

EDITORIAL

Respetados lectores, autores y revisores:

En nombre de todo mi equipo de trabajo y del cuerpo directivo de nuestra facultad, deseo agradecer la confianza depositada por el Consejo Directivo de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI) en el Centro Editorial de la Facultad de Minas. Estamos comprometidos a dar nuestro mayor esfuerzo para cumplir el reto de lograr que la revista siga creciendo en visibilidad, importancia e impacto tanto a nivel local como internacional.

Ante este nuevo reto, ha surgido la necesidad de implementar una serie de cambios para mejorar la alineación de la revista con los estándares internacionales actuales con el fin de poder facilitar el proceso de inclusión en índices bibliográficos. Firmemente creo que estos cambios también son beneficiosos tanto para nuestros lectores, autores y evaluadores, ya que obligan a hacer explícitos (en el papel) muchos elementos ya existentes de la política editorial puesto que facilitan la tarea de los autores, los evaluadores y el editor.

En primer lugar, se han modificado los alcances y objetivo a partir del número actual. En la página de Internet aparece el siguiente texto en la sección de objetivo y alcances de la revista:

La revista Educación en Ingeniería publica artículos originales de investigación científica, revisiones de literatura y casos de estudio relacionados con el área de la educación en ingeniería en sus diferentes niveles formativos (pregrado, postgrado y formación continua). Los trabajos publicados deben discutir y analizar problemas metodológicos, teóricos, estratégicos o prácticos; o presentar prácticas novedosas e innovadoras. Los trabajos publicados están relacionados con las siguientes áreas temáticas:

- (1) El desarrollo de conocimientos, habilidades y competencias en ingeniería. En esta área se incluye el desarrollo de la creatividad, el pensamiento crítico, la capacidad para solución de problemas y el aprendizaje de largo plazo.
- (2) La cultura, estrategia y prácticas institucionales.
- (3) El desarrollo y uso de métodos, instrumentos y métricas de evaluación.

Las contribuciones de los trabajos publicados cumplen con las siguientes características: (a) son originales, útiles y relevantes, tal que los lectores

puedan usarlas posteriormente en su quehacer profesional; (b) no pueden ser derivadas del conocimiento actual de una forma directa o trivial; (c) están basadas en el estado actual del conocimiento; (d) están soportadas por un análisis riguroso y una evaluación balanceada y objetiva.

La revista está dirigida a los investigadores del área de educación en ingeniería, a los docentes que imparten cursos tanto de pregrado como de postgrado, a los facilitadores de los cursos de formación continua, a todas las personas interesadas en educación y a la comunidad en general.

Como editor, espero que este cambio ayude a una mejor **focalización** del tipo de contribuciones que se esperan de los trabajos sometidos, beneficiando tanto a autores como evaluadores. Las áreas temáticas presentadas representan dimensiones que visibilizan y concentran aspectos que se consideran cruciales dentro del ámbito internacional en la enseñanza en ingeniería; aunque la idea de considerar estas áreas temáticas en la revista no es novedosa por sí misma, ya que la revista lo ha hecho continuamente en el pasado, sí resulta muy importante declararlas de forma explícita, ya que es un ítem de evaluación por parte de los comités de selección de diferentes bases de datos e índices bibliográficos.

El nuevo objetivo de la revista también hace clara nuestra invitación a someter artículos sobre la educación en ingeniería a nivel de postgrado y como un proceso de formación continua. Como docente de pregrado y postgrado siento la necesidad de que nuestros investigadores en educación aborden el tema y nos den a nosotros (los docentes) pautas y herramientas que nos permitan cumplir de una mejor forma con uno de nuestros objetivos misionales dentro de los diferentes niveles formativos en ingeniería. Espero que estas investigaciones nos ayuden a comprender nuestra profesión y a mejorar como educadores beneficiando a nuestros alumnos, nuestras instituciones y nuestra sociedad.

Por otra parte, se han definido una serie de exigencias sobre las contribuciones de los trabajos sometidos; esto no es más que una invitación a nuestros autores para mirar críticamente su propio trabajo desde los ojos de los lectores y los evaluadores. Estas exigencias también son una invitación para que los autores discutan explícitamente la originalidad, importancia y profundidad de las contribuciones de sus trabajos, aspectos que usualmente se dan por sentados en muchos manuscritos, tal que

muchas investigaciones excelentes no logran un adecuado reconocimiento por parte de la comunidad.

