

# Model to Assess Quantitatively Profiles. Potential Application

Marla Constanza Barrera Botero, MSc<sup>1</sup>, Oscar Germán Duarte Velasco, PhD<sup>1</sup>, Carolina Sarmiento González, MSc<sup>1</sup> y René Alexander Soto Pérez, MSc<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Colombia, {mcbarrerab, ogduarte, csarmientog, rasotop}@unal.edu.co.

*Abstract— Currently there is not a unique professional profile definition. However, many different definitions given by literature converge around fundamental aspects. These allow us establish that a professional profile is a set of characteristics expected by a recent graduate; in this case, these characteristics pertain to knowledge and skills associated to a curriculum. Professional profile concept is implicitly linked to curricular assessment, due to the establishment of profiles gives the guidelines to create or improve curricula. In this work, we propose a methodology to quantify profiles of recent graduates through a quantitative assessment of knowledge and skills associated to a curriculum. Our methodology has been applied to Electrical Engineering curriculum from Universidad Nacional de Colombia. The model presented in this paper allows to contrast two profiles kinds: an acquired profile and an expected profile; this comparison transforms to this model in a potential tool in curricula self-assessment and continuous improvement process.*

*Keywords—Professional profile, knowledge, skills, ideal profile, individual profile, Engineering Education, curricular management, self-assessment, fuzzy implications, aggregation operators.*

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.301>

**ISBN:** 978-0-9822896-9-3

**ISSN:** 2414-6390

# Modelo para la cuantificación de perfiles. Potencial de uso

Marla Constanza Barrera Botero, MSc<sup>1</sup>, Oscar Germán Duarte Velasco, PhD<sup>1</sup>, Carolina Sarmiento González, MSc<sup>1</sup> y René Alexander Soto Pérez, MSc<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Colombia, {mcbarrerab, ogduarte, csarmientog, rasotop}@unal.edu.co.

*Resumen— En la actualidad no existe una única definición de qué es un perfil profesional, sin embargo, las diferentes definiciones encontradas en la literatura convergen en aspectos fundamentales. Por tanto, se puede establecer que un perfil profesional es un conjunto de características esperadas por un egresado, en este caso, estas características pertenecen a los conocimientos y habilidades asociados a un programa curricular. El concepto de perfil está implícitamente ligado a los procesos de evaluación curricular, ya que el establecimiento de un perfil profesional es lo que da las directrices a la hora de crear o hacer procesos de mejora en los programas curriculares. En este trabajo, se plantea una metodología para la cuantificación de perfiles de egresados a través de la evaluación cuantitativa de conocimientos y habilidades asociadas a un programa curricular. La metodología propuesta se ha aplicado en el plan de estudios de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia. El modelo propuesto en este trabajo permite hacer la comparación de dos tipos de perfiles: un perfil adquirido y un perfil esperado; esta comparación convierte al modelo en una herramienta potencial en los procesos de autoevaluación y mejora continua de programas curriculares.*

*Palabras clave—Perfil profesional, conocimientos, habilidades, perfil ideal, perfil individual, educación en Ingeniería, gestión curricular, autoevaluación implicaciones difusas, operadores de agregación.*

## I. INTRODUCCIÓN

El concepto de perfil profesional está fuertemente ligado a los procesos de gestión curricular, ya que el perfil profesional contiene las características que se esperan tenga un profesional al culminar su proceso de formación. En la actualidad no existe un concepto universalmente aceptado de qué es un perfil de egresado y no se ha reportado en la literatura una metodología que permite hacer una evaluación cuantitativa de los elementos asociados a un perfil profesional.

En este trabajo se plantea una metodología para la definición de perfiles de egresados a través de una evaluación cuantitativa de conocimientos y habilidades asociados a un programa curricular. Se muestra el potencial de uso del modelo en los procesos de autoevaluación curricular. Este modelo fue aplicado al plan de estudios de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia.

En la sección II, se explican algunos temas relacionados con la educación en ingeniería y se hace un acercamiento a una definición global del perfil del ingeniero. El modelo matemático propuesto para nuestra metodología se expone en la sección III. El proceso para la aplicación del modelo al plan

de estudios de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia, se plantea en la sección IV y la sección V, muestra el potencial del modelo en procesos de autoevaluación. Finalmente la discusión, conclusiones y trabajo futuro pueden ser encontrados en la sección VI.

## II. EDUCACIÓN EN INGENIERÍA

En las últimas décadas el mundo se ha enfrentado a grandes cambios que han tenido que ver principalmente con la transformación de la visión y el uso de las tecnologías de la información y la comunicación -TICs. Dichos cambios han generado diversos factores tales como: la globalización, el fuerte impacto en el desarrollo de las TICs, la creciente velocidad en los procesos, agilidad en la entrega de productos y servicios, la necesidad de la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible, entre otros. Estos factores han permitido a diferentes sectores de la sociedad, notar que si bien los ingenieros cuentan con fuertes habilidades y conocimientos científicos, técnicos y tecnológicos; es necesario que desarrollen habilidades que estén orientadas a enfrentar las necesidades del mundo actual [15,12,5], tales como:

- Habilidades de comunicación (comunicación oral y escrita).
- Liderazgo y trabajo en equipos multidisciplinares.
- Persuasión, aprendizaje permanente y trabajo efectivo.
- Independencia, creatividad e innovación.

Las observaciones realizadas por los diferentes sectores de la sociedad con respecto a las habilidades que requieren desarrollar los ingenieros durante su formación profesional, han llevado a que se planteen nuevos retos en la educación en ingeniería. Estos retos apuntan al fortalecimiento de habilidades sociales, técnicas y las relacionadas con la resolución de problemas, tales como: capacidad para solucionar problemas, rápida comprensión, anticipación a los cambios científicos y tecnológicos, comunicación y liderazgo bajo presión y habilidades de formación y tutoría [21,13].

Las habilidades que permitan comprender el rol de la ingeniería en la sociedad y la economía [21] son de gran importancia; ya que estas permiten notar el impacto de la ingeniería sobre los diferentes contextos (social, político, económico, ético, etc) que forman parte del mundo y sobre

**Digital Object Identifier:** (to be inserted by LACCEI).

todo cómo el quehacer del ingeniero afecta el medio ambiente y el desarrollo sostenible [14, 13].

Algunos de los retos propuestos para la educación en Ingeniería se han traducido en lineamientos para llevar a cabo la incorporación de habilidades y conocimientos requeridos por los ingenieros. No existe un único y válido lineamiento, el programa curricular de este caso de estudio ha realizado sus procesos de gestión curricular teniendo en cuenta las sugerencias de algunos de estos lineamientos, a continuación se describen algunos de los más destacados:

**Nuevos requerimientos en Ingeniería:** son el resultado del *Proyecto Tuning* [10] que ha sido aplicado principalmente en las universidades de la Unión Europea. Este movimiento proporciona la guía para la práctica de la ingeniería en un contexto social y ambiental. La metodología Tuning ha establecido dos conceptos que se centran en las competencias esperadas tales como: habilidades, conocimiento, saberes y capacidades. Dichos conceptos son:

- ✓ Resultados de aprendizaje. Hace referencia a las competencias que el estudiante debe adquirir o desarrollar durante un curso, módulo o periodo de aprendizaje. Estas competencias son demostrables después de terminar el ciclo de aprendizaje.
- ✓ Competencias. Son la combinación dinámica de conocimiento, saberes, habilidades y capacidades. Son el objeto de los programas educativos y son formadas en varios cursos durante el proceso de formación.

Dentro del proyecto Tuning se distinguen tres tipos de competencias:

- 1) Competencias instrumentales. Están relacionadas con el conocimiento técnico.
- 2) Competencias interpersonales. Están asociadas con las habilidades personales y sociales.
- 3) Competencias sistemáticas. Son las habilidades y capacidades correspondientes al sistema en su totalidad, es decir, son la combinación entre las competencias instrumentales y las interpersonales.

**Esquemas de acreditación [14, 20]:** Están basados en los criterios dados por el *Consejo de acreditación de ingeniería y tecnología* - ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology). Las habilidades esperadas por los ingenieros se enfocan en concebir, diseñar, implementar y operar sistemas, teniendo en cuenta los contextos sociales, políticos, culturales, económicos, ambientales y de sostenimiento; el trabajo en equipo y multidisciplinario, habilidades de comunicación y aprendizaje permanente.

Esta tendencia busca generar un vínculo entre la industria y la educación en ingeniería; ya que la industria y la sociedad en general, proporcionan todos los elementos de la investigación en ingeniería y la academia es quien conduce dicha investigación [14]. Las habilidades buscadas en los ingenieros son aquellas asociadas con el desarrollo personal e interpersonal, la capacidad de anticipación a los cambios

constantes y la comprensión del impacto de la ingeniería sobre los diferentes contextos sociales [14, 13].

**Nuevas estrategias de enseñanza y aprendizaje [9]:** Este movimiento nace de la necesidad de plantear un enfoque nuevo y no convencional proponiendo una transformación en la educación en ingeniería.

Se plantean cinco pilares de la educación en la ingeniería, además de los pilares tradicionales, tales como, contenido, currículo y pedagogía. Se realiza una exploración de los valores intrínsecos y emocionales que permiten que los estudiantes tengan grandes logros y experimenten el significado de su vida y su trabajo. Usando esos pilares como guía se han revelado algunas de las manifestaciones de la transformación de la educación. Esta transformación emocional de la educación de la ingeniería está fundamentada en una filosofía de educación basada en el mundo real y la vida de los estudiantes. Está disponible para todos, no es costosa, no requiere establecer paradigmas acerca de las viejas suposiciones de cómo deben ocurrir los cambios en la educación. Sus requerimientos son cambios sistemáticos en el lenguaje, en la cultura y un cambio personal en los estudiantes, la facultad y de todos los que están involucrados en la educación.

#### A. Perfil del ingeniero

El concepto de perfil profesional está ligado a las características esperadas de los egresados y está asociado con los procesos de gestión curricular. No existe una única y válida definición de perfil, sin embargo, existen características de los diversos conceptos de perfil que convergen en aspectos comunes, tales como los propuestos en [18,11]:

- Conocimientos en un dominio.
- Aplicación de los conocimientos en la práctica.
- Valores y aptitudes adquiridas.
- Destrezas desarrolladas.
- Habilidades.
- Características personales.
- Sentimientos.

