

Una experiencia de Aprendizaje Basado en Proyectos en el ámbito tecnológico: Diseño de un sistema de navegación *indoor* de bajo coste

Higinio González-Jorge¹, David Roca², Soledad Torres³,
Julia Armesto⁴ e Iván Puente⁵

^{1,2,4,5}Departamento de Ingeniería de los Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidad de Vigo. ³Departamento de Teoría de la Señal, Universidad de Vigo. E-mails: ¹higiniog@uvigo.es, ²davidroca@uvigo.es, ³marisol@gts.uvigo.es, ⁴julia@uvigo.es, ⁵ipuente@uvigo.es.

Resumen: La finalización de los estudios de Ingeniería exige el desarrollo de un Proyecto Final de Carrera que representa, en la mayoría de los casos, el primer contacto del estudiante con la actividad profesional. Una de las carencias más acusadas en general es la falta de experiencia de los alumnos a la hora de abordar un proyecto de ingeniería. Con la implantación de Bolonia, la estrategia de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) resulta de gran interés de cara a su aplicación en carreras técnicas.

El presente trabajo resume los resultados obtenidos en el Proyecto Fin de Carrera de un alumno de Ingeniería de Telecomunicaciones, que ha desarrollado un sistema de navegación en interiores basado principalmente en dos *encoders*. Dicho proyecto ha propiciado la realización de búsquedas bibliográficas por parte del alumno y la colaboración multidisciplinar con personas de otras áreas de conocimiento. El presupuesto y los plazos exigidos por los profesores le obligaron a tomar decisiones sobre la tecnología a utilizar y el tiempo máximo que se podría dedicar a cada una de las fases de proyecto.

Nuestras conclusiones indican que las actividades basadas en proyectos pueden proporcionar un complemento muy válido a las más tradicionales técnicas de enseñanza, y este ejemplo puede servir de propuesta de ABP para futuros alumnos del ámbito ingenieril.

Palabras clave: Aprendizaje Basado en Proyectos, Proyecto Fin de Carrera, sistema de navegación, giróscopo, *encoder*, microcontrolador.

Title: A Project-Based Learning experience in the technological domain: Design of a Low-Cost Indoor Navigation System.

Abstract: When finishing any Engineering studies, students must submit a Final Degree Project which provides them, in most cases, with their very first contact with professional activities. Their lack of experience is in general the biggest obstacle undergraduates must overtake when facing a real project. With the Bologna process implementation, the application of the Project-Based Learning (PBL) approach becomes very interesting for technical studies.

This paper summarizes the results obtained in the Final Degree Project by one Telecommunications Engineering student, who has developed an indoor navigation system based mainly on two encoders. The aforementioned project

has contributed to the development of his bibliographic research skills and has led to a multidisciplinary collaboration with people from different knowledge areas. The limitations in budget and the deadlines set by the professors forced him to make decisions about which technology to choose or the maximum amount of time taken at each step.

Our conclusions show that Project Based Learning activities can provide a valid complement to more conventional, theoretically-based, teaching methods. This example is shown as a PBL proposal for future engineers.

Keywords: Project-Based Learning, Final Degree Project, navigation system, gyroscope, encoder, microcontroller.

1. Introducción

La ingeniería es el conjunto de conocimientos y técnicas científicas aplicadas a la creación, perfeccionamiento e implementación de estructuras para la resolución de problemas que afectan a la actividad cotidiana de la sociedad. Es también la actividad de transformar el conocimiento en algo práctico. Otra característica que define la ingeniería es la aplicación de los conocimientos científicos a la invención o perfeccionamiento de nuevas técnicas. Esta aplicación se caracteriza por usar el ingenio principalmente de una manera más pragmática y ágil que en el método científico, puesto que la ingeniería, como actividad, está limitada al tiempo y los recursos dados por el entorno en que ella se desenvuelve (Wright y Samaniego, 2004; Aparicio *et al.*, 2005).

Un ingeniero debe identificar y comprender los obstáculos más importantes para poder realizar un buen diseño. Algunos de los obstáculos pueden ser los recursos disponibles, las limitaciones físicas o técnicas, la flexibilidad para futuras modificaciones y adiciones y otros factores como el coste, la posibilidad de llevarlo a cabo, las prestaciones y las consideraciones estéticas y comerciales.

