Project-Based Learning Environment for Control System Education

Entorno de Aprendizaje basado en Proyectos para Sistemas de Control

Liliana Fernández Samacá*, José Miguel Ramírez Scarpetta+, Oscar Rodríguez*, Edinson Franco Mejia+

* Processing Signal Research Group DSP-UPTC, Electronics Engineering School, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia.
+ Industrial Control Research Group GICI, Electrical and Electronics Engineering School, Universidad del Valle, Cali, Colombia

Email: liliana.fernadez@uptc.edu.co, jose.ramirez@correounivalle.edu.co, oscar.rodriguez@uptc.edu.co, edinson.franco@correounivalle.edu.co

Abstract

This paper presents a Project-Based Learning environment for the Control System Education, which was developed in order to facilitate the learning, develop technical skills and strengthen transversal skills of students. The PBL environment takes into account no only a PBL approach for control courses but also the support resources for carry out different academic activities, among these resources are simulators, emulation and remote experimentation tools, applets for learning concepts and a e-book. The proposed PBL approach considers elements like objectives, problem characteristics, learning outcomes, student assessment, space and organization, faculty staff and progression size and duration of the project. In order to describe the PBL environment, the paper presents a comparison of the application of the PBL approach in two Colombian Universities by highlighting the achievements and constrains at each institution. Although the PBL approach considers the same elements and has similar learning objectives in the both Universities, their contexts determine how to use the resources available on the PBL environment.

Keywords: Project-Based Learning Environment; Control Education; Emulation Tools, Remote Experimentation; Virtual Simulator.

Resumen

Este artículo describe un Entorno de aprendizaje basado en proyectos para Sistemas de Control, el cual se desarrolló con el fin de facilitar el aprendizaje de los temas de control, desarrollar habilidades técnicas y fortalecer las competencias transversales de los estudiantes. El Entorno PBL tiene en cuenta el diseño de un enfoque PBL para los cursos de control y los recursos de apoyo necesarios para llevar a cabo las diferentes actividades académicas, entre los recursos están simuladores, herramientas de emulación y experimentación remota, un laboratorio personal y un libro electrónico. El enfoque PBL propuesto considera elementos como los objetivos del curso, las características de los problemas, los resultados de aprendizaje, la evaluación de los estudiantes, el espacio y la organización de las instituciones, los docentes y el tipo y duración del proyecto. Con el fin de describir el Entorno PBL diseñado, en el documento se compara la aplicación del enfoque PBL propuesto en dos universidades colombianas resaltando los alcances y limitaciones en cada institución. Aunque el enfoque considera los mismos elementos y en general tiene los mismos objetivos de aprendizaje en las dos Universidades, las características de cada institución determinan la forma como los recursos del Entorno PBL diseñado son utilizados.

1 Introducción

Los Sistemas de Control son considerados en la ingeniería como un área interdisciplinar y transdisciplinar encargada del modelado, el análisis y el diseño de sistemas de control. La educación en Sistemas de Control se caracteriza por tener un enfoque teórico con una alta abstracción matemática en el modelado para la comprensión de la dinámica de los sistemas y el diseño de controladores, y una formación práctica exigente que se orienta a desarrollar capacidades para la aplicación del conocimiento en el desempeño profesional.

Entre los documentos que se consideran más relevantes relacionados con la educación en control, se encuentran en Antsaklis et al., 1999; Dormido 2004; Liliana Fernández-Samacá, Ramírez, & Orozco-Gutierrez, 2012; Kheir et al., 1996; Murray, 2002; Pereira, 2008; Samad & Annaswamy, 2011; en estos trabajos los autores presentan diferentes análisis sobre los alcances, desafíos, éxitos, usos, logros y tendencias de los Sistemas de Control, información que es de gran ayuda para promover la discusión sobre cómo debería ser la educación

en control y definir metodologías que apunten a la formación en este campo. De los artículos y documentos anteriores se puede observar la necesidad de metodologías y enfoques que promuevan una educación que: *i)* equilibre la educación en matemática y la educación en la disciplina (teoría y práctica) (Kheir et al., 1996), *ii)* esté de acuerdo con las necesidades de la industria y los requisitos para trabajar en este campo profesional, *iii)* estimule el desarrollo de competencias transversales (Liliana Fernández-Samacá et al., 2012), iv) utilice las nuevas tecnologías y los recursos basados en la web (Dormido, 2004), *v)* que se pueda expandir a otros campos de formación diferentes a la ingeniería para satisfacer los requerimientos de los nuevos campos de investigación, *vi)* que permita enfrentar los desafíos y solucionar los problemas de forma interdisciplinar (Samad & Annaswamy, 2011), y *vii)* que aproveche la educación de la primaria y la secundaria como escenario para motivar su estudio, el de las matemáticas y las ciencias (Murray, 2002).

