



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS EN LA ERA DIGITAL

UNA MIRADA AL CURRÍCULO CDIO DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA DESDE EL ANÁLISIS MORFOLÓGICO GENERAL

Jaiber Evelio Cardona Aristizábal, Alexander Vera Tasamá, Jorge Iván Marín Hurtado

**Universidad del Quindío
Armenia, Colombia**

Resumen

Los estándares CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar) establecen un marco de referencia para direccionar los Programas de formación de ingenieros. En particular, el Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío ha adoptado estos estándares para la estructuración del nuevo plan de estudios, la definición de políticas académico-administrativas, y mejora de las prácticas pedagógicas. Con base en la diversidad de intereses y actores implicados, la implementación de CDIO en un programa académico se presenta como un problema complejo, considerando las diferentes alternativas que pueden surgir en el propósito de mejorar la calidad en las múltiples dimensiones de la formación de ingenieros.

En este trabajo se propone el análisis de la implementación de los estándares CDIO usando el análisis morfológico general. El análisis morfológico general es una herramienta que permite abordar problemas complejos y evaluar la pertinencia de diferentes acciones estratégicas a seguir, en coherencia con cada uno de los aspectos considerados. Los aspectos que fueron considerados en este análisis abarcan los estándares relacionados con los procesos de aprendizaje y las habilidades docentes, estos son: estándar 7 (Experiencias de aprendizaje integrado), estándar 8 (Aprendizaje activo), estándar 9 (Fortalecimiento de las competencias profesionales de los académicos) y estándar 10 (Fortalecimiento de la competencia docente de los académicos). Finalmente, con esta herramienta se seleccionan diferentes alternativas de solución que se pueden proponer para mejorar los aspectos considerados en diversos escenarios de administración curricular.

Para el análisis se consideraron cuatro (4) escenarios: actual, ideal, línea institucional y línea del programa. El escenario actual considera los aspectos que obedecen a la implementación actual

del marco CDIO en el programa, el escenario ideal considera aspectos que idealmente debería tener el programa, el escenario por línea institucional considera valores apoyados en mecanismos y reglamentaciones generadas desde la institución; y el escenario por vía del programa considera valores por mecanismos y reglamentaciones generadas desde el programa.

Palabras clave: currículo; CDIO; GMA

Abstract

The CDIO standards (Conceive, Design, Implement, and Operate) establish a framework for training students in engineering programs. Particularly, the Electronics Engineering Program at Universidad del Quindío has adopted these standards to redesign its study plan, state academic and administrative policies, and improve the pedagogical strategies. As a consequence of the diversity on interests and stakeholders, the implementation of an academic program under the CDIO framework is challenge that can be treated as a complex program. Under the assumption of a complex problem, different alternative solutions may be proposed to achieve academic quality on the engineering education.

In this paper we analyze the implementation of the CDIO standards for an academic program using the general morphological analysis (GMA). The GMA is a tool to deal with complex problems, which provides an evaluation of the relevance on strategic actions to be coherent with the problem attributes. The attributes selected in this paper consider the CDIO standards related to the learning process and the faculty skills, i.e., Standard 7 (integrated learning experiences), Standard 8 (active learning), Standard 9 (Enhancement of the faculty CDIO skills), and Standard 10 (Enhancement of the faculty teaching skills). Finally, using GMA tool we analyze different solution alternatives that can be selected to improve the attributes under different academic and administrative scenarios.

For this analysis we consider four (4) scenarios: current, ideal, institutional guidelines, and program guidelines. The current scenario obeys to the current implementation strategies adopted in the Electronics Engineering Program at Universidad del Quindío. The ideal scenario takes into account the ideal policies and resources that an academic program should have to be recognized as an ideal CDIO program. The scenario under institutional guidelines considers a solution based on policies and strategies that should be adopted by the institution. Finally, the scenario under program guidelines is a solution based on internal policies and strategies that an academic program should adopt under an institutional framework not necessarily CDIO.

