

CDIO: Una gran estrategia de formación en ingeniería

Guillermo Restrepo G.; María A. Lopera C.¹

Introducción

La ingeniería surgió cuando se crearon las primeras máquinas de guerra, pero también fueron artefactos para defensa de los seres humanos ante los peligros. No es raro que al principio fuera “militar” hasta cuando John Smeaton le diera el nombre de “civil”. Su trayectoria empírica empieza a cambiar cuando a mediados del siglo XVIII se crea la primera escuela de ingeniería. Se da la oportunidad para que se fundamente en las ciencias exactas y naturales, empezando la tensión entre teoría y práctica. Quizás, el péndulo se fue inclinando progresivamente hacia la modelación y la conceptualización.

Hugo Ron, uno de los creadores del CDIO, muestra que en la década de 1980 se hace necesario revisar ese sesgo y reivindicar la práctica y las aplicaciones. En 1995, la Boeing propone una lista de atributos para la formación en Ingeniería: “*Conocimientos fundamentales en ciencia, conocimientos profundos en procesos de diseño y manufactura, perspectiva multidisciplinaria y sistémica, comprensión básica del contexto económico y habilidades de comunicación, estándares éticos, habilidades críticas y creativas, flexibilidad y trabajo en equipo*”. Fundamentándose en estas nociones el Massachusetts Institute of Technology junto con tres universidades del norte de Europa Chalmers Institute of Technology, Linköping University y Royal Institute of Technology en el año 2000 crean el proyecto llamado iniciativa CDIO planteando que la ingeniería es *concebir, diseñar, implementar y operar*. (Hugo, CDIO, 2015)

Apoyados en los fundadores del CDIO y en su página oficial queremos presentar su estructura básica y su impacto en la enseñanza de la ingeniería. Se espera que la nueva Unidad de Investigación en la Formación en Ingeniería evalúe esta estrategia con miras a su implementación parcial o total en la Facultad.

Fundamentación del CDIO: Estándares y el Syllabus

Estándares

En el año 2004, el CDIO adoptó 12 estándares para todos sus programas. Ellos constituyen una guía para todas las iniciativas que se lleven a cabo en todas las facultades de ingeniería de la red. Están referidos a: La filosofía del programa, el desarrollo del currículo, el diseño de los espacios de trabajo, los métodos de enseñanza y aprendizaje, el desarrollo docente y la evaluación; pero en diciembre del 2010 salió la versión 2 de los estándares, cuyas descripciones transcribimos

Estándar 1: Contexto

“Un programa CDIO se basa en el principio de que el desarrollo y la utilización de productos, procesos y sistemas constituyen el contexto apropiado para la formación en ingeniería. *Concebir-Diseñar-Implementar-Operar* es un modelo del ciclo vital completo del producto, proceso o sistema. La etapa *Concebir* comprende definir las necesidades del cliente; considerar la tecnología, la estrategia empresarial y las regulaciones; y, por último, desarrollar el plan conceptual, el plan técnico y el plan de negocio. La etapa *Diseñar* se centra en la creación del diseño, esto es, los planos, representaciones y algoritmos que describen lo que será después implementado. La etapa *Implementar* se refiere a la transformación del diseño en el producto, proceso o sistema, incluyendo su manufactura, codificación, testeo y validación. Y la última

¹ Integrantes del grupo de investigación Ingeniería y Sociedad. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia, Medellín.

etapa, *Operar*, se refiere a la utilización el producto o proceso implementado para entregar el resultado esperado; esta etapa incluye el mantenimiento, el perfeccionamiento y el retiro final del sistema.”

Estándar 2: Resultados de Aprendizaje

“El conocimiento, las habilidades y las actitudes que se esperan como resultado de la formación en ingeniería –esto es, los resultados de aprendizaje– están codificados en el *Syllabus CDIO*. Estos resultados de aprendizaje detallan lo que los alumnos deberían saber y ser capaces de hacer al finalizar el programa de ingeniería.

Los resultados de aprendizaje son revisados y validados por los actores principales del programa, o sea, por las partes interesadas, teniendo en cuenta su coherencia con los objetivos del programa y su relevancia para la práctica profesional de la ingeniería. Alentamos a los diferentes programas a que personalicen el *Syllabus CDIO* de acuerdo a sus respectivas características. Por otra parte, las partes interesadas también pueden ayudar a determinar el nivel esperado de competencia, o nivel de logro, para cada resultado de aprendizaje.”

