

ENSEÑANZA DE LA TEORÍA DE CONTROL UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE POR PROYECTOS

Joel Ricardo Jiménez Cruz

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa

jcjr@xanum.uam.mx

Resumen

En la época actual, la metodología del aprendizaje por proyectos (ApP) ha demostrado su eficacia en la educación, ya sea ésta en forma presencial, semipresencial o virtual. En este trabajo se describe su utilización en un curso de teoría de control donde tradicionalmente, en Ingeniería, se le considera como un curso muy teórico al que hace falta incorporar experimentos que motiven, activen y muestren a los estudiantes las aplicaciones potenciales de esta área en muy diversos campos del conocimiento. Al principio del periodo escolar se asigna un proyecto que involucra el diseño e implementación de un sistema de control retroalimentado de un “helicóptero de un grado de libertad”. El proyecto tiene asociadas varias prácticas que van apoyando su realización. El reporte final incluye la descripción formal de los elementos del sistema retroalimentado, el modelado, la simulación de la dinámica del sistema utilizando Matlab, Simulink y Arduino y su implementación física. El ApP promueve un aprendizaje centrado en el alumno y en el trabajo en equipo que proporciona un entendimiento más profundo de la teoría de los sistemas de control.

Palabras Clave: Aprendizaje por proyectos, Arduino, Matlab, modelado, simulación, Simulink, teoría del control.

1. Introducción

La teoría de control es un campo interdisciplinario que estudia el comportamiento de los sistemas dinámicos y cómo éstos se modifican por el uso de la retroalimentación. En la figura 1 se muestra la trayectoria de la

retroalimentación para controlar el comportamiento del sistema al comparar el valor de referencia con el valor medido y así, de acuerdo a una estrategia de control, obtener la salida deseada [1]. El objetivo de esta teoría es controlar un proceso o planta para que su salida se apegue a un valor de referencia o setpoint que puede ser fijo o variable en el tiempo. Los diversos tópicos que se estudian en la teoría de control son: la estabilidad, la controlabilidad y la observabilidad y el concepto de la función de transferencia que describe la conducta del sistema en base a un conjunto de ecuaciones diferenciales que relacionan la salida con la entrada. Las aplicaciones teóricas y prácticas de la teoría de control abarcan los sistemas que manifiesten una retroalimentación, así tenemos aplicaciones en procesos industriales, fisiológicos, sociológicos, psicológicos, ecológicos [2].



Figura 1 Elementos más importantes de un sistema de control retroalimentado.

La enseñanza de un primer curso introductorio de la teoría de control a nivel licenciatura es desafiante debido a que se necesita cubrir y balancear de manera apropiada el material teórico de índole matemático y la experimentación con el fin de entender los principios y fundamentos de la dinámica de los sistemas retroalimentados. Por otro lado, es apropiado incluir material novedoso que esté relacionado con las muy diversas aplicaciones del modelado, la simulación y la implementación de procesos automáticos.

Un enfoque de enseñanza-aprendizaje que puede lograr el balance en este doble objetivo es el de asignar un proyecto que se vaya desarrollando durante el curso y en el cual se vayan integrando los conceptos teóricos y experimentales. El proyecto, según va avanzando, va definiendo y marcando la provisión de materiales y la teoría que se va viendo en clase [3, 4].

Una idea central es motivar al estudiante para que busque la información y el conocimiento que complemente lo que se vea en clase y ayude al propósito del proyecto, desarrollando las habilidades y capacidades de un aprendizaje necesaria en la época actual. Otra característica importante es la inducción al trabajo en equipo para desarrollar las capacidades de cooperación y colaboración. Los estudios al respecto del aprendizaje por proyectos (ApP) sugieren que al ser un enfoque basado en el constructivismo, los estudiantes retienen mejor la información y adquieren el conocimiento de forma más profunda y duradera [5].

En este trabajo se describen las experiencias de enseñanza aprendizaje en el curso optativo denominado "Control de sistemas lineales" que ofrece el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I) a los estudiantes de los últimos trimestres de las Licenciaturas en Computación, Ingeniería Biomédica y Electrónica.