Por todos estos motivos, resulta fundamental que los currículos de ingeniería se adapten en la medida de lo posible a la generación de capacidades para que los futuros profesionales respondan a las demandas que exigirá su desarrollo profesional. En un contexto como el actual, con escasez de recursos económicos, resulta importante formar profesionales que sean capaces de diseñar productos de alto valor añadido, utilizando pocos medios materiales, y fundamentados en el conocimiento y la creatividad (Gallo, 2010). Los Proyectos Fin de Carrera (PFC) y los Trabajos Fin de Máster (TFM) resultan una buena oportunidad para que el alumno participe en el desarrollo de un producto bajo las premisas anteriores. De hecho, se presentan para muchos estudiantes como una experiencia profesional anticipada, desarrollando nuevas metodologías de aprendizaje y vinculando la actividad docente con el entorno industrial.

Sin embargo, nos encontramos con que una de las carencias más acusadas de los planes de estudios de Ingeniería es la falta de experiencia de los alumnos a la hora de abordar un proyecto de ingeniería. Los alumnos adquieren ciertos conocimientos teóricos durante la carrera que luego no son capaces de aplicar en pro de un objetivo común. Esta carencia está fuertemente ligada al hecho de que, en general, no existan asignaturas durante los estudios universitarios que muestren una visión global y aplicada de los conocimientos ya adquiridos. Si bien este problema pretende ser resuelto en parte con el carácter marcadamente

práctico del Plan Bolonia, los futuros ingenieros terminarán sus estudios sin haber afrontado suficientes aproximaciones de lo que es un proyecto real de ingeniería, desde su concepción a la entrega del mismo al cliente. Por esta razón, consideramos de vital importancia que los estudiantes tengan garantizado un contacto mínimo con un proyecto real.

En este contexto, se pone de manifiesto la necesidad de un modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en el alumno. La educación superior en España, gracias a la implantación del Proceso de Bolonia, se está adaptando a las nuevas circunstancias a través de iniciativas de innovación docente como pueden ser el Aprendizaje Basado en Problemas (Woods, 1994; Savery y Thomas, 1995), o el Aprendizaje Basado en Proyectos (Gwen, 2010). Si bien en el Norte de Europa éstas son ya unas técnicas consolidadas y con cierta tradición, en España aún son relativamente nuevas.

En este artículo, se describe una experiencia de Aprendizaje Basado en Proyectos, realizada por un alumno del antiguo grado en Ingeniería de Telecomunicaciones, durante su Proyecto Final de Carrera. A pesar de que, normalmente, un PFC no sigue estrictamente la metodología ABP, sí desarrolla muchas de las capacidades que esta técnica didáctica persigue. El eje central de esta metodología busca reflexionar sobre el conocimiento con el fin de generar nuevo conocimiento.

El doble objetivo de esta actividad ABP será, por un parte, el diseño de un sistema de navegación en interiores de bajo coste y, por otra, testar la implementación de esta actividad ABP como parte importante y significativa de los nuevos planes de estudio en los diferentes grados impartidos en la Escuela de Ingeniería de Telecomunicación.

2. El Aprendizaje Basado en Proyectos como técnica didáctica

La estrategia de Aprendizaje Basado en Proyectos (del inglés, PBL: *Project Based Learning*) es una de las más interesantes y de mayor aplicación en carreras técnicas (Case y Light, 2011). En la actualidad se considera especialmente adecuada para abordar muchos de los retos de la educación superior. La enseñanza basada en ABP se basa en el desarrollo de un proyecto que busca la elaboración de un producto final. Su consecución promueve la participación del alumno en el proceso de aprendizaje consiguiendo unos resultados mejores, tanto por los conocimientos como por los hábitos adquiridos (Markham, 2003). Los estudiantes, habitualmente organizados en grupos, realizan proyectos abiertos, multidisciplinares guiados por el profesor. Cada equipo de trabajo diseña e implementa un sistema completo con más de una implementación posible, simulando un entorno profesional en el que deben aplicar diferentes tipos de conocimientos y habilidades.