Estándar 3: Currículo Integrado

“Un currículum integrado incluye experiencias de aprendizaje que conducen a la adquisición de habilidades personales e interpersonales y de habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas (Estándar 2), entrelazadas con el aprendizaje de los conocimientos de la disciplina y su aplicación en la ingeniería profesional. Los cursos disciplinarios se apoyan unos en otros al hacer conexiones explícitas entre contenidos y resultados de aprendizaje relacionados entre sí. Existe un plan explícito que señala de qué manera se llevarán a cabo la integración de habilidades y las conexiones multidisciplinarias, por ejemplo, mediante el establecimiento de correspondencias entre los resultados de aprendizaje específicos y los cursos y actividades co-curriculares que forman parte del currículum.”

Estándar 4: Introducción a la Ingeniería

“El curso introductorio, que generalmente es uno de los primeros cursos obligatorios en los programas, proporciona el marco para la práctica de la ingeniería. Este marco es un esbozo, a grandes rasgos, de las tareas y responsabilidades de un ingeniero y del uso del conocimiento disciplinario en la ejecución de esas tareas. Los estudiantes se involucran en la práctica de la ingeniería mediante la resolución de problemas y ejercicios simples de diseño, de manera individual y en equipo. El curso incluye también el conocimiento de habilidades personales e interpersonales, habilidades y actitudes que son cruciales al comienzo del programa para poder preparar a los estudiantes para experiencias más avanzadas de construcción de productos, procesos y sistemas. Por ejemplo, los estudiantes pueden participar en grupos pequeños para la realización de ejercicios, a modo de preparación para su participación en equipos de desarrollo más amplios.”

Estándar 5: Experiencias de Diseño-Implementación

“La expresión *experiencia de diseño-implementación* se refiere a una variedad de actividades de ingeniería que son clave para el proceso de desarrollo de nuevos productos y sistemas. Están incluidas aquí, por ejemplo, todas las actividades descritas en el Estándar 1 para las etapas *Diseñar* e *Implementar*, y también los aspectos propios del diseño conceptual de la etapa *Concebir*. En las experiencias de diseño-implementación integradas en el currículum, los alumnos desarrollan las habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas, así como

la capacidad de aplicación de la ciencia propia de la ingeniería. Las experiencias de diseño-implementación se consideran básicas o avanzadas de acuerdo a su alcance, complejidad y ubicación dentro de la secuencia del programa. Por ejemplo, los productos y sistemas más simples se introducen al principio del programa, mientras que las experiencias de diseño-implementación más complejas aparecen en cursos posteriores, diseñados para ayudar a los estudiantes a integrar los conocimientos y las habilidades adquiridos en cursos y actividades de aprendizaje anteriores. Oportunidades para concebir, diseñar, implementar y operar productos, procesos y sistemas pueden incluirse también en actividades co-curriculares obligatorias como, por ejemplo, en proyectos de investigación de pregrado o en periodos de prácticas profesionales.”

Estándar 6: Espacios de Trabajo

“El entorno físico de aprendizaje incluye espacios de aprendizaje tradicionales, por ejemplo, salas de clase, auditorios, salas de conferencia, salas de seminario, pero también talleres de ingeniería y laboratorios. Los talleres y los laboratorios apoyan el aprendizaje de las habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas y, simultáneamente, el aprendizaje de los conocimientos disciplinarios. Estos espacios hacen hincapié en un aprendizaje práctico en el que los estudiantes se involucran directamente en su propio aprendizaje y facilitan instancias de aprendizaje social, esto es, escenarios en los que los estudiantes pueden aprender unos de otros e interactuar con diversos grupos. La creación de nuevos espacios de trabajo, o la remodelación de laboratorios ya existentes, dependerá del tamaño del programa y los recursos de la institución.”

Estándar 7: Experiencias de Aprendizaje Integrado

“Las experiencias de aprendizaje integrado son enfoques pedagógicos que promueven, de manera simultánea, el aprendizaje de conocimientos disciplinarios, de habilidades personales e interpersonales y de habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas. Incorporan problemas de la ingeniería profesional a contextos donde coexisten con problemas disciplinarios. Por ejemplo, en un mismo ejercicio, los estudiantes pueden considerar el análisis de un producto, el diseño del producto y la responsabilidad social del diseñador del producto. Los socios vinculados a la industria, los ex-alumnos y otros actores clave suelen ser de mucha ayuda para encontrar ejemplos de tales ejercicios.”

