación del *Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones (SSR)* decidió preparar una nueva asignatura adaptándola al sistema de aprendizaje basado en retos y la filosofía *CDIO (Conceive, Design, Implement and Operate)*.

La implementación consistió en un reto planteado por el profesor (*Qué*). Diferentes grupos de alumnos compitieron para llevar a cabo una ejecución óptima (*Cómo*). El "*Qué*" fue el diseño completo de un sistema radar de bajo coste basado en componentes comerciales (COTS) para la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 2,4 GHz.

El “Cómo” consistió en distintas propuestas elaboradas por los distintos grupos, incluyendo la optimización de todos los recursos disponibles (componentes, algoritmos, infraestructura, recursos humanos, presupuesto).

En la asignatura se matricularon 10 alumnos, con lo que se formaron equipos de entre 2 y 3 estudiantes cada uno. Al final de la asignatura, la mayoría de los grupos consiguió superar el reto de manera satisfactoria, destacando además la contribución de algunos grupos en la mejora de las prestaciones del sistema mediante el rediseño de algún componente (por ejemplo, la integración de la placa o el sistema de antenas).

2. Fases del Proyecto

Tras una presentación general y un repaso de conceptos básicos sobre los sistemas radar, los grupos trabajaron de manera continua durante todo un cuatrimestre. Se contó con un número mínimo de clases magistrales (técnicas y de la parte económica y de negocio), así como la posibilidad de recibir tutorías grupales durante todo el cuatrimestre a solicitud de los estudiantes. El proyecto se dividió en las siguientes etapas:

FASE 1 (dos primeras semanas del curso): Planteamiento del reto (el *Qué*) y elaboración de una propuesta de trabajo. En esta fase se introdujo a los alumnos el concepto del “*low cost efficient design*”, modelo conceptual en el que se basa la asignatura, incluyendo su origen [1] y evolución [2], así como la experiencia práctica de los distintos grupos del departamento en proyectos reales similares.

FASE 2 (dos semanas): Los alumnos plantearon sus propuestas de respuesta al reto (el *Cómo*). Como resultado cada grupo de alumnos redactó un breve documento explicativo de su propuesta, centrado en los objetivos que se debían cubrir. Dicho documento incluyó la viabilidad técnica de distintas soluciones, los riesgos y acciones que se deberían seguir en cada caso, el listado de materiales y herramientas, la distribución de las distintas tareas entre los miembros del equipo, así como la oportunidad de mercado de cada solución.

FASE 3 (nueve semanas): La fase de mayor duración, en la que se llevaron a cabo los retos planteados: diseño, optimización y en su caso fabricación y evaluación de prototipos. Se hizo hincapié en que los estudiantes documentaran dicha fase, de forma que la experiencia pudiese estar disponible para futuras ediciones de la asignatura.

FASE 4 (última semana lectiva): Los estudiantes presentaron los resultados obtenidos, destacando el cumplimiento o incumplimiento de los objetivos planteados, dificultades técnicas detectadas, los cambios respecto al plan de trabajo original, las posibles mejoras futuras, así como un análisis estratégico de la oportunidad de negocio.

FASE 5 (finalizado el semestre): Evaluación de la experiencia y difusión de resultados en foros.



Figura 1 Sesión de presentaciones finales por los distintos grupos de estudiantes.

3. Desarrollo de la Parte Técnica

Los alumnos tuvieron acceso a un diagrama básico del sistema, así como componentes comerciales para implementarlo. La primera tarea consistió en caracterizar cada uno de los componentes básicos del sistema: amplificadores de bajo ruido, acopladores, mezcladores, filtros, antenas tipo dipolo, etc. Posteriormente realizaron una serie de medidas (distancia y velocidad Doppler), de forma que se pudieran evaluar las prestaciones del sistema básico. Una vez analizados los resultados, los alumnos plantearon la posibilidad de realizar mejoras en algún componente del sistema.

En todas las etapas del desarrollo los alumnos tuvieron acceso a los dispositivos y materiales que requiriesen, así como a la instrumentación de medida adecuados.

4. Aplicación Industrial y Modelo de Negocio

En la parte de negocio, los alumnos se enfrentaron al reto de definir la aplicación que tendría el sistema radar que desarrollaban. Para ello, debieron atender a cuestiones estratégicas y cumplir especificaciones económicas.

Las especificaciones económicas requerían que el sistema radar no tuviera un coste superior a 100 €. En las cuestiones estratégicas, los alumnos debían utilizar la metodología de “las cinco fuerzas” de Michael Porter [3] para valorar las oportunidades de negocio de las potenciales industrias que hubieran identificado en una primera aproximación. Estas fuerzas comprenden no sólo la rivalidad y estructura competitiva de la industria actual, sino las barreras de entrada, la amenaza de productos sustitutivos, y el poder de proveedores y de clientes.

La metodología docente giró en torno a sesiones de tutoría en pequeño y gran grupo. En primer lugar, los alumnos recibieron el material original de la *Harvard Business School* en el que el profesor Porter explica la metodología de análisis, con el que tuvieron que trabajar de manera individual. Tras este análisis, se organizó una sesión con todos los alumnos de la asignatura para poner en común las interpretaciones metodológicas, discutir la potencial aplicación a la industria radar y resolver dudas.