El proyecto "helicóptero de un grado de libertad" que se aborda en el curso trata del control de un motor con hélice que hace levitar una barra simulando el ascenso y descenso de un helicóptero o de un cuádróptero. El controlador se implementa en una tarjeta Arduino. El propósito del proyecto es aprender la teoría y la práctica del diseño y la programación de controladores y cómo se usan los modelos matemáticos para diseñar sistemas estables que mejoran su respuesta en el tiempo, la exactitud en el seguimiento de una trayectoria y el rechazo a las perturbaciones. Con esta experiencia educativa, los estudiantes pueden abordar otras aplicaciones como la robótica o los controladores industriales.

En las secciones que siguen se describe el método del ApP y los detalles de la elaboración del curso que incluyen el desarrollo del proyecto de un "helicóptero de un grado de libertad" y las experiencias surgidas con la aplicación de este método.

El concepto del aprendizaje por proyectos

El ApP es una estrategia pedagógica útil para desarrollar conocimientos y experiencias afrontando situaciones similares a las del mundo real, no sólo en términos individuales sino también dentro de una acción coordinada en equipo. En el ApP se produce una "simulación" de la actividad real en un contexto controlado

y de bajo costo, como medio para desarrollar habilidades, destrezas, actitudes y competencias concretas. En el ApP se cultiva la capacidad de ejecución y la visión de conjunto para evaluar situaciones nuevas, tomar decisiones y resolver problemas en forma colaborativa, dimensiones que son significativas en el desarrollo profesional [6].

El ApP es una pedagogía centrada en el alumno que involucra la aplicación de un enfoque dinámico en el salón de clases, en la cual los estudiantes adquieren un conocimiento más profundo y significativo a través de la exploración activa de problemas o proyectos del mundo real. Los estudiantes aprenden la materia al trabajar por periodos medianamente largos como trimestres, cuatrimestres o semestres con el fin de investigar y resolver preguntas, desafíos o problemas complejos. Es una forma de aprendizaje activo basado en la investigación e indagación que combina el conocer con el hacer [7].

En el ApP el profesor y los estudiantes se organizan en función de un proyecto que tiene aplicación real. Esta forma de aprendizaje tiene sus raíces en el constructivismo, que evolucionó a partir de los trabajos de psicólogos y educadores como Lev Vygotsky, Jerome Bruner, Jean Piaget y John Dewey [8].

El ApP puede ser visto como un método de instrucción, una estrategia de aprendizaje o una estrategia de trabajo y se caracteriza porque el profesor y los alumnos realizan un trabajo en equipo sobre un tema real, integrando perspectivas y experiencias en forma grupal e individual. El enfoque de ApP se presta para integrar de manera adecuada la conexión entre los diferentes tópicos del curso y de esta manera incrementar la atención y la motivación de los estudiantes [9].

En el ApP el profesor trabaja como un guía y facilitador del material y de las discusiones. Se pueden hacer ejemplos y preguntas muy dirigidas para que los estudiantes reflexionen sobre los temas tratados. La evaluación se puede realizar en forma grupal, por pares o propia. El propósito principal de la evaluación es observar la evolución del aprendizaje y las sugerencias que pueden surgir para mejorar el curso [10].

Es por ello que es deseable que el profesor conozca y tenga experiencia tanto en la dinámica de grupos como en el entendimiento y trasmisión de conocimientos matemáticos, ingenieriles y técnicos.

Las tareas asociadas a un proyecto definen el aprendizaje de los temas del curso. Estas tareas deben inspirar y motivar al estudiante para que incrementen su conocimiento, formule avances del proyecto e identifique y planee la secuencia de actividades para finalmente resolver el proyecto. Hay actividades que se realizan repartiendo tareas entre los miembros del grupo y otras que hace de manera individual. De esta manera el aprendizaje está dirigido por la meta de finalizar el proyecto y cada estudiante se hace responsable de su propio aprendizaje.

En la sección que sigue se formulan con cuidado todas las fases del proyecto para definir de manera clara las metas de aprendizaje.

El proyecto “helicóptero de un grado de libertad”

El proyecto se presenta al principio del trimestre y conlleva el diseño e implementación de un sistema de control retroalimentado de un “helicóptero de un grado de libertad”. El proyecto se derivó principalmente de un curso MOOC de la plataforma Edx intitulado “Introducción a la teoría del control retroalimentado” [11]. En el proyecto se controla la posición de una barra con un motor y una hélice en el extremo que presenta un grado de libertad. La barra gira respecto a un eje que pasa por su centro de gravedad, el movimiento de giro será provocado por una fuerza de empuje producida por una hélice y un motor de corriente directa, de manera que controlando la velocidad de giro del motor se podrá regular la fuerza de empuje que actúa sobre la barra y con ello la posición de la misma (figura 2). El énfasis en el diseño e implementación del prototipo es la naturaleza dinámica del sistema construido, considerando la respuesta estable y la respuesta transitoria [12].