Para el caso concreto de la ingeniería, las características específicas han sido dadas por la sociedad, la academia, la industria y las organizaciones y éstas se centran en el desarrollo no sólo de conocimientos técnicos, tecnológicos y científicos, sino también en la adquisición y desarrollo de habilidades personales e interpersonales, la adaptación a los constantes cambios de las TICs, la solución de problemas, el aprendizaje permanente, el liderazgo y el trabajo en equipos multidisciplinarios, el cuidado del medio ambiente y el desarrollo sostenible y entender el impacto de la ingeniería sobre el mundo y los diferentes contextos que afectan a la sociedad.

Al igual que en el caso general de perfil profesional, no existe una definición universal del perfil del ingeniero, ni del concepto de ingeniería. La siguiente propuesta nació de la combinación de diferentes definiciones de ingeniería y del

ingeniero; donde se han tomado los aspectos comunes dados por diversas fuentes:

La Ingeniería es la profesión (o campo de conocimiento) asociado con el desarrollo, adquisición y aplicación de conocimiento técnico, científico y matemático [21], con el objeto de concebir, inventar, entender, planear, diseñar, desarrollar, innovar, operar, mantener y usar: dispositivos, componentes, materiales, máquinas, estructuras, proyectos, sistemas y subsistemas [21, 19, 13] para propósitos específicos

Algunos de estos propósitos son:

- Buscar el desarrollo de un país.
- Proporcionar asesoramiento y servicios relacionados con una disciplina o campos de acción especializados.
- Buscar la mejor utilización de los recursos y la conservación del medio ambiente.
- Mejorar la calidad de vida.

De acuerdo con las características asociadas a la ingeniería, se puede establecer que la ingeniería genera un vínculo entre la sociedad, la ciencia, la tecnología y la naturaleza, en pro del desarrollo local o global.

### III. MODELO PROPUESTO

A continuación, se presenta el modelo matemático propuesto para la cuantificación de perfiles profesionales. El modelo está basado en algunos aportes dados por la inteligencia computacional, tales como las implicaciones difusas y los operadores de agregación matemáticos.

#### A. Principales definiciones

Un perfil profesional básicamente es un conjunto de características que debe adquirir, desarrollar o mejorar un profesional durante su proceso de formación. Teniendo en cuenta los planteamientos vistos en la sección II, en este trabajo se propone dividir tales características en dos categorías *conocimientos* y *habilidades*. Donde los elementos pertenecientes al conjunto de conocimientos son todos los conocimientos teóricos, científicos, técnicos y tecnológicos y el conjunto de habilidades recoge todas aquellas características que apuntan a capacidades, competencias, valores, sentimientos, destrezas, y demás que estén asociadas al crecimiento personal e interpersonal del estudiante.

En [1], se plantean 4 importantes definiciones, éstas son el fundamento de la metodología aquí propuesta y las cuales son:

**Perfil.** Es el conjunto de habilidades y conocimientos que un profesional (por ejemplo, un ingeniero), debe o debería tener.

En la definición anterior al usar la frase “*debe o debería tener*” implícitamente se están derivando dos conceptos que han sido adoptados a este proyecto: *perfil ideal*, que es un perfil esperado y *perfil individual*, es el perfil adquirido por un estudiante durante el proceso de formación. A continuación se presentan estas dos definiciones formalmente:

**Perfil Ideal.** Es el conjunto de conocimientos y habilidades que un estudiante debe lograr de acuerdo al rol profesional esperado. Estas expectativas están definidas por las instituciones educativas, la industria, las organizaciones y la sociedad en general y están basadas en los actuales requerimientos de cada sector.

**Perfil Individual.** Es el conjunto de conocimientos y habilidades adquiridos o desarrollados por un estudiante durante su proceso de formación profesional.

**Grado de satisfacción.** Es la medida que determina qué tanto un perfil individual satisface a uno o varios perfiles ideales. Es una evaluación cuantitativa de los conocimientos y habilidades asociados a un programa curricular.

#### B. Estructura del perfil

De acuerdo con las definiciones anteriores, un perfil es un conjunto de habilidades y conocimientos. Los elementos de cada uno de los conjuntos pueden estar anidados, por lo tanto, la estructura del perfil es como un árbol, tal y como se puede ver en la figura 1.

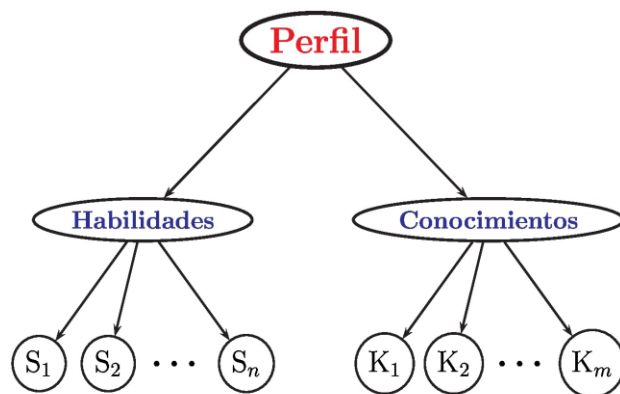


Fig. 1 Estructura del perfil.

#### C. Estructura de los conjuntos de Conocimientos y Habilidades

**Definición 1.** Sea K un conjunto de conocimientos anidados.

$$K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$$

K es el conjunto de todos los nodos del árbol de la figura 2

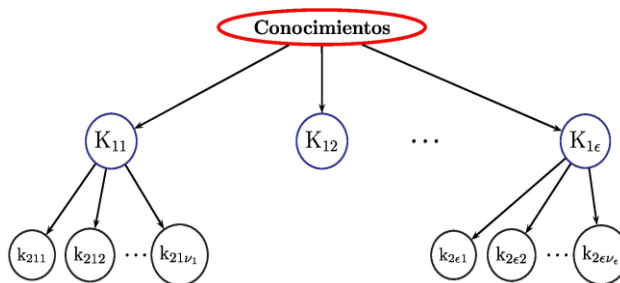


Fig. 2 Estructura del conjunto de conocimientos.

Definición 2. Sea S un conjunto de habilidades anidadas.

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$$

S es el conjunto de todos los nodos del árbol de la figura 3

Definición 3. Grado de satisfacción. Es la medida que indica el nivel de cumplimiento de un perfil individual con respecto a uno o varios perfiles ideales. Este valor se encuentra en el intervalo [0,1].

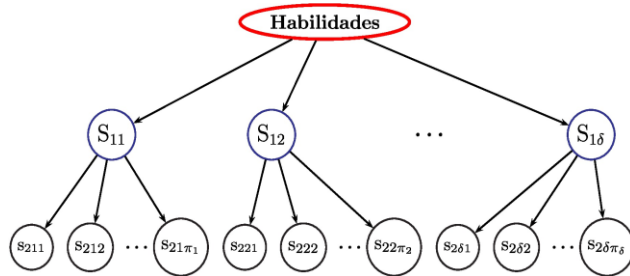


Fig. 3 Estructura del conjunto de habilidades.

#### D. Implicaciones difusas

Las implicaciones difusas permiten obtener el grado de membresía de un conjunto con respecto a otro, estos grados son valores de verdad en el intervalo [0,1]. Las relaciones son representadas a través de las reglas “Sí ... entonces”, de este modo, los valores de verdad pueden ser calculados con algunas T-normas o S-normas, ya que este tipo de relación, es decir  $(p \rightarrow q)$ , puede ser representada en términos de  $\wedge$  (and) y  $\vee$  (or) respectivamente [7]

En este trabajo, las implicaciones difusas establecen una relación entre un perfil individual con respecto a un perfil ideal. En particular, se usan las implicaciones difusas para encontrar el valor del grado de satisfacción de un nodo común entre los árboles del perfil individual y el perfil ideal. Este proceso se realiza desde los nodos de hoja hasta el nodo raíz, obteniendo un nuevo árbol llamado el *árbol de grados de satisfacción*, tal y como lo muestra la figura 4.

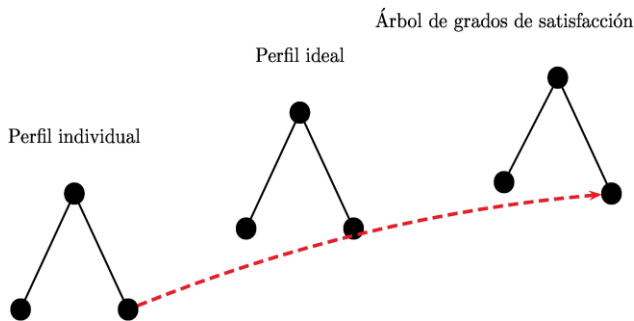


Fig. 4 Obtención del árbol de grados de satisfacción.

Existen diferentes tipos de implicaciones difusas, en este trabajo se consultaron e implementaron 9 de las implicaciones más usadas. Después de la verificación y teniendo en cuenta la naturaleza del modelo y sus resultados esperados, se propone el uso de las implicaciones de Gödel y Goguen.

#### E. Operadores de agregación

La agregación de información consiste en agregar  $n$ -tuplas de objetos pertenecientes a un mismo conjunto dentro de un mismo objeto del mismo conjunto. Un operador de agregación es una función que asigna un único valor y para cada  $n$ -tupla de números  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  tal que:

$$y = \text{Aggreg}(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Una definición formal de operador de agregación es [6]:

Definición 4. Un operador de agregación es una función tal que:

$$\text{Aggreg} = \bigcup_{n \in \mathbb{N}} [0,1]^n \rightarrow [0,1]$$

Que cumple con propiedades de *identidad*, *condiciones de frontera* y es una *función creciente*.

En este caso, los operadores de agregación son usados en dos casos:

- Para hallar el perfil individual. Se hace agregación de las asignaturas, una vez se ha realizado la combinación entre el historial académico y la matriz de impactos (ver la sección V).
- Para hallar el grado de satisfacción. Una vez se ha obtenido el árbol de grados de satisfacción, se realiza una agregación desde los nodos hoja hasta el nodo raíz.