El Aprendizaje Basado en Proyectos (en inglés *Project-Based Learning*, PBL) resulta una buena alternativa para enfrentar las necesidades de la educación en control, con el fin de contribuir con los desafíos que tiene la formación en este campo. Es así, como el Grupo de Investigación en Control Industrial (GICI) de la Universidad del Valle (UV) y el Grupo de Investigación en Procesamiento de Señales de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (DSP-UPTC) se unen con el fin de desarrollar un Entorno de Aprendizaje que permita la aplicación del PBL en los cursos de Sistemas de Control de los programas de Ingeniería Electrónica de las dos universidades. Esta investigación es financiada por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno Colombiano (COLCIENCIAS) y toma como base la experiencia desarrollada por el grupo GICI a través de proyectos de diseño de plataformas de educación como el presentado en (Ramírez, Caicedo, Pinedo, Bacca, & Ramos, 2008) y del Diseño de un Enfoque Basado en Proyectos para Sistemas de Control descrito en (Liliana Fernández-Samacá et al., 2012).

Este artículo se centra, principalmente, en la descripción del Entorno de Aprendizaje Basado en Proyectos a partir de la comparación de la aplicación de un Enfoque PBL para Sistemas de Control en las dos universidades co-ejecutoras del proyecto de investigación, aunque las dos instituciones son de carácter público y los cursos considerados en la investigación pertenecen al mismo campo de la ingeniería, se observa cómo los contextos, la normatividad de las universidades y los recursos de apoyo delimitan la aplicación del PBL en cada institución.

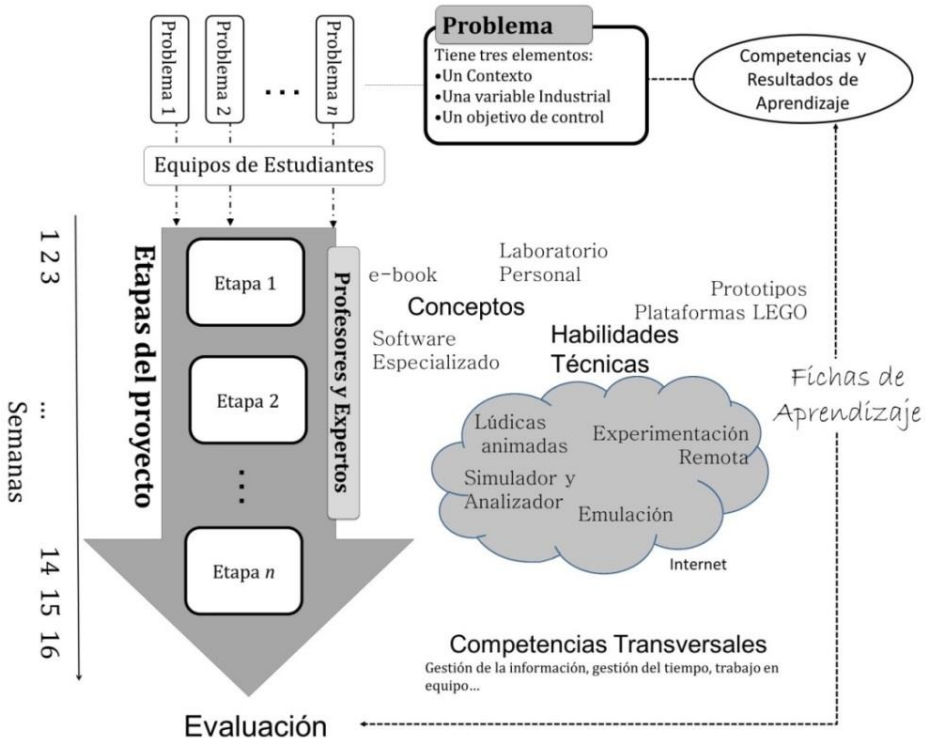

Figura 1. Entorno de Aprendizaje Basado en Proyectos para Sistemas de Control

El Entorno PBL diseñado considera dos dimensiones: 'la pedagógica' que está definida por el diseño del Enfoque PBL y 'la de infraestructura' determinada por el diseño de los recursos de apoyo al aprendizaje. De

