



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:  
UN COMPROMISO PARA EL  
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

15 al 18  
DE SEPTIEMBRE

20  
20

[www.acofi.edu.co/eiei2020](http://www.acofi.edu.co/eiei2020)

# APLICACIÓN DEL ANÁLISIS FORMAL DE CONCEPTOS (FCA) EN LA CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO DE LAS OLAS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN UN PROGRAMA ACADÉMICO

**Jorge Alejandro Aldana Gutiérrez, Alexander Vera Tasamá, Jorge Iván Marín Hurtado**

**Universidad del Quindío  
Armenia, Colombia**

## Resumen

Las olas de innovación tecnológica han estado presentes en el crecimiento económico del hombre en la era moderna, las cuales evidencian la innovación como un cimiento de crecimiento y desarrollo de una región y se afianza como el eje central en el desarrollo económico sostenible, por lo que es indispensable, para un programa académico de Ingeniería, analizar su inserción en estos temas. Los programas de formación en Ingeniería bajo el marco de referencia CDIO (Concebir-Diseñar-Implementar-Operar), incorporan desde sus sílabos la innovación de la enseñanza de la ingeniería en el mundo. Este modelo toma como referencia los 12 estándares del marco CDIO y los contrasta con elementos del programa como la estructura curricular, los perfiles profesionales y ocupacionales, así como con aspectos del entorno y los propuestos desde las olas de innovación tecnológica. El estándar 12 CDIO (Evaluación del programa), abre una posibilidad para analizar la inserción que presenta Ingeniería Electrónica en las olas de innovación tecnológica. En este análisis, a diferencia de las metodologías más frecuentes de los procesos de investigación, en las que se construyen entrevistas y se analizan resultados con la estadística tradicional, se introduce un enfoque soportado en herramientas de la inteligencia artificial como el Análisis Formal de Conceptos (*Formal Concept Analysis*, FCA), tomando como base el análisis de interesados (*Stakeholders*) que se promulga en el PMBOK®, versión 6. Finalmente, este análisis se propone como herramienta para retroalimentar un programa académico en pro de la mejora continua para estar al servicio de la comunidad empresarial y académica.

**Palabras clave:** olas de innovación; análisis formal de conceptos (FCA); CDIO

## **Abstract**

*The waves of technological innovation have been present in the economic growth in the modern era. This innovation is the foundation for growth and development in a region, and it is established as the central axis in a sustainable economic development. Therefore, it is imperative for an academic engineering program to analyze its insertion in its subject areas. Engineering training programs under the CDIO initiative (Conceive-Design-Implement-Operate) must incorporate in their syllables the innovation of engineering education. We proposed a model that takes the 12 CDIO standards as reference and contrasts them with program elements such as the curricular structure, professional and occupational profiles, as well as the environment given by the waves of technological innovation. In addition, the CDIO Standard 12 (Program Evaluation), opens a possibility to analyze the insertion of the Electronic Engineering in the waves of technological innovation. In this analysis, different from the typical research methodologies, based on interviews and standard statistical analysis, we proposed an approach supported by artificial intelligence tools such as Formal Concept analysis (FCA), based on the stakeholders analysis according to the PMBOK®, version 6. Finally, this analysis is proposed as a feedback tool for an academic program in favor of continuous improvement to be at the service of an academic community.*

**Keywords:** *waves of technological innovation; formal concept analysis (FCA); CDIO*

## **1. Introducción**

La continua evolución de las dinámicas sociales y económicas, así como los avances científicos y tecnológicos, obligan a que cualquier programa académico deba reflexionar constantemente sobre sus responsabilidades de formación que conlleven a una actualización de sus perfiles profesional y ocupacional, planes de estudio y estrategias curriculares. En un programa de formación en ingeniería es indispensable que estos procesos de autoevaluación consideren las olas de innovación tecnológica, pues estas olas han sido el pilar de desarrollo humano en los últimos 200 años y se constituyen actualmente en el eje central en el desarrollo económico sostenible.