Existen diferentes tipos de operadores matemáticos de agregación. El operador seleccionado para este modelo, fue el operador OWA (Ordered Weight Averaging) debido a que este operador cubre algunos de los operadores más conocidos como el máximo, el mínimo y en algunos casos el promedio simple, también permite hacer el ajuste de algunos parámetros tales como los pesos y el *orness*, como se verá a continuación, con el fin de verificar el comportamiento del modelo ante diferentes variaciones.

Definición 5. Un operador OWA de  $n$  dimensiones es de la forma  $F : \mathcal{R}^n \rightarrow \mathcal{R}$  tal que:

$$F(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j$$

Donde  $w_j$  hace referencia al peso asignado y  $b_j$  es el  $j$ -ésimo elemento más grande o mayor de la colección  $(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$  [22].

Definición 6. *Orness*. Los operadores OWA permiten ajustar fácilmente el grado de *anding* y *ording* implícitos en la agregación, este tipo de medida es llamada *orness* y está definida como:

$$Orness(w) = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (n-i)w_i$$

En la sección V, se describe la aplicación de los operadores matemáticos de agregación, las implicaciones difusas y la implementación del modelo del matemático propuesto a un caso particular.

#### IV. APLICACIÓN

En la sección III se explica el modelo matemático propuesto para la definición de perfiles de egresados a través de una evaluación cuantitativa de conocimientos y habilidades asociados a un programa curricular. La aplicación de esta metodología se realizó en el programa curricular de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia.

##### A. Fuentes de conocimiento

Un perfil puede ser definido como un conjunto de habilidades y conocimientos. Para la aplicación del modelo al programa curricular de Ingeniería Eléctrica, se han tenido en cuenta tres fuentes de conocimiento que permitieron construir el marco general del programa curricular y la aplicación de la metodología al mismo. Tales fuentes de conocimiento son: la representación ontológica del programa curricular de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia, consultas con expertos del dominio en Ingeniería Eléctrica y el historial académico de los estudiantes del programa curricular.

A continuación se explicará brevemente la estructura general de cada una de las fuentes de conocimiento.

##### a. Representación ontológica del plan de estudios de Ingeniería Eléctrica

La representación de conocimiento es un área de la inteligencia artificial y es el estudio que hace referencia al uso de símbolos formales para representar una colección de proposiciones aceptadas por un agente, el cual puede ser humano o una máquina [2]. La representación de conocimiento permite realizar procesos computacionales de razonamiento e inferencia de conocimiento.

Existen diversas formas de representar el conocimiento, una de las formas más usadas es a través de ontologías. Las ontologías permiten hacer representación y gestión de conocimiento complejo a nivel global y brindan ventajas tales como facilidad, flexibilidad en la gestión, pueden ser compartidas y reusadas, siempre y cuando estén escritas en lenguajes estándares como XML o RDF.

En [16] se describe el proceso llevado a cabo para la representación ontológica del plan de estudios de Ingeniería Eléctrica, dando como resultado un conjunto de 4 ontologías que buscan abarcar los aspectos más relevantes del plan de estudios y las cuales se describen a continuación:

- 1) Conocimiento. Hace referencia al conocimiento técnico perteneciente al programa de pregrado de Ingeniería Eléctrica. La adquisición del conocimiento

de esta ontología se hizo a través de consultas bibliográficas y con expertos del dominio. En los trabajos [17, 8] se describe el proceso de adquisición de conocimiento, creación e implementación de algunas áreas del conocimiento técnico para esta ontología.

- 2) Habilidades. Esta ontología está orientada a describir el conjunto de habilidades que se espera adquiera, desarrolle o mejore un estudiante durante su proceso de formación académica. Para la construcción de esta ontología se han tomado en cuenta las sugerencias realizadas principalmente por ABET a través de los resultados de aprendizaje que han sido adaptados al plan de estudios de este caso de estudio.
- 3) Plan de estudios. Contiene todos los aspectos relacionados con las asignaturas del programa curricular de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia (componentes, requisitos, prerrequisitos, número de créditos, tipo de asignatura, etc) y se basa en los lineamientos dados por la resolución 181 de 2009 del Consejo de Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia [4].
- 4) Reglamentación. Está basada en la normatividad dada por la Universidad Nacional de Colombia que afecta al programa curricular de Ingeniería Eléctrica. Esta ontología no fue tomada en cuenta para el desarrollo de este trabajo.

Las ontologías de conocimientos y habilidades proporcionaron los elementos para cada uno de los conjuntos del mismo nombre dentro del modelo propuesto y desde la ontología plan de estudios se extrajo el listado de asignaturas del programa curricular.

##### b. Marco del programa curricular de Ingeniería Eléctrica

La construcción del marco general del programa curricular ha surgido a partir de las consultas con los expertos de dominio, principalmente profesores del departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia, quienes han trabajado en los procesos de gestión curricular donde se han tomado como base las sugerencias, estrategias y lineamientos dados principalmente por ABET, pero también teniendo en cuenta otras iniciativas como el CDIO, entre otras.

El marco general está compuesto por una serie de matrices divididas en dos clases y las cuales se definen a continuación:

*Matrices de Impactos.* Evalúan el impacto que se espera tenga cada una de las asignaturas del plan de estudios con respecto a cada uno de los conocimientos o habilidades. Estas matrices son la base para la construcción del perfil individual.

*Matrices de Perfiles.* El programa curricular de Ingeniería Eléctrica ha definido dos perfiles profesionales, los cuales son *Aplicaciones industriales* y *Sistemas de potencia y distribución* [3]. Estas matrices muestran el valor esperado de

cada conocimiento o habilidad con respecto a cada uno de los perfiles propuestos por el programa curricular.

### c. Historial académico

Muestra las notas obtenidas por un estudiante en cada una de las asignaturas del plan de estudios, durante su proceso de formación profesional. Las notas están en un intervalo de 0 a 5. Junto con la matriz de impactos se construye el Perfil Individual. Otras formas de evaluación cuantitativa de conocimientos o habilidades pueden ser usadas en el modelo.

### B. Implementación de la metodología

Con el fin de visualizar y evaluar la metodología y sus componentes como un sistema, se propone el desarrollo de un prototipo de software utilizando el modelo de desarrollo de software RUP (Rational Unified Process).

El prototipo de software es una aplicación web desarrollada en PHP. La información extraída de las ontologías, las matrices de impactos y de perfiles y el historial académico fueron almacenadas en una base de datos en MySQL.

## V. ANALISIS DE LA METODOLOGÍA EN PROCESOS DE AUTOEVALUACIÓN

En esta sección se pretende hacer un análisis del modelo como potencial en procesos de autoevaluación, a través de una serie de simulaciones, donde:

- Se crean historiales académicos con la misma nota en todas las asignaturas del plan de estudios.
- Se usa un historial académico real de un recién egresado del programa curricular de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia.

El uso de implicaciones difusas y operadores de agregación se realiza de la siguiente forma:

- 1) Una vez se combina la matriz de impactos con el historial académico, se hace uso de un operador de agregación, para hallar el perfil individual.
- 2) Se utiliza una implicación difusa para establecer una relación entre el perfil ideal y el perfil individual, lo que resulta en el árbol de grados de satisfacción.
- 3) Sobre el árbol de grados de satisfacción se hace agregación con el fin de obtener un valor único que indique el grado de satisfacción.

La tabla 1 muestra los operadores de agregación y la implicación difusa que se usaron para cada uno de los procesos descritos anteriormente.

TABLA I  
VARIABLES USADAS EN LA SIMULACIÓN DEL MODELO

Descripción	Operador	Variable
Perfil individual	Máximo	$owa_1$
Grado de satisfacción	Mínimo	$owa_2$
Implicación difusa		Gödel

La selección de los operadores para  $owa_1$  y  $owa_2$  no se ha hecho arbitrariamente. La sugerencia del uso del operador

máximo u operadores de agregación cercanos al máximo para  $owa_1$ , puede ilustrarse con la siguiente pregunta: *En el plan de estudios está previsto que se aprenda a sumar en tres asignaturas. Un estudiante obtuvo buenas notas en dos de ellas y malas notas en la tercera, ¿qué tanto sabe sumar este estudiante?* En este caso el operador máximo es incluyente y permitiría proporcionar la siguiente respuesta *Sabe sumar bien porque lo aprendió en dos asignaturas.*

La selección de un operador mínimo o cercano a éste para el cálculo del grado de satisfacción, es decir, en  $owa_2$ , también puede ser ilustrada con un ejemplo a modo de pregunta: *Si un estudiante sabe sumar, restar y multiplicar, pero no sabe dividir ¿qué tanta aritmética sabe?* Hacer este operador más excluyente permite responder de la siguiente forma *Conoce poca aritmética ya que requiere saber todos los conceptos.*

Se seleccionó la implicación difusa Gödel ya que otorga resultados mayores o iguales al perfil individual. Una implicación que mostró un comportamiento similar es la implicación Goguen.

Los análisis realizados sobre los resultados han permitido destacar dos aspectos en los cuales el modelo se muestra como una herramienta potencial para los procesos de autoevaluación: a) la integralidad del plan, es decir, permite ver si el plan de estudios va acorde con la oferta académica y tiene en cuenta la experiencia de los estudiantes en los procesos de aprendizaje y b) la evolución de los valores del grado de satisfacción semestre a semestre, mostrando si realmente el plan de estudios muestra el comportamiento evolutivo esperado con respecto a los conocimientos y habilidades asociados.

### A. Integralidad del plan

La figura 5, muestra la evolución del grado de satisfacción con respecto a varios historiales académicos que contienen la misma nota en todas las asignaturas. Estas notas varían de 1 a 5.