Con esta estrategia de aprendizaje, el estudiante desarrolla nuevas capacidades que completan su formación y le preparan mejor para el mundo laboral. Entre estas competencias destacan (De Miguel, 2006):

- Manejo de diversas fuentes de información: a menudo se les proporciona información incompleta, que deben conseguir completar.
- Análisis y síntesis, expresión oral y escrita.

- Investigación, transferencia de conocimientos y enfoque interdisciplinar: se resuelven problemas complejos que abarcan el conocimiento de varias disciplinas.
- Pensamiento crítico y responsabilidad individual y grupal: se involucran más en el proceso de aprendizaje debido a que especifican sus propios objetivos dentro de los límites aconsejados por el profesor del curso.
- Planificación, organización, toma de decisiones y trabajo en equipo.

Si bien muchas de estas capacidades desarrolladas se perseguían con los tradicionales Proyectos Fin de Carrera, en la metodología ABP es necesario evaluar también el nivel de competencias adquirido y no sólo mediante su defensa ante un tribunal. Además, con dicha metodología se busca desarrollar habilidades y actitudes en las que los estudiantes no ponen excesivo énfasis durante el desarrollo de sus estudios. La metodología ABP incorpora proyectos y retos realistas cuyo interés reside en problemas o cuestiones reales (no simuladas) y en donde las soluciones tienen el potencial de ser implementadas.

3. Metodología

El Proyecto Fin de Carrera se realiza en el último curso de la titulación y, con éste, se puede evaluar la capacidad de llevar a la práctica la mayoría de los conocimientos y competencias que el estudiante debería haber adquirido a lo largo de su proceso formativo. Teniendo en cuenta el estado del arte actual, se plantea un PFC cuyo objetivo sea desarrollar un sistema de navegación en interiores basado en sistemas de bajo coste. El perfil del proyectando es el de un estudiante de Ingeniería Superior de Telecomunicaciones del plan antiguo. El tiempo de desarrollo se limita a seis meses y el presupuesto a 600 €. Aunque el contexto en el que se ejecuta este proyecto no es "Bolonia", sí se han considerado para él las nuevas metodologías docentes instauradas, mejorando su calidad a través de un aprendizaje centrado en el estudiante.

Los directores del proyecto ponen a disposición del estudiante un equipo básico de trabajo que consiste en un ordenador portátil, banco de trabajo y herramientas para el montaje de componentes electrónicos. También se le da acceso a la BBDD de revistas científicas de la Universidad. Se le ubica en uno de los laboratorios del Área de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Además, proporcionan al alumno una hoja de especificaciones técnicas y económicas del proyecto, donde se detalla también el tiempo máximo de ejecución.

Al estudiante se le dan dos semanas de tiempo para presentar una planificación para la ejecución del proyecto. Además, debe presentar las líneas generales de la tecnología a utilizar. Se establecen reuniones de seguimiento semanales con el estudiante para ayudarlo en su avance y se mantiene con él comunicación directa por correo electrónico o teléfono para solucionar a la mayor brevedad cualquier duda que le pudiese surgir.

Al finalizar el PFC, se persigue que el estudiante haya desarrollado las siguientes capacidades y competencias específicas:

- 1) Diseño de un equipo de navegación *indoor* de bajo coste y aplicación correcta de las tecnologías y principios ingenieriles asociados.
- 2) Aplicación de restricciones económicas y de métodos de optimización para llegar a la mejor solución en un problema complejo.

3) Resolución de un problema complejo mediante su descomposición en actividades más sencillas que lo forman.

4) Suficiencia en el uso de ordenadores, software y hardware reciente y bases de datos para la búsqueda de información.

5) Suficiencia en la comunicación oral y escrita de sus ideas y trabajos realizados.

6) Capacidad para aprender tanto individualmente como durante el trabajo en equipo.

7) Capacidad para realizar un trabajo con plazos de entrega.