De acuerdo con Kondratiev y Schumpeter, el desarrollo económico de los países y regiones ha sido el resultado de cinco olas de innovación tecnológica. Recientemente, Moody sugiere una sexta ola de innovación que planea un desarrollo sostenible aplicando disciplinas y tecnologías "verdes" (Moody & Nogrady, 2010). Esta sexta ola se soporta en cinco grandes ideas:

1. El reciclaje como oportunidad.
2. Vender el servicio no el producto.
3. Converge lo natural con lo digital.
4. Los bits son globales, los átomos son locales.
5. En caso de duda, observar la naturaleza

Por otra parte, el marco de referencia CDIO promulga que un ingeniero recién graduado debe ser capaz de concebir, diseñar, implementar y operar productos, sistemas y procesos en ambientes colaborativos de trabajo (Crawley, Malmqvist, Ostlund, & Brodeur, 2007). Por lo que este marco de referencia para la formación en ingeniería está cobrando cada vez más relevancia a nivel mundial.

Con el fin de realizar la autoevaluación de un programa de ingeniería que involucre procesos curriculares mediados con el marco de referencia CDIO, y como estos procesos están encaminados al desarrollo de habilidades de los futuros ingenieros que les permitan ser competentes con la sexta ola de innovación, es necesario establecer una metodología de análisis. Tradicionalmente, las metodologías de análisis implican entrevistas y análisis estadístico estandarizado, por lo que en este trabajo se propone una metodología que hace uso del Análisis Formal de Conceptos (FCA – *Formal Concept Analysis*) por sus siglas en inglés) (Ganter & Obiedkov, 2016) y la gestión de proyectos de acuerdo al PMBOK versión 6. Esta metodología se describe en la Sección 2. Con el fin de ilustrar cómo esta metodología resulta útil para extraer conclusiones importantes en un programa académico, se expone el caso de aplicación en el Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío (Sección 3).

## 2. Metodología de análisis propuesta

En la Figura 1 se muestra un diagrama de la metodología propuesta para el análisis del impacto de las olas de innovación en un programa académico, la cual se deriva de la metodología de cuatro etapas descrita por (Granollers Saltiveri, 2004).

