

Aproximación al aprendizaje por proyectos en sistemas lineales de control

Edwin Núñez Ortiz^a, Liliana Fernández Samacá^{a,b*}, José Miguel Ramírez Scarpetta^a

(a) Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

(b) Escuela de Ingeniería Electrónica.

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia.

E-mail: lifersa@univalle.edu.co

(Recibido: Agosto 30 de 2008- Aceptado: Noviembre 20 de 2008)

RESUMEN

En este artículo se presenta la aplicación de la estrategia pedagógica de Aprendizaje por Proyectos en un curso de control de sistemas lineales, donde se busca el desarrollo de competencias profesionales. La orientación de los cursos del área se concibe a partir de tratar de dar respuesta a la pregunta: ¿Cómo resolver un problema de control a través de un proyecto?, esto podría involucrar elementos novedosos que le permiten al estudiante desarrollar competencias transversales desde un área que se considera técnica. En el diseño curricular se tienen en cuenta aspectos como el papel del docente y del estudiante, las competencias profesionales, el diseño de guías para el estudiante y el docente y los instrumentos de evaluación.

PALABRAS CLAVE: Aprendizaje por proyectos, Competencias transversales, Sistemas de control.

Project-based learning approach in linear control systems

ABSTRACT

This paper presents a Project-Based Learning (PBL) approach that is applied to the designing of a Linear Control Systems course for developing professional competences. The courses in Control Systems are conceived through the next question: How to solve Control Systems problems through a project?, the answer could involve novel methodological elements to develop general competences in a technical area, that is not usual. This paper present curricular aspects that consider many features such as the instructor and student roles, the professional competences and the design of the tutorials using PBL, specifying methodologies for developing and for evaluation of courses.

KEYWORDS: *Project-Based Learning, Transversal Competences, Control Systems.*

1. INTRODUCCIÓN

La propuesta aquí presentada surge como respuesta a los retos impuestos a nivel nacional e internacional en la formación de ingenieros, para que atiendan las nuevas necesidades que impone la globalización, siendo lo suficientemente sensibles a las necesidades de su entorno inmediato. Se propone una formación integral para el desarrollo de competencias transversales a través del enfoque pedagógico de Aprendizaje por Proyectos; ésta es una estrategia de formación enmarcada dentro de los lineamientos de la Educación Activa, que se basa en el desarrollo de un proyecto donde el elemento desencadenador del proceso de aprendizaje es un problema en un contexto real, lo que le permite al estudiante desarrollar las competencias específicas y las transversales como: aprendizaje autónomo, trabajo en equipo, expresión oral y escrita, etc...

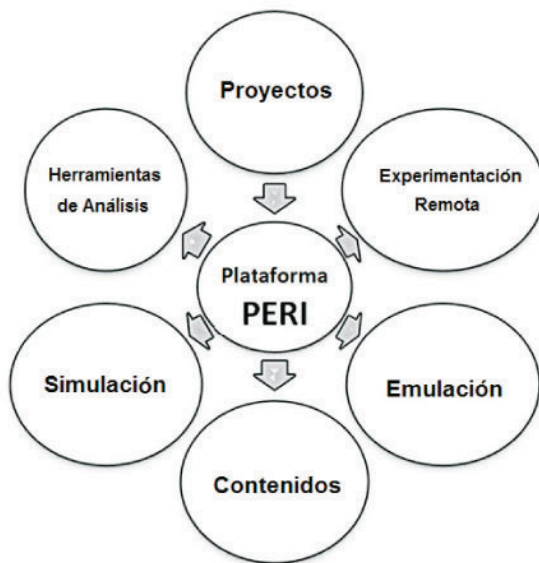


Fig.1. Plataforma de Experimentación Remota

El área de Sistemas de Control de la Universidad del Valle he desarrollado herramientas de aprendizaje para ser implantadas en la Plataforma de Experimentación Remota para Educación en Ingeniería (PERI), dentro del Proyecto de investigación “Procesamiento Distribuido con Acceso Remoto Multiusuario y Emulación de

Sistemas Dinámicos, para Investigación y Educación en Ingeniería” [1], el cual es desarrollado por los Grupos de Investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes (PSI) y en Control Industrial (GICI). Entre las herramientas se encuentran mapas conceptuales para exploración de contenidos, elementos de simulación para aprender conceptos y herramientas de emulación y de experimentación que aproximan al estudiante a una situación real (Ver figura 1).