2. Desarrollo

El curso de “Control de sistemas lineales” es un curso introductorio de la teoría de control que integra las disciplinas de matemáticas (en particular la solución a

ecuaciones diferenciales), programación y electrónica. En general, las clases combinan clases tradicionales con teoría y ejercicios, prácticas de laboratorio y la técnica pedagógica de las clases invertidas en donde predomina la asesoría del material cubierto en clase o el material encontrado por el alumno en fuentes bibliográficas o en Internet.

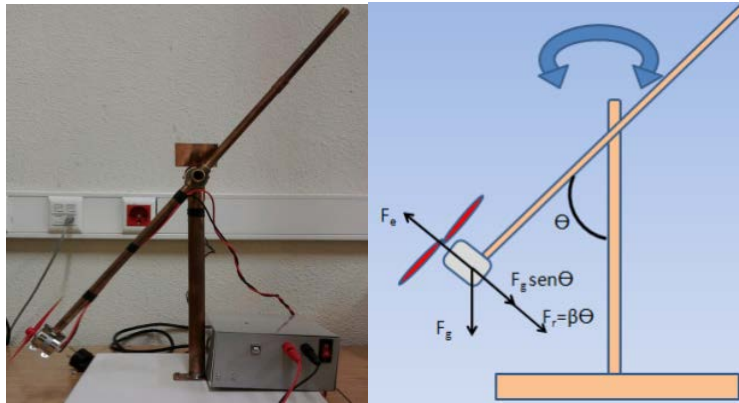


Figura 2 Montaje del proyecto "helicóptero de un grado de libertad". [13]

El curso tiene una duración de un trimestre (11 semanas) y en él se cubre el comportamiento dinámico de procesos y los sistemas de control retroalimentados. A la semana se tiene dos sesiones en el salón de clases y una en el laboratorio. En las clases se discuten los aspectos generales del modelado y cómo afectan las perturbaciones a un proceso o planta, en relación con los conceptos de función de transferencia, maya abierta, retroalimentación positiva o negativa, y el diseño de una estrategia de control ya sea proporcional, derivativa, integral o una combinación de ellas.

Los ejercicios de simulación son especialmente valiosos para aprender la calibración de los sistemas y el desarrollo de los algoritmos. Se enseña cómo resolver las ecuaciones diferenciales ordinarias utilizando Matlab y Simulink, dando un énfasis especial al análisis y diseño de sistemas de control retroalimentado [14, 15].

En el proyecto se trabaja en forma colaborativa en grupos de dos a tres estudiantes que implementan el sistema de control y describen su solución a través de reportes que se entregan aproximadamente cada dos semanas y un

reporte final con la simulación dinámica y el prototipo funcionando para validar las soluciones propuestas. Se proporciona asesoría por parte del maestro o en algunas ocasiones de los propios estudiantes que van más adelantados que sus compañeros, como se puede apreciar en la imagen de la figura 3. De esta manera se trata de lograr que todos los estudiantes tengan el mismo nivel de conocimientos.