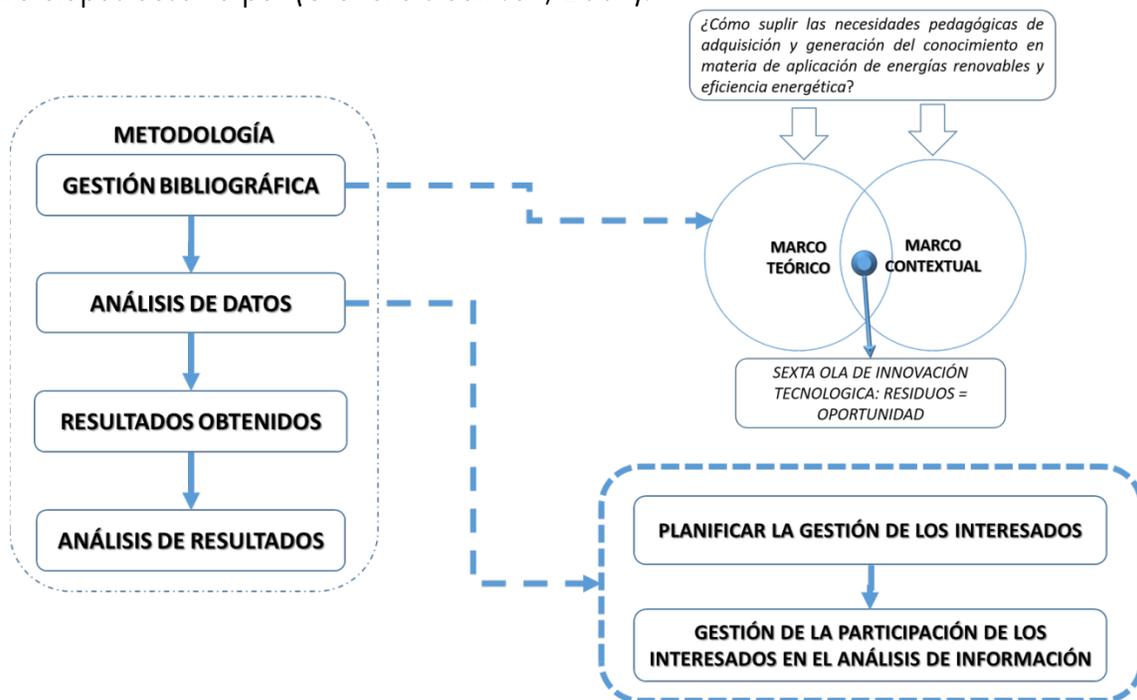


Figura 1. Metodología Propuesta. Fuente: Elaboración propia

Según esta metodología, para la etapa de Gestión Bibliográfica, una pieza fundamental es el Proyecto Educativo del Programa (PEP), pues en él se soportan los fundamentos teóricos y conceptuales del programa, los perfiles de los graduados, la malla curricular y las acciones estratégicas del programa. Adicionalmente, es necesario hacer una revisión de cómo las ideas de la sexta ola de innovación se convierten en oportunidades del programa académico respectivo.

La etapa siguiente, análisis de datos, consiste en identificar los actores interesados de la comunidad académica del programa (*stakeholders*) y realizar un análisis de los mismos (Figura 2). Este proceso se realizó empleando la matriz de poder/interés según la guía del PMBOK, y el organigrama del programa establecido en el Proyecto Educativo del Programa.

Un aspecto fundamental en el Análisis de Datos, es el estudio de planificación y gestión de la participación de los interesados (Figura 2). En la metodología propuesta se plantea el uso del Análisis Formal de Conceptos (FCA). El modelo FCA se basa en una relación entre el conjunto de objetos que pertenecen a un concepto (extensión) y los atributos compartidos por ellos (intención). Con respecto a los conceptos, se determinaron cuatro casos específicos de estudio: las acciones estratégicas y directrices del PEP, la malla curricular, los perfiles de los graduados, y los estándares CDIO. Para cada uno de estos conceptos (o casos, según nuestra metodología) se definieron los objetos con base en cada uno de los elementos que los componen. Por ejemplo, en el caso 4, estándares CDIO, se tendrían 12 objetos para este concepto, uno por cada estándar. Por otra parte, con respecto a los atributos, se emplearon las cinco ideas propuestas en la sexta ola (reciclaje, concepción de servicios, convergencia, átomos y bits, observar la naturaleza). La meta principal del análisis FCA será entonces obtener las reglas de asociación (implicaciones y asociaciones) que determinen la incorporación del programa en las olas de innovación tecnológica.