2. EL APRENDIZAJE POR PROYECTOS EN INGENIERÍA

En el Aprendizaje por Proyectos o basado en proyectos (ApP) el estudiante busca los recursos y desarrolla las actividades que se necesitan para resolver un problema a través de un proyecto. En el ApP, al igual que en el aprendizaje basado en problemas (ABP), los estudiantes abordan los conceptos cuando los requieren, contrario a la metodología tradicional donde se presentan los conceptos y procedimientos, pero en la mayoría de los casos no se observa su aplicación de forma inmediata.

Esta estrategia fue desarrollada a partir de las ideas del filósofo norteamericano John Dewey [2], quien se caracterizó por una posición pragmática dentro del proceso formativo del estudiante y con gran espíritu social y democrático. Dewey plantea que el desarrollo de proyectos no busca solamente el aprender acerca de algo, sino que también es importante la forma como se hacen las cosas para la búsqueda de ese conocimiento, y que por lo tanto no es correcto separar el hacer del saber.

Por lo anterior, el ApP resulta ser una estrategia pedagógica útil en la formación en ingeniería ya que permite desarrollar en el estudiante diferentes clases de competencias. En [3] se dice que: “El proyecto tendrá unos datos de partida, unos resultados a obtener, unas restricciones y unos condicionantes, todo ello exigirá el aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes mediante los cuales será posible conseguir los objetivos del mismo”. De esta definición se puede resaltar el desarrollo de competencias cognitivas, instrumentales y actitudinales.

En la metodología a implementar se considera que el elemento desencadenador es el problema y el proyecto es el camino de solución.

Las principales características del aprendizaje por proyectos, o basado en proyectos, que lo destacan como estrategia pedagógica para educar por competencias a estudiantes de ingeniería, en las que se coincide con [3], son:

- Permite la adquisición de competencias de diversa índole.
- Introduce el contexto de aprendizaje en un entorno real.
- Exige al estudiante un papel más activo.
- Cambia el rol del profesor al de facilitador del proceso de aprendizaje y al de consultor de alta especialización y supervisión.
- Permite optimizar el grado de atención individualizada que se ofrece a los estudiantes.

Por otra parte en el proyecto PERI se definieron cinco factores relevantes para ApP [4], de los cuales cuatro están asociados con el estudiante, estos son:

- Trabajo en Equipo
- Aprendizaje Autónomo
- Metodología en la solución de Problemas
- Expresión Oral y Escrita

El quinto factor está relacionado con la infraestructura que debe tener la Institución de Educación Superior para desarrollar ApP y es denominado recursos físicos y tecnológicos.

3. LA FORMACIÓN EN SISTEMAS LINEALES DE CONTROL

Los sistemas lineales de control en la ingeniería son un área interdisciplinaria encargada del modelado, el análisis y el diseño de sistemas de control. El primer aspecto hace referencia a cómo obtener una representación del sistema ya sea a través de modelos matemáticos o lingüísticos o su combinación, necesaria para facilitar el análisis del sistema. El segundo, permite establecer las relaciones entre las variables y los elementos, y su comportamiento o tendencia en el dominio del tiempo o la frecuencia. Y el último, se relaciona con la implantación de reglas o algoritmos que rijan el comportamiento de las variables de acuerdo con especificaciones predeterminadas. En resumen, el 'problema de control' es encontrar las entradas adecuadas (señal de control) para el proceso (planta), para lograr un comportamiento (salidas) deseado (referencias), a partir del comportamiento observado (bloque de medición) en las salidas (Ver figura 2). Los temas tratados requieren conocimientos de física, matemáticas, mecánica, química, electrónica, etc., y pueden ser aplicados en cualquiera de las anteriores disciplinas e incluso en otros campos como la sociología, la psicología, la economía, etc.