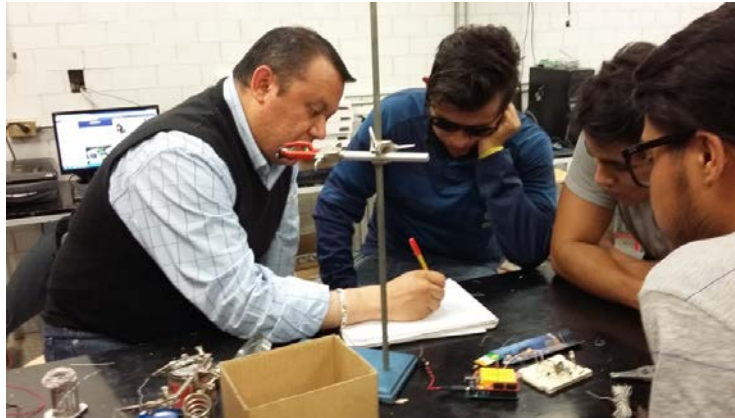


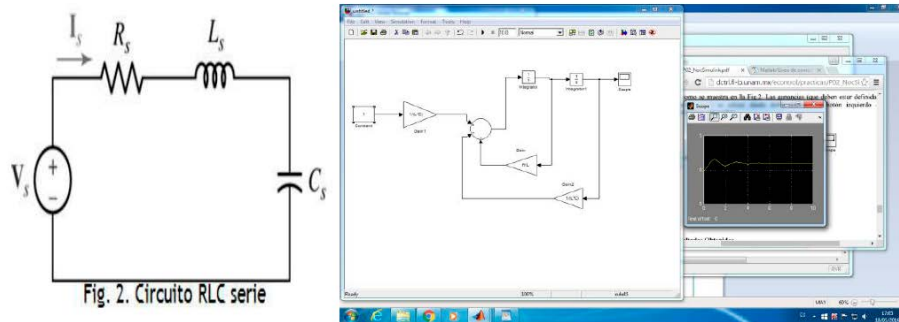
Figura 3 Trabajo colaborativo en equipo para el desarrollo del proyecto.

Aproximadamente cada dos semanas se entregan reportes de las prácticas realizadas. Los reportes se califican y se retroalimentan a los estudiantes para mejorar su documentación. Se comenta a los alumnos que cada uno de estos reportes va a formar parte del reporte final, de esta manera el reporte final se va puliendo en cada avance del proyecto reportado.

El contenido en forma resumida que se cubre en el curso es:

- Introducción a los sistemas de control
- Modelado de procesos dinámicos (desarrollo de modelos matemáticos, solución a ecuaciones diferenciales, diagramas de bloques y funciones de transferencia, comportamiento dinámico de sistemas de primer y segundo orden)
- Análisis y diseño de sistemas de control retroalimentado (dinámica de malla cerrada, análisis de estabilidad, calibración de sistemas)

La secuencia de presentación del material teórico está guiada por el proyecto “helicóptero de un grado de libertad”. Después de una introducción a los sistemas de control, el curso cubre de manera breve las características de sensores y actuadores. A continuación se revisan los modelos dinámicos de sistemas físicos a través de ecuaciones diferenciales y su solución a través de la transformada de Laplace y las funciones de transferencia utilizando Matlab y Simulink. Como un ejemplo de un sistema de segundo orden, en la figura 4 se muestra la simulación de un circuito RLC en serie con diferentes respuestas de acuerdo al ajuste de parámetros [16, 17]. Este enfoque de simulación es útil para mostrar los conceptos básicos como la respuesta dinámica y la estabilidad de los sistemas.



$$V_s(t) = LC \frac{d^2V_C(t)}{dt^2} + Rc \frac{dV_C(t)}{dt} + V_C$$

Figura 4 Uso de Simulink para simular el comportamiento de un circuito RLC en serie.

El cronograma de actividades de las prácticas que se desarrollan durante el trimestre se muestra en la tabla 1. Cada práctica es acompañada de un reporte donde se documenta lo que se realizó y lo que se investigó.

Tabla 1 Cronograma de actividades para desarrollar el proyecto y su documentación.

Actividades de cada práctica	Semana del trimestre					
	2	4	6	8	10	11
Familiarización con Matlab y Simulink						
Familiarización con Matlab, Simulink y Arduino						
Ensamblado del helicóptero y modelado de malla abierta						
Diseño del controlador PID, calibración y simulaciones						
Pruebas y demostración final						
Reporte final						

Recursos de aprendizaje

Los recursos de aprendizaje consisten en libros, enlaces a blogs, sitios web y referencias a 3 cursos masivos abiertos en línea (MOOCs; Massive Open Online Courses) que en la sección siguiente se explican. También se promueve de manera particular y enfática la búsqueda de información relacionada con el proyecto por parte del alumno.

Los recursos de enseñanza aprendizaje se coordinan a través de un aula virtual en Moodle (Virtu@mi:

<http://virtuami.izt.uam.mx/aulas/apresencial/course/info.php?id=546>).

Cursos MOOC que apoyan al curso

El curso presencial se ve apoyado fehacientemente por 3 cursos MOOCs que contienen mucha información teórica y práctica importante.