En segundo lugar, se han introducido cambios en la política editorial que tienen como fines la introducción de mejoras dentro del proceso editorial como tal y el cumplimiento con las exigencias comúnmente realizadas por los comités de selección de las bases de datos e índices bibliográficos. La política editorial vigente a partir de este número puede ser consultada en la página Web de la revista.

Finalmente, deseo agradecer a toda la comunidad académica el apoyo que han brindado a la revista, tanto como lectores, autores y evaluadores, y espero que este apoyo continúe (y aumente) durante esta nueva fase de gestión.

Atentamente,

Juan David Velásquez.
Editor
Revista Educación en Ingeniería

Hacia una formación más fundamentada y flexible en ingeniería civil

Julio Esteban Colmenares ^a & Jorge Celis ^b

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. jecolmenaresm@unal.edu.co

^b Grupo de Investigación de Educación Media y Superior, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. jecelisl@unal.edu.co

Resumen— Desde sus orígenes a finales del Siglo XIX, la educación en ingeniería se ha caracterizado por analizar y comprender los desafíos planteados por la sociedad a la profesión de la ingeniería, así como por diseñar nuevos enfoques para estructurar la formación que reciben los estudiantes. Este artículo indaga sobre algunos desafíos que debe afrontar la profesión de la ingeniería en general y la de la ingeniería civil en particular y describir un nuevo enfoque de formación que se ha venido discutiendo alrededor del mundo. Basado en estudios recientes, este artículo argumenta que la formación de los estudiantes en ingeniería civil debe ser más fundamentada y flexible y articulada con los programas de maestría. Como parte de los requisitos para acceder a la licencia profesional, además del pregrado y la maestría, se aboga porque los estudiantes tengan prácticas profesionales durante su proceso de formación.

Palabras Clave— educación en ingeniería, ingeniería civil, formación

Recibido para revisar Octubre 13 de 2015, aceptado Enero 27 de 2016,
versión final Febrero 15 de 2016

Towards a more fundamental and flexible education in civil engineering

Abstract— Since its origins, traced back to the end of the 19th century, engineering education has been distinguished by the identification, analysis, and understanding of the challenges presented to the engineering profession by the society. Engineering education has also been concentrated about thinking and designing new approaches to structure new models of education. This paper discusses some challenges that the engineering profession, in general, and the civil engineering, in particular, is now facing. It presents a description of a new model of education, which has been discussed all around the world. Based on recent studies, this paper argues that civil engineering education should be more fundamental and flexible and interconnected with postgraduate education. As part of the requirements to get the professional license, it is claimed that students must combine their education with professional practice in order to learn and understand the implications of practicing the civil engineering profession.

Key words— engineering education, civil engineering, education

1. Introducción

Desde sus orígenes que se remontan a finales del Siglo XIX, la educación en ingeniería ha tenido entre sus propósitos identificar, analizar y comprender los desafíos planteados por la sociedad a la profesión de ingeniería, así como concebir y diseñar nuevos enfoques para estructurar la formación que reciben los estudiantes. Desde esta perspectiva, la educación en ingeniería busca que los futuros profesionales de ingeniería estén preparados para responder de manera efectiva a los desafíos de la sociedad [1]. La profesión de la ingeniería, como

toda profesión liberal, está sujeta a los cambios que se presentan en la sociedad [2], y teniendo en cuenta que la formación es un mecanismo histórica y socialmente establecido para ejercer la profesión de ingeniería [3,4], la misma debe ser revisada y transformada con miras a responder a tales cambios [5]. Una formación que no esté alineada con los cambios no solamente puede hacer que la profesión de ingeniería sea impertinente, socialmente hablando, sino que afecta negativamente el desarrollo social y económico de la sociedad máxime en el caso de la ingeniería civil que es la profesión que por definición es responsable de proveer la infraestructura necesaria para mejorar la calidad de los ciudadanos y contribuir a la sostenibilidad de la sociedad en su conjunto [6].

Siendo la ingeniería una profesión de alto riesgo [7], además de la formación, la educación en ingeniería estudia los requerimientos mínimos que deben cumplir los graduados en ingeniería para que accedan a la licencia profesional [6, 8], buscando así garantizar que están habilitados para el ejercicio de la profesión en el mercado de trabajo [9]. En varios países se arguye que deben ser requisitos mínimos para poder acceder a la licencia profesional junto con la formación en pregrado, la especialización en alguna de las áreas de la ingeniería civil a nivel de maestría y la realización de una práctica profesional [7,10].