4. Resultados y discusión

El estudiante presenta un plan de trabajo que se divide en tres fases fundamentales, recogidas en la Tabla 1. La primera fase se centra en realizar una revisión bibliográfica sobre los sistemas de navegación presentes en el mercado. La segunda fase consiste en realizar el diseño e implementación del sistema, mientras que la última fase se centrará en la verificación de su buen funcionamiento. Por tanto, el proyecto, aunque a menor escala, realiza un recorrido a través de las diferentes etapas de un proyecto de ingeniería real.

Fases y actividades	Duración (meses y quincenas)											
	1		2		3		4		5		6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Fase 1. Revisión bibliográfica												
Actividad 1.1. Ámbito de estudio y organización	■											
Actividad 1.2. Elección de la tecnología		■										
Fase 2. Diseño												
Actividad 2.1. Diseño del sistema de navegación			■	■	■							
Actividad 2.2. Calibración de sensores				■	■	■						
Actividad 2.3. Fase experimental							■	■	■			
Fase 3. Verificación												
Actividad 3.1. Fase de aplicación										■	■	
Actividad 3.2. Análisis y entrega de resultados											■	■

Tabla 1. Diagrama de Gantt con los tiempos de ejecución para cada una de las actividades propuestas

4.1. Fase 1: Revisión bibliográfica

En primer lugar, el estudiante revisa las tecnologías existentes para la solución del proyecto planteado. Durante dicha revisión, analiza los diferentes sistemas GPS, que permiten la localización geoespacial con una precisión de unos pocos metros, y que empleando corrección diferencial se puede mejorar hasta unos pocos centímetros. Los GPS solucionan en gran medida las necesidades de navegación en exteriores, pero en zonas con poca o nula cobertura resulta imposible su utilización.

Por este motivo, los sistemas GPS se complementan con sistemas de navegación de tipo inercial. Un sistema inercial utiliza sensores de movimiento (acelerómetros y odómetros/*encoder*) y sensores de rotación (giróscopos) para calcular continuamente la posición, orientación y velocidad de un objeto en movimiento sin necesidad de referencias externas. La integración de los datos del sistema inercial y del sistema GPS se realiza típicamente empleando un filtro de Kalman para el procesamiento de la información (Groves, 2008).

Los primeros sistemas de navegación se remontan a la Segunda Guerra Mundial (bombas V1 y V2 alemanas). Actualmente los sistemas inerciales se pueden dividir en tres grandes grupos, dependiendo de su coste y precisión: FOG, RLG (elevado coste y elevada precisión) y MEMS (bajo coste y baja precisión) (Petri, 2010).

El proyectando revisa las tecnologías existentes utilizadas para navegación inercial y descubre la posibilidad de emplear dos *encoder* para calcular desplazamientos y giros. De esta forma, para un intervalo de tiempo dado, los desplazamientos se calculan a partir de la distancia recorrida durante dicho intervalo y su dirección. Estas dos componentes se estiman de forma separada y después se utilizan para calcular la nueva posición y orientación del sistema durante cada paso. Del mismo modo que se obtiene la distancia recorrida durante un intervalo de tiempo, se puede estimar la variación en la orientación del sistema a partir de la velocidad de rotación. Finalmente se utiliza la distancia recorrida durante cada paso para actualizar la nueva posición y giro (Roca, 2012).

La trayectoria completa se obtiene a partir de la posición y orientación del vehículo en todos sus pasos de tiempo.

4.2. Fase 2: Diseño

Para optimizar los tiempos de desarrollo, el estudiante plantea un diseño que se basa en la utilización del microcontrolador Arduino Uno (Figura 1). Arduino es una plataforma de *hardware* libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo (Figura 2), diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinares. El *hardware* consta de una placa con un microcontrolador Atmega 328 y varios puertos de entrada y salida. El software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque que corre en la placa. Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede comunicarse con *software* de ordenador. Las placas se pueden montar a mano o adquirirse. El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente.

Al ser *open-hardware*, tanto su diseño como su distribución es libre, lo que facilita y abarata en gran medida las tareas de desarrollo. El proyecto Arduino recibió una mención honorífica en la categoría de Comunidades Digital en el Prix Ars Electrónica 2006. La Figura 3 presenta las especificaciones del microcontrolador Atmega328 empleado para este proyecto.