El curso de la plataforma educativa Edx denominado “Control y Dinámica” [18] es un curso de 6 semanas de duración que revisa de manera interactiva los conceptos de sistemas, dinámica, control y su impacto en las actividades humanas. Se introducen varios ejemplos naturales y artificiales y se señala que la conducta de un sistema se puede modificar al agregarle un sistema de control. Se revisan el diseño, los beneficios y las propiedades de los sistemas controlados.

En el curso de 3 semanas de la plataforma Edx llamado “Introducción a la teoría del control retroalimentado” [11] se aprende como diseñar y construir una barra que sube y baja por medio de un motor con hélice. Hace uso de la tarjeta Arduino Uno y de programas que implementan el controlador del sistema en Python. Se modela el sistema utilizando ecuaciones diferenciales, se estudia el tema de estabilidad de manera teórica y práctica. También se aprende a realizar mediciones del desempeño del sistema de control y cómo las estrategias de control PID regulan el sistema y lo hacen menos vulnerable a las perturbaciones internas y externas que puede sufrir el sistema controlado.

En el curso de 4 semanas “Todo es lo mismo: Modelando sistemas ingenieriles” [19] se aprenden técnicas de análisis y modelado que se aplican a sistemas eléctricos, mecánicos y químicos. Se comienza con descripciones algebraicas de

los componentes individuales y se desarrollan herramientas para el modelado. Los ingredientes principales son las ecuaciones diferenciales de los componentes y del sistema. Se establecen analogías de funcionamiento entre los sistemas eléctrico, mecánico y químico. Se utilizan varios casos de estudios de áreas de la ingeniería para ilustrar las técnicas de modelado. Se promueven los experimentos manuales que demuestran la efectividad de estas técnicas.

Sobre las herramientas utilizadas en el curso

En el curso se hace uso extensivo de Matlab y Simulink para mostrar los datos de los sensores y actuadores conectados a Arduino e para incorporar funciones matemáticas, de procesamiento de señales o rutinas que modelan la dinámica de sistemas de control [20]. Matlab y Simulink tienen funciones para leer, escribir, graficar y analizar datos de los sensores de manera interactiva, se pueden crear modelos, simular, ajustar parámetros y generar de manera automática el código de un programa. El código de los algoritmos se descarga en la memoria del microcontrolador para que éstos se ejecuten de manera independiente en el prototipo construido.

Para familiarizarse con estas herramientas se tienen una serie de videos de varios sitios en Internet que describe los pasos y los modos de ejecución para instalar y utilizar los paquetes de soporte. Desde MATLAB es posible controlar las entradas y salidas de la tarjeta Arduino, obteniendo información de los sensores y controlando los diferentes actuadores que se hayan conectado. Toda la ejecución del algoritmo ocurre en MATLAB en tiempo real. Desde Simulink, se puede desarrollar un modelo, utilizando la biblioteca de bloques para que los algoritmos se ejecuten en modo embebido y autónomo en el procesador de Arduino, sin necesidad de tener la tarjeta conectada a la computadora [21].

3. Resultados

Como se ha comentado, desde el principio del trimestre se propone y promueve el proyecto y se integran los temas teóricos y de experimentación. Se comienza con la introducción a Matlab y Simulink y se continúa con la integración de Arduino

que acompañan la teoría sobre ecuaciones diferenciales y su solución. A continuación se construye la estructura del proyecto como se ejemplifica en la figura 5.



Figura 5 Trabajando con el prototipo.

En la parte final del curso se implementa en el prototipo, el sistema retroalimentado de la figura 6 que busca cumplir con la ley de control que se ejemplifica en la figura 7.

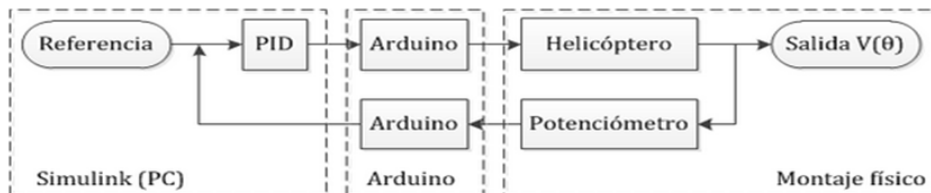


Figura 6 Sistema del control del proyecto [12].