Keywords: curriculum; CDIO; GMA

1. Introducción

Para la implementación de un programa académico CDIO, no basta con contar con un currículo integrado diseñado, es importante considerar diferentes elementos como las estrategias

pedagógicas para el desarrollo y evaluación de habilidades disciplinarias, personales, interpersonales y profesionales, y la capacitación del cuerpo docente, entre otros. Dado que múltiples parámetros y actores de interés (estudiantes, profesores, administradores, ex alumnos, socios de la industria) están involucrados en el proceso de implementación curricular, este proceso se comporta como un problema complejo, un término acuñado por Horst Rittel en los años 70 (Rittel y Webber, 1973). Una herramienta útil para tratar estos problemas es el Análisis Morfológico General (GMA) (Ritchey, 2011). Este método intenta investigar y estructurar todo el conjunto de relaciones contenidas en un problema complejo multidimensional y no cuantificable. Bajo esta metodología, primero se definen los parámetros o dimensiones a considerar, luego se proponen los diferentes estados que puede presentar cada una de ellas y, posteriormente, se considera la coherencia entre los estados de parámetros diferentes a través de una evaluación de coherencia cruzada. Finalmente, usando una herramienta software, se seleccionan diferentes alternativas de solución que se pueden proponer para mejorar los aspectos considerados en diversos escenarios de administración curricular.

En este documento, sobre la base de los estándares CDIO 7, 8, 9 y 10, y la metodología GMA, se definieron once (11) parámetros o dimensiones para el desarrollo curricular. Luego, considerando cada parámetro individualmente, se propusieron y seleccionaron valores que son soluciones potenciales. Este conjunto de valores y parámetros constituye un espacio problemático con un total de 4'608.000 alternativas de soluciones iniciales. Con la aplicación de la metodología GMA, el espacio de la solución se reduce en un 98,69%. Dentro del espacio de la solución, se revisaron cuatro (4) escenarios: dos escenarios contrastan el estado actual y el estado deseado de la implementación curricular, y los otros dos escenarios contrastan los elementos institucionales con los del programa académico. Como resultado, las soluciones alternativas se obtuvieron y evaluaron cualitativamente a partir de las soluciones proporcionadas por la herramienta analítica.

2. Caso de estudio: Implementación de CDIO en la Universidad del Quindío

La Universidad del Quindío ingresó a la iniciativa CDIO en 2014, siendo Ingeniería Electrónica el programa piloto para realizar la implementación. La institución cuenta con unos lineamientos generales para el diseño curricular de los programas académicos, una reglamentación para la contratación docente, planes de capacitación, evaluación docente y evaluación de los estudiantes en sus cursos, asimismo, existen unidades administrativas de apoyo.

Con respecto al diseño curricular, la Universidad cuenta con una Política Académico Curricular que define la distribución de las actividades académicas, haciendo obligatorios ciertos cursos para todos los estudiantes y dejando flexibilidad a los programas para definir la estructura de la componente de formación profesional. Esta política define que el enfoque de formación debe ser basado en competencias, las cuales son compatibles con los resultados de aprendizaje previstos, como se establece en la iniciativa CDIO (Biggs & Tang, 2011) (E. Crawley, Malmqvist, Ostlund, & Brodeur, 2007). En ciertas instituciones, el diseño curricular puede ser menos flexible y los cursos se estructuran en objetivos de aprendizaje, los cuales son inapropiados para un modelo de formación basado en CDIO.

En cuanto a la reglamentación de la contratación docente, existen dos tipos de contrato, los docentes catedráticos, que son contratados por horas exclusivamente para los encuentros en el aula, y los docentes de tiempo completo que, además de sus actividades de docencia, cuentan con reconocimiento para brindar acompañamiento a los estudiantes y desarrollar actividades de investigación y extensión.

Los docentes de tiempo completo son los únicos que tienen derecho a acceder a la mayoría de los beneficios de la capacitación docente. Igualmente, los recursos financieros para la capacitación son muy limitados, por lo que no es posible otorgar financiación completa para todos los docentes en una actividad en particular. Para solventar esta situación, el Programa de Ingeniería Electrónica constituyó desde 2010 una reunión semanal de dos horas del cuerpo docente, donde se realizan talleres de capacitación para la implementación de la iniciativa CDIO, y se discuten temas de relevancia con el desarrollo curricular del programa.

En la reglamentación de la evaluación docente se definen instrumentos genéricos que se aplican por igual para todos los docentes sin considerar condiciones particulares. Además, los instrumentos de recolección de las evidencias de evaluación son exclusivamente encuestas dirigidas a estudiantes y el director del programa, no existiendo mecanismos de realimentación efectiva al docente, más allá de un valor cuantitativo para propósitos de escalafón y contratación.

Los docentes cuentan con libertad de cátedra para organizar su trabajo en el aula, pero limitado por la reglamentación institucional que obliga a que se realice bajo un enfoque basado en competencias y se consideren los créditos académicos para asignar las actividades.