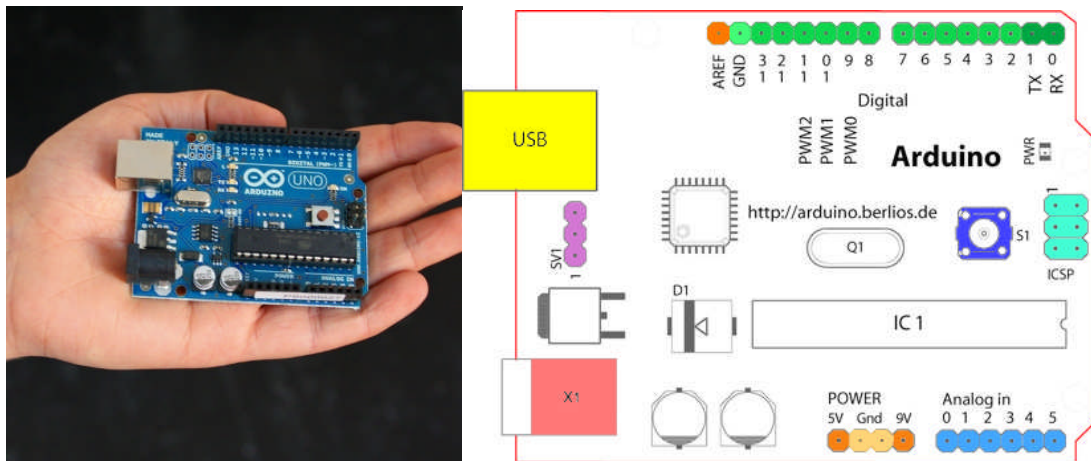


Figura 1. Microcontrolador Arduino Uno



Figura 2. Entorno de desarrollo Arduino

	Atmega168	Atmega328	Atmega1280
Voltaje operativo	5 V	5 V	5 V
Voltaje de entrada recomendado	7-12 V	7-12 V	7-12 V
Voltaje de entrada límite	6-20 V	6-20 V	6-20 V
Pines de entrada y salida digital	14 (6 proporcionan PWM)	14 (6 proporcionan PWM)	54 (14 proporcionan PWM)
Pines de entrada analógica	6	6	16
Intensidad de corriente	40 mA	40 mA	40 mA
Memoria Flash	16KB (2KB reservados para el bootloader)	32KB (2KB reservados para el bootloader)	128KB (4KB reservados para el bootloader)
SRAM	1 KB	2 KB	8 KB
EEPROM	512 bytes	1 KB	4 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz

Figura 3. Especificaciones de los microcontroladores Arduino

El microcontrolador se conecta a dos *encoder* incrementales Honeywell S&C – 600EN128CBL (Figura 4a) que poseen una resolución de 128 pulsos por vuelta. La transmisión del esfuerzo mecánico entre los *encoder* y las ruedas se realiza mediante poleas y una correa de transmisión (Figura 4b). En la figura se puede ver también el carro diseñado para los experimentos. Los diseños CAD contaron con el apoyo de un Ingeniero Mecánico. La perfilería de aluminio empleada en dicho carro es de la marca Item y consiste en secciones de 40 x 40 mm cortadas a la medida deseada. La Figura 5 muestra varias fotografías del sistema desarrollado. La Figura 6 muestra el sistema inercial de bajo coste empleado para obtener medidas complementarias a las de los *encoder* a través de sus giróscopos.