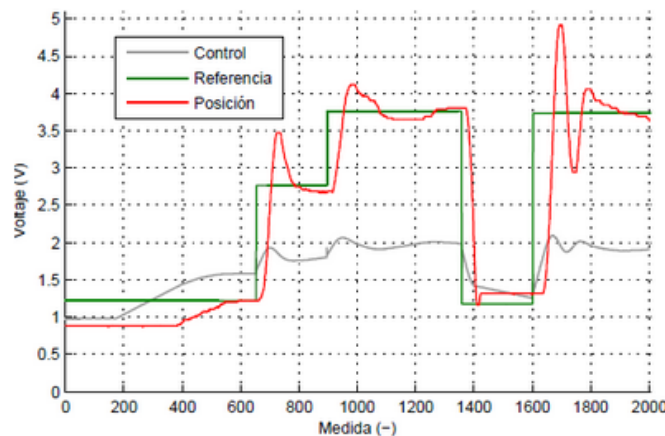


Figura 7 Se muestra cómo el controlador sigue a la señal de referencia [12].

Las ecuaciones diferenciales del modelo se resuelven en Matlab y Simulink de manera más sencilla que utilizando otros lenguajes o simuladores. De esta manera el enfoque principal se encuentra en el planteamiento del modelo y en el análisis de resultados. La solución utilizando estas herramientas disminuye el cuello de botella en el proceso de obtener la respuesta dinámica por medio del modelado matemático.

También se pueden observar el funcionamiento del prototipo utilizando una interfaz gráfica realizada con Python como se puede observar en la figura 8. En esta interfaz se aprecian el ángulo de la barra, el error del sistema, la señal de alimentación al motor y la derivada del error.

Con el entrenamiento en el desarrollo del proyecto, los estudiantes son capaces de desarrollar modelos dinámicos para los componentes y simular el comportamiento dinámico de los sistemas retroalimentados para diseñar prototipos de sistemas de control.

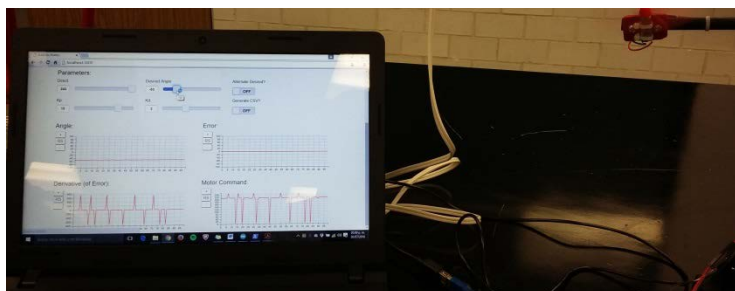


Figura 8 Gráficas de funcionamiento del prototipo utilizando un servidor en Python [11]

Se ha observado que los estudiantes, trabajando en equipo, participan más con el fin de lograr la terminación del proyecto final. Los estudiantes se hacen responsables de su propio aprendizaje en un grado mayor en comparación que cuando el curso no está basado en una estrategia basada en un proyecto (tabla 2). En el avance del proyecto se van generando reflexiones y evaluaciones para mejorar el proyecto y el desenvolvimiento del curso.

Desde el punto de vista del profesor, el trabajar con los estudiantes motivados es muy gratificante. Cuando se utilizan las técnicas del ApP y de la clase invertida, el tiempo y el trabajo son de más calidad porque las clases se convierten en una

especie de entrenamiento acompañado. Todo esto sirve a los alumnos para enfrentarse a nuevos problemas y a saber estructurar de mejor manera las tareas difíciles.

Tabla 2 Comparativa de estrategias de enseñanza y aprendizaje [22].

