



**Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOFI**

Innovación en las facultades de ingeniería:  
el cambio para la competitividad y la sostenibilidad

Centro de Convenciones Cartagena de Indias

4 al 7 de octubre de 2016



# MEDICIÓN DE LAS HABILIDADES PARA DISEÑAR SISTEMAS EN INGENIERÍA: UN CAMBIO DE PARADIGMA

**Juan José Cardona Melo**

**Universidad Icesi  
Cali, Colombia**

## **Resumen**

Enmarcados en un proceso de acreditación internacional con ABET, y dando por hecho la capacidad que tiene para medir la calidad de los programas de pregrado en ingeniería, se revisó cómo se estaba midiendo la habilidad que desarrollan nuestros estudiantes para diseñar un sistema, un proceso o un componente de ingeniería, teniendo en cuenta una serie de restricciones reales. El proceso completo incluyó 1) Una definición de indicadores de medición, 2) Una revisión mesocurricular de las materias en las cuales se podría desarrollar la habilidad, 3) Un desarrollo de estrategias a nivel microcurricular y 4) Una forma de medición bajo un proyecto de diseño de ingeniería.

Este documento explica cómo se llevaron a cabo los pasos principales para lograr el esquema de enseñanza-aprendizaje, cómo se aprovecharon las ventajas del Proyecto Educativo Institucional (PEI) de la Universidad, y qué descubrimientos y retos se han presentado al momento de la implementación de cambios en la forma de llevar a cabo las clases y de evaluar, tanto por parte del profesor como del estudiante. Se hace énfasis en el diseño microcurricular de la materia en la cual se mide el objetivo: Distribución de Planta e Instalaciones. Cómo se fueron desplazando las herramientas convencionales de evaluación para dar paso a un seguimiento del proceso de aprendizaje desarrollado por medio de proyectos, la inclusión de un participante de la industria que permitiera aportar una situación problemática real y el elemento motivacional como beneficio colateral del proceso.

**Palabras clave:** CDIO; ABET; Outcome C; diseño de sistemas; medición de habilidades; educación en ingeniería

## **Abstract**

*Framed in an international accreditation process by ABET and assuming the ability to measure the quality of undergraduate programs in engineering, the ability that our students develop to design a system, process or engineering component was reviewed, taking into account a number of real restrictions. The entire process included 1) A definition of measurement indicators, 2) A mesocurricular review of the courses in which they could develop the skill, 3) developing strategies to microcurricular level and 4) A way of measuring under an engineering design project.*

*This document explains how the major steps to achieve the scheme of teaching and learning were carried out, how the benefits of Institutional Education Project (IEP) of the University took advantage, and what discoveries and challenges have arisen when implementing changes in how to conduct and evaluate classes by both the teacher and the student. An emphasis on the course's microcurricular design gets done on Facilities Layout. Some factors were analyzed, such as how the conventional assessment tools were displaced to give way to track the learning process developed through projects, including an industry participant that would present a real problematic situation and the motivational element as collateral benefit of the process.*

**Keywords:** *CDIO; ABET; Outcome C; system design; abilities measuring; engineering education*

## **1. Introducción**

El programa de Ingeniería Industria de la Universidad Icesi nace en 1997 bajo los principios fundamentales del Proyecto Educativo Institucional (PEI) de la universidad, también reconocida como tal en el mismo año. Dicho proyecto, que se puede resumir como “Convertir la Universidad, de un sitio de instrucción, en un centro de estudio”, ofrece algunos elementos clave para el desarrollo y mejoramiento de los programas (Gonzalez, 2011), como lo son la habilidad de comunicación, el pensamiento crítico, el aprendizaje continuo y el trabajo en equipo. En 2013, el programa, se apoya en la metodología CDIO (Conceive, Design, Implement and Operate) para implementar un proceso de revisión curricular que finalmente se presenta en 2014 y se termina de implementar en 2015. Con estos ajustes se busca ofrecer a los estudiantes el logro de tres grande objetivos (Universidad Icesi, 2014):

1. Avanzar como un profesional líder de Ingeniería Industrial en organizaciones de manufactura o de servicios.
2. Utilizar sus conocimientos para liderar proyectos destinados a la utilización óptima de los recursos y la mejora continua.
3. Utilizar sus competencias de trabajo en equipo, pensamiento sistémico y capacidad de adaptarse permanentemente al cambio para mantenerse actualizado en su campo profesional.