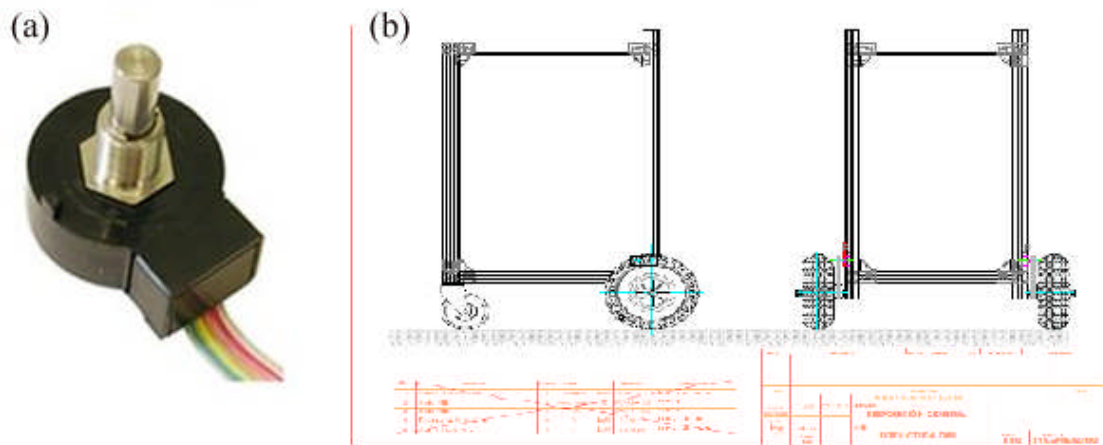


Figura 4. (a) *Encoder* Honeywell S&C – 600EN128CBL. (b) Diseño relativo al carro



Figura 5. Fotografías del sistema desarrollado, donde se puede observar de izquierda a derecha: Carro, detalle de ruedas y *encoder* y placa del microcontrolador Arduino Uno

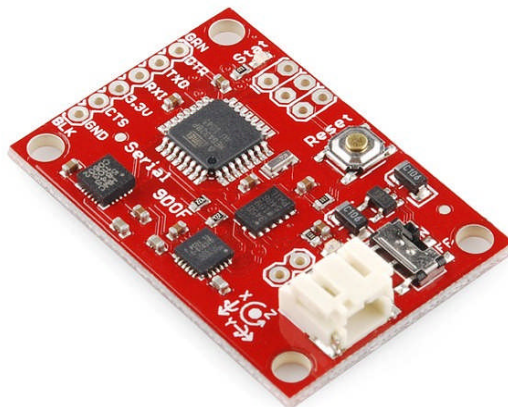


Figura 6. Sistema inercial Razor IMU-DOF-AHRS

4.3. Fase 3. Verificación

La verificación del sistema se llevó a cabo en uno de los pasillos de la Escuela de Ingenieros de Minas de la Universidad de Vigo. Dicha verificación incluye la realización de diversas trayectorias sobre puntos medidos previamente en el terreno con técnicas más precisas. Dichas trayectorias tienen forma de L y de óvalo y se pueden observar en la Figura 7. En dicha figura se puede ver como la trayectoria obtenida en base a dos *encoders* tiene una deriva de aproximadamente 60 cm al final de la L, y después de haber recorrido aproximadamente 32 m. La trayectoria calculada con el giróscopo del sistema inercial obtiene resultados similares, aunque la deriva se produce en sentido contrario. En lo que respecta a la prueba realizada con óvalos, los resultados del giróscopo y de los *encoders* son similares y las diferencias son de pocos centímetros.