PARA ALCANZAR LAS COMPETENCIAS DE LA ASIGNATURA, EN QUÉ MEDIDA TE HAN RESULTADO ÚTILES:	Media	Desviación típica
Las clases magistrales o teóricas	4,84	1,34
Las actividades de aprendizaje autónomo (estudio y trabajo individual)	5,23	1,18
El aprendizaje orientado a proyectos (el diseño y el desarrollo de un proyecto de investigación)	5,39	1,09
El aprendizaje colaborativo (el trabajo en grupo para desarrollar el proyecto anterior)	5,58	1,26
Las actividades de reflexión (portafolio digital)	4,71	1,13
El aprendizaje a través de la interacción y actividad grupal (análisis de casos y / o la resolución de problemas prácticos en grupo).	4,84	1,49
Las tutorías	4,19	1,62
TOTAL DE LA DIMENSIÓN	34,81	5,84

4. Discusión

Los reportes del avance del proyecto ayudan mucho a marcar el paso de los avances del proyecto, proporcionan retroalimentación y van produciendo un reporte final de alta calidad. Los reportes mantienen un trabajo constante en el avance del proyecto al tiempo que integran conceptos teóricos vistos en clase. Con la evaluación de los reportes se pueden proporcionar retroalimentaciones, por un lado a los alumnos para mejorar el diseño y la documentación del proyecto y por otro lado al profesor para que vaya realizando los ajustes pertinentes al desarrollo del curso.

Se obtiene un mayor beneficio si se pide a los estudiantes que los reportes intermedios se piensen como secciones del reporte final. En esta forma, cada entrega se convierte en un borrador del reporte final. Puesto que el diseño es un proceso iterativo, los estudiantes revisan sus borradores y reflejan los cambios en su diseño. Solo se requiere al final, una revisión e integración de la secuencia de presentación de los temas. También trabajando de esta manera se facilita la evaluación final.

El diseño de sistemas de control es como una forma de arte científico guiado por técnicas y estrategias que se aprenden mejor practicando el pulimiento de un diseño e implementando paso a paso un proyecto real final.

Los reportes van completando paulatinamente el proyecto y cada grupo va realizando sus propios ajustes en su desarrollo. Los reportes parciales tienen menor peso que el reporte final, de tal manera que si se comenten errores, estos no se penalizan grandemente. Sin embargo, es importante que se observen los errores para mejorar el diseño. Los exámenes también tienen el propósito de evaluar la teoría y observar si los estudiantes han alcanzado las metas de aprendizaje.

El enfoque de enseñanza del ApP que está centrado en los alumnos proporciona un mayor entendimiento de la materia, los motiva a ayudarse entre sí, a desarrollar su progreso y autonomía y a observar cómo se puede aplicar la teoría de control en diversas aplicaciones reales (tabla 3). El proyecto ayuda a desarrollar las habilidades de modelado, simulación, ajustes de control y a tener una visión global de un sistema retroalimentado.

Tabla 3 Satisfacción del alumno con el uso del enfoque ApP [22].

DE SPUEÉS DE LA ASIGNATURA ME SIENTO SATISFECHO/A DE :	Media	Desviación típica
La manera de impartir las clases	5,16	1,39
El proceso y el progreso de mi aprendizaje	5,35	1,05
La autonomía para desarrollar mi aprendizaje	5,42	0,96
TOTAL DE LA DIMENSIÓN	15,94	2,84

Sin embargo, en la utilización del ApP, se han observado las siguientes desventajas:

- En la preparación teórica del curso, en la búsqueda de las partes necesarias para el proyecto y en las asesorías se consume mayor tiempo que en una clase tradicional. Sobre todo, si no se encuentran las partes del prototipo se va retrasando su construcción y se desajustando las partes teóricas de las prácticas.

- En el ApP hay una cierta tendencia a la creación de un producto final que sea la fuerza dirigente de las actividades en la clase. Cuando esto sucede, el proyecto puede hacer perder la revisión de temas teóricos importantes y puede hacer ineficiente que los estudiantes aprendan ciertos conceptos y habilidades.
- Si los alumnos no asisten con regularidad a clases se afecta la continuidad del proyecto y no todos los equipos avanzan con el mismo ritmo, lo cual demerita el trabajo y hace que sea más lento el avance en la teoría y en la práctica.
- Se pueden presentar los vicios del trabajo en equipo: que ciertos miembros no trabajan de manera equitativa; que algunos alumnos copien el trabajo realizado por miembros más interesados y motivados, etc.

5. Conclusiones

En este artículo se describe la técnica y las experiencias surgidas por el uso de la metodología de ApP en el curso de la UAM-I “Control de sistemas lineales”. La clave de las actividades de enseñanza utilizando esta metodología es colocar al alumno en el centro del aprendizaje. Los estudiantes se hacen más responsables de sus propios estudios, la integración de diferentes tópicos se realiza de manera natural en la medida que hay la guía del proyecto final, lo que permite tomar una visión más global de la teoría del control y de las conexiones entre sus temas. La experiencia de trabajar en grupo también tiene muchas bondades y a veces varias desventajas.