Durante 2015 inició un proceso de acreditación con ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) en todos los programas de la facultad de Ingeniería, el cual está en curso. Este documento cuenta el proceso llevado a cabo para incluir la medición de uno de los Resultados de Programa (Outcome C) en el currículo.

## 2. Metodología

El proceso inició con una revisión del currículo bajo el marco de la metodología CDIO y lo que en ella se denomina *Syllabus* (un listado de conocimientos, habilidades y actitudes que se desean tenga el estudiante una vez se gradúe como ingeniero) (Crawley, et al., 2014). En esta revisión se establecieron, para cada materia, unos Objetivos de Aprendizaje que se iban a desarrollar y en qué nivel (Introducción, Enseñanza, Aplicación), provenientes de dicho *Syllabus*. En la *Tabla 1* se puede observar un extracto del cruce entre materias del *Syllabus CDIO* con las materias del currículo.

Competencias	4.1. Contexto Externo y Social			4.2. Empresas Y Contexto Comercial	4.6. Operación				
	4.1.1 Roles y responsabilidades de los ingenieros	4.1.2 El impacto de la ingeniería en la sociedad	4.1.6 Desarrollo de una perspectiva global	4.2.2 Estrategia, objetivos y planificación de las empresas	4.6.1 Diseñar y optimizar las operaciones	4.6.3 Apoyo al ciclo de vida útil	4.6.4 Mejoramiento y evaluación de los sistemas	4.6.5 Disposición y fin de vida útil	4.6.6 Gestión de las operaciones
Objetivos de Aprendizaje de competencias	Nivel	Nivel	Nivel	Nivel	Nivel	Nivel	Nivel	Nivel	Nivel
Introducción a la Ingeniería Industrial	I	I			I		I		I
Procesos y Procedimientos							T		
Planeación y Control de la Producción	T		I	T		I		I	T
Cadenas de abastecimiento	T	T	T	T	T	T			T
Distribución de Planta e Instalaciones	A	T	T	A	A				A

Tabla 1: Extracto Matriz de cruce Competencias Septiembre de 2014

Posterior a esto, se identificó, gracias a la validación del *Syllabus CDIO* que presentan (Crawley, et al., 2014). con los criterios de ABET los Objetivos de Aprendizaje que presenta CDIO en su *Syllabus*, que más relación tienen con el *Outcome C* de ABET. Como se puede ver en la Tabla 2, todo el capítulo 4 del *Syllabus de CDIO* tiene una buena relación con el *Outcome C de ABET*, además del capítulo 2.3 referente a Pensamiento Sistémico. Haciendo una apertura de cada uno, según la propuesta de CDIO y comparando con los Objetivos Educativos del Programa, que la universidad había establecido previamente, se definieron dos Indicadores de Programa para medir el logro general de este conjunto de habilidades, actitudes y conocimientos:

PI1: Diseñar un sistema, componente o proceso con base en unas necesidades y restricciones.

PI2: Analizar el desempeño del diseño y sus limitaciones.

El primer Indicador se dividió en dos factores, donde el primero se refería a la *Aplicación de conocimientos* relevantes para lograr el diseño y el segundo a *Verificar el cumplimiento de las necesidades y restricciones del diseño*. El segundo, se evaluó en su totalidad.

Para la medición, se desarrolló una rúbrica con 4 niveles (principiante, en desarrollo, competente y excepcional), la cual fue calibrada por varios profesores.

Table 3.3 The CDIO Syllabus correlated with ABET’s evaluative criterion 3

CDIO Syllabus	ABET’s Evaluative Criterion 3										
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
1.1 Knowledge of Underlying Mathematics, Science	■										
1.2 Core Engineering Fundamental Knowledge	■										
1.3 Adv. Engr. Fund. Knowledge, Methods, Tools	■										■
2.1 Analytical Reasoning and Problem Solving					■						■
2.2 Exper. Investigation and Knowledge Discovery		■									
2.3 System Thinking			■								
2.4 Attitudes, Thought, and Learning									■		
2.5 Ethics, Equity, and Other Responsibilities						■					■
3.1 Teamwork				■							
3.2 Communications							■				
3.3 Communication in Foreign Languages											
4.1 External, Societal, and Environmental Context			■					■		■	
4.2 Enterprise and Business Context								■			
4.3 Conceiving, Systems Engr., and Management			■								
4.4 Designing			■								
4.5 Implementing			■								
4.6 Operating			■								
	■										
	Strong Correlation							Good Correlation			

Tabla 2: Correlación entre Syllabus de CDIO y el criterio de evaluación 3 de ABET. (Crawley, et al., 2014).