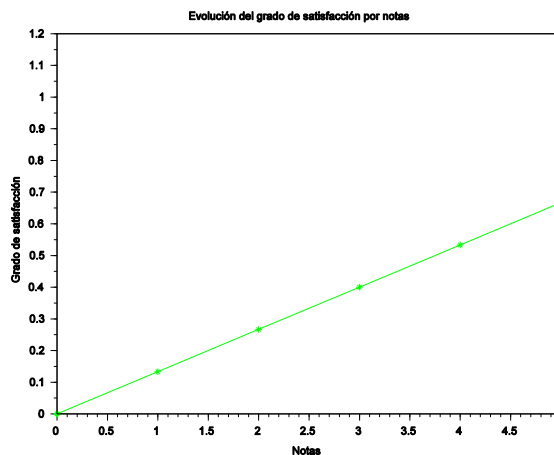


Fig. 5 Evolución del grado de satisfacción con respecto a las notas.

Intuitivamente, se esperan valores del grado de satisfacción superiores al 70% para los historiales académicos con notas iguales o mayores a 3.0 y un grado de satisfacción del 100% para el historial académico que contiene notas de 5.0. Los bajos resultados del grado de satisfacción mostrados en la gráfica de la figura 5 reflejan que la actual evaluación de los conocimientos y las habilidades dada por los expertos, no está fuertemente vinculada a la oferta académica del plan de estudios.

El modelo expuesto aquí permite identificar la relación existente entre conocimientos y habilidades con la oferta académica y los perfiles propuestos y así establecer si la relación dada por la evaluación cuantitativa, corresponde con las expectativas o si por el contrario, es necesario realizar ajustes sobre la evaluación. Esto se puede traducir en nuevas formas de autoevaluar el programa curricular.

Las observaciones anteriores llevan a pensar en una autoevaluación donde se tengan en cuenta no sólo los criterios dados por los expertos del dominio, sino también las percepciones de los estudiantes activos y recién egresados del plan de estudios. Ya que cada uno de estos actores ofrece diferentes miradas, que permiten hacer una evaluación más cercana a las expectativas y experiencias ganadas en cada uno de los procesos de enseñanza y aprendizaje, garantizando así constituir un plan de estudios más integral y más robusto, ya que tiene en cuenta un contexto más global (estudiantes, egresados y profesores) y más inclusivo, ya que tendrá en cuenta experiencias generales y particulares de cada uno de los actores.

### B. Evolución esperada de la formación

Las figuras 6 y 7, muestran la evolución del grado de satisfacción semestre a semestre con respecto a un historial académico. En el primer caso, el historial académico es el que contiene una nota de 5 para todas las asignaturas y el segundo caso, es real, ya que el historial académico pertenece a un estudiante recién egresado del plan de estudios de Ingeniería Eléctrica.

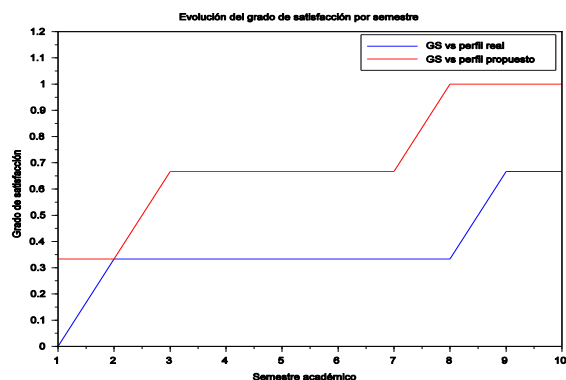


Fig. 6 Evolución del grado de satisfacción con respecto a un historial académico con un promedio de 5.0.

En los dos casos se realizó el cálculo del grado de satisfacción teniendo en cuenta dos perfiles, el primer perfil, es el perfil real, el cual fue propuesto por el conjunto de expertos y el segundo perfil, es un perfil prospecto que fue construido suponiendo un promedio de 5 en el historial académico.

Las gráficas recalcan que el valor del grado de satisfacción no es consistente con los casos de los estudiantes que culminan su proceso de formación profesional exitosamente.

Es natural esperar que los valores del grado de satisfacción de cada semestre sean evolutivos, es decir, cada valor del grado de satisfacción con respecto a un semestre, debería ser mayor que el del semestre anterior, sin embargo las gráficas 6 y 7 muestran un número significativo de semestres, donde el grado de satisfacción es igual y semestres donde súbitamente se eleva dicho valor.

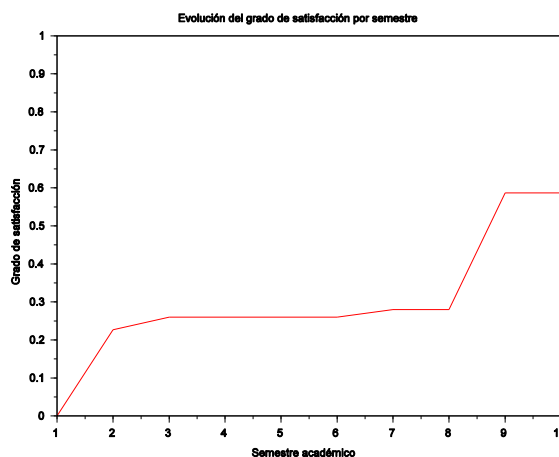


Fig. 7 Evolución del grado de satisfacción con respecto a un historial académico de un egresado del plan de estudios.

Estos resultados se han dado en parte por la forma como los expertos han realizado la evaluación de los conocimientos y habilidades del plan de estudios, que ha sido de forma muy discreta y lo cual se refleja claramente en las gráficas de las figuras 5, 6 y 7. Sin embargo, en la actualidad el departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional, está adelantando procesos de creación e implementación de nuevas formas evaluativas de conocimientos y habilidades teniendo en cuenta las sugerencias dadas por ABET para realizar dichas mediciones.

El modelo como potencial de autoevaluación, permite hacer un análisis de qué tan evolutivos son las habilidades y conocimientos del plan de estudios durante el periodo de formación profesional y de igual forma es posible conocer cuáles elementos requieren ser reforzados o replanteados en un periodo (semestre) específico.



## VI. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El modelo permite la cuantificación de conocimientos y habilidades adquiridos o desarrollados por egresado de un plan de estudios. El modelo permite contrastar dos perfiles: el *perfil individual* y el *perfil ideal*. A través de esta comparación el modelo se convierte en herramienta potencial para llevar a cabo procesos de autoevaluación y mejora continua de los programas curriculares.

Se ha mostrado algo de su potencial a partir del uso del *historial académico*, sin embargo, conviene adaptarlo para contrastarlo con las mediciones en los procesos de autoevaluación con el enfoque dado por ABET. Actualmente, este tipo de mediciones están siendo desarrolladas por el departamento de Ingeniería Eléctrica, caso de nuestro estudio. Una vez implementadas las mediciones, se pueden incorporar al modelo.

La metodología propuesta puede ser adaptada a cualquier plan de estudios, no sólo de ingeniería. Elementos adicionales o diferentes a los conocimientos y las habilidades pueden ser incorporados al modelo. No es necesario que la representación del plan de estudios se haga mediante ontologías, sin embargo, es importante que dicha representación sea a través de un árbol.

El modelo está siendo usado para un proyecto que busca establecer las rutas de aprendizaje para los estudiantes del plan de estudios de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional.

## AGRADECIMIENTOS

Sin la colaboración del equipo de profesores y directivos del programa curricular de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia, no habría podido ser posible la aplicación de la metodología aquí expuesta.

De igual forma agradecemos al grupo de egresados que nos permitieron tener acceso al historial académico y a las demás dependencias de la universidad que de una u otra forma han colaborado con sus múltiples aportes.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] M. C. Barrera Botero. Metodología para la definición de perfiles de egresados de un programa curricular basado en ontologías y el historial académico de sus egresados. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- [2] R. J. Brachman and H. J. Levesque. *Knowledge Representation and Reasoning*. Morgan Kaufmann, San Francisco, 2004.
- [3] Comité asesor curricular del programa de pregrado de ingeniería eléctrica. *PEP Proyecto educativo del programa de pregrado de ingeniería eléctrica*. Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería - Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Bogotá, 2014.
- [4] Consejo de Facultad de Ingeniería. *Resolución 181 de 2009*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2009.

- [5] C. Crosthwaite, I. Cameron, P. Lant, and J. Litster. Balancing curriculum processes and content in a project centred curriculum. in pursuit of graduate attributes. *Institution of Chemical Engineers - IChemE*, 84:619–628, 2006.
- [6] M. Detyniecki. *Fundamentals on Aggregation Operators*. Computer Science division, University of California, Berkeley, 2001.
- [7] D. Driankov, H. Hellendoorn, and M. Reinfrank. *An Introduction to Fuzzy Control*. Springer-Verlag, New York, 1993.
- [8] A. R. Ghisays Abril. Representación del programa curricular de pregrado de ingeniería eléctrica de la universidad nacional en el área de circuitos, señales y sistemas mediante ontologías. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2013.
- [9] D. E. Goldberg, M. Somerville, and C. Whitney. *A Whole New Engineer*. ThreeJoy Associates, Inc, Douglas, Michigan, 2014.
- [10] J. González and R. Wagenaar. *Universities' Contribution to the Bologna Process: An Introduction*. Publicaciones de la Universidad de Deusto, Bilbao, España, 2008.
- [11] A. Hernández Díaz. Perfil profesional. *Revista pedagógica universitaria*, 9(2):69–98, 2004.
- [12] E. Horn and M. Kupries. A study program for professional software engineering. In *16th Conference on Software Engineering Education and Training (CSEET'03)*, pages 298 – 308, 2003.
- [13] National Academy of Engineering. *The Engineer of 2020: Visions of Engineering in the New Century*. The National Academy of Sciences, Washington D.C., 2004.
- [14] National Academy of Engineering of the National Academies. *Educating the Engineer of 2020: Adapting Engineering Education to the New Century*. The National Academy of Sciences, Washington D.C., 2005.
- [15] J. W. Prados, G. D. Peterson, and L. R. Lattuca. Quality assurance of engineering education through accreditation: The impact of engineering criteria 2000 and its global influence. *Journal of Engineering Education*, 94:165–184, 2005.
- [16] C. Sarmiento González. Representación del programa curricular de pregrado de ingeniería eléctrica de la universidad nacional mediante ontologías. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2010.
- [17] R. A. Soto Pérez. Representación del área de electrotécnica y sistemas de potencia del programa curricular de pregrado de ingeniería eléctrica mediante ontologías. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [18] G. Sánchez Bolívar. *Identificación y análisis del perfil profesional del ingeniero mecánico recién egresado*. Consejo profesional de ingenierías eléctrica, mecánica y profesiones afines, seccional Cundinamarca, Bogotá, 2007.
- [19] F. Tavera Escobar. La calidad en la enseñanza de la ingeniería en el siglo XXI. Limusa S.A., México D.F., 2000.
- [20] J. H. Torres Acosta. El perfil del ingeniero. In Panel: El perfil del ingeniero, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2012.
- [21] UNESCO. Engineering: Issues, challenges and opportunities for development. Technical report, UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2010.
- [22] R. R. Yager. OWA aggregation over a continuous interval argument with applications to decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 34:1952–1963, 2004.