esta manera, el Entorno PBL diseñado contiene el diseño general de los cursos, la forma cómo el PBL puede ser aplicado y los recursos que se pueden utilizar. Tanto el enfoque PBL como los recursos son desafíos importantes, el primero por desarrollar una alternativa PBL para cursos específicos dentro de currículos tradicionales y el segundo por encontrar soluciones que permitan tener nuevas herramientas que satisfagan las necesidades de un Enfoque PBL en correspondencia con su filosofía. La dimensión de la 'infraestructura' está fuertemente atada con la 'pedagógica' manteniendo una relación de reciprocidad que se conserva en el diseño de todo el Entorno. La Figura 1 contiene un esquema que resume la forma como se encuentra constituido el Entorno de Aprendizaje Basado en Proyectos para Sistemas de Control y la relación entre las dos dimensiones que los constituyen.

El resto del artículo se encuentra organizado como sigue: la Sección 2 contiene la comparación de la aplicación del enfoque, la Sección 3 describe los recursos de aprendizaje; finalmente, la Sección 4 contiene las conclusiones que se basan en las observaciones realizadas desde ambos contextos universitarios.

2 El Enfoque PBL en la UV y la UPTC

En esta sección se compara la forma como se aplicó el Enfoque PBL propuesto en la Universidad del Valle (UV) y en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Para realizar la comparación se utilizó el modelo propuesto en Kolmos, De Graaff, & Du, 2009 que tiene en cuenta siete elementos para describir un currículo que utiliza PBL (PBL *alignment of elements in the curriculum*). Estos elementos son: 1) Objetivos y conocimiento; 2) Tipos de problemas, proyectos y clases; 3) Progresión, tamaño y duración; 4) Aprendizaje de los estudiantes; 5) Personal académico; 6) Espacios y organización y 7) Evaluación de los estudiantes.

En las dos universidades el enfoque PBL ha sido desarrollado para los cursos de control del programa de Ingeniería Electrónica. En el currículo de la UV, el área de control está conformada por cuatro cursos (dos teóricos y dos de laboratorios. En el programa de Ingeniería Electrónica de la UPTC, hay dos cursos de control teórico-prácticos con tres créditos académicos cada uno. En las dos instituciones, los cursos se desarrollan en dos niveles en semestres de 16 semanas.

2.1 Objetivos y conocimiento

Los objetivos propuestos para los cursos de control son similares en las dos Universidades y se centran en: modelar y analizar sistemas lineales de control analógicos y discretos en el dominio del tiempo y la frecuencia, con representación entrada-salida o en el espacio de estados, tomando como ejemplos sistemas eléctricos, de gases, de fluidos, mecánicos y térmicos; diseñar controladores PID y RST utilizando la teoría de control clásica en la que se incluyen la ubicación de polos, el análisis del lugar geométrico de las raíces y la respuesta en frecuencia; diseñar controladores y observadores de estado para los sistemas descritos por modelos en variables de estado. En este enfoque PBL, el desarrollo de competencias transversales como: trabajo en equipo, auto-aprendizaje, habilidades comunicativas, recursividad y resolución de problemas se incluyen como un objetivo del curso.

2.2 Tipos de problemas, proyectos y clases

2.2.1 Problema

El enfoque PBL parte de la definición del problema, el cual es propuesto por los profesores del curso al inicio del semestre a partir de un contexto, una variable y un objetivo de control. Los problemas pueden ser del del contexto local, en el control de una variable de la industria regional, y los de control de un prototipo de laboratorio. Los primeros buscan que los estudiantes conozcan su entorno inmediato; por ejemplo, problemas de las industrias locales; estos problemas generalmente requieren la emulación del sistema (proyecto 1) o la construcción de un prototipo de laboratorio (proyecto 3). Los segundos se enfocan en profundizar en el análisis de un caso de estudio conocido (proyecto 2), utilizando recursos de experimentación existentes en el laboratorio.

