



EVOLUCIÓN DEL CURSO DE INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA EN EL CONTEXTO DE LA INICIATIVA CDIO

Alejandra María González Correal, Francisco Fernando Viveros Moreno, Flor Ángela Bravo Sánchez, Kristell Fadul Renneberg

**Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia**

Resumen

Introducción a la Ingeniería es una asignatura de primer semestre de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana. Este curso tiene como propósito mostrar al estudiante la naturaleza de la disciplina, el rol profesional del ingeniero y su responsabilidad social, al igual que desarrollar en el estudiante habilidades básicas tales como trabajo en equipo, comunicación oral y escrita, planificación, administración del tiempo y de los recursos, y construcción de modelos y estrategias de resolución de problemas.

El Programa de Ingeniería Electrónica realizó una reforma curricular basada en la iniciativa CDIO (Crawley, et al. 2014) la cual propone una serie de estándares y lineamientos que promueven el aprendizaje de conceptos fundamentales bajo el contexto de Concebir, Diseñar, Implementar y Operar sistemas, productos y servicios del mundo real. Esto conllevó a que la asignatura experimentara una transformación, teniendo en cuenta específicamente los estándares 4 y 7 de la iniciativa que se refieren a "Introducción a la Ingeniería" y "Experiencias de Aprendizaje Integrado" respectivamente.

En el presente artículo se describe la evolución de la asignatura mostrando dos momentos del curso con las evidencias de los resultados obtenidos en cada uno. El primer momento, previo a la reforma curricular, se basaba en retos básicos de ingeniería que el estudiante debía resolver. El segundo momento, a partir de la reflexión CDIO, incluye proyectos de diseño y construcción enfocados al ciclo de producto CDIO. Finalmente, se presentan las lecciones aprendidas a lo largo de este proceso, y las percepciones y opiniones tanto de estudiantes como de profesores participantes.

Palabras clave: educación en ingeniería; introducción a la ingeniería; CDIO

Abstract

Introduction to Engineering is a first semester course that makes part of the Electronic Engineering program in the Javeriana University. This course's purpose is to show the student the nature of the discipline, the professional role an engineer has, his social responsibility, and also to help him develop some basic skills such as teamwork, oral and written communication, planning, time and resources management, model construction and strategies to solve problems.

In favor of the improvement of the Program, a curriculum review was done based on the CDIO (Crawley, et al. 2014) initiative which proposes several standards and lineaments that promote the learning of fundamental concepts under the context of Conceiving, Designing, Implementing, and Operating systems, products, and services in the real world. This led the course to experience a transformation, taking into account specifically the standards 4 and 7, which refer to "Introduction to Engineering" and to "Integrated Learning Experiences" respectively.

In the present article it is described the evolution of the course showing two moments of it as well as the evidences of the results achieved in each one. The first moment, previous to the curriculum review, was based on basic engineering challenges that the student had to solve. The second moment, beginning from the CDIO reflection, includes design and construction projects focused on the CDIO product cycle. Finally, the lessons learned throughout the entire process are presented as well as the perceptions and opinions from both the teachers and the students involved in it.

Keywords: *engineering education; introduction to engineering; CDIO*

1. Introducción

Por tradición, en el plan de estudios del Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Javeriana, se ha incluido el curso de Introducción a la Ingeniería, asignatura que es recomendada por el consorcio CDIO como curso pilar de la formación y cuyos lineamientos se encuentran descritos en el estándar 4 CDIO. La importancia de este curso implica que sea necesario prestar especial atención a su desarrollo principalmente porque es el primer acercamiento de los estudiantes con la disciplina, lo cual lo convierte en una herramienta esencial para que los estudiantes decidan permanecer o no en el programa, además de brindarles la oportunidad de adquirir habilidades que serán de gran utilidad a lo largo de su vida como ingenieros.

Durante los últimos 3 años el Programa estuvo bajo reflexión y planificación curricular, lo cual generó una reforma del plan de estudios basada en la iniciativa CDIO. Esto afectó directamente el curso de Introducción a la Ingeniería evolucionando desde una estructura de retos hacia un esquema de curso basado en proyectos de diseño y construcción de producto. En este sentido, puede hacerse un análisis de dos momentos, uno previo y uno posterior a la reforma, comparación que motiva la presente publicación.

Es importante también conocer el impacto del cambio sobre el curso, analizando su evolución a partir de criterios generales de evaluación de programa. Para ello se recogieron las percepciones de profesores y estudiantes relacionados con el curso en ambos momentos (pre y post reforma). De igual forma, se valoraron los resultados de aprendizaje y el progreso en el nivel de competencia de las habilidades incluidas en el curso. Con base en esta evaluación se proponen mejoras a implementar en versiones posteriores del curso, se identifican los beneficios y las desventajas que conlleva esta nueva metodología de aprendizaje y se recolecta evidencia sustancial que será empleada en el modelo de mejoramiento del programa.