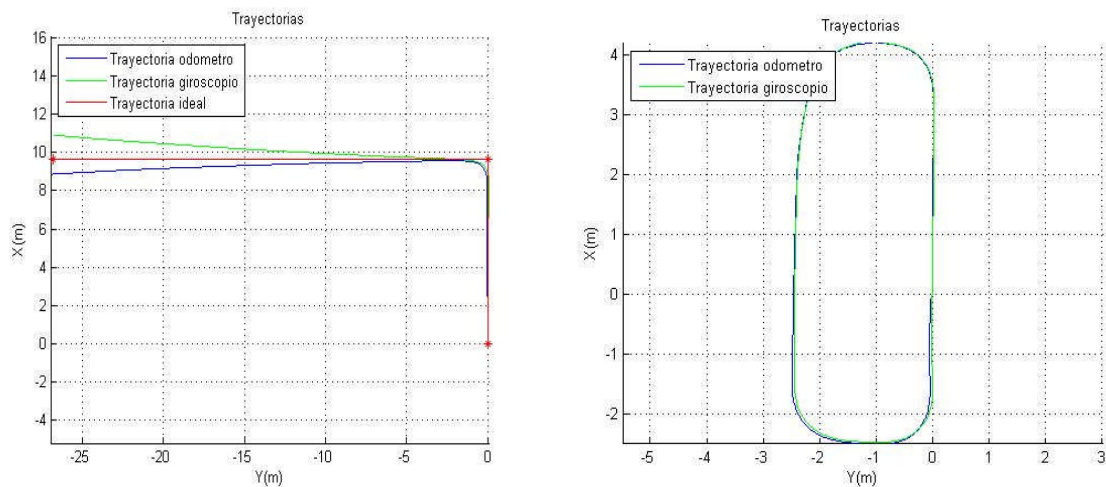


Figura 7. Trayectorias ejecutadas

4.4. Evaluación

Para la valoración final del PFC, se realizaron tres tipos de evaluaciones:

1) Una evaluación continua del alumno mediante reuniones periódicas fue realizada por los docentes tutores, verificando el cumplimiento de los tiempos de ejecución propuestos y los resultados conseguidos en cada fase. Además se analizan aspectos como la responsabilidad personal, la iniciativa y grado de implicación en el proyecto, y otros como la constancia o la capacidad para tomar decisiones.

2) Otra evaluación centrada en la realización del proyecto en sí, en la que el estudiante entrega el informe escrito del proyecto, con una defensa pública ante un tribunal y además debate y contesta aquellas cuestiones que sean formuladas.

3) Por último, una evaluación del grado de consecución de las competencias propuestas a través de la siguiente rúbrica de evaluación:

Competencias	Nivel de desempeño			
	Excelente (4)	Buena (3)	Regular (2)	Malo (1)
1) Diseño de un equipo de navegación indoor de bajo coste y aplicación correcta de las tecnologías y principios ingenieriles asociados				
1.1) Es capaz de diseñar el equipo	Supera las expectativas iniciales	Equipo diseñado correctamente	Pequeños errores en el diseño	Errores mayores en el diseño
1.2) Aplicación de criterios ingenieriles	Aplicación de los criterios superior a lo esperado	Buena capacidad en la aplicación de los criterios	Mínima capacidad	Incapacidad de aplicar los criterios
2) Aplicación de restricciones económicas y de métodos de optimización para llegar a la mejor solución en un problema complejo				
2.1) Define los objetivos y las variables de decisión	Nivel excepcional de desempeño	Nivel correcto en la definición de objetivos y variables de decisión	Definición pobre de los objetivos y las variables de decisión	Nivel deficiente en la definición de objetivos y variables de decisión
2.2) Utiliza métodos de optimización	Optimización que conduce a una solución única	Metodología de optimización correcta	Errores en la metodología empleada	No usa técnicas de optimización correctamente
3) Resolución de un problema complejo mediante su descomposición en actividades más sencillas que lo forman				
3.1) Reconoce problemas más sencillos integrados en el problema global	Capacidad superior para reconocer los componentes del problema global	Buena capacidad para descomponer un problema en sus partes	Poca capacidad para descomponer los componentes del problema	Incapacidad para reconocer los componentes del problema
4) Suficiencia en el uso de ordenadores, software y hardware reciente y bases de datos para la búsqueda de información				
4.1) Usa paquetes profesionales para obtener la solución	Uso eficiente del ordenador para obtener la solución	Usa el ordenador para obtener resultados correctos	Usa el ordenador pero la solución contiene errores	No usa el ordenador o lo hace incorrectamente
4.2) Capacidad para buscar información en la red	Capacidad superior. Consigue datos clave para el proyecto	Buena capacidad	Poca capacidad	Nula capacidad
5) Suficiencia en la comunicación oral y escrita de sus ideas y trabajos realizados				
5.1) Mecánica de la presentación	Confiado y claridad en la exposición	Buena presentación	Algo nervioso, actitud ligeramente insegura	Muy nervioso e inseguro
5.2) Presentación lógica	Contenidos muy bien organizados	La presentación demuestra buena comprensión	Algunos puntos son presentados fuera de orden	Totalmente desorganizado
5.3) Respuestas	Respuestas correctas y con matices	Respuestas correctas	Alguna respuesta es incorrecta	No responde o con evasivas
6) Capacidad para aprender tanto individualmente como durante el trabajo en equipo				
6.1) Capaz de aprender materiales no explicados	Hace análisis muy detallados	Estudia materiales no explicados en las asignaturas	Demuestra poca capacidad	No es capaz
7) Capacidad para realizar un trabajo con plazos de entrega				
7.1) Cumplimiento de plazos	Nivel excepcional de desempeño	Nivel correcto	Pequeños retrasos en las entregas	No cumple con los plazos