El proyecto motiva a los estudiantes a aprender la teoría de control y a desarrollar habilidades relacionadas con el modelado, simulación e implementación de sistemas de control.

Sería recomendable que el curso se apoyara de las experiencias de otros estudiantes o asistentes que ya hayan tomado con anterioridad el curso o que tengan experiencia sobre el material.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] W. Bolton, Ingeniería de Control. 2ª Edición, 2006. Editorial Alfaomega. Página 413.
- [2] N. Andrei, "Modern Control Theory - A historical perspective". *Studies in Informatics and Control*, Vol.10, No.1, 2006. pp.51-62.
- [3] A. Hagenblad, I. Klein, "Teaching Control Theory Using Problem Based Learning". 12th EAEEIE conference, Nancy. 2001. Pp. 8.
- [4] Teaching feedback control theory using an integrating design project. <http://ojs.library.queensu.ca/index.php/PCEEA/article/view/5854/5577>.
- [5] S. Yazyi, Una experiencia práctica de Scrum a través del aprendizaje basado en proyectos mediado por TIC en un equipo distribuido. Universidad de Salamanca.
- [6] Aprendizaje basado en proyectos. <http://ceupromed.ucol.mx/revista/PdfArt/1/27.pdf>.
- [7] Wikipedia "Project-based learning". https://en.wikipedia.org/wiki/Project-based_learning.
- [8] A. la Cueva, "La enseñanza por proyectos ¿mito o reto?". *Revista Iberoamericana de educación*. ISSN-e 1022-6508. Nº 16. 1998. Págs. 165-190.
- [9] Northwest Regional Educational Laboratory, Aprendizaje por Proyectos. <http://www.eduteka.org/modulos/8/252/468/1>.
- [10] Técnicas de Aprendizaje Basado en Proyectos, Universidad Politécnica de Cataluña. http://www.uaeh.edu.mx/profesorado_honorario_visitante/miguel_valero/presentaciones/MaterialTallerPBL.pdf.
- [11] Introduction to Feedback Control Theory. <https://www.edx.org/course/introduction-feedback-control-theory-mitx-6-302-0x>.
- [12] Helicóptero de un grado de libertad. <https://wechoosethemoon.es/2011/07/21/arduino-matlab-simulink-controlador-pid/>.

- [13] Control de posición de un balancín con motor y hélice. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/1895/1/PFC-P%2026.pdf>
- [14] Analysis and design of control systems using Matlab. <http://prof.usb.ve/mirodriguez/Labcontrol/Analysis%20and%20Design%20of%20Control%20Systems%20using%20MATLAB.pdf>.
- [15] Control Engineering, An introduction with the use of Matlab. <https://kosalmath.files.wordpress.com/2010/08/control-engineering-matlab.pdf>.
- [16] Nociones de Matlab. http://dctrl.fi-b.unam.mx/econtrol/practicas/P01_NocMatLab.pdf.
- [17] Uso y manejo de Matlab y Simulink. Práctica N° 2. http://dctrl.fi-b.unam.mx/econtrol/practicas/P02_NocSimulink.pdf.
- [18] Interactive course about the basic concepts of Systems, Control and their impact in all the human activities. <https://www.edx.org/course/dynamics-control-upvalenciav-dc201x-1>
- [19] Everything is the same: Modeling Engineered Systems. Modeling and analysis techniques for electrical, mechanical, and chemical systems. <https://www.coursera.org/course/modelsystems>.
- [20] Medición de intensidad luminosa con Arduino. <http://www.mathworks.com/videos/series/arduino-light-meter-project-106518.html>.
- [21] Trabajando con Arduino, MATLAB y Simulink. <http://www.mathworks.com/videos/series/arduino-with-matlab-and-simulink-99406.html>.
- [22] R. Vilà, M. Rubio, V. Berlanga. "La investigación formativa a través del aprendizaje orientado a proyectos: una propuesta de innovación en el grado de pedagogía". *Innovación Educativa*. N° 24. 2014. Pp. 241-258.

7. Autor

Joel Ricardo Jiménez Cruz es profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa y cultiva el área de conocimiento de la Cibernética.