2.2.2 Proyecto

El proyecto es el eje del enfoque PBL, los tipos de proyectos dependen de los tipos de problemas. Actualmente, se trabajan tres tipos de proyectos, el proyecto 1 utiliza como recurso principal la emulación del sistema, el proyecto 2 utiliza como recurso de experimentación un prototipo ya construido y el proyecto 3 tiene como objetivo la construcción de un prototipo. A continuación se presentan dos ejemplos de problemas que conducen a la ejecución de diferentes proyectos:

Problema: Control de oscilaciones en sistemas de transmisión de energía eléctrica (UV)	
En la transmisión de energía eléctrica existen múltiples generadores, redes y cargas entre las que se encuentran grandes motores en sistemas productivos; estos sistemas de potencia presentan problemas de estabilidad, con oscilaciones en la transmisión de energía eléctrica, limitándola con su correspondiente penalidad económica. Si se analiza solo una fuente suministrando energía a una carga rotativa, el sistema se puede representar como dos masas inerciales y un resorte; este acople incorpora modos de oscilación que deben ser corregidos por los sistemas de control.	
Asesor Asociado: José Miguel Ramírez- Daniel Ruiz	**Emulación.** (Tipo 2)

Problema 3. Sistema de control de temperatura (UPTC)	
En el sector alfarero del nororiente de la ciudad de Sogamoso se utilizan hornos de llama invertida para cocción de los productos (teja y ladrillo), en este proceso se utilizan diferentes perfiles de temperatura para asegurar características estéticas y de resistencia acordes a los usos definidos para los diferentes productos. Diseñe un sistema de control para el seguimiento de perfiles de temperatura.	
Asesor Asociado: Oscar Oswaldo Rodríguez	**Desarrollo de prototipo.** (Tipo 3)

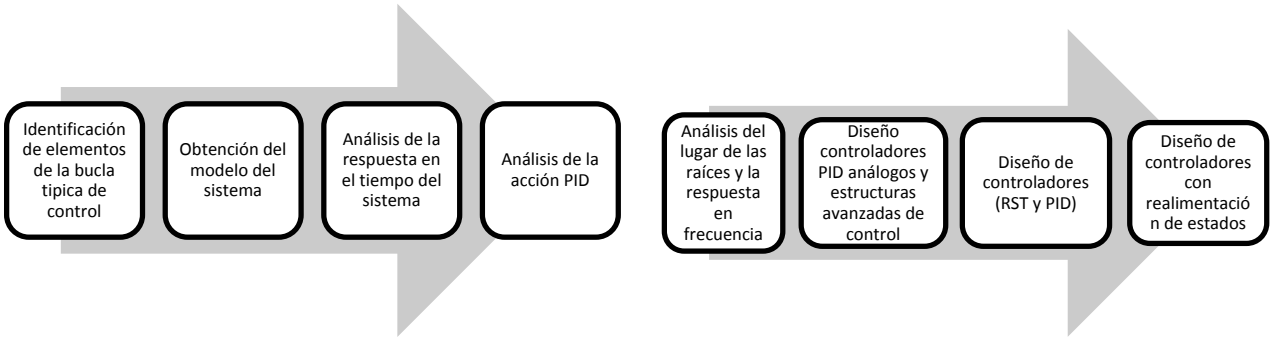

Figura 2. Etapas del proyecto en el Enfoque PBL de la Universidad del Valle

El proyecto es ejecutado en etapas durante dos semestres. El número de etapas y el tipo de proyectos utilizados varía de acuerdo con la Universidad. En la UV se desarrollan principalmente proyectos Tipo 1 y 2 y en la UPTC proyectos Tipo 3.

