



Una formación de calidad
en ingeniería para el futuro

Centro de Convenciones Cartagena de Indias
15 al 18 de Septiembre de 2015

EXPERIENCIAS DEL APRENDER-HACIENDO A PARTIR DE LA REFORMA CURRICULAR DE LOS PROGRAMAS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI

Diego Fernando Marín Lozano, Álvaro Iván Jiménez Alzate

**Universidad Santiago de Cali
Cali, Colombia**

Resumen

En un momento donde el enfoque de la acreditación internacional de los programas de ingeniería migra de un énfasis basado en "lo que se enseña" hacia uno basado en "lo que se aprende" es necesario hacer una profunda revisión de las prácticas pedagógicas utilizadas.

En el año 2009 la Facultad de Ingeniería de la Universidad Santiago de Cali llevó a cabo una reforma curricular que cubrió todos sus programas profesionales. Esta reforma buscó renovar e integrar los programas, incorporando tendencias mundiales en educación en ingeniería, tales como PBL, CDIO y STEM. La reforma obligó a una revisión de los planes de cursos, sus prácticas, los laboratorios y demás recursos disponibles en la facultad.

Se construyeron nuevos espacios de aprendizaje para los estudiantes como la Sala de Aprendizaje Activo; el laboratorio de Simulación con software de simulación de procesos industriales discretos, continuos y mixto como Diseño de la Cadena de Suministro, Manejo Óptimo de Inventarios, Optimización de Sistemas de Bodegaje, etc; el Creative Lab , espacio de producción de objetos físicos a escala real o local, que agrupa máquinas controladas por ordenadores; y un laboratorio renovado de procesos, que simulan a partir de su construcción los procesos industriales de distribución, transporte, verificación, separación, procesos, control de calidad y clasificación.

Curricularmente, se definieron nuevas asignaturas que posibilitaran la enseñanza desde la práctica, como los cursos de Introducción a la Ingeniería y de Proyecto Integrador Básico, cursos formados por estudiantes de distintas ingenierías que utilizan estos espacios

para desarrollar proyectos que resuelven problemas de la vida real, diseñando y construyendo máquinas prototipo para ello.

A los estudiantes de Introducción a la Ingeniería en primer semestre se les plantea un problema que debe ser resuelto construyendo una máquina u objeto físico.

Los estudiantes de Proyecto Integrador Básico en cuarto semestre seleccionan ellos mismos un problema real, y construyen una máquina para resolverlo.

En esta ponencia se mostrará la experiencia recogida durante los últimos 3 años, los resultados prácticos que se han obtenido hasta el momento, los cambios que el proceso ha generado en los estudiantes al interior de la facultad, junto las oportunidades y retos que se tienen por delante.

Palabras clave: educación en ingeniería; CDIO; laboratorios para Ingeniería

Abstract

At a time when the focus of the international accreditation of engineering programs migrates from an emphasis based on "what is taught" to one based on "what is learned" is necessary to make a thorough review of pedagogical practices.

In 2009 the Faculty of Engineering of the Universidad Santiago de Cali carried out a curricular reform that cover all their professional programs. This reform sought to renew and integrate programs incorporating global trends in engineering education, such as PBL, CDIO and STEM. The reform forced a review of lesson plans, practices, labs and other resources available on the faculty.

New learning spaces for students were built, like the Active Learning Classroom; Simulation Laboratory, a discrete simulation software for continuous and mixed industrial processes such as design of Supply Chain Optimal Inventory Management, Storage Optimization Systems, etc.; The Creative Lab, a production space of real physical objects which includes computer-controlled machines; and a renewed Process Laboratory, to simulate from construction, industrial processes like distribution, transportation, testing, separation processes, quality control and classification.

Curricularly, new courses made possible education from practice. Courses like Introduction to Engineering and Basic Integrator Project courses consist of students from various engineering programs who use these spaces to develop projects that solve real-life problems, designing and building prototypes for those machines.

Freshmen in Introduction to Engineering are given with a problem to be solved by building a machine or physical object. Students in Basic Integrator Project in fourth semester select a real problem, and built a machine to solve it.