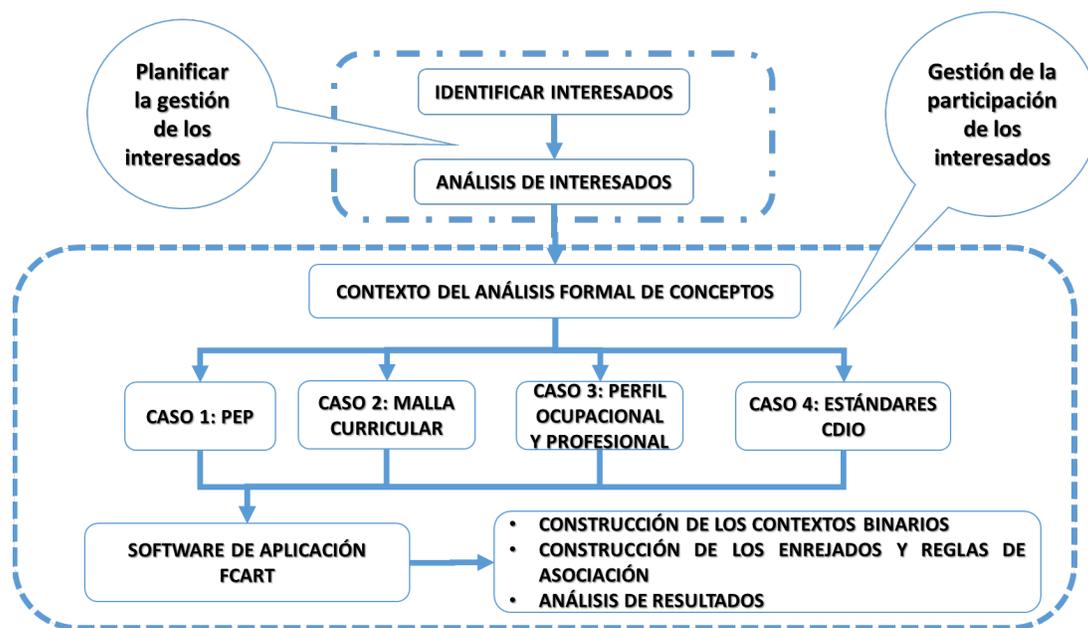


Figura 2. Detalle de la etapa Análisis de Datos. Fuente: Elaboración propia.

Para construir los conceptos formales se realizaron encuestas a los interesados, con preguntas orientadoras, que permitieron construir tablas como la mostrada en la Figura 3, donde los interesados establecían su apreciación respecto a cómo los objetos de cada caso se relacionan con los atributos (las 5 ideas de la sexta ola). Posteriormente, con el cruce de tablas de cada interesado se establecieron las relaciones entre los objetos y los atributos. Para ello se aplicó la regla de que existe una relación entre el objeto y el atributo si el 50% o más de los interesados perciben la existencia de una relación entre estos elementos. De este procedimiento resultaron las tablas de contexto formal según la metodología FCA (Ganter & Obiedkov, 2016).

Finalmente, a cada uno de los contextos formales de cada caso se les aplicó el análisis FCA empleando el software FCART (Huchard & Kuznetsov, 2016) de la *University Higher School of Economics* de Moscú, que permitió encontrar importantes conceptos que se describen en la siguiente sección.

### 3. Resultados

La metodología de análisis propuesta fue aplicada al Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío. Este programa ha sido estructurado recientemente bajo los lineamientos del marco de referencia CDIO, tal como se declara en su PEP 2015-2025. Como se mencionó en la Sección 2, en la primera etapa de la metodología, Gestión Bibliográfica, es necesario considerar no sólo el PEP sino también identificar las oportunidades que brindan las 5 ideas de la sexta ola de innovación tecnológica en la respectiva disciplina. En particular, para un programa de ingeniería electrónica, las cinco ideas de la sexta ola se relacionan con los siguientes referentes conceptuales:

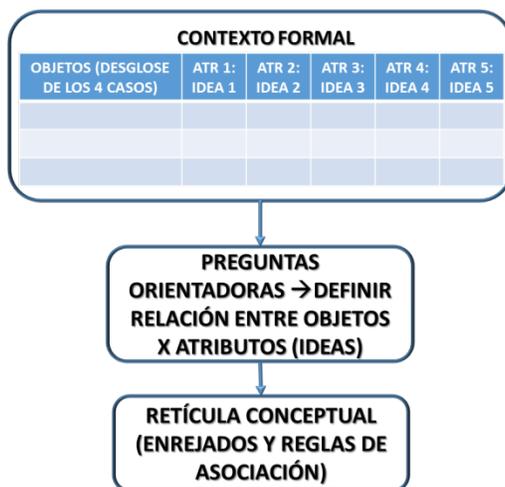


Figura 3. Método para la gestión y participación de los interesados.  
Fuente: Elaboración propia.

- Idea 1: Eficiencia energética, Energías renovables, Residuos Electrónicos.
- Idea 2: Diseño holístico, Sostenibilidad, Competencias Digitales.