En cuanto a la evaluación de los estudiantes en los diferentes cursos, la reglamentación actual estipula que cada docente debe definir un mínimo de 3 evaluaciones a lo largo del semestre, es una evaluación acumulativa, y el resultado de cada evaluación se debe dar a conocer como mínimo una semana después de realizada. Aunque esta situación es similar en muchas instituciones, este enfoque es incompatible con CDIO, pues el seguimiento al desarrollo de habilidades personales, interpersonales y profesionales, implica una evaluación formativa y no acumulativa a lo largo del semestre. Para llevar a cabo una evaluación compatible con CDIO y la normativa institucional, algunos docentes del programa han empleado un modelo híbrido que contempla evaluación formativa y evaluación acumulativa en cortes de proyectos y unidades temáticas.

3. Metodología

Al aplicar la metodología GMA, se comienza por definir los parámetros (o dimensiones) y los valores (soluciones alternativas) para cada parámetro. Dado que el interés se centra en la implementación de CDIO dado un diseño de currículo anterior, este artículo aborda principalmente las estrategias del aula, los problemas administrativos, las habilidades de los profesores y la relación con el entorno. Por lo tanto, los parámetros del problema complejo se basan en los estándares CDIO 7 (Experiencias de aprendizaje integrado), 8 (Aprendizaje activo), 9 (Mejora de la competencia docente en habilidades profesionales o CDIO) y 10 (Mejora de la

competencia docente en habilidades pedagógicas). Se seleccionaron once parámetros, y sus valores se muestran en la Tabla 1. Para cada parámetro, se identificaron posibles soluciones o valores. Estos parámetros y valores se detallan a continuación:

Tabla 1. Parámetros y valores del espacio problema

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
v1										
v2										
v3										
v4		v4	v4							
v5		v5			v5					

A. Mecanismos de implementación de experiencias de aprendizaje que estimulen el desarrollo de habilidades personales, interpersonales, disciplinares y CDIO.

- v1 Evaluación obligatoria en cada cohorte (semestre, año, núcleo).
- v2 Libertad de cada docente en su espacio académico.
- v3 Evaluación obligatoria, en cada espacio académico.
- v4 Espacios académicos específicos para entrenamiento de habilidades.
- v5 Retos co-curriculares en los que los estudiantes de diferentes niveles y programas interactúen.

B. Gestión de la relación con el medio externo (industria, graduados e interesados) para la proyección de experiencias de aprendizaje.

- v1 Apoyo en los órganos institucionales.
- v2 Unidad administrativa del programa encargada de la relación con el medio externo.
- v3 Docentes/Investigadores encargados del contacto con la industria.
- v4 Retos a nivel de aula en los que se promueva el vínculo de estudiantes con empresas.

C. Mecanismo de recolección de evidencias de implementación de experiencias de aprendizaje integradas.

- v1 Solamente sílabos.
- v2 Informe semestral.
- v3 Encuesta.
- v4 Compilado de bitácoras.
- v5 Compilado de rúbricas.

D. Lineamiento de aplicación de estrategias de aprendizaje activo considerando Núcleos, RAPs funcionales y RAPs declarativos.

- v1 Definición de estrategias de aprendizaje activo en el sílabo.
- v2 Libertad de cada docente en su espacio académico.
- v3 Definición de estrategias de aprendizaje activo por núcleo.
- v4 Vinculación de formas de aprendizaje, en el espacio académico, de un listado de sugerencias.

E. Mecanismo de recolección de evidencias de implementación de estrategias de aprendizaje activo.

- v1 Solamente sílabos.
- v2 Informe semestral.
- v3 Encuesta.
- v4 Compilado de bitácoras.

F. Criterio para la definición del perfil del docente de programa (profesional, pedagógica).

- v1 Perfil básico y deseado para vinculación y para el plan de desarrollo profesoral.
- v2 Definición de dos (2) perfiles: a) Docente - investigador; b) Docente - Medio externo.
- v3 Perfil genérico definido por el Consejo Curricular para todos los docentes del Programa.
- v4 Perfiles unificados con base en las habilidades establecidas para cada núcleo temático.
- v5 Perfil individual con base en las habilidades estipuladas en los sílabos.

G. Lineamientos para la capacitación de los docentes (componente ingeniería).

- v1 Vinculación obligatoria de los docentes con industria.
- v2 Capacitaciones genéricas para todos los docentes.
- v3 Capacitación personalizada de acuerdo con condiciones individuales de los docentes.
- v4 Definición de capacitación de docentes por áreas.

H. Gestión de la relación de los docentes con el medio externo (industria, para habilidades personales, profesionales).

- v1 Apoyo dependencias institucionales.
- v2 Unidad, comité o designado de programa.
- v3 Individual - personal.