In this paper, we want to show the experience gained during the past three years, the practical results obtained so far, the changes that the process has resulted in students within the faculty, with the opportunities and challenges we will face in the future.

Keywords: *engineering education; CDIO; engineering labs*

1. Introducción

La historia de la educación en ingeniería a nivel mundial, ha demostrado que ésta ha oscilado como un péndulo entre lo empírico hacia los años 50's del siglo pasado, basada en la práctica, la colaboración, las habilidades, y en su defecto la innovación y la implementación, el mejor ejemplo el Programa Apolo; lo científico hacia los años 70's del siglo pasado, basada en la teoría, el análisis, la disciplina, el conocimiento y las habilidades, un ejemplo típico el impulsor de la aerodinámica de Theodore Von Karman; y hoy, en el siglo XXI la enseñanza de la ingeniería propone el aprendizaje de la ingeniería en el contexto de la práctica, desde la perspectiva de la iniciativa mundial de CDIO, de tal manera que facilite en el estudiante el aumento de la retención del conocimiento, la interconexión de los conceptos entre sí, el aprendizaje basado en la acción y el aprendizaje basado en el estudiante que cree sus propios marcos para el aprendizaje. (Oosthuizen, *et al.*, 2007)

Los 12 Estándares CDIO abordan el Contexto de la iniciativa (Estándar 1), Resultados de Aprendizaje, Currículo Integrado e Introducción a la Ingeniería (Estándares 2, 3 y 4), las Experiencias de Diseño-Implementación y los Espacios de Trabajo (Estándares 5 y 6), las Experiencias de Aprendizaje Integrado y Aprendizaje Activo (Estándares 7 y 8), el Fortalecimiento de las Competencias Profesionales y Docentes de los Académicos (Estándares 9 y 10), y la Evaluación del Aprendizaje y del Programa CDIO (Estándares 11 y 12) (Crawley, *et al.*, 2014)

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Santiago de Cali, atendiendo la iniciativa CDIO que define el marco de la enseñanza de la ingeniería desde la **C**oncepción, el **D**iseño, la **I**mplementación y la **O**peración, que busca la adopción de las mejores prácticas del ciclo vital de un producto, proceso o sistema, desde el año 2010 inició un proceso de adopción de la iniciativa CDIO que definió el marco conceptual, estrategias, actividades, proyectos y recursos necesarios, como se muestra en la Figura 1, que están permitiendo entre el estudiantado el desarrollo de las habilidades técnicas o el aprender para el saber y el hacer, las habilidades personales y profesionales o el aprender para el ser y las habilidades interpersonales o el aprender para la vida.