Volviendo al cruce entre las materias del programa y el *Syllabus CDIO*, que se ve en la Tabla 1, se identificaron aquellas materias en las que se trabajaría para introducir, desarrollar y evaluar los Objetivos de Aprendizaje, y en qué punto se podría tomar información relevante para medir dichos indicadores.

Definidos los indicadores, la rúbrica como instrumento de recolección de datos, y la materia Distribución de Planta e Instalaciones, se procedió a recopilar los datos tras el desarrollo de un proyecto a ejecutar en la materia, el cual se describe en el capítulo 4. Estrategias de Enseñanza/Aprendizaje.

### 3. Revisión Mesocurricular

Las materias identificadas como participantes de forma directa en el desarrollo de la habilidad de los estudiantes para Diseñar un sistema, componente o proceso cumpliendo las necesidades con restricciones reales de tipo económico, ambiental, social, político, ético, de salud y seguridad, factibilidad y sostenibilidad (definición del *Outcome C ABET*), fueron Introducción a la Ingeniería Industrial (1 semestre), Procesos y procedimientos (2 semestre), Planeación y Control de las Operaciones (6 semestre), Cadenas de Abastecimiento (7 semestre) y Distribución de Planta e Instalaciones (8 semestre).

Una ventaja grande encontrada, como fue mencionado en la introducción, corresponde que estas materias, reflejan el PEI (Proyecto Educativo Institucional) de la universidad, integrando habilidades, que si bien, no hacen parte de aquellas que se identificaron para ser medidas en el *Outcome C de ABET*, son fundamentales para que

los estudiantes desarrollen sus habilidades de diseño. Éstas son la habilidad de comunicación, el pensamiento crítico, el aprendizaje continuo y el trabajo en equipo.

Otro elemento fundamental que se resalta como apoyo del PEI es la metodología de aprendizaje activo que se aplica en la universidad, toda vez que desde los primeros semestres, el estudiante comienza a desarrollar una autonomía necesaria para liderar equipos de trabajo, responder con fechas de entrega, buscar información adicional necesaria para resolver problemas con restricciones.

#### 4. Estrategias de Enseñanza/Aprendizaje

El proceso descrito en la metodología y en la Revisión Curricular, actualmente sólo ha tenido una primera iteración. Esto quiere decir que los resultados que se presentan en este documento son preliminares.

Cuando se inició el proceso se revisaron los programas de cada una de las materias usadas como estrategia para desarrollar la habilidad de diseño del estudiante, realizando algunos ajustes, en cuanto a los temas ofrecidos, eliminación de redundancias, ajustes de prerrequisitos y uso de las habilidades desarrolladas en semestres inferiores, en los semestres posteriores. También se ajustaron los niveles de desarrollo de los Objetivos de Aprendizaje de los cursos. Así, por ejemplo, algunas habilidades se introducen en los primeros semestres, en Introducción a la Ingeniería Industrial y Procesos y Procedimientos, se desarrollan en semestres intermedios, en Planeación y Control de las Operaciones y en Cadenas de Abastecimiento y se aplican en los posteriores en Distribución de Planta e Instalaciones y en Ingeniería del Ciclo de vida. Esto, sin embargo, no se desarrolla siempre así, sino que depende de la ruta que se le haya trazado a cada habilidad en el programa.

En el caso de la materia Distribución de planta e Instalaciones, se revisó más a profundidad y se modificaron varias estrategias de enseñanza/aprendizaje, puesto que sería la materia en la cual se recopilarían los datos que permitieran evaluar la capacidad de diseño de un sistema por parte de los estudiantes (*Outcome C de ABET*).

Las estrategias tradicionales de Enseñanza/Aprendizaje, aunque puedan o no ser efectivas en el desarrollo de las habilidades descritas, no permiten medir de forma eficaz este mismo desarrollo de forma directa. Una evaluación escrita requiere realizar innumerables supuestos que cubran todas las posibles situaciones que se podrían presentar en una situación real, deja por fuera la interacción entre los estudiantes, no deja ver su trabajo en equipo, impide la evidenciar la capacidad de enfrentarse a problemas con múltiples restricciones y sólo nos muestra la habilidad de comunicación escrita.