I. Diagnóstico de competencias de los docentes en habilidades pedagógicas.

- v1 Documento resultado del claustro, donde los docentes comparten experiencias,
- v2 Prueba de habilidades pedagógicas.
- v3 Uso de los instrumentos institucionales para el diagnóstico de habilidades pedagógicas
- v4 Encuesta dirigida a docentes sobre competencias pedagógicas.

J. Lineamientos para la capacitación de los docentes en competencias pedagógicas.

- v1 Participación obligatoria en un número mínimo de eventos pedagógicos por año.
- v2 Capacitaciones por grupos de profesores de acuerdo con diagnóstico.
- v3 Capacitación de acuerdo con solicitudes individuales.
- v4 Capacitaciones genéricas para todos los docentes.

K. Gestión de la relación de docentes con el medio académico (redes académicas).

- v1 Apoyo en convenios con redes académicas.
- v2 Unidad, comité o designado de programa.
- v3 Autogestión - individual.

De acuerdo con la metodología GMA, se analizó la compatibilidad de cada valor en un parámetro dado con todos los valores de los parámetros restantes, obteniendo una matriz de consistencia que se utiliza para el análisis. Esta matriz se introdujo en una herramienta de software, desarrollada por los autores, para visualizar los valores que podrían existir bajo el criterio de compatibilidad y conveniencia. Asimismo, esta herramienta permite seleccionar exclusivamente un valor de cada parámetro de interés y contrastarlo con los valores compatibles de los parámetros restantes, de acuerdo con la metodología GMA.

4. Resultados y Discusión

El espacio del problema analizado en este documento está compuesto por once (11) parámetros, cuyos valores se describieron en la sección anterior. El espacio del problema original proporciona un total de 4'608.000 alternativas de solución antes de aplicar la GMA. Con la aplicación del análisis, el espacio de la solución se reduce en un 98.69% (60.455 alternativas de solución).

Partiendo del espacio de la solución con once (11) parámetros, se decidió analizar cuatro (4) escenarios, el estado actual, el estado deseado, el basado en elementos institucionales y el basado en elementos del programa académico. Para cada escenario, se analizaron diferentes soluciones seleccionando algunos parámetros y valores, de acuerdo con la situación que lo define, y la herramienta indica la ruta de los valores compatibles. Para realizar el análisis, se estableció un análisis jerárquico en el orden de los parámetros A, D, K, H, B, F, I, C, E, G y J. En las siguientes descripciones de escenarios, se escriben los parámetros y valores seleccionados de la siguiente manera: Parámetro-Valor, por ejemplo, A-v2.

Escenario 1: Estado actual. Este escenario considera algunas de las estrategias actualmente adoptada por el Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío para la adopción del enfoque CDIO. De acuerdo a los valores seleccionados: A-v2; D-v2; K-v3; H-v3; B-v1 (restringido por la herramienta); F-v3; se identificó que las unidades de apoyo o las oficinas institucionales son necesarias para el mejoramiento de la facultad en las habilidades profesionales y el desarrollo de actividades con partes interesadas externas. Del mismo modo, los documentos (informes semestrales o encuestas), realizados en las reuniones de la facultad al final de cada semestre académico, son las herramientas preferidas para diagnosticar las competencias de los docentes y monitorear los procesos de implementación. En este escenario, también se concluye que los docentes son responsables de buscar mecanismos para desarrollar sus habilidades profesionales.

Escenario 2: Estado ideal. Este escenario considera para cada atributo, valores que se destacan en los postulados y rúbricas de cada estándar CDIO. Los Valores seleccionados fueron: A-v4; D-v1; K-v2; H-v2; B-v2; F-v1; I-v1, con lo cual se muestra que los mecanismos para recopilar evidencia son flexibles, excluyendo la estrategia de recolección de evidencias basada exclusivamente en los sílabos. En términos de capacitación de profesores, también hay flexibilidad, pero la alternativa de una capacitación especializada por áreas no es factible.

Escenario 3: Línea institucional. Este escenario se basa en la definición de políticas, estrategias y unidades administrativas a nivel institucional que soportan la adopción del enfoque CDIO. Los valores seleccionados: A-v3; D-v1; K-v1; H-v1; B-v1; F-v3; I-V3, permiten establecer que el mecanismo para recopilar evidencias de la implementación del aprendizaje integrado y las experiencias de aprendizaje activo se reducen a la compilación de bitácoras. Para el caso específico de experiencias de aprendizaje integradas, la opción de compilación de rúbricas también es válida. Entre los lineamientos para la capacitación de profesores, destaca la disponibilidad de capacitación genérica y la capacitación personalizada. Si la selección del valor para el parámetro A (experiencias de aprendizaje integrado) se cambia a v4 (desafíos co-curriculares), el mecanismo válido para recopilar evidencia es solo la compilación de rúbricas.