# Modelo para la cuantificación de perfiles. Potencial de uso

Marla Constanza Barrera Botero, MSc<sup>1</sup>, Oscar Germán Duarte Velasco, PhD<sup>1</sup>, Carolina Sarmiento González, MSc<sup>1</sup> y René Alexander Soto Pérez, MSc<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Colombia, {mcbarrerab, ogduarte, csarmientog, rasotop}@unal.edu.co.

**Resumen**— *En la actualidad no existe una única definición de qué es un perfil profesional, sin embargo, las diferentes definiciones encontradas en la literatura convergen en aspectos fundamentales. Por tanto, se puede establecer que un perfil profesional es un conjunto de características esperadas por un egresado, en este caso, estas características pertenecen a los conocimientos y habilidades asociados a un programa curricular. El concepto de perfil está implícitamente ligado a los procesos de evaluación curricular, ya que el establecimiento de un perfil profesional es lo que da las directrices a la hora de crear o hacer procesos de mejora en los programas curriculares. En este trabajo, se plantea una metodología para la cuantificación de perfiles de egresados a través de la evaluación cuantitativa de conocimientos y habilidades asociadas a un programa curricular. La metodología propuesta se ha aplicado en el plan de estudios de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia. El modelo propuesto en este trabajo permite hacer la comparación de dos tipos de perfiles: un perfil adquirido y un perfil esperado; esta comparación convierte al modelo en una herramienta potencial en los procesos de autoevaluación y mejora continua de programas curriculares.*

**Palabras clave**— *Perfil profesional, conocimientos, habilidades, perfil ideal, perfil individual, educación en Ingeniería, gestión curricular, autoevaluación implicaciones difusas, operadores de agregación.*

## I. INTRODUCCIÓN

El concepto de perfil profesional está fuertemente ligado a los procesos de gestión curricular, ya que el perfil profesional contiene las características que se esperan tenga un profesional al culminar su proceso de formación. En la actualidad no existe un concepto universalmente aceptado de qué es un perfil de egresado y no se ha reportado en la literatura una metodología que permite hacer una evaluación cuantitativa de los elementos asociados a un perfil profesional.

En este trabajo se plantea una metodología para la definición de perfiles de egresados a través de una evaluación cuantitativa de conocimientos y habilidades asociados a un programa curricular. Se muestra el potencial de uso del modelo en los procesos de autoevaluación curricular. Este modelo fue aplicado al plan de estudios de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia.

En la sección II, se explican algunos temas relacionados con la educación en ingeniería y se hace un acercamiento a una definición global del perfil del ingeniero. El modelo matemático propuesto para nuestra metodología se expone en la sección III. El proceso para la aplicación del modelo al plan

de estudios de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia, se plantea en la sección IV y la sección V, muestra el potencial del modelo en procesos de autoevaluación. Finalmente la discusión, conclusiones y trabajo futuro pueden ser encontrados en la sección VI.

## II. EDUCACIÓN EN INGENIERÍA

En las últimas décadas el mundo se ha enfrentado a grandes cambios que han tenido que ver principalmente con la transformación de la visión y el uso de las tecnologías de la información y la comunicación -TICs. Dichos cambios han generado diversos factores tales como: la globalización, el fuerte impacto en el desarrollo de las TICs, la creciente velocidad en los procesos, agilidad en la entrega de productos y servicios, la necesidad de la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible, entre otros. Estos factores han permitido a diferentes sectores de la sociedad, notar que si bien los ingenieros cuentan con fuertes habilidades y conocimientos científicos, técnicos y tecnológicos; es necesario que desarrollen habilidades que estén orientadas a enfrentar las necesidades del mundo actual [15,12,5], tales como:

- Habilidades de comunicación (comunicación oral y escrita).
- Liderazgo y trabajo en equipos multidisciplinarios.
- Persuasión, aprendizaje permanente y trabajo efectivo.
- Independencia, creatividad e innovación.

Las observaciones realizadas por los diferentes sectores de la sociedad con respecto a las habilidades que requieren desarrollar los ingenieros durante su formación profesional, han llevado a que se planteen nuevos retos en la educación en ingeniería. Estos retos apuntan al fortalecimiento de habilidades sociales, técnicas y las relacionadas con la resolución de problemas, tales como: capacidad para solucionar problemas, rápida comprensión, anticipación a los cambios científicos y tecnológicos, comunicación y liderazgo bajo presión y habilidades de formación y tutoría [21,13].

Las habilidades que permitan comprender el rol de la ingeniería en la sociedad y la economía [21] son de gran importancia; ya que estas permiten notar el impacto de la ingeniería sobre los diferentes contextos (social, político, económico, ético, etc) que forman parte del mundo y sobre

todo cómo el quehacer del ingeniero afecta el medio ambiente y el desarrollo sostenible [14, 13].

Algunos de los retos propuestos para la educación en Ingeniería se han traducido en lineamientos para llevar a cabo la incorporación de habilidades y conocimientos requeridos por los ingenieros. No existe un único y válido lineamiento, el programa curricular de este caso de estudio ha realizado sus procesos de gestión curricular teniendo en cuenta las sugerencias de algunos de estos lineamientos, a continuación se describen algunos de los más destacados:

**Nuevos requerimientos en Ingeniería:** son el resultado del *Proyecto Tuning* [10] que ha sido aplicado principalmente en las universidades de la Unión Europea. Este movimiento proporciona la guía para la práctica de la ingeniería en un contexto social y ambiental. La metodología Tuning ha establecido dos conceptos que se centran en las competencias esperadas tales como: habilidades, conocimiento, saberes y capacidades. Dichos conceptos son:

- ✓ Resultados de aprendizaje. Hace referencia a las competencias que el estudiante debe adquirir o desarrollar durante un curso, módulo o periodo de aprendizaje. Estas competencias son demostrables después de terminar el ciclo de aprendizaje.
- ✓ Competencias. Son la combinación dinámica de conocimiento, saberes, habilidades y capacidades. Son el objeto de los programas educativos y son formadas en varios cursos durante el proceso de formación.

Dentro del proyecto Tuning se distinguen tres tipos de competencias:

- 1) Competencias instrumentales. Están relacionadas con el conocimiento técnico.
- 2) Competencias interpersonales. Están asociadas con las habilidades personales y sociales.
- 3) Competencias sistemáticas. Son las habilidades y capacidades correspondientes al sistema en su totalidad, es decir, son la combinación entre las competencias instrumentales y las interpersonales.

**Esquemas de acreditación [14, 20]:** Están basados en los criterios dados por el *Consejo de acreditación de ingeniería y tecnología* - ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology). Las habilidades esperadas por los ingenieros se enfocan en concebir, diseñar, implementar y operar sistemas, teniendo en cuenta los contextos sociales, políticos, culturales, económicos, ambientales y de sostenimiento; el trabajo en equipo y multidisciplinario, habilidades de comunicación y aprendizaje permanente.

Esta tendencia busca generar un vínculo entre la industria y la educación en ingeniería; ya que la industria y la sociedad en general, proporcionan todos los elementos de la investigación en ingeniería y la academia es quien conduce dicha investigación [14]. Las habilidades buscadas en los ingenieros son aquellas asociadas con el desarrollo personal e interpersonal, la capacidad de anticipación a los cambios

constantes y la comprensión del impacto de la ingeniería sobre los diferentes contextos sociales [14, 13].

**Nuevas estrategias de enseñanza y aprendizaje [9]:** Este movimiento nace de la necesidad de plantear un enfoque nuevo y no convencional proponiendo una transformación en la educación en ingeniería.

Se plantean cinco pilares de la educación en la ingeniería, además de los pilares tradicionales, tales como, contenido, currículo y pedagogía. Se realiza una exploración de los valores intrínsecos y emocionales que permiten que los estudiantes tengan grandes logros y experimenten el significado de su vida y su trabajo. Usando esos pilares como guía se han revelado algunas de las manifestaciones de la transformación de la educación. Esta transformación emocional de la educación de la ingeniería está fundamentada en una filosofía de educación basada en el mundo real y la vida de los estudiantes. Está disponible para todos, no es costosa, no requiere establecer paradigmas acerca de las viejas suposiciones de cómo deben ocurrir los cambios en la educación. Sus requerimientos son cambios sistemáticos en el lenguaje, en la cultura y un cambio personal en los estudiantes, la facultad y de todos los que están involucrados en la educación.

#### A. Perfil del ingeniero

El concepto de perfil profesional está ligado a las características esperadas de los egresados y está asociado con los procesos de gestión curricular. No existe una única y válida definición de perfil, sin embargo, existen características de los diversos conceptos de perfil que convergen en aspectos comunes, tales como los propuestos en [18,11]:

- Conocimientos en un dominio.
- Aplicación de los conocimientos en la práctica.
- Valores y aptitudes adquiridas.
- Destrezas desarrolladas.
- Habilidades.
- Características personales.
- Sentimientos.

Para el caso concreto de la ingeniería, las características específicas han sido dadas por la sociedad, la academia, la industria y las organizaciones y éstas se centran en el desarrollo no sólo de conocimientos técnicos, tecnológicos y científicos, sino también en la adquisición y desarrollo de habilidades personales e interpersonales, la adaptación a los constantes cambios de las TICs, la solución de problemas, el aprendizaje permanente, el liderazgo y el trabajo en equipos multidisciplinarios, el cuidado del medio ambiente y el desarrollo sostenible y entender el impacto de la ingeniería sobre el mundo y los diferentes contextos que afectan a la sociedad.