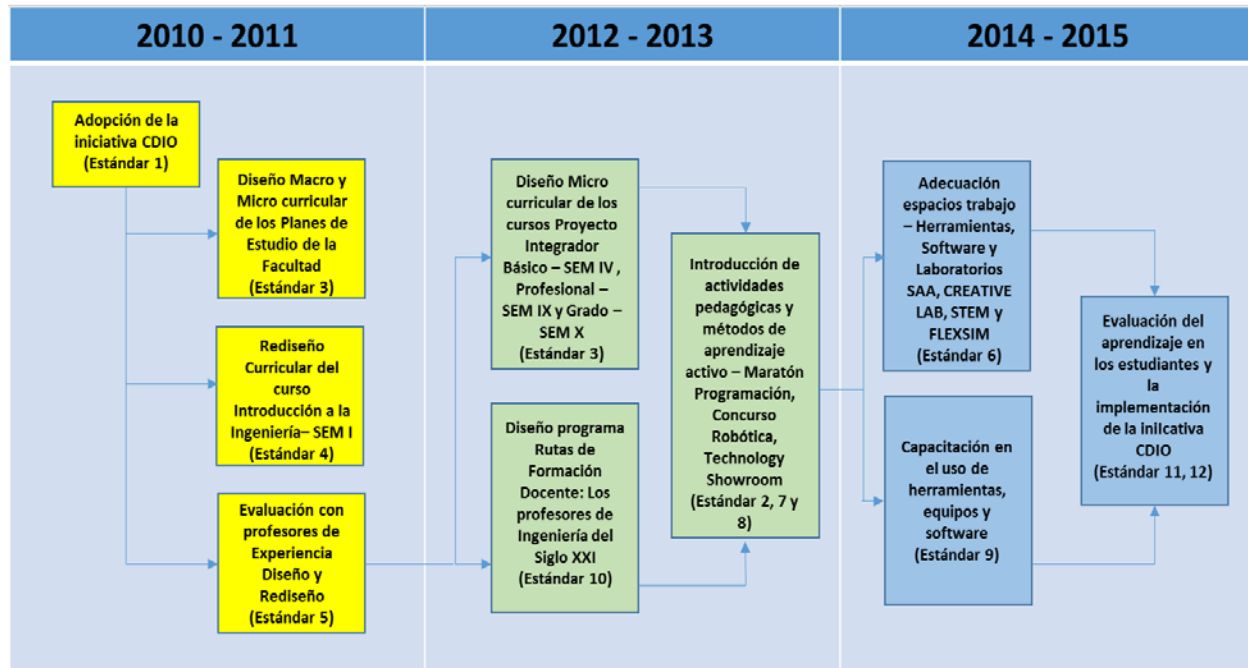


Figura 1. Implementación Iniciativa CDIO Facultad de Ingeniería USC. Autores.

2. Integración de la reforma curricular con CDIO en la facultad de ingeniería USC

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Santiago de Cali apropia los lineamientos curriculares y pedagógicos, contenidos en la resolución del Consejo Académico CA 14 del 2010, que establece la estructura curricular en Componentes, Campos de Saber, Cursos y Créditos. El Componente General, proporciona en el estudiante el dominio y uso de los conceptos, métodos y operaciones en uno o diversos campos del saber; el Componente Profesional, garantiza en el estudiante el desarrollo de capacidades, habilidades y destrezas particulares del campo de formación disciplinar que le permitan actuar en contexto, con iniciativa para diagnosticar y formular un problema que pueda resolver y con capacidad para determinar los criterios de pertinencia para su abordaje y solución; en este componente se puede, además, proporcionar la formación complementaria y o disciplinar, así como la formación para profundizar en un área específica.

Dado éstos lineamientos y la iniciativa CDIO, desde la Facultad de Ingeniería se planteó la estructura curricular de todos sus programas que permitieran al estudiante, a través del relacionamiento e integración de cursos, obtener los resultados de aprendizaje vinculados al conocimiento técnico y disciplinario, como los resultados asociados al aprendizaje personal de desarrollo afectivo y cognitivo, por ejemplo, el razonamiento propio de la ingeniería y la resolución de problemas, la experimentación y el descubrimiento del conocimiento, el pensamiento sistémico, el pensamiento creativo, el pensamiento crítico y la ética profesional; como también la obtención, de los resultados de aprendizaje interpersonales que soportan las interacciones personales y grupales, tales como el trabajo en equipo, el liderazgo, la comunicación en la lengua propia y la

comunicación en lenguas extranjeras; y como resultado final, la obtención de las habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas, a partir de la concepción, el diseño, la implementación y la operación de cualquier sistema en un contexto empresarial, comercial o social. La integración de esta Reforma Curricular con la iniciativa CDIO, se esquematiza en la Figura 2.