Estándar 8: Aprendizaje Activo

“Los métodos de aprendizaje activo involucran a los estudiantes directamente en actividades de reflexión y de resolución de problemas. Se da menos relevancia a la transmisión pasiva de información y más a la participación de los alumnos en la manipulación, la aplicación, el análisis y la evaluación de ideas. En los cursos que se basan en cátedras o clases magistrales, el aprendizaje activo puede fomentarse mediante las discusiones en parejas o en pequeños grupos, las demostraciones, los debates, las preguntas que apuntan a conceptos importantes y la retroalimentación por parte de los alumnos acerca de lo que están aprendiendo. El aprendizaje activo se considera experiencial cuando los estudiantes asumen roles que simulan la práctica profesional de la ingeniería, por ejemplo, en proyectos de diseño- implementación, simulaciones o estudios de casos.”

Estándar 9: Fortalecimiento de la Competencia de los Académicos

“Los programas CDIO dan apoyo al cuerpo de académicos para mejorar la competencia de éstos en habilidades personales e interpersonales y en habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas, descritas en el Estándar 2. Estas habilidades se desarrollan de mejor manera en contextos de práctica profesional de la ingeniería. La naturaleza y el alcance del

desarrollo docente varían según los recursos y las intenciones de los distintos programas e instituciones. Algunos ejemplos de acciones que fortalecen la competencia de los académicos son: facilitar permisos o excedencias para trabajar en la industria durante un tiempo, establecer relaciones de colaboración con colegas procedentes de la industria en proyectos de investigación y educación, incluir el ejercicio profesional de la ingeniería como criterio para la contratación de nuevos académicos y el ascenso de los académicos ya contratados, y realizar en la universidad experiencias de desarrollo profesional.”

Estándar 10: Fortalecimiento de la Competencia Docente de los Académicos

“Un programa CDIO proporciona apoyo a sus académicos para mejorar la competencia de éstos en experiencias de aprendizaje integrado (Estándar 7), en aprendizaje activo y experiencial (Estándar 8) y en evaluación del aprendizaje de los alumnos (Estándar11). La naturaleza y el alcance de estas prácticas de desarrollo docente variarán de acuerdo a las características de los programas y las instituciones. Algunos ejemplos de acciones que fortalecen la competencia docente de los académicos son: apoyo y fomento de la participación de los académicos en programas de desarrollo docente, tanto dentro de la universidad como fuera de ella, organización de foros donde los académicos puedan compartir ideas y prácticas que hayan tenido buenos resultados, dar relevancia a la evaluación del desempeño docente, y adoptar como criterio para la contratación el uso de métodos de enseñanza efectivos.”

Estándar 11: Evaluación del Aprendizaje

“La evaluación del aprendizaje de los alumnos es la medición del grado que cada alumno alcanza en los resultados de aprendizaje específicos. Generalmente, los profesores realizan esta evaluación en el marco de sus respectivos cursos. La evaluación efectiva del aprendizaje utiliza una variedad de métodos que se corresponden de manera adecuada con los resultados de aprendizaje que apuntan al conocimiento disciplinario y también a las habilidades personales, interpersonales y de construcción de productos, procesos y sistemas, tal como se describen en el Estándar 2. Entre estos métodos podemos encontrar, por ejemplo, pruebas orales y escritas, observaciones del desempeño del alumno, escalas de calificación o puntuación, reflexiones de los estudiantes, diarios o bitácoras, portafolios, evaluación entre pares y auto-evaluación.”

Estándar 12: Evaluación del Programa

“La evaluación del programa es un juicio de valor sobre el programa en general, basado en las evidencias de los avances que se hayan realizado en el recorrido hacia la consecución de los objetivos del programa. Un programa CDIO debe ser evaluado con relación a estos 12 Estándares CDIO. Las evidencias para la valoración del programa se pueden reunir a partir de evaluaciones de los cursos, reflexiones de los profesores, entrevistas a alumnos de nuevo ingreso y a alumnos de último año, informes de evaluadores externos y estudios de seguimiento con la participación de egresados y empleadores. Estas evidencias pueden ser compartidas con los académicos, los estudiantes, los administradores del programa, los ex-alumnos y otros actores involucrados. Esta retroalimentación constituye la base sobre la que tomar decisiones acerca del programa y sobre la que fundar los planes de mejora continua.” (CDIO, ESTÁNDARES CDIO v. 2.0, 08 de diciembre de 2010)

Syllabus

Corresponde a un detalle del estándar 2 (Resultados de aprendizaje). La versión es del 2011 y a continuación listamos los componentes de sus 4 partes.