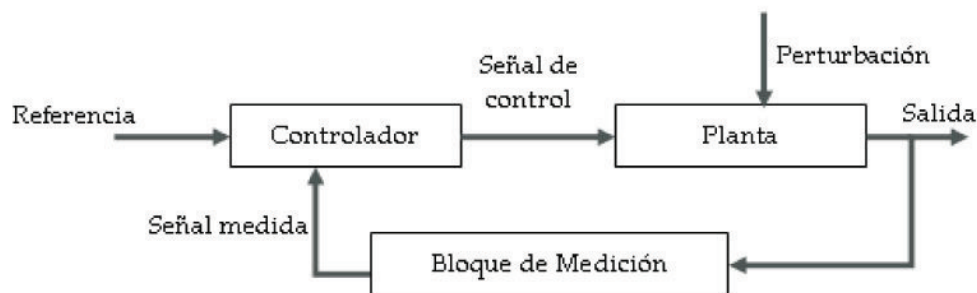


Fig.2. El problema de control

En aplicaciones reales además del modelado, el análisis y el diseño, se debe tener en cuenta la tecnología a implementar, la compatibilidad con tecnologías anteriores, el costo de la solución planteada, las prestaciones de la estrategia diseñada, el tiempo de ejecución del proyecto y otros aspectos como el impacto social, el manejo de personal, la seguridad industrial, el trabajo en equipos interdisciplinarios, etc. De esta manera, para solucionar un problema de control se requieren muchos elementos que no atañen exclusivamente a los sistemas lineales de control, sino que requieren el desarrollo de competencias transversales que le permitan al futuro profesional trabajar en equipo, hacer un buen uso del tiempo y los recursos, presentar informes, innovar, liderar, administrar y gestionar proyectos, etc.. Competencias que se pueden desarrollar desde un área técnica cuando se implementa una metodología como el ApP.

4. EL CURSO DE SISTEMAS LINEALES DE CONTROL A TRAVÉS DEL APRENDIZAJE POR PROYECTOS

Se reflexiona sobre las prácticas pedagógicas utilizadas regularmente en la enseñanza del control y se evalúan escuelas como la tradicional y la activa, se establece la necesidad de migrar a la pedagogía activa y darle mayor protagonismo al estudiante, buscando el desarrollo de habilidades y valores acordes a las necesidades de la sociedad [5]. Además, se desea lograr el aprendizaje significativo mediante la combinación de la teoría y la práctica.

Teniendo en cuenta que el ApP responde satisfactoriamente a las necesidades planteadas en la formación en el área, se decide diseñar un curso que involucre estos elementos y aunque no es un curso diseñado por competencias, se desea a través del ApP desarrollar en el estudiante competencias de tipo transversal. En el diseño del curso se definen elementos metodológicos y herramientas de apoyo.

4.1 Elementos Metodológicos

Para la implementación de la estrategia se parte de los objetivos de aprendizaje, teniendo en cuenta el

contexto donde se desenvuelven los ingenieros relacionados con tareas afines a los sistemas de control y considerando la solución de problemas prácticos.

4.1.1 Objetivos de Aprendizaje:

Se presentan los objetivos de aprendizaje propuestos para el curso:

- Capacitar al estudiante para la identificación, el análisis y el diseño de sistemas de control lineal análogo y discreto, con representación de entrada-salida o de estado [6].
- Desarrollar los conocimientos y las habilidades para afrontar los procesos de identificación y solución de problemas a través de proyectos de sistemas de control.
- Desarrollar en el estudiante la capacidad de aprendizaje autónomo, de expresión oral y escrita, la ejecución de proyectos y el trabajo en equipo.

4.1.2 Fases de los proyectos en sistemas de control:

Las actividades en la asignatura se plantean para desarrollar un proyecto que resuelve un problema similar a los encontrados en la vida profesional de un ingeniero que trabaje en el área de control. En relación con el proceso de desarrollo del conocimiento, las habilidades y los valores, los grupos de trabajo deberán cubrir las siguientes tres fases [7] para cada proyecto:

- Analizar cualitativamente el sistema y la viabilidad técnico-económica de la solución.
- Modelar el sistema a controlar mediante funciones de transferencia o espacio de estados y analizar cuantitativamente el sistema en el dominio del tiempo y de la frecuencia [6].
- Realizar el diseño e implementación de la ley de control en el sistema estudiado teniendo en cuenta el impacto social y ambiental.

Se busca además que haya interacción entre los diferentes equipos conformados, de tal forma que



Fig.3. Ciclo de trabajo del ApP

cada una de las etapas del proyecto sea realizada por un grupo diferente. Los equipos estarán conformados por máximo cuatro estudiantes y para la ejecución del proyecto se les propone el ciclo mostrado en la figura 3, basados en las propuestas presentadas en [8] y [9].

4.1.3 Competencias a desarrollar:

Entre otras, las competencias profesionales para el desarrollo del curso de sistemas de control implementando el ApP, se encuentran: Capacidad de información y comunicación, capacidad investigativa y de análisis, capacidad para aplicar el conocimiento científico-técnico, capacidad de síntesis de objeto y sistemas tecnológicos, capacidad de pensamiento orientado a la resolución de problemas, capacidad para trabajar en equipo y capacidad de visión global del contexto socio-tecnológico y económico.