En el presente artículo se encuentra, en primer lugar, una breve descripción de los estándares CDIO asociados que se relacionan directamente con Introducción a la Ingeniería. A continuación, se presenta la versión previa a la reforma curricular en la cual se describe cómo se estructuraba y qué debilidades tenía el curso. En la siguiente sección, se muestra la versión posterior a la reforma, utilizada actualmente, se describe su estructura y se indican los cambios realizados junto con la evolución que ha presentado. En ambas versiones se exponen las opiniones tanto de estudiantes como de profesores participantes. Finalmente, se ofrecen las conclusiones en las cuales se muestra lo aprendido gracias al cambio implementado y se sugieren algunas mejoras que pueden aplicarse a futuro y que dan los fundamentos para el diseño del curso Proyecto CDIO año 1, propuesto en la reforma curricular.

2. Iniciativa CDIO

Uno de los componentes más importantes de un plan de estudios CDIO (Crawley, et al. 2014) es el curso de "Introducción a la Ingeniería", que tiene como objetivo presentar, al estudiante que recién ingresa al programa, lo que significa el trabajo del ingeniero y cómo contribuye al desarrollo de la sociedad y del entorno donde va a trabajar. El curso cumple también otras funciones muy importantes: confirmar y afirmar la inclinación del estudiante hacia la Ingeniería como objetivo de su desarrollo profesional y personal, entender la necesidad de los aprendizajes disciplinares que va a lograr durante su período de estudios y a comprender que para hacer una buena práctica de su profesión debe desarrollar un conjunto de habilidades personales, interpersonales y de construcción de producto (Biggs, et al 2011).

El curso, además de ser el estándar 4, se presta para comenzar a trabajar en los estándares 5 y 7. El estándar 7 expone la necesidad de experiencias que hagan realidad el currículo integrado (Andersson, et al. 2005), es decir, que el proceso de formación contemple el aprendizaje de los conocimientos disciplinares integrándolo con el desarrollo de habilidades, personales, interpersonales y de construcción de productos, procesos y sistemas en contextos reales de la práctica de la Ingeniería.

En general, en muchos de los planes de estudio, las asignaturas se concentran en los conocimientos de la disciplina, dejando de lado todas aquellas habilidades que son necesarias para el desempeño del ingeniero. Un ejemplo es la comunicación efectiva

que debe adquirirse para relacionarse con expertos y no expertos. Se espera que los estudiantes sean capaces de presentar ideas, de argumentar en torno a conceptos, proponer soluciones, razonar como ingenieros y colaborar con otros en el desarrollo de sus ideas (Mazur, 1996). Esta habilidad, que además de enseñarse se debe desarrollar y evaluar a lo largo del tiempo de formación, generalmente no se realiza y lleva a que los estudiantes no la adquieran o lo hagan de manera deficiente. De la misma forma sucede con todas las habilidades que el programa desea que tengan sus egresados y que dejan consignados en lo que se denomina el "Perfil del Egresado".

Este curso se presta para enseñar y desarrollar varias habilidades como son el trabajo en grupo, el pensamiento holístico, el pensamiento creativo, la ética y por supuesto las habilidades de comunicación tanto verbal como escrita, entre otras. Pero además brinda la posibilidad de integrar los conocimientos iniciales de ciencias básicas, físicas y matemáticas, con los primeros conceptos de la disciplina.

El estándar 5, por otro lado, habla de la importancia de tener experiencias de Diseño e Implementación, las cuales permiten a los estudiantes realizar actividades de la mayoría o la totalidad de las de las fases del Diseño e Implementación de productos, procesos, o el modelo de ciclo de vida de un sistema. Se busca que los estudiantes pasen por la etapa de Concebir es decir, que se comience por las necesidades del cliente, teniendo en cuenta sus restricciones e impactos en el entorno, hasta llegar a las especificaciones, continúen con la etapa de Diseñar, en la que se crea el producto, realizando los planos, dibujos, algoritmos del producto y finalmente, procedan con la etapa de Implementar el producto de acuerdo con el diseño. La etapa de operación del modelo CDIO, es difícil de realizar en este tipo de experiencia académica, motivo por el cual no se tiene en cuenta en este tipo de actividades. Es necesario entender que el producto final corresponde al nivel de estudiantes que apenas comienzan su proceso de formación en el programa y no se puede pretender llegar a un producto final como lo haría un ingeniero ya formado.