Para lograr solventar todos estos retos, la materia tuvo cambios significativos. En primera instancia, se eliminaron los parciales o evaluaciones escritas que antes representaban el 70% de la nota. Además de los parciales, los estudiantes debían desarrollar un proyecto que consistía en el diseño y distribución de planta de una instalación para un negocio ficticio que ofrecía el profesor. Este proyecto se modificó reemplazándolo por una situación real asociada a una empresa. Durante el curso, los estudiantes preparan los temas propuestos,

según la bibliografía y son evaluados de forma individual con pequeñas pruebas cortas que representan una proporción pequeña de la nota. Este proceso no es diferente al que se hacía antes de iniciar la revisión curricular ni tampoco ha cambiado en las otras materias. Sirve además para que el profesor pueda identificar la capacidad de cada estudiante de apropiarse del nuevo conocimiento y para dar retroalimentación rápida a los estudiantes.

Otro cambio importante se refiere al manejo de las clases y el tiempo. Al incluirse empresas con problemas reales, se requiere, en muchas ocasiones, incluir nuevos temas, que aparentemente estaban fuera del alcance del curso o no revisar algunos temas que no son requeridos. Por ejemplo, si uno de los grupos está diseñando una instalación para un Laboratorio Universitario, su énfasis no estará en los tiempos de ciclo de las operaciones ni en el inventario en proceso, pero si otro de los grupos está trabajando con una empresa de Alimentos, deberá incluir la reglamentación INVIMA (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos) en el diseño de su instalación. También, de acuerdo al tamaño de la empresa, los recursos y el problema, los equipos de manejo de materiales podrán incluir mayor o menor tecnología o la revisión de restricciones de tipo social o ético.

En la revisión microcurricular del curso, se definieron unos temas mínimos, lo suficientemente generales para acompañar el diseño de un sistema liberando tiempo de clase para hacer seguimiento a los proyectos. Los estudiantes incluyeron en la forma de trabajo un cronograma y portafolios virtuales (Hernández, 2015) que llevaban a clase para revisar el avance de su trabajo con el profesor, el cual daba pautas y guías para afrontar el problema que ellos mismos habían definido, o para ajustar el alcance del mismo. También acompañando el proceso con bibliografía adicional o referencias a algún experto del tema en particular para ser consultado. Para retroalimentar el avance, los estudiantes entregan informes periódicos escritos de no más de 5 páginas, con referencias a su portafolio virtual, para ampliar la información, en caso de ser requerido. Estos informes sirven para el proceso evaluativo del curso y para la retroalimentación, pero durante el seguimiento también se ofrece retroalimentación directa a los estudiantes. Ellos levantan un acta de cada reunión con el profesor y envían los compromisos que serán revisados en la siguiente reunión.

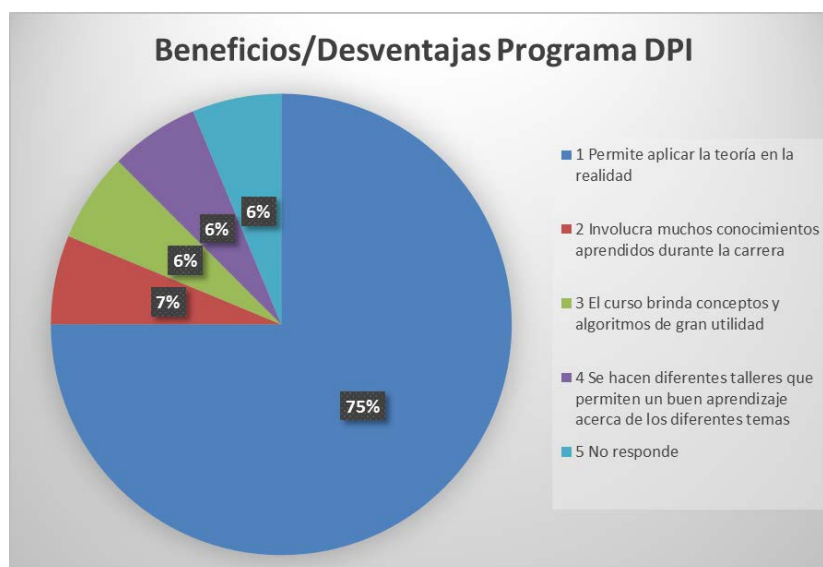
En la entrega final, los estudiantes presentan el diseño de una instalación representado en un plano y en un diseño 3D. Esta presentación se hace ante las empresas que participan del programa, y otros profesores. Todos califican unos criterios previamente compartidos con los estudiantes y la mejor propuesta es premiada por parte de las empresas.