1. Conocimiento y razonamiento disciplinario

Conocimiento de matemáticas y de ciencias básicas, fundamentos de la ingeniería, métodos y herramientas de la ingeniería

2. Habilidades y atributos personales y profesionales

2.1. *Razonamiento analítico y resolución de problemas*: Identificación y formulación de problemas, Modelamiento, estimación y análisis cuantitativo, análisis con incertidumbre, solución y recomendaciones.

2.2. *Experimentación, investigación y descubrimiento del conocimiento*: Formulación de hipótesis, búsqueda en la literatura impresa y electrónica, investigación experimental, prueba y defensa de hipótesis.

2.3. *Pensamiento sistémico*: Concepción holística, comportamiento emergente e interacciones en sistemas, priorización y foco, “Trade-offs”.

2.4. *Actitudes, pensamiento y aprendizaje*: Decisiones frente a la incertidumbre; perseverancia, urgencia y voluntad de logro, inventiva y flexibilidad; pensamiento crítico y creativo; autoconciencia, metacognición e integración del conocimiento; aprendizaje y educación a lo largo de toda la vida; administración del tiempo y de los recursos

2.5. *Ética, equidad y otras responsabilidades*: Ética, integridad y responsabilidad social; conducta profesional; visión proactiva e intención en la vida; mantenerse al día en el mundo de la ingeniería; equidad y diversidad; confianza y lealtad.

3. Habilidades interpersonales: trabajo en equipo y comunicación

3.1. *Trabajo en equipo*: Formación, operación, crecimiento, liderazgo, equipos técnicos y multidisciplinarios

3.2. *Comunicaciones*: Estrategia, estructura, escritas, electrónicas, gráficas y orales, indagación, dialogo, negociación, resolución de conflictos, redes.

3.3. *Comunicaciones en idiomas extranjeros*: En inglés y en otros idiomas.

4. Concebir, diseñar, implementar y operar sistemas en el contexto de la empresa, de la sociedad y del medio ambiente – el proceso de innovación

4.1. *Contexto externo, social y ambiental*: Roles y responsabilidades ingenieriles; el impacto de la ingeniería en la sociedad y en el medio ambiente; la regulación de la ingeniería por la Sociedad; el contexto histórico y cultural; temas y valores contemporáneos; desarrollar una perspectiva global; sustentabilidad y la necesidad de un desarrollo sustentable.

4.2. *Contexto de la empresa y de negocios*: Culturas diversas; participantes, estrategia y metas de la empresa; emprendimiento técnico; trabajando en organizaciones nacionales e internacionales; desarrollo y evaluación de nueva tecnología; finanzas y economías de proyectos de ingeniería.

4.3. *Concebir, ingeniería y gestión de sistemas*: Necesidades y metas; concepto y arquitectura; ingeniería de sistemas, modelamiento e interfaces; gestión de desarrollo de proyectos.

4.4. *Diseñar*: Proceso; fases y enfoques; Utilización del conocimiento en el diseño; diseño disciplinario y multidisciplinario; diseñar para la sustentabilidad, seguridad, estética, operatividad y otros objetivos.

4.5. *Implementar*: implementación sustentable; proceso de implementación e integración de hardware y software; test, verificación, validación y certificación; gestión de la implementación.

4.6. *Operar*: Diseñar y optimizar operaciones sustentables y seguras; capacitación (“training”) y operaciones; sostener el ciclo de vida de un sistema; mejora y evolución de un sistema; temas de eliminación (“disposal”) y fin de vida; gestión de operaciones.

4.7. *Liderar iniciativas de ingeniería*: Identificar el tema, problema o paradoja; pensar creativamente y comunicar las posibilidades; definir la solución; crear nuevos conceptos de solución; construir y liderar una organización y una organización extendida; planificar y gestionar un proyecto hasta su término; ejercitar juicio en el proyecto/solución y razonamiento crítico; innovación – la concepción, diseño e introducción de nuevos bienes y servicios; invención – el desarrollo de nuevos dispositivos, materiales o procesos que permiten nuevos bienes y servicios; implementación y operación – la creación y operación de los bienes y servicios que entregan valor.