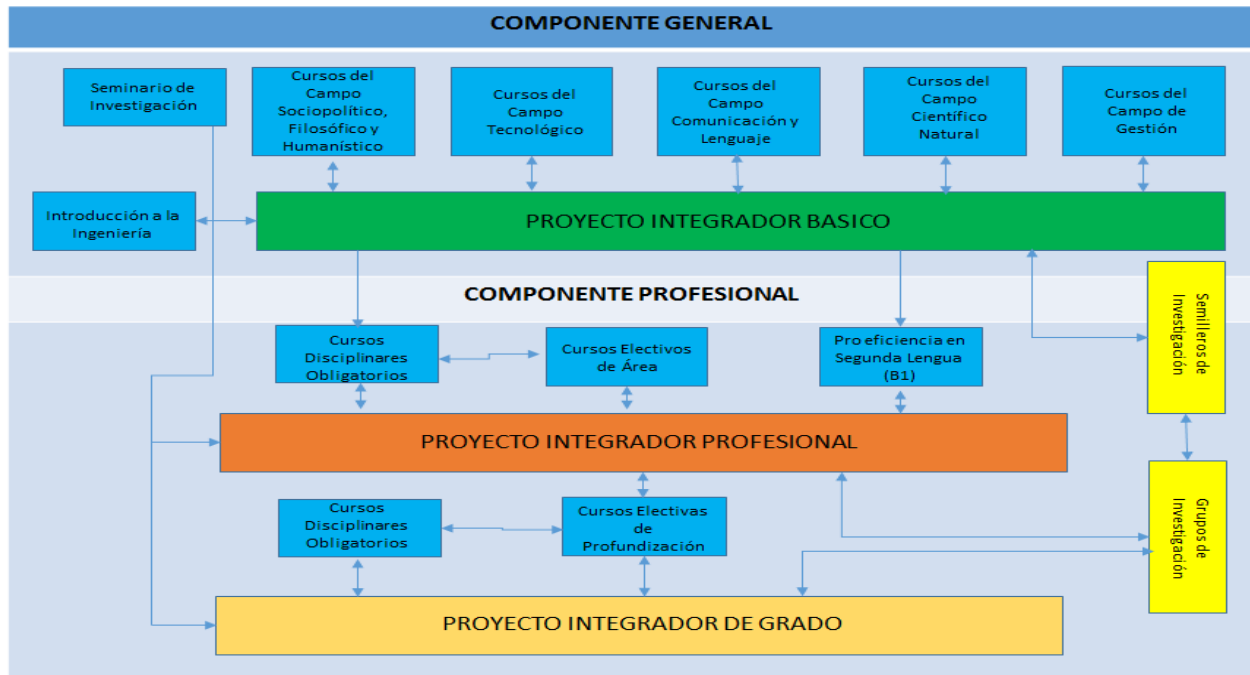


Figura 2. Integración Reforma Curricular y CDIO Facultad de Ingeniería USC. Autores.

3. Adecuación de Espacios de Trabajo para Aprender - Haciendo

Como consecuencia de la implementación de la iniciativa CDIO (estándar 6) y de la Reforma Curricular se hizo necesario la adecuación y construcción de nuevos espacios de trabajo, que permitieran en el estudiante la obtención de las competencias y habilidades para el desarrollo de un producto, proceso o sistema (Crawley, *et al.*, 2014). Los Espacios de Trabajo creados para el uso de los estudiantes de todos los programas de la Facultad de Ingeniería, se detallan a continuación:

- El Laboratorio SAA (Sala de Aprendizaje Activo), fortalecerá la formación de los estudiantes a través de la adopción del enfoque internacional CDIO (Concebir-Diseñar-Implementar-Operar) y fomentará la participación de los estudiantes en dar respuestas y posibles soluciones a problemas reales llevados a una menor escala, promoviendo una formación de futuros ingenieros investigadores, con suficientes bases científicas, capaces de trabajar en equipo y de argumentar sus posiciones y decisiones.
- El Laboratorio SAA es un espacio donde se aprende activamente, implicando que cada estudiante observe, analice, pregunte y deduzca teorías que intentan

explicar los fenómenos de la naturaleza. De esta forma la SAA se convertiría en un lugar específico para la observación, la imaginación, la creatividad, la invención, la interpretación y la interacción con nuevos conocimientos e ideas. Este laboratorio se soporta con 15 kits LEGO Mindstorms NXT Robotics Discovery Set, que posibilita la implantación de la iniciativa CDIO.