Escenario 4: Línea de programa. Este escenario está basado en la definición de políticas y estrategias internas del programa que están enmarcadas dentro de una reglamentación institucional que no necesariamente está alineada a un enfoque CDIO. Los valores seleccionados: A-v3; D-v1; K-v2; H-v2; B-v2; F-v3; I-v1 muestran que los mecanismos para recopilar evidencia para monitorear la implementación del aprendizaje integrado y las experiencias de aprendizaje activo son flexibles, lo que permite el uso de informes semestrales, encuestas, bitácoras o rúbricas. La alternativa basada exclusivamente en la recolección de evidencias basada en sílabos no es factible. La formación del profesorado puede ser genérica o personalizada. Si la selección del valor para el parámetro A (experiencias de aprendizaje integradas) se cambia a v4 (desafíos co-curriculares), los mecanismos permitidos para recopilar evidencias son la encuesta y el compilado de bitácoras.

Como observación general para todos los escenarios, la selección de la libertad de cada docente en su espacio académico para el parámetro D (pautas para la aplicación de estrategias de aprendizaje activo) reduce significativamente el espacio de la solución. Es de aclarar que esta selección es inconveniente porque restringe los valores disponibles en los parámetros restantes y no es compatible con el currículo integrado, que es un elemento esencial en el enfoque CDIO.

En el contexto actual, el profesor tiene libertad para implementar estrategias de aprendizaje activo (parámetro D) y evaluación de habilidades personales, interpersonales y profesionales (parámetro A). Además, en el contexto actual, la relación con las partes interesadas externas y las redes académicas se basa exclusivamente en los esfuerzos individuales de la facultad (parámetros B, H y K). En contraste, el análisis de GMA sugiere que una implementación eficiente de la iniciativa CDIO implica la adopción de estrategias y políticas claras, a nivel de programa e institucional, así como la existencia de unidades administrativas para liderar estos procesos. Los últimos temas son sugeridos por los valores obtenidos para los escenarios 2, 3 y 4.

5. Conclusiones

En este documento, se aplicó el análisis morfológico general (GMA) para identificar alternativas de solución adecuadas para la implementación de un programa CDIO según los estándares 7, 8, 9 y 10. En nuestro análisis, asumimos que el diseño curricular (estándares 1- 4) se realizó previamente. Por lo tanto, estamos enfocados en estrategias de aprendizaje, y asuntos

administrativos y de la facultad. Basados en los estándares, propusimos once (11) parámetros y sus valores correspondientes. Al utilizar GMA, el espacio de la solución se reduce significativamente. Este espacio de solución se analiza en cuatro (4) escenarios: el estado actual, el estado deseado, un estado basado exclusivamente en directrices institucionales y un estado basado en directrices tanto institucionales como de programa. Las soluciones para estos escenarios fueron claramente expuestas y se discuten comentarios importantes. Los escenarios propuestos se pueden adaptar a diferentes contextos institucionales, de acuerdo con los parámetros y valores propuestos. Por lo tanto, este análisis puede aplicarse a otros programas académicos para evaluar y proyectar cualitativamente y cuantitativamente sus perfiles curriculares.

6. Referencias

- Biggs, J. B., & Tang, C. S.-k. (2011). *Teaching for Quality Learning at University: What the Student Does*. Maidenhead: Society for Research into Higher Education & Open University Press.
- Crawley, E., Malmqvist, J., Ostlund, S., & Brodeur, D. (2007). *Rethinking engineering education. The CDIO Approach* (2nd ed.). Switzerland: Springer.
- Rittel, H. W. J., & Webber, M. (1973). Dilemmas in a General Theory of Planning. *Policy Sciences*, 4, 155-169.
- Ritchey, T. (2011). *Wicked Problems – Social Messes*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-19653-9>

Sobre los Autores

- **Jaiber Evelio Cardona Aristizábal** es Ingeniero Electrónico, Magister en Automática, Doctor en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Valle. Profesor titular e investigador del grupo GAMA. jaibercardona@uniquindio.edu.co
- **Alexander Vera Tasamá** es Ingeniero Electrónico, Doctor en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Valle. Profesor asistente e investigador del grupo GDSPROC. avera@uniquindio.edu.co
- **Jorge Iván Marín Hurtado** es Licenciado en Electricidad y Electrónica, Magister en Ciencia de los Materiales y Doctor en Ingeniería Eléctrica y Computación. Profesor asistente e investigador del grupo GDSPROC.. jorgemarin@uniquindio.edu.co

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

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)