4.8. *Emprendimiento*: Fundación, formulación, liderazgo y organización la compañía; desarrollo de un plan de negocios; capitalización y finanzas de la compañía; comercialización (“marketing”) de productos innovadores; concebir productos y servicios en torno a nuevas tecnologías; el sistema, redes, infraestructura y servicios de innovación; construir el equipo e iniciar los procesos de ingeniería; gestión de la propiedad Intelectual. (CDIO, Syllabus, 2011)

Impacto del CDIO

De acuerdo con la tercera reunión latinoamericana de CDIO realizada en la Escuela de Ingeniería de Antioquia EIA, la red CDIO en el mundo se compone de 120 universidades, muchas de ellas pertenecientes al Shangai Ranking. En dicha red 8 son latinoamericanas y 4 colombianas. Su impacto lo podemos resumir en: encuentros mundiales y regionales, para la socialización de la estrategia; transformación de los currículos; desarrollo de competencias en ingeniería; facilidad para la acreditación nacional e internacional; satisfacción de estudiantes y egresados.

A pesar de su juventud, el CDIO ha venido impactando muy positivamente los programas de ingeniería en el mundo y ha tenido efectos significativos en el ejercicio profesional. Podríamos decir que el CDIO se ha vuelto un referente importante para la creación, reforma o transformación de los currículos. Una muestra de ello es que en la Pontificia Universidad Javeriana se ha tomado como metodología central en el pregrado de Ingeniería Electrónica y en 126 programas de ingeniería en el mundo se ha tomado como un módulo prototipo. (González Correal, Bravo Sánchez, Fadul Renneberg, & Viveros Moreno, 2015)

La filosofía del CDIO, apunta a una formación por competencias donde se logren combinar armónicamente el *saber* con el *ser* y el *hacer*. Esto implica un vuelco muy grande para muchas universidades donde lo central era el saber, los conocimientos y la teoría. Cuando en el CDIO al *concebir* y al *diseñar* se le entrelaza con el *implementar* y *operar* el mensaje explícito es que la teoría se tiene que acoplar con la práctica o las aplicaciones. Es por ello que muchas universidades han tenido una reestructuración y ampliación de los laboratorios, los lugares de prácticas, el equipamiento y los espacios de enseñanza-aprendizaje.

El CDIO ha estimulado el cambio de un modelo pedagógico tradicional, centrado en el profesor hacia un modelo pedagógico constructivista, centrado en el estudiante; donde el profesor es un guía dentro del proceso de aprendizaje, pero también participa como un modelo profesional. (González, García, Marciales, Ruiz, & Viveros, 2013)

El CDIO con los Estándares y el Syllabus, facilita en alto grado el proceso de acreditación nacional e internacional. Si se hace un paralelo entre los Factores de la Acreditación y los Estándares del

CDIO se encuentra una alta correlación; por ejemplo en lo referente a diseño curricular, metodologías de enseñanza, laboratorios, evaluación, recursos físicos y tecnológicos, resultados de aprendizaje y formación investigativa.

Cuando a los estudiantes se les da participación implementando metodologías activas, cuando se diseñan espacios de aprendizaje y de prácticas adecuados, cuando los profesores y los estudiantes diseñan, implementan y operan se está creando un ambiente apropiado para el verdadero concepto de la ingeniería; por lo tanto, es de esperarse una creciente satisfacción de los actores al lograr involucrarse en actividades diversas y experiencias múltiples.

Bibliografía

González Correal, A. M., Bravo Sánchez, F. Á., Fadul Renneberg, K., & Viveros Moreno, F. F. (10 de Junio de 2015). *Innovación educativa javeriana*. Obtenido de Página web Pontificia Universidad Javeriana: <http://caee.javeriana.edu.co/servicios/innovacion-educativa/innovacion-educativa-javeriana>

CDIO. (Junio de 2011). Syllabus. *CONDENSED CDIO SYLLABUS v2.0*.

CDIO. (08 de diciembre de 2010). *ESTÁNDARES CDIO v. 2.0*.

González, A., García, L., Marciales, G., Ruiz, M., & Viveros, F. (2013). *CONCEPCIÓN Y DISEÑO DEL CENTRO DE APRENDIZAJE Y ENSEÑANZA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA*. Bogotá: WEEF 2013 Cartagena-Colombia.

Hugo, R. (19 y 20 de Marzo de 2015). *CDIO. III Reunión Latinoamericana de CDIO. EIA*. Medellín.

Hugo, R., & Malmqvist, J. (10 de Junio de 2015). *About CDIO*. Obtenido de CDIO Web site: <http://www.cdio.org/about>