Este artículo aporta a la educación en ingeniería en Colombia al indagar sobre algunos desafíos que debe afrontar la profesión de ingeniería en general y la ingeniería civil en particular, así como al describir nuevos enfoques en la formación que se han venido discutiendo alrededor del mundo. También con este artículo se busca contribuir al debate sobre las licencias profesionales en ingeniería, pues algunas voces claman que el título de pregrado en ingeniería no es suficiente para otorgar las licencias profesionales [7,11].

Este artículo está basado principalmente en estudios realizados en algunos países por asociaciones profesionales tanto en ingeniería [12-14] como en ingeniería civil [6,15]. En dichos estudios se debate sobre los retos que debe asumir la profesión de la ingeniería y la de la ingeniería civil en el tiempo por venir. En la preparación de los estudios participaron académicos destacados quienes luego presentaron y debatieron sus estudios con diferentes grupos de interés en la formación y profesión de la ingeniería. Especial énfasis es dado a los estudios elaborados por la Asociación Americana de Ingenieros

Civiles (ASCE por sus siglas en inglés) que ha puesto a consideración una propuesta para estructurar la formación de los estudiantes de ingeniería civil y nuevos requisitos para acceder a la licencia profesional [6,8,10]. Esta propuesta ha sido discutida en varios países y con base en ella se han promovido modificaciones en la concepción y organización de las actividades académicas pensadas para formar a los estudiantes [15].

El artículo está organizado como sigue. En primer lugar, se señalan los principales desafíos que están redefiniendo la profesión de la ingeniería civil a nivel global. Se discuten los desafíos relacionados con las consideraciones que se deben observar para solucionar los problemas en ingeniería civil. Posteriormente se abordan las demandas que debe afrontar la formación en ingeniería para lograr educar los graduados que la profesión requiere. Estas demandas son asumidas como el marco de referencia sobre el cual se discute la nueva manera de estructurar la formación en ingeniería civil. Se relia la importancia de articular con mayor decisión la formación de pregrado con la de maestría y la práctica profesional como requisitos mínimos para poder optar por la licencia profesional. Finalmente, el artículo menciona unos temas que deben ser objeto de discusión a futuro con el objetivo de que la formación en ingeniería civil sea más fundamentada y flexible. También se argumenta la urgencia de concebir sistemas de evaluación que permitan valorar hasta qué punto la adopción de las nuevas recomendaciones de formación contribuyen efectivamente o no a que los profesionales en ingeniería civil respondan a los retos del Siglo XXI.

2. Desafíos que están redefiniendo la profesión de ingeniería civil

La ASCE [8] afirma que la manera en que se ha venido ejerciendo la ingeniería civil debe ser modificada. Los ingenieros no solamente están trabajando en unas condiciones cada vez más complejas y cambiantes [5], sino que deben responder a desafíos que no eran pensados décadas atrás [12]. Al respecto se relievan desafíos de diversa índole que van desde el aumento constante de la población mundial pasando por el desarrollo de nuevas competencias que deben adquirir los profesionales de la ingeniería civil hasta la participación de varias disciplinas muchas de ellas inscritas en áreas diferentes a la ingeniería en la solución de problemas de ingeniería civil.

A continuación se describen aquellos desafíos que varios estudios catalogan como fundamentales para repensar la profesión de ingeniería civil: el aumento constante de la población mundial, la naturaleza de las soluciones adoptadas para abordar los problemas en ingeniería y el avance acelerado en la producción de conocimiento.

El aumento constante de la población mundial. Algunos estudios predicen que la población seguirá creciendo debido al mejoramiento de la calidad de vida [16] y la tendencia será que la mayoría de la población vivirá en zonas urbanas [17]. Implica entonces, que la ingeniería civil debe desarrollar en las ciudades una infraestructura con capacidad de atender con calidad a conglomerados de personas cada vez más grandes. Demandas por energía, transporte, agua potable, aire limpio, eliminación

segura de residuos guiarán la protección ambiental y el desarrollo de la infraestructura [6]. Los parámetros con que se han concebido las ciudades serán obsoletos debido no sólo al volumen de habitantes sino a la necesidad de desarrollo de una infraestructura sin precedentes en la historia de la humanidad.

La naturaleza de las soluciones de los problemas en ingeniería. Las soluciones que se propongan para superar los problemas en ingeniería deben considerar ahora los efectos en los sistemas social y económico, así como en el medio ambiente. La sostenibilidad se ha convertido en un criterio básico que se debe observar en todos los proyectos que realizan los ingenieros. No basta entonces con proponer soluciones desde una perspectiva técnica y de uso eficiente de recursos escasos, sino también desde una social, económica y sobre todo sostenible. En este marco, la ingeniería no puede por sí misma superar un problema sino que requiere de otras disciplinas que no necesariamente están inscritas en el área de la ingeniería. Ello implica que los ingenieros estén en capacidad de interactuar con profesionales provenientes de otras disciplinas en la búsqueda de las alternativas que sean más óptimas social, económica y ambientalmente para la sociedad.