- Idea 3: Internet de las cosas (IoT), Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), Industria 4.0.
- Idea 4: Networking empresarial, E-Commerce.
- Idea 5: Modelo POE, Inteligencia artificial, Bioingeniería.

Con base en estos referentes, se formularon las preguntas orientadoras a los respectivos interesados (identificados durante la segunda etapa de la metodología) que permitieron construir las tablas de contexto formal para cada uno de los casos: 1) acciones estratégicas y directrices del PEP; 2) la malla curricular; 3) perfiles de los graduados; 4) estándares CDIO. Por cuestiones de espacio, no se incluyen estas tablas en este documento. Estos contextos formales fueron analizados empleando el software FCART, generando diagramas de enrejados como el mostrado en la Figura 4.

A continuación, se presentan las conclusiones que se derivaron de los diferentes conceptos formales obtenidos con la metodología FCA para cada uno de los casos.

### 3.1. Caso 1: Acciones estratégicas y directrices del PEP

En este caso se emplearon como objetos del contexto formal, las acciones estratégicas del PEP.

Tabla 1. Reglas de asociación e interpretación caso 1.

Reglas de asociación	Soporte	Confianza	Interpretación
{1, 4} → {1,4,5}	20%	67%	El 67% de las acciones estratégicas y las directrices del PEP interactúa con las ideas 1 y 4; sin embargo, el 20% lo hace con la idea 5.
{1, 5} → {1,3,5}	20%	67%	El 67% de las acciones estratégicas y las directrices del PEP interactúa con las ideas 1 y 5; sin embargo, el 20% lo hace con la idea 3.
{1, 5} → {1,4,5}	20%	67%	El 67% de las acciones estratégicas y las directrices del PEP interactúa con las ideas 1 y 5; sin embargo, el 20% lo hace con la idea 4.

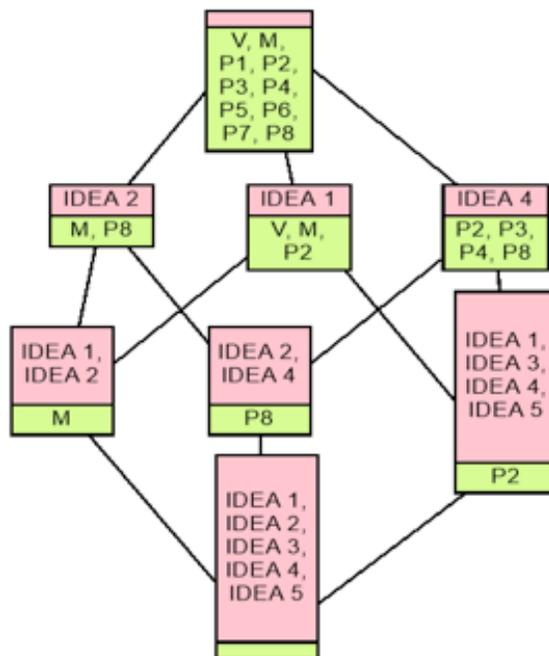


Figura 4. Ejemplo de un diagrama de enrejado para el Caso 1: Acciones y estrategias del PEP. Px representan las diferentes acciones estratégicas, V, la Visión del Programa, y M, la Misión del Programa. Fuente: Elaboración propia.

De las reglas de asociación (Tabla 1), se concluye que las directrices y acciones estratégicas del programa declaradas en el PEP tienen una alta alineación con el entorno tecnológico, sugiriendo que la idea 4 (énfasis en los negocios electrónicos) es la más relacionada con estas acciones estratégicas; por otra parte, la idea 1 (energías renovables y eficiencia energética) ofrece oportunidades clave de desarrollo sostenible y nichos de investigación.

### 3.2. Caso 2: Estructura curricular

En este caso se emplearon como objetos del contexto formal, los núcleos temáticos que componen el plan de estudios del programa académico.