Al igual que en el caso general de perfil profesional, no existe una definición universal del perfil del ingeniero, ni del concepto de ingeniería. La siguiente propuesta nació de la combinación de diferentes definiciones de ingeniería y del

ingeniero; donde se han tomado los aspectos comunes dados por diversas fuentes:

La Ingeniería es la profesión (o campo de conocimiento) asociado con el desarrollo, adquisición y aplicación de conocimiento técnico, científico y matemático [21], con el objeto de concebir, inventar, entender, planear, diseñar, desarrollar, innovar, operar, mantener y usar: dispositivos, componentes, materiales, máquinas, estructuras, proyectos, sistemas y subsistemas [21, 19, 13] para propósitos específicos

Algunos de estos propósitos son:

- Buscar el desarrollo de un país.
- Proporcionar asesoramiento y servicios relacionados con una disciplina o campos de acción especializados.
- Buscar la mejor utilización de los recursos y la conservación del medio ambiente.
- Mejorar la calidad de vida.

De acuerdo con las características asociadas a la ingeniería, se puede establecer que la ingeniería genera un vínculo entre la sociedad, la ciencia, la tecnología y la naturaleza, en pro del desarrollo local o global.

### III. MODELO PROPUESTO

A continuación, se presenta el modelo matemático propuesto para la cuantificación de perfiles profesionales. El modelo está basado en algunos aportes dados por la inteligencia computacional, tales como las implicaciones difusas y los operadores de agregación matemáticos.

#### A. Principales definiciones

Un perfil profesional básicamente es un conjunto de características que debe adquirir, desarrollar o mejorar un profesional durante su proceso de formación. Teniendo en cuenta los planteamientos vistos en la sección II, en este trabajo se propone dividir tales características en dos categorías *conocimientos* y *habilidades*. Donde los elementos pertenecientes al conjunto de conocimientos son todos los conocimientos teóricos, científicos, técnicos y tecnológicos y el conjunto de habilidades recoge todas aquellas características que apuntan a capacidades, competencias, valores, sentimientos, destrezas, y demás que estén asociadas al crecimiento personal e interpersonal del estudiante.

En [1], se plantean 4 importantes definiciones, éstas son el fundamento de la metodología aquí propuesta y las cuales son:

**Perfil.** Es el conjunto de habilidades y conocimientos que un profesional (por ejemplo, un ingeniero), debe o debería tener.

En la definición anterior al usar la frase “*debe o debería tener*” implícitamente se están derivando dos conceptos que han sido adoptados a este proyecto: *perfil ideal*, que es un perfil esperado y *perfil individual*, es el perfil adquirido por un estudiante durante el proceso de formación. A continuación se presentan estas dos definiciones formalmente:

**Perfil Ideal.** Es el conjunto de conocimientos y habilidades que un estudiante debe lograr de acuerdo al rol profesional esperado. Estas expectativas están definidas por las instituciones educativas, la industria, las organizaciones y la sociedad en general y están basadas en los actuales requerimientos de cada sector.

**Perfil Individual.** Es el conjunto de conocimientos y habilidades adquiridos o desarrollados por un estudiante durante su proceso de formación profesional.

**Grado de satisfacción.** Es la medida que determina qué tanto un perfil individual satisface a uno o varios perfiles ideales. Es una evaluación cuantitativa de los conocimientos y habilidades asociados a un programa curricular.

#### B. Estructura del perfil

De acuerdo con las definiciones anteriores, un perfil es un conjunto de habilidades y conocimientos. Los elementos de cada uno de los conjuntos pueden estar anidados, por lo tanto, la estructura del perfil es como un árbol, tal y como se puede ver en la figura 1.

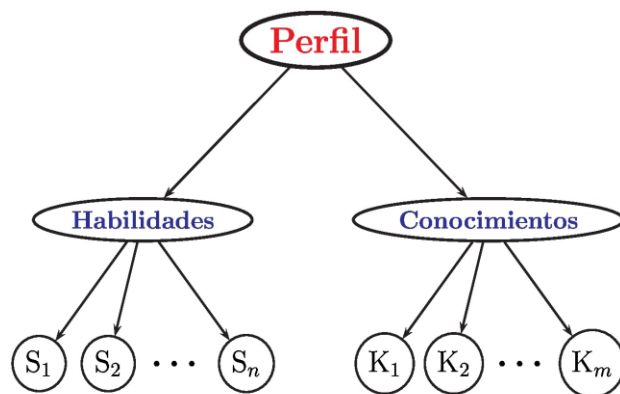


Fig. 1 Estructura del perfil.

#### C. Estructura de los conjuntos de Conocimientos y Habilidades

**Definición 1.** Sea K un conjunto de conocimientos anidados.

$$K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$$

K es el conjunto de todos los nodos del árbol de la figura 2

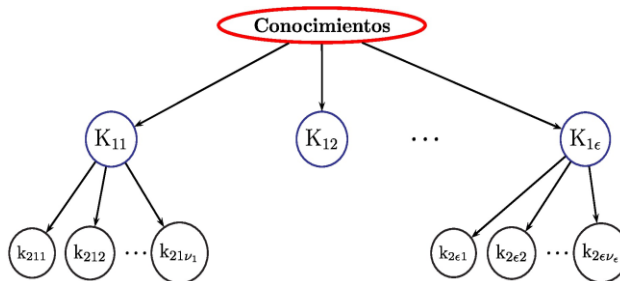


Fig. 2 Estructura del conjunto de conocimientos.

Definición 2. Sea S un conjunto de habilidades anidadas.

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$$

S es el conjunto de todos los nodos del árbol de la figura 3

Definición 3. Grado de satisfacción. Es la medida que indica el nivel de cumplimiento de un perfil individual con respecto a uno o varios perfiles ideales. Este valor se encuentra en el intervalo [0,1].

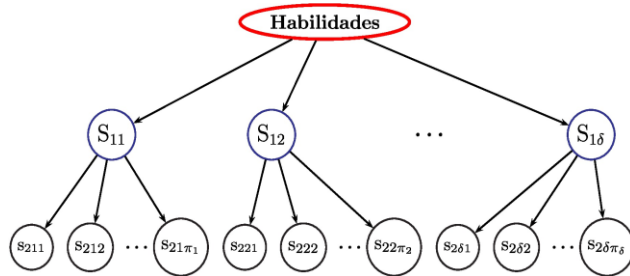


Fig. 3 Estructura del conjunto de habilidades.

#### D. Implicaciones difusas

Las implicaciones difusas permiten obtener el grado de membresía de un conjunto con respecto a otro, estos grados son valores de verdad en el intervalo [0,1]. Las relaciones son representadas a través de las reglas “Sí ... entonces”, de este modo, los valores de verdad pueden ser calculados con algunas T-normas o S-normas, ya que este tipo de relación, es decir  $(p \rightarrow q)$ , puede ser representada en términos de  $\wedge$  (and) y  $\vee$  (or) respectivamente [7]

En este trabajo, las implicaciones difusas establecen una relación entre un perfil individual con respecto a un perfil ideal. En particular, se usan las implicaciones difusas para encontrar el valor del grado de satisfacción de un nodo común entre los árboles del perfil individual y el perfil ideal. Este proceso se realiza desde los nodos de hoja hasta el nodo raíz, obteniendo un nuevo árbol llamado el *árbol de grados de satisfacción*, tal y como lo muestra la figura 4.

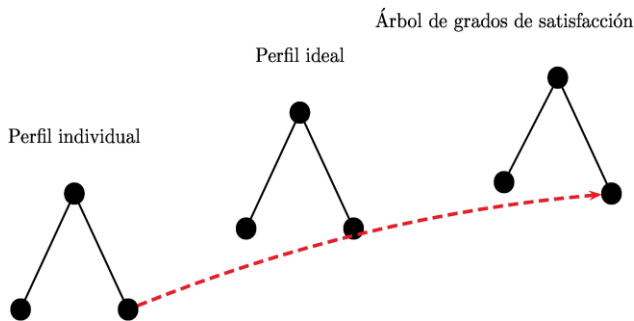


Fig. 4 Obtención del árbol de grados de satisfacción.

Existen diferentes tipos de implicaciones difusas, en este trabajo se consultaron e implementaron 9 de las implicaciones más usadas. Después de la verificación y teniendo en cuenta la naturaleza del modelo y sus resultados esperados, se propone el uso de las implicaciones de Gödel y Goguen.

#### E. Operadores de agregación

La agregación de información consiste en agregar  $n$ -tuplas de objetos pertenecientes a un mismo conjunto dentro de un mismo objeto del mismo conjunto. Un operador de agregación es una función que asigna un único valor y para cada  $n$ -tupla de números  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  tal que:

$$y = \text{Aggreg}(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Una definición formal de operador de agregación es [6]:

Definición 4. Un operador de agregación es una función tal que:

$$\text{Aggreg} = \bigcup_{n \in \mathbb{N}} [0,1]^n \rightarrow [0,1]$$

Que cumple con propiedades de *identidad*, *condiciones de frontera* y es una *función creciente*.

En este caso, los operadores de agregación son usados en dos casos:

- Para hallar el perfil individual. Se hace agregación de las asignaturas, una vez se ha realizado la combinación entre el historial académico y la matriz de impactos (ver la sección V).
- Para hallar el grado de satisfacción. Una vez se ha obtenido el árbol de grados de satisfacción, se realiza una agregación desde los nodos hoja hasta el nodo raíz.

Existen diferentes tipos de operadores matemáticos de agregación. El operador seleccionado para este modelo, fue el operador OWA (Ordered Weight Averaging) debido a que este operador cubre algunos de los operadores más conocidos como el máximo, el mínimo y en algunos casos el promedio simple, también permite hacer el ajuste de algunos parámetros tales como los pesos y el *orness*, como se verá a continuación, con el fin de verificar el comportamiento del modelo ante diferentes variaciones.

Definición 5. Un operador OWA de  $n$  dimensiones es de la forma  $F : \mathcal{R}^n \rightarrow \mathcal{R}$  tal que:

$$F(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j$$

Donde  $w_j$  hace referencia al peso asignado y  $b_j$  es el  $j$ -ésimo elemento más grande o mayor de la colección  $(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$  [22].