A partir de ahí, los alumnos trabajaron en equipos aplicando la metodología a las industrias y productos que habían planteado inicialmente. Se realizaron reuniones individuales con todos los equipos de trabajo en las que los alumnos expusieron sus avances y recibieron apoyo y orientación para mejorar sus propuestas. Estas sesiones estuvieron muy centradas en el método de la pregunta, que ayudó a los estudiantes a afianzar conocimientos y cuestionar su propio trabajo.

5. Resultados

Todos los grupos consiguieron implementar el sistema radar con prestaciones mínimas utilizando un kit con componentes comerciales. Cabe destacar que algunos grupos fueron más allá y propusieron una mejoría en alguno de los subsistemas.

No todos los equipos realizaron mejoras en el hardware básico, pero aquellos que los plantearon tuvieron acceso a su fabricación, destacando por ejemplo, una mejora en la integración de la placa por uno de los equipos y el rediseño del subsistema de antenas en otro equipo, ya que las antenas del kit básico tenían una ganancia bastante baja, y fueron reemplazadas por antenas tipo Vivaldi.

En cuanto a las aplicaciones, los equipos desarrollaron modelos de negocio para las siguientes oportunidades de mercado: dispositivos con aplicaciones biomédicas (como la medida de la presión arterial), sistemas de telepresencia, sistemas de alerta para ciclistas ante la aproximación de un vehículo y diversas aplicaciones de drones comerciales.

La evaluación final se hizo conjuntamente para la parte técnica y para la parte económica. De esta forma se garantizó que se ponía en práctica la visión de conjunto que se perseguía con un proyecto interdisciplinar.

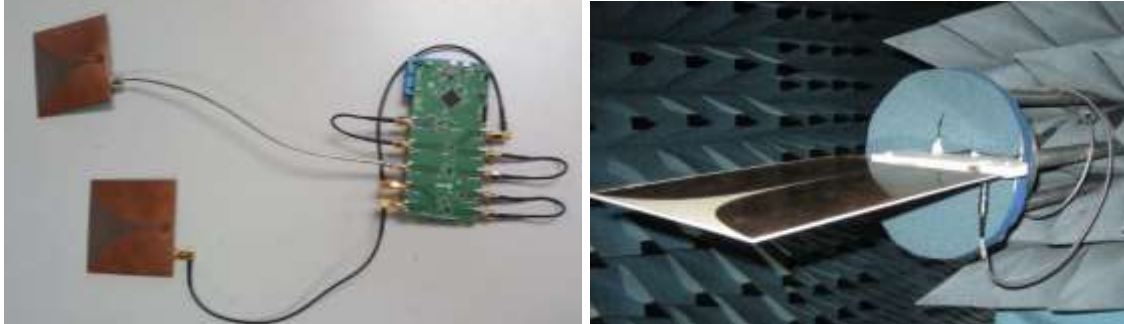


Figura 2 (a) Sistema radar montado por uno de los grupos de estudiantes, incluyendo antenas diseñadas por ellos, con prestaciones mejoradas. (b) Antena Vivaldi durante las medidas en la cámara anecoica.

6. Conclusiones

Mediante esta experiencia, haciendo uso del sistema de aprendizaje basado en retos y la filosofía *CDIO (Conceive, Design, Implement and Operate)*, se ha buscado una mejora en la calidad de la enseñanza de asignaturas prácticas. La asignatura planteada se ha enfocado como generadora de un objetivo asumido como propio por el alumno y que, por tanto, pueda generar una motivación intrínseca por el aprendizaje.

Aunque no ha habido homogeneidad en la calidad y alcance de los resultados presentados por cada equipo de estudiantes, los resultados generales son muy satisfactorios y en algunos casos destacables, obteniéndose 3 notas sobresalientes y 3 notables de un total de 10 estudiantes.

En términos generales, se ha alcanzado el objetivo de motivar a los alumnos para que desarrollen habilidades similares a las que requerirán en entornos reales una vez finalizado el máster, tales como capacidad de análisis, resolución eficiente de problemas, trabajo en equipo, delegación de tareas, discusión y defensa de ideas o propuestas ante socios o clientes, visión global de un proyecto tecnológico, incluyendo aspectos de tipo económico, así como mejorar capacidades de expresión y comunicación.

REFERENCIAS

- [1] D. Schneider, "Coffee-can radar: How to build a synthetic aperture imaging system with tin cans and AA batteries," *IEEE Spectr.*, vol. 49, no. 11, pp. 24–25, Nov. 2012.
- [2] J. Carroll, G. Papparisto and D. Vye, "The "Coffee-Can Radar Redesigned as an Inexpensive RF PCB [Application Notes]," in *IEEE Microwave Magazine*, vol. 17, no. 10, pp. 62-74, Oct. 2016.
- [3] M. E. Porter, "The Five Competitive Forces That Shape Strategy," *Harvard Business Review*, pp. 1-18, 2018.