Estas experiencias dan al estudiante la oportunidad de tener un primer contacto con la realidad de lo que va a ser su ejercicio profesional, lo que les permite desarrollar no solamente conocimientos disciplinares, sino también habilidades necesarias para el ejercicio de su profesión. Dan las bases al estudiante para construir un entendimiento conceptual más profundo sobre la disciplina y, en este caso, el curso de Introducción a la Ingeniería, es una experiencia temprana que involucra al estudiante en la resolución de problemas y lo motiva a comprender la necesidad de los cursos posteriores que le ofrece el programa.

3. Evolución del curso de introducción a la ingeniería

Antes de la reforma, el curso tenía un carácter teórico-práctico con dos créditos académicos, lo cual demandaba 64 horas de trabajo autónomo por parte del estudiante y 32 horas contacto durante un ciclo académico de 16 semanas, para una dedicación total de 96 horas. La estructura del curso estaba basada en retos de ingeniería que los estudiantes debían resolver utilizando herramientas presentadas en

clase o aprendidas de manera independiente mediante investigación o consulta. Dichas herramientas, por lo general, se enfocaban en conceptos de modelado matemático y representación de los fenómenos físicos a los cuales los estudiantes se enfrentarían en los retos. Los retos motivaban al estudiante a dar soluciones a problemas específicos, desarrollando procesos críticos y creativos, según presentan Cruz, *et al.* (2014) en un congreso reciente en relación al aprendizaje mediante retos.

A pesar de los intentos por generar retos para motivar a los estudiantes a asumir un rol activo en su proceso y desarrollar las habilidades planteadas por el curso, su estructura tenía un componente teórico amplio, elemento que impedía alcanzar todos los objetivos propuestos por el curso. Las clases presenciales fueron utilizadas principalmente como clases magistrales en las que el docente a cargo exponía temáticas a los estudiantes, utilizando herramientas de apoyo visual, con el fin de enseñarles la teoría. Los retos propuestos se desarrollaban como trabajo independiente de los estudiantes y no se dedicaba tiempo contacto para su seguimiento. Como tal, la clase era utilizada para tener un acercamiento a conceptos básicos de ciencias e ingeniería que serían reforzados a lo largo de la Carrera. Los retos eran evaluados en momentos aislados sin una continuidad en su desarrollo.

Dado que los retos dependían de la teoría expuesta en el curso, su desarrollo era iniciado en el último tercio del semestre. Bajo esta particularidad, estos debían diseñarse para ser resueltos no solo en poco tiempo sino que además debían incluir los conceptos trabajados durante el semestre, de tal forma que pudiera valorarse el proceso de aprendizaje. Ocurría, por lo tanto, con mucha frecuencia, que los retos no eran resueltos en su totalidad, razón por la cual no se lograban los objetivos de formación propuestos en el curso. Por otro lado, el hecho de no completarlos, generaba frustración en el estudiante, en especial, los afectaba el hecho de no obtener un producto final funcional.

Como se mencionó, la resolución de los retos dependía de los conceptos teóricos expuestos en la clase, sin embargo, para enfrentar dichas actividades, era requerido trabajo de investigación adicional por parte de los estudiantes. Los conceptos adquiridos por medio de esta modalidad de aprendizaje autónomo no eran verificados ni realimentados por parte del profesor, resultando muchas veces en confusiones y errores conceptuales críticos. Por otro lado, el cumplimiento del cronograma de entregas de cada reto dependía de la disponibilidad de los profesores fuera de clase para atender las inquietudes de sus estudiantes; sin embargo, la mayoría de profesores de la asignatura estaban contratados por tiempo parcial (cátedra), razón por la cual los estudiantes solo podían tener contacto directo con ellos durante las horas de clase, disminuyendo así la posibilidad de un seguimiento sistemático de la solución al reto que se estaba proponiendo.

Al consultar las opiniones de los estudiantes y profesores acerca del desarrollo del curso en entrevistas y grupos focales, se recolectaron indicadores de evaluación del programa que darían lineamientos para el rediseño del curso. Se encontró como hallazgo generalizado que la estructura de la asignatura tenía varias falencias, de las que se pueden resaltar dos. La primera estaba relacionada con el tiempo disponible

para desarrollar las actividades. La segunda estaba asociada a la escasa disponibilidad de los docentes para apoyar el trabajo independiente. Los entrevistados sugirieron, para solucionar este inconveniente, tener a disposición profesores o un grupo de monitores de apoyo quienes pudieran acompañar a los estudiantes fuera de clase.