Tabla 2. Rúbrica de evaluación de competencias adquiridas durante la realización del PFC

5. Conclusiones

En este trabajo, se ha presentado una experiencia práctica que puede servir de ejemplo a la hora de implantar la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos en cualquier asignatura del ámbito de la telecomunicación.

El proyecto planteado al estudiante se ha ejecutado en tiempo y forma, cumpliendo con las especificaciones técnicas y económicas exigidas. Su desarrollo ha permitido al estudiante integrar diversas tecnologías para el diseño de un sistema de navegación de bajo coste, que puede ser de utilidad en muchas aplicaciones donde no se tiene cobertura GPS. Esta perspectiva resulta novedosa en lo que respecta tanto a la formación del alumno como al estado del arte actual, donde las investigaciones relativas al tema se han centrado, fundamentalmente, en la utilización de tecnologías muy caras y al alcance de muy pocos.

Se ha promovido el trabajo en un equipo multidisciplinar a través de la necesidad de coordinación con un Ingeniero Mecánico para la realización de los diseños CAD. Además, se ha favorecido la generación de capacidades de búsqueda y gestión de la información como ayuda a la toma de decisiones para el diseño. Estas habilidades y competencias desarrolladas durante la ejecución del PFC contribuirán al ahora ingeniero a reducir la distancia entre el mundo académico y el entorno industrial.

Sin duda, esta experiencia ha demostrado cómo el aprendizaje basado en proyectos permite al alumno implicarse más en su proceso de aprendizaje al abordar supuestos reales de cierta complejidad. Destacar por último que esta experiencia permite aportar datos sobre su viabilidad y aplicabilidad como actividad ABP en materias tecnológicas similares.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo muestran su agradecimiento a Iván Quintela Alonso por la ayuda prestada en los diseños CAD y durante el montaje del sistema. Además, agradecen al Ministerio de Economía y Competitividad (proyecto: BIA2009-08012), al Centro Tecnológico para el Desarrollo Industrial (proyecto: ISI-20101770) y a la Xunta de Galicia (beca: IPP055-EXP44) la financiación económica recibida.

Referencias bibliográficas

Aparicio, F., González, R. M. y Sobrevila, M. A. (2005). *Formación de Ingenieros. Objetivos, métodos y estrategias*. Instituto de Ciencias de la Educación, UPM.

Case, J. M. y Light, G. (2011). Emerging Methodologies in Engineering Education Research. *Journal of Engineering Education*, 100 (1), 186–210.

De Miguel, M. (2006). *Modalidades de Enseñanza centradas en el desarrollo de competencias*. Universidad de Oviedo.

Gallo, C. (2010). *The innovation secrets of Steve Jobs*. Mc Graw Hill.

Gwen, S. (2003). Project-based learning: a primer. *Technology and Learning*, 23 (6), 20-30.

Groves, P. D. (2008). *Principles of GNSS, inertial and multisensory integrated navigation systems*. Artech House.

Markham, T. (2003). *Project based-learning handbook*. Buck IFE.

Petri, G. (2010). Mobile mapping systems: An introduction to the technology. *Geoinformatics*, 13 (1), 32-43.

Roca, D. (2012). *Deseño, implementación e validación dun sistema de posicionamento en interiores de baixo custo baseado en xiroscopios, acelerómetros, magnetómetros e odómetros*. Universidade de Vigo.

Savery, J. R. y Thomas, M. D. (1995). Problem Based Learning: An instructional model and its constructivist framework. *Journal of Educational Technology*, 35, 31-38.

Woods, D. R. (1994). *Problem-based learning: How to gain the most from PBL*. Waterdown, Canada: DR Woods.

Wright, P. H. y Samaniego, Á. H. F. (2004). *Introducción a la Ingeniería*. Limusa Wiley.