- El Creative Lab, es un laboratorio que representa la tendencia mundial en Ingeniería de hacer cualquier pieza a partir de producción digital, de ideas basadas en prototipos y objetos físicos de todo tipo. Significa que es una fábrica de diseño y construcción de piezas. El Creative Lab es un espacio de producción de objetos físicos a escala personal o local, que agrupa máquinas de control numérico por computador. Su particularidad reside en su tamaño y en su fuerte vinculación con necesidades de diseño y fabricación de piezas de cualquier material. Este Laboratorio está conformado por las siguientes Máquinas: Impresora 3D, Scanner 3D, Cortadora Láser CNC 6040 y Cortadora Mecánica CNC 6090.
- El Laboratorio STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics), es un laboratorio que consta de 7 estaciones robotizadas que simulan los procesos industriales de: Distribución, Transporte, Verificación, Separación, Procesos, Control de Calidad y Clasificación, cuya finalidad es formar a los futuros ingenieros de una manera práctica y atractiva en la enseñanza de la ciencia y la tecnología. Este laboratorio se soporta con 13 kits Modelo Robotics TXT Discovery Set, que permite construir cualquier tipo de artefacto robotizado.
- El Laboratorio FlexSim, es un potente software de simulación de procesos industriales discretos, continuos y mixtos, líder a nivel mundial. Con este Software se puede realizar simulaciones de: Diseño de la Cadena de Suministro, Diseño e implementación de Indicadores de Gestión Logística, Planeación de Ventas y Operaciones, Ingeniería de Cadena de Abastecimiento, Manejo Optimo de Inventarios, Optimización de Sistemas de Bodegaje, Diseño de Planta, Manejo de Ingresos, Optimización de Distribución.

4. Acciones realizadas en los cursos

Un propósito clave de la formación de los estudiantes de ingeniería es que aprendan a lidiar con problemas del mundo real. En nuestros programas esto comienza con el curso Introducción a la Ingeniería. Este curso es tomado por todos los estudiantes de ingeniería y corresponde al estándar 4 de CDIO (Crawley, *et al.*, 2014).

Aunque el curso existía antes de la reforma curricular del 2010, este curso consistía en una revisión histórica de los logros de la ingeniería, y solución a problemas hipotéticos. El curso fue re-estructurado para ofrecer a los estudiantes problemas reales interesantes para resolver, buscando en cada caso mantener un balance entre la teoría necesaria para resolverlo y la práctica. Los estudiantes deben organizarse en grupos de trabajo, y durante el semestre deben presentar evidencias del progreso en el proyecto.

Al inicio del semestre el grupo de profesores que dictan el curso proponen a los estudiantes problemas tales como: baterías orgánicas, brazo robótico hidráulico,

generadores de energía eólica, elevadores de líquidos, catapultas de bolas de golf, cañones lanza huevos, y máquinas de canicas.

Los estudiantes en grupos deben resolver el problema propuesto, cumpliendo con los requerimientos establecidos. Estos requerimientos son tanto funcionales como no funcionales. Muchos requerimientos no funcionales hacen el papel de restricciones que sirven por un lado para limitar el problema, y a la vez obligan a pensar en forma creativa en la solución. Uno de estos requerimientos es el uso de los servicios de fabricación digital que proporciona el Creative Lab

Para el curso de Introducción a la Ingeniería se dispone de la Sala de Aprendizaje Activo como espacio de trabajo. Eso como parte de los estándares 6 y 8 de CDIO (Crawley, *et al.*, 2014). La sala tiene una disposición con mesas de trabajo hexagonales cada una con un computador, donde los estudiantes organizados en grupos de seis aprenden a trabajar en forma colaborativa junto a estudiantes de otras ingenierías. Cuentan también con gabinetes donde los grupos pueden guardar el avance de sus proyectos.

En búsqueda de un currículo integrado, como lo sugiere el estándar 3 de CDIO (Crawley, *et al.*, 2014), los programas de ingeniería de la Universidad Santiago de Cali, cuentan con diversos proyectos integradores. El curso Proyecto Integrador Básico es ofrecido en cuarto semestre para estudiantes de todas las ingenierías. Posteriormente en octavo semestre los estudiantes cursan el Proyecto Integrador Profesional, que los dirige hacia su proyecto de grado.