Un elemento que surgió continuamente en los grupos focales, fue la identificación de los retos como componente único de motivación en el curso, contrario a las clases, en esencia teóricas, que generaban rechazo y causaban que el estudiante perdiera el interés no solo por asistir a la misma sino también por la Carrera. Una justificación a este comportamiento puede inferirse del hecho de que las demás asignaturas cursadas ese mismo semestre, tienen también componentes teóricos amplios, limitando la posibilidad de crear o estar en contacto con la disciplina misma. La opinión general indicó que el curso debe ser responsable de mantener motivado al estudiante y de mostrarle que las demás asignaturas que cursa simultáneamente, tales como física y matemáticas, son de gran importancia para el ingeniero y que las necesita para poder resolver los problemas que se le presenten al desarrollar sus proyectos.

Teniendo en cuenta las opiniones expuestas y la reflexión curricular, se decidió realizar una transformación de la asignatura basada en la filosofía CDIO. Este cambio buscó corregir las dificultades anteriores generando que la asignatura se convirtiera en el principal vínculo del estudiante de primeros semestres con la Carrera.

4. Curso de Introducción a la Ingeniería bajo la filosofía CDIO

La estructura del curso se divide en dos partes: la primera presenta al estudiante, a nivel general, la naturaleza de la disciplina, el rol profesional del ingeniero, las habilidades y valores que debe poseer y su responsabilidad social. La segunda parte busca, a través del desarrollo de un proyecto de diseño e implementación, acercar al estudiante al proceso de construcción de producto en ingeniería y al desarrollo de habilidades básicas.

Dado que estos proyectos requieren una mayor dedicación de tiempo por parte del estudiante, se decidió incrementar a cuatro el número de créditos académicos de la asignatura. De esta forma, el estudiante tiene cuatro horas semanales de contacto con el profesor, y ocho horas a la semana de trabajo independiente durante 18 semanas, para una dedicación total de 216 horas semestre. La asignatura también cuenta con un monitor que apoya al profesor y a los estudiantes en las diferentes actividades, y comparte su experiencia como estudiante del Programa. El monitor es un estudiante de semestres avanzados de la Carrera que posee conocimiento de las herramientas de software y hardware que se emplean en el curso.



Figura 1. Carros eléctricos diseñados por los estudiantes en el piloto

La asignatura, bajo la filosofía CDIO, se ha venido impartiendo desde el primer semestre del 2014 con resultados positivos. El tema del primer piloto del curso fue eficiencia energética.

Los estudiantes realizaron un proyecto que se enfocó en el diseño y construcción de un carro eléctrico, cuya eficiencia energética se debía lograr a partir de características como la forma y el peso de la estructura. Los estudiantes diseñaron el chasis del carro en un software CAD y luego usaron una impresora 3D para obtener el modelo. Al final del curso, se realizó una competencia para elegir el carro eléctrico más veloz y eficiente. La Figura 1 muestra algunos modelos desarrollados. En general, los estudiantes y profesores destacaron un proceso de aprendizaje motivante, que implicaba la claridad en los conceptos.



Figura 2. Proyecto de automatización del transporte en un

Luego, en el segundo periodo de 2014, el proyecto de curso fue la automatización del transporte de mercancía en un puerto hacia un ferrocarril. El objetivo fue enfrentar al estudiante a un reto de diseño colaborativo en grandes grupos, en un modelo de consorcio, en el cual cada grupo (empresa) tenía a cargo una parte del proceso de transporte de mercancía que al final debía integrarse para que el sistema funcionara como una

unidad. La figura 2 muestra la idea general del proyecto propuesto. La experiencia en este curso se enfocó al trabajo colaborativo y al flujo de información entre los grupos, para así asegurar el éxito de la implementación de todo el sistema. Es en estos puntos en los cuales se destacan mayores logros por parte de estudiantes y profesores.

En el piloto realizado en el primer semestre de 2015 se le dio más libertad al estudiante de escoger el proyecto del curso. Se propuso como tema del semestre ayudar a mejorar la calidad de vida de personas en condición de discapacidad con un prototipo de producto. Para motivar a los estudiantes, los mejores proyectos del curso participarían en el evento de Expo Electrónica¹ organizado por la Carrera. Durante el

¹ Evento semestral realizado por la Carrera de Ingeniería Electrónica donde se presentan proyectos realizados por estudiantes de diferentes semestres.

ciclo académico, se desarrollaron diferentes talleres que buscaban brindar al estudiante los conocimientos y las herramientas necesarias para el desarrollo del proyecto del semestre. Algunos de esos talleres fueron:

- *Introducción a la robótica con Lego*: el objetivo de este taller es acercar a los estudiantes a la robótica y a la programación por medio del kit de robótica Lego Mindstorms NXT.
- *Montaje de circuitos en protoboard*: este taller busca que los estudiantes conozcan los principales componentes electrónicos, a usar el multímetro digital para medir voltajes y corrientes, a interpretar esquemáticos de circuitos electrónicos básicos y realizar el montaje de estos circuitos en un *protoboard*.
- *Taller de soldadura*: en este espacio se aprende a soldar con caufín y a realizar montajes de componentes en circuitos impresos.
- *Introducción a la electrónica con Arduino*: el objetivo de este taller es acercar a los estudiantes a la programación y a la electrónica con la plataforma de desarrollo Arduino aprendiendo a controlar motores DC, servomotores y el encendido de leds.

También se desarrollaron talleres para introducir temas como la comunicación escrita, la comunicación oral, la labor del ingeniero, la ética, la equidad, la capital social, entre otros. Algunos de esos talleres son:

- *Taller de plastilina*: en este taller un grupo de estudiantes debe realizar la construcción de un modelo en plastilina a partir de las instrucciones por escrito que hace otro grupo. Al final se compara qué tanto se parece el modelo realizado por los estudiantes que siguieron las instrucciones al modelo original, y se realiza una reflexión sobre la comunicación escrita.
- *Taller de cubos*: en este taller cada grupo de estudiantes debe hacer la mayor cantidad de cubos con los materiales entregados, los cuales no son equitativos para todos los grupos, es decir, algunos grupos cuentan con suficiente material mientras que otros les falta materia prima. Esta actividad es una excelente forma de introducir el concepto de capital social y para explicar la importancia de las redes de cooperación y los acuerdos que permiten restablecer justicia en una situación estructuralmente desigual.

Adicional a los talleres, se ofrecen charlas con expertos del tema de trabajo del semestre, visitas guiadas a laboratorios de Electrónica y para futuras versiones del curso se espera programar visitas a empresas.

5. Conclusiones

Los procesos de evaluación del programa permiten recoger sistemáticamente los resultados de aprendizaje de los estudiantes para detectar elementos que pueden mejorarse en los cursos y el plan de estudios. El análisis de la valoración del aprendizaje de los estudiantes y de la evidencia en los cursos permite proponer cambios efectivos. Bajo estas premisas, el curso de Introducción a la Ingeniería del programa de Ingeniería

Electrónica ha evolucionado hacia un esquema de aprendizaje activo que ha permitido trabajar habilidades y conceptos que en un curso tradicional no son comunes.

El contexto CDIO, en el cual se desenvuelve el curso, fomenta el acercamiento de los estudiantes a los problemas reales de su entorno, permitiendo formar profesionales que puedan adaptarse a los ambientes dinámicos y cambiantes de la sociedad. Desde la perspectiva de los profesores, este nuevo enfoque les permite generar ambientes de aprendizaje, en los cuales los estudiantes pueden desarrollar ideas, aprender conceptos abstractos y vincularlos con la realidad.

6. Referencias

Libros

- Andersson, S. B., Malmqvist, J., Knutson Wedel, M., and Brodeur, D. B. (2005). A systematic approach to the design and implementation of design-build-test project courses. In *Proceedings of ICED 05*, Melbourne, Australia, 2005.
- Biggs, J. B., and Tang, C. (2011). *Teaching for quality learning at university* (4th ed.). Buckingham, England: Open University Press.
- Crawley, E., Malmqvist J., Östlund S., Brodeur D. and Edström K (2014). *Rethinking Engineering Education* (2th ed.). Switzerland, Springer.
- Mazur, E. (1996). *Peer instruction: A user's manual*. San Francisco, CA: Pearson Education.

Memorias de Congresos

- Giraldo, J; Cruz, J; Hurtado, J (2014). *Learning through challenges: Introducing soft skills to freshman engineering students*. Bogotá, Colombia.

Sobre los autores

- **Alejandra María González Correal:** Ingeniera Electrónica, Máster en Ingeniería Electrónica, Doctora en Ingeniería de la Universidad Javeriana. Profesora Asistente. agonzalez@javeriana.edu.co
- **Flor Ángela Bravo Sánchez:** Ingeniera Electrónica, Máster en Ingeniería Electrónica. Estudiante de Doctorado. bravof@javeriana.edu.co
- **Kristell Fadul Renneberg:** Ingeniera Electrónica. Asistente del Centro de Aprendizaje y Enseñanza de la Facultad de Ingeniería. kfadul@javeriana.edu.co
- **Francisco Fernando Viveros Bravo:** Ingeniero Electrónico, Profesor titular. fviveros@javeriana.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)