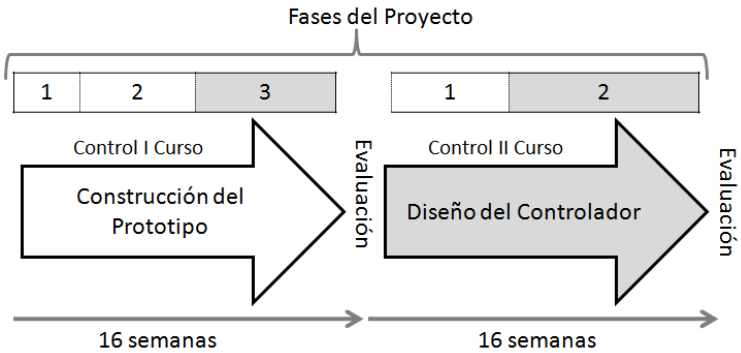

Figura 3. Desarrollo del Proyecto en el Enfoque PBL de la UPTC

Por ejemplo, en la UV se utilizan cuatro etapas, en el primer curso estas corresponden a la Identificación de elementos, la Obtención del modelo, el Análisis en el tiempo y la Sintonización de controladores PID, ver Figura

2. En la UPTC, para el primer nivel se utilizan tres etapas relacionadas con la Construcción del prototipo, que incluye la Identificación de elementos, el Modelado del sistema y el Ajuste controladores PID, ver Figura 3.

2.2.3 *Clases*

En las clases, las actividades más innovadoras son las actividades lúdicas 'manos a la obra' (*Hands-On*); estas permiten que los estudiantes comprendan los nuevos temas de una manera divertida, y de la misma forma que el PBL promueven el aprendizaje activo, (L. Fernández-Samacá, Orozco-Gutiérrez, & Ramírez, 2009) y (L. Fernández-Samacá & Ramírez, 2011). Para el entorno PBL se han desarrollado 'applets' en Java® con lúdicas animadas (Ramirez-Ramirez, Ramirez-Scarpetta, & Fernandez-Samaca, 2013), estas se basan en el modelo propuesto en L. Fernández-Samacá & Ramírez, 2011 que considera un juego en el salón de clase para aprender conceptos teóricos, pero actualmente los juegos están disponibles en Internet http://eieela.univalle.edu.co/ludicas_animadas/menu_ludicas.html. Los estudiantes trabajan con las animaciones antes de la presentación del contenido temático y en comparación con las lúdicas desarrolladas en el salón de clase, las lúdicas animadas permiten que los estudiantes recreen el juego una y otra vez. Igualmente, el diseño del entorno consideró el desarrollo de un libro electrónico, como recurso de autoformación para el aprendizaje de los conceptos y contenidos, bajo un enfoque PBL.

2.3 Progresión, tamaño y duración

En la Universidad del Valle, los estudiantes dedican 108 horas por semestre a las actividades relacionadas con el proyecto, este número de horas corresponde al 56% de las actividades realizadas en los cursos. La duración de cada etapa varía de acuerdo con los objetivos y la complejidad de las tareas que los estudiantes deben realizar. En la UPTC, se tienen como actividades centrales, la construcción del prototipo y el diseño de controladores, los estudiantes dedican 80 horas por semestre a las actividades del proyecto, este número equivale al 55% del total de horas programadas en el curso; generalmente, los proyectos se desarrollan por equipos de dos o tres estudiantes. Los profesores determinan la forma como estos equipos son conformados y el equipo se mantiene durante todo el semestre.

Tabla 1: Etapa 2. Modelo del sistema. Ficha de aprendizaje para el tema Función de Transferencia

Etapa 2: Función de Transferencia	
Competencias	Modelar los sistemas controlados (CL5) Modelar sistemas de control, análogos y digitales, por medio de funciones de transferencia y variables de estado (CD6)
Objetivo	Obtener el modelo de un sistema y representarlo en función de transferencia
Contenidos	Variable de Laplace 's', función de transferencia en tiempo continuo G(s), variable 'z', función de transferencia en tiempo discreto G(z), función de transferencia de pulsos, matrices de transferencia
Resultados de Aprendizaje	Obtiene un modelo analítico no-lineal, para el sistema de red abierta (RA 2.1). Identifica las principales alinealidades en los sistemas de control (RA 2.2). Linealiza modelos matemáticos (RA 2.3). Obtiene la función de transferencia continua del sistema de control (RA 2.4). Obtiene la función de transferencia discreta del controlador (RA 2.5). Obtiene la función de transferencia de pulsos del sistema de control (RA 2.6). Obtiene modelos matemáticos simplificados para control (RA 2.7).
Recursos	Libro electrónico; emulador; laboratorios personal y remoto
Hands-On	Modelado ecuaciones diferenciales Teorema Nyquist–Shannon
Evaluación	Examen teórico, informe de avance y presentación Etapa 2