Tabla 1. Actividades e Instrumentos de Evaluación

Actividad	Instrumentos
Examen *	Prueba escrita
Entrenamiento**	Lista de chequeo
Presentación pública de resultados	Coevaluación – Formatos para evaluación de presentaciones orales
Autoevaluación	Formato al final del curso
Coevaluación	Formato (Trabajo en equipo) al final del curso

*Sólo para el curso de teoría. **Sólo para el curso de laboratorio

4.1.4 Guía del docente y del estudiante:

Contienen los elementos metodológicos de la implementación del ApP. En estos documentos se encuentran: la presentación del curso, los objetivos de aprendizaje, los logros de aprendizaje, la metodología del ApP, los instrumentos y actividades de evaluación para la apreciación del aprendizaje y los problemas a resolver. Al contrario de lo usual, no presenta un contenido programático definido, ya que el camino que se establezca para la solución del problema es decisión del estudiante. También, contiene los recursos, las herramientas tecnológicas disponibles y el plan de trabajo del semestre. La figura 4 muestra un ejemplo de la programación del curso.

4.1.5 Instrumentos de Evaluación:

Para el proceso de evaluación, es necesario utilizar instrumentos poco comunes en el área de formación técnica, entre los que están: sustentaciones de avances a través de presentaciones orales, desarrollo de mapas conceptuales, informes técnicos, formatos de participación, etc.. Las actividades de evaluación brindan un espacio donde el estudiante tiene la posibilidad de analizar el desempeño de sí mismo (Autoevaluación), evaluar el proceso realizado por sus compañeros (Coevaluación), ser evaluado y evaluar la metodología y el papel del tutor (Heteroevaluación). Las actividades y los instrumentos de evaluación se presentan en la tabla 1.

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4		Semana 8	Semana 9	
Teoría	Tutoría Presentación del curso Asignación del Problema	Tutoría Entrega de reportes escritos (Etapa 1)	Presentación pública de resultados (Etapa 1)	Tutoría		Taller	Examen	
Laboratorio		Entrenamiento Bucla Típica		Entrenamiento Curva de reacción				

Fig. 4. Programación del curso

4.2 Herramientas Tecnológicas de Apoyo

Uno de los propósitos del proyecto PERI es ofrecer herramientas de apoyo a la labor docente, que permitan la implementación de estrategias de aprendizaje como el ApP, donde se le ofrezca al estudiante la posibilidad de aprender conceptos, analizar, simular y emular sistemas.

4.2.1 Herramientas para el aprendizaje de Conceptos:

- **Mapas Conceptuales**, son diseñados para que ayuden al estudiante en la exploración de los conceptos dentro de la plataforma de enseñanza PERI, y le permitan orientar el camino para contestar la pregunta ¿Cómo resolver un problema de Control a través de un proyecto?
- **Presentaciones dinámicas**, donde el docente presenta conceptos esenciales pero no existe interacción por parte del estudiante.
- **Animación interactiva de conceptos**, en este caso el estudiante puede interactuar modificando el valor de los parámetros y observar de forma dinámica el resultado de los cambios realizados, por ejemplo, conocer la respuesta al escalón de un sistema de segundo orden y permitir la variación del coeficiente de amortiguamiento para entender la diferencia entre sistemas subamortiguados, críticamente amortiguados y sobreamortiguados [5]. Pueden ser tan elaboradas que permitan simular situaciones reales contextualizado el aprendizaje [10]–[13].

4.2.2 Analizador:

Contiene las herramientas matemáticas necesarias para realizar el análisis de modelos de sistemas lineales.

4.2.3 Simulador:

En el caso de un sistema de control, el simulador debe permitir la construcción del modelo, la aplicación de técnicas de análisis como Nyquist, Bode, Nichols, Lugar de las raíces, etc., y la implementación de controladores PID. Actualmente, se cuenta con una gran oferta de simuladores que cumplen estos requisitos, entre otros están Matlab-Simulink, Octave y Scilab, pero el objetivo perseguido en el proyecto es contar con un Simulador dinámico a través de la Web como el presentado en [14]. Lo anterior debido a que en la implementación de una metodología como el ApP se desea que cada grupo establezca su ritmo y espacio de trabajo, accediendo de forma remota a las herramientas de análisis y diseño a la hora que crea conveniente.

4.2.4 Emulador:

Esta herramienta le permite al estudiante ejecutar en tiempo real modelos de sistemas con el fin de observar el comportamiento que tendrían las señales en el ejercicio real. Adicionalmente, la plataforma PERI permite que el estudiante experimente de forma remota con plantas piloto del laboratorio de automática de la Universidad del Valle.