Definición 6. *Orness*. Los operadores OWA permiten ajustar fácilmente el grado de *anding* y *ording* implícitos en la agregación, este tipo de medida es llamada *orness* y está definida como:

$$Orness(w) = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (n-i)w_i$$

En la sección V, se describe la aplicación de los operadores matemáticos de agregación, las implicaciones difusas y la implementación del modelo del matemático propuesto a un caso particular.

#### IV. APLICACIÓN

En la sección III se explica el modelo matemático propuesto para la definición de perfiles de egresados a través de una evaluación cuantitativa de conocimientos y habilidades asociados a un programa curricular. La aplicación de esta metodología se realizó en el programa curricular de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia.

##### A. Fuentes de conocimiento

Un perfil puede ser definido como un conjunto de habilidades y conocimientos. Para la aplicación del modelo al programa curricular de Ingeniería Eléctrica, se han tenido en cuenta tres fuentes de conocimiento que permitieron construir el marco general del programa curricular y la aplicación de la metodología al mismo. Tales fuentes de conocimiento son: la representación ontológica del programa curricular de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia, consultas con expertos del dominio en Ingeniería Eléctrica y el historial académico de los estudiantes del programa curricular.

A continuación se explicará brevemente la estructura general de cada una de las fuentes de conocimiento.

##### a. Representación ontológica del plan de estudios de Ingeniería Eléctrica

La representación de conocimiento es un área de la inteligencia artificial y es el estudio que hace referencia al uso de símbolos formales para representar una colección de proposiciones aceptadas por un agente, el cual puede ser humano o una máquina [2]. La representación de conocimiento permite realizar procesos computacionales de razonamiento e inferencia de conocimiento.

Existen diversas formas de representar el conocimiento, una de las formas más usadas es a través de ontologías. Las ontologías permiten hacer representación y gestión de conocimiento complejo a nivel global y brindan ventajas tales como facilidad, flexibilidad en la gestión, pueden ser compartidas y reusadas, siempre y cuando estén escritas en lenguajes estándares como XML o RDF.

En [16] se describe el proceso llevado a cabo para la representación ontológica del plan de estudios de Ingeniería Eléctrica, dando como resultado un conjunto de 4 ontologías que buscan abarcar los aspectos más relevantes del plan de estudios y las cuales se describen a continuación:

- 1) Conocimiento. Hace referencia al conocimiento técnico perteneciente al programa de pregrado de Ingeniería Eléctrica. La adquisición del conocimiento

de esta ontología se hizo a través de consultas bibliográficas y con expertos del dominio. En los trabajos [17, 8] se describe el proceso de adquisición de conocimiento, creación e implementación de algunas áreas del conocimiento técnico para esta ontología.

- 2) Habilidades. Esta ontología está orientada a describir el conjunto de habilidades que se espera adquiera, desarrolle o mejore un estudiante durante su proceso de formación académica. Para la construcción de esta ontología se han tomado en cuenta las sugerencias realizadas principalmente por ABET a través de los resultados de aprendizaje que han sido adaptados al plan de estudios de este caso de estudio.
- 3) Plan de estudios. Contiene todos los aspectos relacionados con las asignaturas del programa curricular de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia (componentes, requisitos, prerrequisitos, número de créditos, tipo de asignatura, etc) y se basa en los lineamientos dados por la resolución 181 de 2009 del Consejo de Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia [4].
- 4) Reglamentación. Está basada en la normatividad dada por la Universidad Nacional de Colombia que afecta al programa curricular de Ingeniería Eléctrica. Esta ontología no fue tomada en cuenta para el desarrollo de este trabajo.

Las ontologías de conocimientos y habilidades proporcionaron los elementos para cada uno de los conjuntos del mismo nombre dentro del modelo propuesto y desde la ontología plan de estudios se extrajo el listado de asignaturas del programa curricular.

##### b. Marco del programa curricular de Ingeniería Eléctrica

La construcción del marco general del programa curricular ha surgido a partir de las consultas con los expertos de dominio, principalmente profesores del departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia, quienes han trabajado en los procesos de gestión curricular donde se han tomado como base las sugerencias, estrategias y lineamientos dados principalmente por ABET, pero también teniendo en cuenta otras iniciativas como el CDIO, entre otras.

El marco general está compuesto por una serie de matrices divididas en dos clases y las cuales se definen a continuación:

*Matrices de Impactos.* Evalúan el impacto que se espera tenga cada una de las asignaturas del plan de estudios con respecto a cada uno de los conocimientos o habilidades. Estas matrices son la base para la construcción del perfil individual.

*Matrices de Perfiles.* El programa curricular de Ingeniería Eléctrica ha definido dos perfiles profesionales, los cuales son *Aplicaciones industriales* y *Sistemas de potencia y distribución* [3]. Estas matrices muestran el valor esperado de

cada conocimiento o habilidad con respecto a cada uno de los perfiles propuestos por el programa curricular.

### c. Historial académico

Muestra las notas obtenidas por un estudiante en cada una de las asignaturas del plan de estudios, durante su proceso de formación profesional. Las notas están en un intervalo de 0 a 5. Junto con la matriz de impactos se construye el Perfil Individual. Otras formas de evaluación cuantitativa de conocimientos o habilidades pueden ser usadas en el modelo.

### B. Implementación de la metodología

Con el fin de visualizar y evaluar la metodología y sus componentes como un sistema, se propone el desarrollo de un prototipo de software utilizando el modelo de desarrollo de software RUP (Rational Unified Process).

El prototipo de software es una aplicación web desarrollada en PHP. La información extraída de las ontologías, las matrices de impactos y de perfiles y el historial académico fueron almacenadas en una base de datos en MySQL.

## V. ANALISIS DE LA METODOLOGÍA EN PROCESOS DE AUTOEVALUACIÓN

En esta sección se pretende hacer un análisis del modelo como potencial en procesos de autoevaluación, a través de una serie de simulaciones, donde:

- Se crean historiales académicos con la misma nota en todas las asignaturas del plan de estudios.
- Se usa un historial académico real de un recién egresado del programa curricular de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia.

El uso de implicaciones difusas y operadores de agregación se realiza de la siguiente forma:

- 1) Una vez se combina la matriz de impactos con el historial académico, se hace uso de un operador de agregación, para hallar el perfil individual.
- 2) Se utiliza una implicación difusa para establecer una relación entre el perfil ideal y el perfil individual, lo que resulta en el árbol de grados de satisfacción.
- 3) Sobre el árbol de grados de satisfacción se hace agregación con el fin de obtener un valor único que indique el grado de satisfacción.

La tabla 1 muestra los operadores de agregación y la implicación difusa que se usaron para cada uno de los procesos descritos anteriormente.

TABLA I  
VARIABLES USADAS EN LA SIMULACIÓN DEL MODELO

Descripción	Operador	Variable
Perfil individual	Máximo	$owa_1$
Grado de satisfacción	Mínimo	$owa_2$
Implicación difusa		Gödel

La selección de los operadores para  $owa_1$  y  $owa_2$  no se ha hecho arbitrariamente. La sugerencia del uso del operador

máximo u operadores de agregación cercanos al máximo para  $owa_1$ , puede ilustrarse con la siguiente pregunta: *En el plan de estudios está previsto que se aprenda a sumar en tres asignaturas. Un estudiante obtuvo buenas notas en dos de ellas y malas notas en la tercera, ¿qué tanto sabe sumar este estudiante?* En este caso el operador máximo es incluyente y permitiría proporcionar la siguiente respuesta *Sabe sumar bien porque lo aprendió en dos asignaturas.*

La selección de un operador mínimo o cercano a éste para el cálculo del grado de satisfacción, es decir, en  $owa_2$ , también puede ser ilustrada con un ejemplo a modo de pregunta: *Si un estudiante sabe sumar, restar y multiplicar, pero no sabe dividir ¿qué tanta aritmética sabe?* Hacer este operador más excluyente permite responder de la siguiente forma *Conoce poca aritmética ya que requiere saber todos los conceptos.*

Se seleccionó la implicación difusa Gödel ya que otorga resultados mayores o iguales al perfil individual. Una implicación que mostró un comportamiento similar es la implicación Goguen.

Los análisis realizados sobre los resultados han permitido destacar dos aspectos en los cuales el modelo se muestra como una herramienta potencial para los procesos de autoevaluación: a) la integralidad del plan, es decir, permite ver si el plan de estudios va acorde con la oferta académica y tiene en cuenta la experiencia de los estudiantes en los procesos de aprendizaje y b) la evolución de los valores del grado de satisfacción semestre a semestre, mostrando si realmente el plan de estudios muestra el comportamiento evolutivo esperado con respecto a los conocimientos y habilidades asociados.

### A. Integralidad del plan

La figura 5, muestra la evolución del grado de satisfacción con respecto a varios historiales académicos que contienen la misma nota en todas las asignaturas. Estas notas varían de 1 a 5.

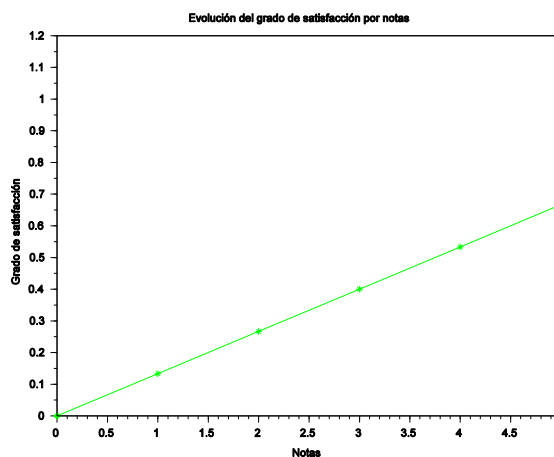


Fig. 5 Evolución del grado de satisfacción con respecto a las notas.