2.4 Aprendizaje de los estudiantes

Existen dos tipos de resultados de aprendizaje, el primero hace referencia al aprendizaje relacionado con los Sistemas de Control y el segundo al desarrollo de capacidades transversales. Con el fin de planear las actividades académicas y el uso de los recursos disponibles, se diseñaron 'Fichas de Aprendizaje', las cuales

toman como base los contenidos temáticos definidos en los cursos organizados de acuerdo con las etapas del proyecto en cada una de las Universidades. Existen muchas similitudes en los contenidos tratados por ambas Universidades y las etapas en las que éstos se desarrollan. Uno de los temas comunes es 'La Obtención del modelo de un sistema de control' que corresponde a la Etapa 2 del primer nivel de control denominado de forma genérica Control I. En la Tabla 1 se presenta, como ejemplo, la Ficha de aprendizaje para el tema 'Función de Transferencia' dentro de esta temática y etapa. Una etapa puede cubrir más de un tema y por lo tanto considera más de una Ficha de aprendizaje.

Los resultados de aprendizaje se establecieron a partir de las competencias definidas en (Moreno, 2008). La Ficha de aprendizaje funciona como una guía para orientar el aprendizaje del tema, su conexión con el proyecto y las ayudas que desde el entorno se tienen disponibles para su ejecución.

2.5 Personal académico y facilitación

En la UV el personal académico está compuesto por dos profesores para cada nivel, uno para el curso teórico y otro para el curso de laboratorio. En la UPTC el personal académico lo conforma un profesor para cada nivel y un monitor para las prácticas de laboratorio. Adicionalmente, en las dos instituciones, cada equipo de estudiantes cuenta con la colaboración de un experto en el tema del problema quien no necesariamente hace parte de los profesores del curso.

2.6 Espacios y organización

Este enfoque aprovecha los recursos de la educación tradicional disponibles en las Universidades para las actividades del proyecto. Espacios como bibliotecas, salas de estudio, laboratorios especializados, salas de cómputo son utilizados por los estudiantes para ejecutar actividades del proyecto. Las Universidades no poseen salas de grupo (*group room*) para los equipos. También se dispone de los recursos desarrollados específicamente para apoyar el enfoque PBL, cuya descripción se presenta en la Sección 3. Todas las actividades académicas son coordinadas a través del campus virtual que usa Moodle®. Allí los estudiantes envían y reciben informes, presentaciones, guías y notas, y acceden a las herramientas del Entorno PBL.

2.7 Evaluación de los estudiantes

Los profesores utilizan exámenes, listas de chequeo para los laboratorios, exámenes prácticos, presentación orales para los avances del proyecto e informes escritos. Los exámenes cortos, son utilizados para evaluar el conocimiento que los estudiantes tienen sobre la teoría y tienen como objetivo mantener una evaluación permanente de los conocimientos. El examen por computador observa las destrezas en el manejo de herramientas informáticas para el diseño, análisis y manejo de datos, este examen evalúa la habilidad de los estudiantes para el manejo de prototipos, plantas reales y el montaje y ajuste experimental de controladores. Las prácticas de laboratorio se centran en observar las habilidades técnicas, en el uso de software especializado, la habilidad para conectar hardware en línea, la sintonización de controladores, y la identificación y el análisis de los sistemas a partir de datos experimentales.

En la UV hay una evaluación al final de cada etapa que consiste en una presentación oral ante los docentes y estudiantes del curso y la entrega de un informe de avance, cada etapa del proyecto se desarrolla por un equipo diferente lo que implica una rotación de proyectos entre los equipos participantes y la evaluación del proyecto se lleva a cabo por los profesores del curso y los integrantes del grupo que reciben el proyecto para continuar su ejecución. En la UPTC cada equipo ejecuta un solo proyecto durante todo el semestre y los profesores del área de control programan un día para evaluar los proyectos al final del semestre, los estudiantes de ambos cursos deben presentar sus proyectos en el mismo espacio con el fin de socializar los resultados obtenidos a sus compañeros; el proyecto es evaluado por un jurado de al menos tres revisores. En las dos Universidades se utilizan formatos para evaluar el proyecto y su calificación final es el promedio de las puntuaciones obtenidas.