Tabla 2. Reglas de asociación e interpretación caso 2.

Reglas de asociación	Soporte	Confianza	Interpretación
{1, 2, 3} → {1, 2, 3, 5}	15%	56%	El 56% de los espacios académicos interactúan con las ideas 1, 2 y 3; sin embargo, el 15% lo hace además con la idea 5.
{1, 2, 5} → {1, 2, 3, 5}	15%	90%	El 90% de los espacios académicos interactúan con las ideas 1, 2 y 5; sin embargo, el 15% lo hace además con la idea 3.
{2, 3, 5} → {1, 2, 3, 5}	15%	77%	El 77% de los espacios académicos interactúan con las ideas 2, 3 y 5; sin embargo, el 15% lo hace además con la idea 1.
{2, 3} → {2, 3, 5}	20%	62%	El 62% de los espacios académicos interactúan con las ideas 2 y 3; sin embargo, el 20% lo hace además con la idea 5.

Los resultados de la Tabla 2 sugieren que la idea 2 (diseño holístico, sostenibilidad y habilidades digitales) es la que más oportunidades de desarrollo tiene con la estructura curricular actual, lo cual refleja que existe un alto valor agregado del plan de estudios para la formación en

sostenibilidad basada en servicios. Esta alta relación (50%) se debe a que el énfasis CDIO del currículo contempla indispensable la formación en diseño con pensamiento sistémico a través del uso eficiente de recursos y la combinación de habilidades digitales para el trabajo interdisciplinario.

### 3.3. Caso 3: Perfil profesional

En este caso se emplearon como objetos del contexto formal, los conocimientos y las competencias del perfil profesional del graduado del programa académico.

Tabla 3. Reglas de asociación e interpretación caso 3.

Reglas de asociación	Soporte	Confianza	Interpretación
{1, 2, 3, 4} → {1, 2, 3, 4, 5}	27%	80%	Cuando los conocimientos del ingeniero Electrónico se perfilan sobre las ideas 1, 2, 3 y 4, el 27% de las veces lo hará también sobre la idea 5. El 80% de las capacidades que define el perfil profesional del Ingeniero electrónico se dirigen sobre la totalidad de las ideas.
{1, 3, 4} → {1, 3, 4, 5}	53%	89%	Cuando los conocimientos del Ingeniero Electrónico se perfilan sobre las ideas 1, 3 y 4, el 53% de los casos lo hará también sobre la idea 5. El 89% de las capacidades que define el perfil profesional del Ingeniero Electrónico se dirigen sobre la totalidad de las ideas.
{2, 3, 4, 5} → {1, 2, 3, 4, 5}	27%	80%	Cuando los conocimientos del Ingeniero Electrónico se perfilan sobre las ideas 2, 3, 4 y 5, el 27% de los casos lo hará también sobre la idea 1. El 80% de las capacidades que define el perfil profesional del Ingeniero Electrónico se dirigen sobre la totalidad de las ideas.

De acuerdo con las reglas de asociación de la Tabla 3, la idea que más se relaciona con los conocimientos y competencias es la idea 4, así que el perfil profesional del Ingeniero Electrónico se encuentra inmerso en una relación con elementos de la innovación tecnológica.

### 3.4. Caso 4: Estándares CDIO

En este caso se emplearon como objetos del contexto formal, los doce (12) estándares del marco de referencia CDIO.

Tabla 4. Reglas de asociación e interpretación caso 4.