A diferencia de Introducción a la Ingeniería donde todos los estudiantes resuelven el mismo problema, en este curso los estudiantes deben proponer un problema y resolverlo. Como requerimiento del curso la solución para el problema debe ser una máquina fabricada por los estudiantes.

Para esto, los estudiantes del curso tienen acceso a kits robóticos de LEGO Mindstorms y de Fischertechnik. También tienen acceso a los servicios de fabricación digital del Creative Lab, y algunos estudiantes ya hacen uso de tarjetas como Arduino, Raspberry Pi, Mbed e Intel Galileo en sus proyectos.

Proyectos recientes de este curso incluyen modelo de prótesis de mano con servomotores, sistema de alimentación para ganado en transporte, parqueadero robotizado de motos, sistema para alimentar ganado durante el transporte, sistema remoto de alimentación para mascotas, quadcóptero basado en arduino, grúa para trasteos en apartamentos sin ascensor, robot pintalíneas para parqueaderos y canchas, robot pintamuros, sistema de transporte de materias primas, transporte y clasificación de desechos hospitalarios, bastón inteligente, xilófono electrónico educativo, clasificadora de correo, cautín pen (autoalimentado), plancha industrial, dispensador de productos de uso diario, guante adaptador, máquina constructora de muros, barredora automática, transporte de materiales en fábrica.

El conjunto de estos cursos, Introducción a la Ingeniería y los Proyectos Integradores,

proporcionan a nuestros programas los espacios para desarrollar experiencias de diseño- implementación señalados en el estándar 5 de CDIO (Crawley, *et al.*, 2014).

En los 2 últimos años, la facultad también ha implementado un evento de fin de semestre, denominado “*Technology Showroom*” donde los distintos grupos en los cursos de Introducción a la Ingeniería y Proyecto Integrador Básico realizan una exhibición de sus proyectos a toda la facultad. En el evento cada grupo presenta su proyecto, como en una feria de negocios. A los asistentes (estudiantes, profesores y visitantes) se les entrega un pequeño formato donde evalúan los proyectos y ofrecen retroalimentación a los estudiantes.

5. Resultados obtenidos a la fecha

Incluso cuando la primera cohorte de estudiantes bajo el nuevo pensum reformado aún no ha egresado y salido al mercado, hemos visto cambios interesantes en los estudiantes y la cultura de la facultad.

Trabajar en la solución de un problema real fabricando algo físico (un objeto o máquina) desde primer semestre los motiva. Los problemas propuestos se convierten en un reto. Así mismo están más dispuestos a aprender en forma independiente los conocimientos y habilidades necesarias para encontrar la solución al problema. Adicionalmente, con la experiencia están dispuestos a enfrentarse a problemas más complejos.

Dentro de la facultad se percibe una mayor disposición de los estudiantes por participar en proyectos interdisciplinarios. Algo que comienzan a hacer desde el curso de Introducción a la Ingeniería en primer semestre, y continúa a través de cursos como el Proyecto Integrador Básico. En el proceso reconocen mejor el aporte que cada programa de ingeniería realiza a la solución de los problemas.

Al presentar sus proyectos frente a la comunidad universitaria, los estudiantes se sienten orgullosos del trabajo que realizan. Ven con anticipación el tipo de proyectos que estarán realizando en futuros semestres.

6. Referencias

Artículos de revistas

- Oosthuizen P.H., Paul J.T. (2007). Teaching the History of Engineering: Reasons and Possible Approaches. Proceedings of the 3rd International CDI Conference, MIT, Cambridge, Massachusetts. Pp 1-9.

Libros

- Crawley, E.F., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D.R., Edström, K. (2014). Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach. Springer International Publishing. 2nd. Edition. Suiza. pp 291-304.

Sobre los autores

- **Diego Fernando Marín Lozano:** Ingeniero de Sistemas, Especialista en Procesos de Desarrollo de Software, Estudiante de Maestría en Informática, Profesor Tiempo Completo en la Universidad Santiago de Cali. diego.marin01@usc.edu.co
- **Álvaro Iván Jiménez Alzate:** Ingeniero Mecánico, Maestría en Ciencias de la Computación, Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Santiago de Cali. ajjimenez@usc.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)