Como se observa el enfoque PBL propuesto establece lineamientos generales, cada institución los implementa teniendo en cuenta su contexto y normatividad. El entorno de aprendizaje PBL desarrollado es una construcción holística donde el enfoque PBL y los recursos de apoyo se diseñan para satisfacer las exigencias que trae la formación por proyectos y las necesidades de recursos cuando el ambiente en el que se aplican los enfoques PBL es principalmente tradicional.

3 Recursos de Soporte del Entorno PBL

El Entorno PBL diseñado provee un espacio de aprendizaje integral que promueve el desarrollo de diferentes habilidades y competencias a partir de la aplicación de un enfoque PBL. Uno de los desafíos más importantes es el diseño de recursos de apoyo teniendo en cuenta la filosofía del PBL. Cada uno de los recursos desarrollados ha sido pensado para las diferentes actividades que se requieren desde la conceptualización del proyecto y su ejecución. A continuación se describen los recursos del Entorno a partir de la topología propuesta por Dormido, 2004, que considera la naturaleza y el acceso al recurso.

3.1 Recursos reales de acceso local

El Laboratorio personal es un recurso local de bajo costo que se reconfigura en diferentes tipos de sistemas, lo cual permite la experimentación con dinámicas de primer orden, tiempo muerto e integrador. El propósito principal de este laboratorio es facilitar la experimentación en cualquier momento y lugar; su bajo costo lo hace asequible para todos los estudiantes. El laboratorio personal cuenta con un sistema de Adquisición de datos (DAQ) que permite la observación del comportamiento de las variables del sistema en un computador. Como otros recursos reales de acceso local también se tienen plantas prototipo y kits de LEGO, estas plataformas facilitan la comprensión de conceptos relacionados con el modelado y la respuesta en el tiempo.

3.2 Recursos reales de acceso remoto

Entre este tipo de recursos están las plataformas de péndulos invertidos que han sido desarrolladas en la UPTC y el banco de servomotores controlados a través de un PLC configurado en la Universidad del Valle. Los péndulos tienen como objetivo recrear la dinámica de dos de los casos de estudio más tratados en la educación en control como son el péndulo invertido de carro y el péndulo rotacional o de Furuta. El banco de servomotores recrea un ambiente industrial al disponer de motores, accionadores y un controlador lógico programable; con él, los estudiantes se enfrentan con los retos propios del campo profesional en una de las áreas de aplicación del control como lo es la automatización industrial.

3.3 Recursos simulados de acceso local

Hacen parte de estos recursos el software de simulación y análisis de cada Institución como Scilab®, Matlab® y Labview® y el libro electrónico; el libro en hipertexto desarrolla los contenidos bajo un enfoque de proyectos de control; incluye mapas conceptuales y animaciones de conceptos claves del control; utilizando el software libre como Scilab®, Easy Java Simulations® y Flash se animan abstracciones matemáticas como los lugares de las raíces o las transformaciones entre diversos planos complejos como el 's', 'z' y 'w'. También se recrean las actividades "Hands-On" que buscan facilitar el aprendizaje de conceptos sin abstracciones matemáticas.

3.4 Recursos simulados de acceso remoto

El Entorno también cuenta con un simulador y analizador de sistemas dinámicos, y herramientas de emulación para la simulación en 'tiempo real' de sistemas que no están disponibles físicamente y cuya dinámica es de gran interés. Las herramientas de emulación tienen la ventaja de permitir combinar recursos reales de acceso remoto con modelos de emulación que se ejecutan en tiempo real, en otras palabras permiten conectar Hardware en línea con la simulación del modelo de un sistema.