5. CONCLUSIONES

Competencias como expresión oral y escrita, sensibilidad a lo social, trabajo en equipo, generalmente han sido cultivadas desde las humanidades y las áreas técnicas se han dedicado a la transferencia de conocimiento disciplinar o específico. Los nuevos retos que se imponen a nivel mundial en la formación de ingenieros muestran que la educación desde las áreas técnicas debe ser concebida de forma integral, de tal manera que contribuya con el desarrollo de competencias de tipo transversal. El Aprendizaje por Proyectos responde a estas nuevas necesidades de formación.

El diseño del curso de sistemas de control lineal presentado en este trabajo, involucra aspectos metodológicos y herramientas de apoyo relacionadas con la aplicación de la estrategia pedagógica del ApP en esta área. En el aspecto metodológico se definen elementos como objetivos, fases de desarrollo del proyecto, guías de orientación, evaluación y competencias a desarrollar. En las herramientas de apoyo se hace referencia a recursos tecnológicos como animaciones interactivas, simuladores, emuladores, etc., los cuales se incluirán en la Plataforma de enseñanza PERI.

En la Educación Activa el papel que juega el profesor en la implantación de metodologías como el Aprendizaje por Proyectos es muy importante, ya que el diseño curricular y de las actividades orientadas a la motivación del estudiante, implican un arduo trabajo y gran responsabilidad en la ejecución de la estrategia pedagógica.

Actualmente, se están desarrollando las herramientas de apoyo a la metodología y aplicando las pruebas del protocolo de validación de la plataforma. Para la validación del protocolo se diseñó un instrumento (encuesta) que indaga por la formación de competencias transversales y la utilización de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en la formación en sistemas de control.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia Francisco José de Caldas "COLCIENCIAS, entidad cofinanciadora del Proyecto PERI.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] J. Ramírez, E. L. Caicedo, C. Pinedo, C., E. Bacca y C. Ramos. *A platform for signals and systems internet-based education*. Inted conference. Valencia, España, 2008

[2] R. Westbrook, *John Dewey (1859-1952)*. Revista Trimestral de Educación Comparada, Paris, UNESCO: Oficina Internacional de Educación, Vol 23, No.1-2, pp. 289-305, 1993.

[3] F. Miralles, D. Sala e I. Gallego, *Integración de Competencias profesionales y técnicas en ingeniería: factores clave*. Departament de Tecnologia, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, pp. 11, 2004.

[4] L. Fernández y J. Ramírez, *Diseño de un instrumento para evaluar el impacto del aprendizaje por proyectos en ingeniería*. VII Congreso de la Asociación Colombiana de Automática ACA, 2007.

[5] C. Ramos y J. M. Ramírez, *Principales tendencias de la educación en ingeniería, una mirada al control*. VI congreso Nacional de la ACA, Noviembre 11 al 13, Corporación Universitaria de Ibagué, 2004.

[6] K. Ogata, *Ingeniería de control moderno*, Prentice Hall 3ª edición, 1998.

[7] E. Núñez y J. Ramírez, *El aprendizaje por proyectos aplicado a la educación en sistemas de control*. VII Congreso de la Asociación Colombiana de Automática ACA, 2007.

[8] R. Tippelt y H. Lindemann, *El método de proyectos*. El Salvador, München Berlin. 2001. Consultado el 20 de febrero de 2007 en: <http://www.halinco.de/html/doces/Met-proy-APREMAT092001.pdf>.

[9] S. Tobón, *Método de trabajo por proyectos*. Madrid: Uninet, 2006.

[10] J. González y R. Wagenaar, (Editores), *Tuning educational structures in europe, informe Final fase uno*, Universidad de Deusto y Universidad de Groningen, pp 79-84, 2003.

[11] O. Corvalán y G. Hawes, *Aplicación del enfoque de competencias en la construcción curricular de la Universidad de Talca* pp 17-20, 2005.

[12] ACOFI, *Marco de fundamentación conceptual y especificaciones de prueba ECAES*, Capítulo 5, Definición y caracterización de competencias y componentes del ECAES en Ingeniería, 2005.

[13] ACIEM, *Caracterización profesional de ocho especialidades de la ingeniería – competencias y funciones de los profesionales recién egresados*, Consejo Profesional Nacional de Ingenierías Eléctrica, Mecánica y Profesiones Afines (CPN), Capítulos 2 y 3, 2006.

[14] C. Ramos y J. M. Ramírez, *Plataforma para educación virtual basada en problemas en Ingeniería de Control*, Conferencia Internacional en Sistemas, Cibernética e Informática CISCI, Orlando, USA, 2005.