Intuitivamente, se esperan valores del grado de satisfacción superiores al 70% para los historiales académicos con notas iguales o mayores a 3.0 y un grado de satisfacción del 100% para el historial académico que contiene notas de 5.0. Los bajos resultados del grado de satisfacción mostrados en la gráfica de la figura 5 reflejan que la actual evaluación de los conocimientos y las habilidades dada por los expertos, no está fuertemente vinculada a la oferta académica del plan de estudios.

El modelo expuesto aquí permite identificar la relación existente entre conocimientos y habilidades con la oferta académica y los perfiles propuestos y así establecer si la relación dada por la evaluación cuantitativa, corresponde con las expectativas o si por el contrario, es necesario realizar ajustes sobre la evaluación. Esto se puede traducir en nuevas formas de autoevaluar el programa curricular.

Las observaciones anteriores llevan a pensar en una autoevaluación donde se tengan en cuenta no sólo los criterios dados por los expertos del dominio, sino también las percepciones de los estudiantes activos y recién egresados del plan de estudios. Ya que cada uno de estos actores ofrece diferentes miradas, que permiten hacer una evaluación más cercana a las expectativas y experiencias ganadas en cada uno de los procesos de enseñanza y aprendizaje, garantizando así constituir un plan de estudios más integral y más robusto, ya que tiene en cuenta un contexto más global (estudiantes, egresados y profesores) y más inclusivo, ya que tendrá en cuenta experiencias generales y particulares de cada uno de los actores.

### B. Evolución esperada de la formación

Las figuras 6 y 7, muestran la evolución del grado de satisfacción semestre a semestre con respecto a un historial académico. En el primer caso, el historial académico es el que contiene una nota de 5 para todas las asignaturas y el segundo caso, es real, ya que el historial académico pertenece a un estudiante recién egresado del plan de estudios de Ingeniería Eléctrica.

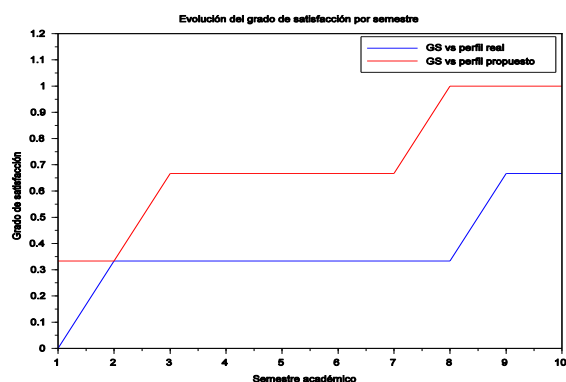


Fig. 6 Evolución del grado de satisfacción con respecto a un historial académico con un promedio de 5.0.

En los dos casos se realizó el cálculo del grado de satisfacción teniendo en cuenta dos perfiles, el primer perfil, es el perfil real, el cual fue propuesto por el conjunto de expertos y el segundo perfil, es un perfil prospecto que fue construido suponiendo un promedio de 5 en el historial académico.

Las gráficas recalcan que el valor del grado de satisfacción no es consistente con los casos de los estudiantes que culminan su proceso de formación profesional exitosamente.

Es natural esperar que los valores del grado de satisfacción de cada semestre sean evolutivos, es decir, cada valor del grado de satisfacción con respecto a un semestre, debería ser mayor que el del semestre anterior, sin embargo las gráficas 6 y 7 muestran un número significativo de semestres, donde el grado de satisfacción es igual y semestres donde súbitamente se eleva dicho valor.

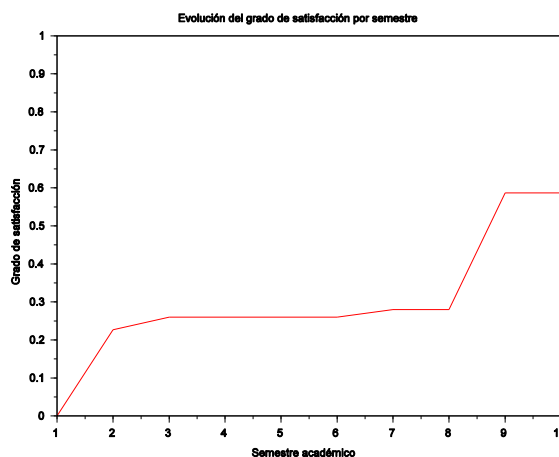


Fig. 7 Evolución del grado de satisfacción con respecto a un historial académico de un egresado del plan de estudios.

Estos resultados se han dado en parte por la forma como los expertos han realizado la evaluación de los conocimientos y habilidades del plan de estudios, que ha sido de forma muy discreta y lo cual se refleja claramente en las gráficas de las figuras 5, 6 y 7. Sin embargo, en la actualidad el departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional, está adelantando procesos de creación e implementación de nuevas formas evaluativas de conocimientos y habilidades teniendo en cuenta las sugerencias dadas por ABET para realizar dichas mediciones.

El modelo como potencial de autoevaluación, permite hacer un análisis de qué tan evolutivos son las habilidades y conocimientos del plan de estudios durante el periodo de formación profesional y de igual forma es posible conocer cuáles elementos requieren ser reforzados o replanteados en un periodo (semestre) específico.



## VI. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El modelo permite la cuantificación de conocimientos y habilidades adquiridos o desarrollados por egresado de un plan de estudios. El modelo permite contrastar dos perfiles: el *perfil individual* y el *perfil ideal*. A través de esta comparación el modelo se convierte en herramienta potencial para llevar a cabo procesos de autoevaluación y mejora continua de los programas curriculares.

Se ha mostrado algo de su potencial a partir del uso del *historial académico*, sin embargo, conviene adaptarlo para contrastarlo con las mediciones en los procesos de autoevaluación con el enfoque dado por ABET. Actualmente, este tipo de mediciones están siendo desarrolladas por el departamento de Ingeniería Eléctrica, caso de nuestro estudio. Una vez implementadas las mediciones, se pueden incorporar al modelo.

La metodología propuesta puede ser adaptada a cualquier plan de estudios, no sólo de ingeniería. Elementos adicionales o diferentes a los conocimientos y las habilidades pueden ser incorporados al modelo. No es necesario que la representación del plan de estudios se haga mediante ontologías, sin embargo, es importante que dicha representación sea a través de un árbol.

El modelo está siendo usado para un proyecto que busca establecer las rutas de aprendizaje para los estudiantes del plan de estudios de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional.

## AGRADECIMIENTOS

Sin la colaboración del equipo de profesores y directivos del programa curricular de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia, no habría podido ser posible la aplicación de la metodología aquí expuesta.

De igual forma agradecemos al grupo de egresados que nos permitieron tener acceso al historial académico y a las demás dependencias de la universidad que de una u otra forma han colaborado con sus múltiples aportes.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] M. C. Barrera Botero. Metodología para la definición de perfiles de egresados de un programa curricular basado en ontologías y el historial académico de sus egresados. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- [2] R. J. Brachman and H. J. Levesque. *Knowledge Representation and Reasoning*. Morgan Kaufmann, San Francisco, 2004.
- [3] Comité asesor curricular del programa de pregrado de ingeniería eléctrica. *PEP Proyecto educativo del programa de pregrado de ingeniería eléctrica*. Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería - Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Bogotá, 2014.
- [4] Consejo de Facultad de Ingeniería. *Resolución 181 de 2009*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2009.
- [5] C. Crosthwaite, I. Cameron, P. Lant, and J. Litster. Balancing curriculum processes and content in a project centred curriculum. in pursuit of graduate attributes. *Institution of Chemical Engineers - IChemE*, 84:619–628, 2006.
- [6] M. Detyniecki. *Fundamentals on Aggregation Operators*. Computer Science division, University of California, Berkeley, 2001.
- [7] D. Driankov, H. Hellendoorn, and M. Reinfrank. *An Introduction to Fuzzy Control*. Springer-Verlag, New York, 1993.
- [8] A. R. Ghisays Abril. Representación del programa curricular de pregrado de ingeniería eléctrica de la universidad nacional en el área de circuitos, señales y sistemas mediante ontologías. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2013.
- [9] D. E. Goldberg, M. Somerville, and C. Whitney. *A Whole New Engineer*. ThreeJoy Associates, Inc, Douglas, Michigan, 2014.
- [10] J. González and R. Wagenaar. *Universities' Contribution to the Bologna Process: An Introduction*. Publicaciones de la Universidad de Deusto, Bilbao, España, 2008.
- [11] A. Hernández Díaz. Perfil profesional. *Revista pedagógica universitaria*, 9(2):69–98, 2004.
- [12] E. Horn and M. Kupries. A study program for professional software engineering. In *16th Conference on Software Engineering Education and Training (CSEET'03)*, pages 298 – 308, 2003.
- [13] National Academy of Engineering. *The Engineer of 2020: Visions of Engineering in the New Century*. The National Academy of Sciences, Washington D.C., 2004.
- [14] National Academy of Engineering of the National Academies. *Educating the Engineer of 2020: Adapting Engineering Education to the New Century*. The National Academy of Sciences, Washington D.C., 2005.
- [15] J. W. Prados, G. D. Peterson, and L. R. Lattuca. Quality assurance of engineering education through accreditation: The impact of engineering criteria 2000 and its global influence. *Journal of Engineering Education*, 94:165–184, 2005.
- [16] C. Sarmiento González. Representación del programa curricular de pregrado de ingeniería eléctrica de la universidad nacional mediante ontologías. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2010.
- [17] R. A. Soto Pérez. Representación del área de electrotécnica y sistemas de potencia del programa curricular de pregrado de ingeniería eléctrica mediante ontologías. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [18] G. Sánchez Bolívar. *Identificación y análisis del perfil profesional del ingeniero mecánico recién egresado*. Consejo profesional de ingenierías eléctrica, mecánica y profesiones afines, seccional Cundinamarca, Bogotá, 2007.
- [19] F. Tavera Escobar. La calidad en la enseñanza de la ingeniería en el siglo XXI. Limusa S.A., México D.F., 2000.
- [20] J. H. Torres Acosta. El perfil del ingeniero. In Panel: El perfil del ingeniero, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2012.
- [21] UNESCO. Engineering: Issues, challenges and opportunities for development. Technical report, UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2010.
- [22] R. R. Yager. OWA aggregation over a continuous interval argument with applications to decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 34:1952–1963, 2004.