4 Conclusiones

En el análisis de los contextos universitarios se observaron coincidencias en los objetivos que se persiguen y en los contenidos programáticos de los cursos; sin embargo, la aplicación del Enfoque PBL diseñado permite

notar diferencias como: el orden de los temas, el tipo de proyecto y su desarrollo, las evidencias de aprendizaje, la dirección de las actividades prácticas, las competencias transversales más sobresalientes, los parámetros de evaluación y los recursos. Estas diferencias ofrecen un espacio amplio de posibilidades y experiencias aumentando las opciones para el desarrollo del Enfoque PBL.

Los recursos de apoyo se han desarrollado para soportar el enfoque de aprendizaje basado en proyectos. Los simuladores, las lúdicas y el libro electrónico van orientados principalmente a facilitar el aprendizaje de conceptos; el laboratorio personal, la herramienta de emulación y las plataformas remotas, hacia habilidades técnicas de experimentación y de llevar el conocimiento a la práctica; el desarrollo de proyectos con estos recursos fortalece competencias transversales como resolución de problemas, autoaprendizaje, comunicación, manejo de información y del tiempo, trabajo en equipo, creatividad y recursividad.

El Entorno se convierte en un espacio de aprendizaje en el cual los estudiantes gestionan los recursos que necesitan de acuerdo con sus necesidades de aprendizaje y los requerimientos del problema y del tipo de proyecto. Así, los estudiantes tienen acceso a herramientas físicas y virtuales desde Internet, que utilizan cuando las requieren ofreciendo alternativas de trabajo que no se limitan a los espacios de un currículo tradicional.

Referencias

Antsaklis, P., Basar, T., DeCarlo, R., McClamroch, N. H., Spong, M., & Yurkovich, S. (1999). Report on the NSF/CSS Workshop on new directions in control engineering education *Control Systems Magazine, IEEE*, *19*(5), 53-58

Dormido, S. (2004). Control learning: present and future. *Annual Reviews in Control*, *28*(1), 115-136.

Fernández-Samacá, L., Orozco-Gutiérrez, M., & Ramírez, J. M. (2009, June 9-12). *Learning concepts in control systems through hands-on activities*. Paper presented at the 9th Active Learning in Engineering Education Workshop, Barcelona.

Fernández-Samacá, L., & Ramírez, J. M. (2011). Learning control concepts in a fun way. *Intenational Journal of Engineeirng Education*, *27*(1), 187-199.

Fernández-Samacá, L., Ramírez, J. M., & Orozco-Gutierrez, M. L. (2012). Project-based learning approach for control system courses. *Sba: Controle & Automacao/poundso Sociedade Brasileira de Automatica*, *23*, 94-107.

Kheir, N. A., Astrom, K. J., Auslander, D., Cheok, K. C., Franklin, G. F., Masten, M., & Rabins, M. (1996). Control systems engineering education. *Automatica*, *32*(2), 147-166.

Kolmos, A., De Graaff, E., & Du, X. Y. (2009). Diversity of PBL- PBL learning principles and models In X. Y. Du, E. De Graaff & A. Kolmos (Eds.), *Research on PBL Practice in Engineering Education* (pp. 9-21). Rotterdam/Boston/Taipei: Sense Publishers.

Moreno, J. (2008). *Diseño de un Programa de Formación Universitaria en el Área de Sistemas de Control para el Desarrollo de Capacidades Profesionales*., Universidad de Valle, Cali,Colombia.

Murray, R. M. c. (2002). Control in an Information Rich World *Report of the Panel on Future Directions in Control, Dynamics, and Systems*.

Pereira, J. (2008). Monitoring and Control *Today's market and its evolution till*. Luxembourg: European comission- Information Society and Media.

Ramirez-Ramirez, M., Ramirez-Scarpetta, J. M., & Fernandez-Samaca, L. (2013, 25-28 June 2013). *Interactive animations for learning by playing concepts of control systems*. Paper presented at the Control & Automation (MED), 2013 21st Mediterranean Conference on.

Ramírez, J., Caicedo, E. L., H., Pinedo, C., Bacca, E., & Ramos, C. (2008). *A platform for signals and systems internet-based education*. Paper presented at the Inted conference, Valencia, España.

Samad, T., & Annaswamy, A. M. (2011). The Impact of Control Technology: IEEE Control Systems Society, available at www.ieeecss.org.