Reglas de asociación	Soporte	Confianza	Interpretación
{1, 2, 3, 4} → {1, 2, 3, 4, 5}	33%	80%	Cuando los estándares CDIO se perfilan sobre las ideas 1, 2, 3 y 4, el 80% de las veces lo hará también sobre la idea 5. El 33% de los estándares que conforman el marco de referencia CDIO se dirigen sobre la totalidad de las ideas.
{1, 2, 3, 5} → {1, 2, 3, 4, 5}	33%	80%	Cuando los estándares CDIO se perfilan sobre las ideas 1, 2, 3 y 5, el 80% de las veces lo hará también sobre la idea 4. El 33% de los estándares que conforman el marco de referencia CDIO se dirigen sobre la totalidad de las ideas.
{1, 3, 4, 5} → {1, 2, 3, 4, 5}	33%	80%	Cuando los estándares CDIO se perfilan sobre las ideas 1, 3, 4 y 5, el 80% de las veces lo hará también sobre la idea 2. El 33% de los estándares que conforman el marco de referencia CDIO se dirigen sobre la totalidad de las ideas.

{2, 3, 4, 5} → {1, 2, 3, 4,5}	33%	80%	Cuando los estándares CDIO se perfilan sobre las ideas 2, 3, 4 y 5, el 80% de las veces lo hará también sobre la idea 1. El 33% de los estándares que conforman el marco de referencia CDIO se dirigen sobre la totalidad de las ideas.
----------------------------------	-----	-----	---

Además de las reglas de asociación de la Tabla 4, los resultados globales obtenidos con la herramienta sugieren que la idea que más se relaciona con los estándares CDIO es la idea 3 (63%), con una tendencia: el CDIO aplicado como insumo conceptual y pedagógico en Ingeniería electrónica presenta un enfoque exógeno para impulsar tendencias como el IoT, la industria 4.0 y el uso de TIC como componentes para converger entre el mundo natural con el digital.

#### 4. Conclusiones

En este trabajo se presentó una metodología para diagnosticar cómo un programa académico de ingeniería, bajo el marco de referencia CDIO, está direccionado hacia la formación de ingenieros competentes para afrontar la sexta ola de innovación tecnológica. El modelo propuesto se basa en el uso de herramientas de gestión de proyectos (para identificar interesados) y análisis formal de conceptos (FCA), para analizar la información entregada por los interesados. Además de la información recolectada de los interesados, el modelo requiere información adicional como es el Proyecto Educativo del Programa y las oportunidades de la disciplina dentro de las cinco (5) ideas planteadas en la sexta ola de innovación tecnológica. El modelo propuesto fue validado en una situación particular, el Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío, mostrando que el diseño curricular adoptado cuenta con alto porcentaje (45%) de apropiación de la sexta ola de innovación. De esta forma, se recomienda el uso del modelo propuesto en los procesos de autoevaluación y rediseño curricular de los planes de estudio para programas de ingeniería.

#### 5. Referencias

- Crawley, E., Malmqvist, J., Ostlund, S., & Brodeur, D. (2007). *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*. Springer.
- Ganter, B., & Obiedkov, S. (2016). *Conceptual Exploration* (1 ed.). Springer.
- Granollers Saltiveri, T. (2004). *MPlu+a. una metodología que integra la ingeniería del software, la interacción persona-ordenador y la accesibilidad en el contexto de equipos de desarrollo multidisciplinares*. Obtenido de Universidad de Lleida: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8120/Tgsa1de5.pdf?sequence=1>
- Huchard, M., & Kuznetsov, S. (2016). Unified External Data Access Implementation in Formal Concept Analysis Research Toolbox. *CLA 2016*. National Research University Higher School of Economics.
- Moody, J., & Nogrady, B. (2010). *La sexta ola de innovación tecnológica*. Obtenido de [http://sixthwave.org/?page\\_id=12](http://sixthwave.org/?page_id=12)

## Sobre los Autores

- **Jorge Alejandro Aldana Gutiérrez** es Ingeniero Electrónico, Especialista en Gerencia-Administración, y Magister en Administración. Profesor e investigador del grupo ELECTRAE. [jaldana@uniquindio.edu.co](mailto:jaldana@uniquindio.edu.co)
- **Alexander Vera Tasamá** es Ingeniero Electrónico, Doctor en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Profesor asistente e investigador del grupo GDSPROC. [avera@uniquindio.edu.co](mailto: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](mailto: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 © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)