Todo el proceso completo, que incluye varias visitas a las instalaciones actuales de las empresas o reuniones con empresarios para recopilar las necesidades propias del diseño, y al final la medición del desempeño del diseño presentado representa una *Experiencia de Diseño (Experience Design Major)* (University of Indianapolis, 2016) la cual ha sido señalada como una de las formas que permite realizar medición del desempeño de los estudiantes en entornos reales.

## 5. Lecciones aprendidas

Todo el cambio establecido en Distribución de Planta e Instalaciones ha sido satisfactorio. No sólo para la medición del proceso, sino para las empresas y sobre todo para los estudiantes. Como se puede ver en las Gráfica 1, los estudiantes resaltan el hecho de que el programa del curso les permita aplicar la teoría a la realidad como el mayor beneficio.

Aun así, no todo ha sido mieles. Este curso tiene es totalmente diferente a los cursos anteriores y genera algún choque en los estudiantes. Muchos de ellos están acostumbrados a los exámenes y se preparan para aprobarlos, mostrándose como “buenos” estudiantes, aunque no necesariamente “buenos” ingenieros. También, muchos de ellos son excelentes mostrando sus capacidades individuales, pero se sienten incómodos trabajando bajo presión para dar un resultado grupal a una empresa.



Gráfica 1: Gráfica de Beneficios/Desventajas del Programa de Distribución de Planta e Instalaciones 2016-1. Encuesta de Satisfacción Estudiantes

Aunque la universidad tiene experiencia en este campo, porque todos los programas tienen un semestre donde los estudiantes desarrollan su práctica profesional, hay unos asesores de práctica que brindan el acompañamiento a los estudiantes, y ellos pasan toda una jornada laboral en un ambiente diferente a la universidad. Esta experiencia es diferente, y el tiempo del profesor no es suficiente para dar un acompañamiento individual, en la mayoría de los casos. De esto se desprende, que sea necesario ir involucrando experiencias de este tipo en los cursos anteriores.

La experiencia previa al diseño de este curso mostró que el trabajo con empresas es difícil. Muchas veces, los tiempos de respuesta que las mismas esperan son diferentes a los que la academia puede ofrecer, también hay desconfianza por compartir información que pueda ser considerada confidencial. Este curso incluyó dos elementos cruciales para el éxito del programa que se incluyen como una lección para futuros cursos. Uno de ellos es contar

con el acompañamiento de un tercero, en el caso de la universidad el CDEE (Centro de Desarrollo del Espíritu Empresarial), el cual tiene los recursos para comunicarse, hacer seguimiento y acompañar a las empresas, garantizando que no se pierda la relación una vez iniciado el proceso, y el otro se refiere a una práctica del mismo CDEE que corresponde a la firma de Acuerdos que incluyen respetar la confidencialidad de la información por parte de estudiantes y profesores, y parte de las empresas el compromiso a compartir la información requerida para la solución de los problemas.

## Referencias

- Crawley, E., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D., & Edström, K. (2014). Rethinking Engineering Education - The CDIO approach (2 ed.), pp 34, 61.
- Gonzalez, H. (2011). El aprendizaje activo y la formación universitaria. Cali: Universidad Icesi.
- Hernández, M. (2006). El portafolio del estudiante. Ficha Metodológica. Consultado el 10 de Marzo de 2015 en <http://www.recursosees.uji.es/fichas/fm4.pdf>
- Universidad Icesi. (2014). Programa de Ingeniería Industrial - Universidad Icesi. Consultado el 20 de Junio de 2016 en [https://www.icesi.edu.co/ingenieria\\_industrial/Programa/objetivos\\_programa.php](https://www.icesi.edu.co/ingenieria_industrial/Programa/objetivos_programa.php)
- University of Indianapolis. (2016). Experience Design. Consultado el 20 de Junio de 2016 en <http://www.uindy.edu/cas/experience-design/major>

## Sobre el autor

- **Juan José Cardona Melo:** MBA, Universidad Icesi, 2012. Ingeniero Industrial, Universidad Icesi, 2006. Ingeniero de Sistemas, Universidad Icesi, 2006. Profesor Tiempo Completo, [jjcardona@icesi.edu.co](mailto:jjcardona@icesi.edu.co)

---

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

Copyright © 2016 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)