El avance del conocimiento. Nunca antes se había registrado una producción de conocimiento y desarrollo de nuevas tecnologías como ha estado aconteciendo desde hace varias décadas [14]. La ingeniería está avocada a apropiarse de estos avances que son indispensables para sofisticar las herramientas para recolectar, procesar y analizar información requerida para la solución de problemas. La producción de conocimiento también ha estado cambiando. Franzoni and Sauermann [18] aportan evidencia proveniente de la sistematización de varias invenciones que demuestra que cada vez más la participación de personas sin formación académica es fundamental para la producción de conocimiento. Este escenario plantea retos a los ingenieros que ahora deben interactuar con personas que sin estar preparados para hacer ciencia son vitales para hacer avanzar el conocimiento. En el caso particular de la ingeniería que ha tenido y tendrá una alta dosis de empirismo se espera que los ingenieros sean capaces de explicar de manera fundamentada por qué ciertas soluciones efectivamente solucionaron un determinado problema y por qué otras no. Los ingenieros actúan como expertos, con aquellas personas sin formación académica, que se encargan de recolectar grandes cantidades de información necesaria para llegar a conclusiones sólidas y robustas sobre las soluciones adoptadas.

Además de los anteriores desafíos, ASCE [6] menciona algunos problemas que están afectando la ingeniería civil: 1) pobres condiciones de infraestructura, 2) la corrupción en la ingeniería global y en la industria de la construcción, 3) una participación muy reducida de los ingenieros civiles en la toma de decisiones y 4) amenazas provenientes de eventos naturales, accidentes y tal vez otras causas como el terrorismo. Habría que agregar a estos desafíos la falta de investigación sistemática sobre la naturaleza de los fenómenos y sobre el comportamiento de algunos materiales que involucra la ingeniería civil. El conocimiento disponible sobre el comportamiento de los suelos, por ejemplo, es muy limitado y los ingenieros deben trabajar con un alto grado de incertidumbre que no es conveniente para la solución de problemas [19].

3. Demandas a la formación en ingeniería y en ingeniería civil

Los anteriores desafíos plantean demandas a la formación en ingeniería y en ingeniería civil. Como se ha venido sosteniendo a lo largo de este artículo, estos desafíos deben ser estudiados y asumidos, pues la formación es la encargada de garantizar que los graduados a futuro estarán en capacidad de ejercer la profesión de manera adecuada.

En cuanto a la formación en ingeniería, Conlon [20] expone las siguientes demandas:

- La justicia, equidad y la humanización del trabajo son principios sobre los cuales debe estar fundamentada la formación, y éstos deben ser promovidos desde el primer año de estudios, de tal manera que los estudiantes los perciban como una cuestión inherente a la ingeniería y la perciban tanto como un proceso social como técnico.
- Todo proyecto llevado a cabo por los estudiantes debe ser evaluado con base en los principios antes mencionados. De esta manera, los estudiantes comprenden que los proyectos no solamente deben satisfacer unos requerimientos técnicos sino también unos sociales.
- Con el fin de que los estudiantes entiendan que la tecnología es un artefacto histórica y socialmente configurado, pueden cursar asignaturas en estudios sociales de la ciencia.
- Las asignaturas en ética están pensadas para que los estudiantes conozcan los obstáculos que no permiten el ejercicio de la profesión de ingeniería y evaluar las posiciones que se toman alrededor de la profesión en el ámbito público.

ASCE [6], por su parte, plantea un perfil profesional que los estudiantes deben desarrollar durante su proceso de escolarización en los programas en ingeniería civil. Dicho perfil apunta a que los estudiantes se conviertan en:

- “Planeadores, diseñadores, constructores y operadores del motor social y económico de la sociedad: el medio ambiente edificado;
- Custodios del medio ambiente natural y sus recursos;
- Innovadores e integradores de las ideas y la tecnología en los sectores público, privado y académico;
- Gestores del riesgo y la incertidumbre causados por los eventos naturales, accidentes y otras amenazas; y
- Líderes en las discusiones y decisiones que confeccionan las políticas públicas en medio ambiente e infraestructura“ [6].

Además de los atributos del perfil antes mencionado, Angelides y Loukogeorgaki (2005), agregan que la formación debe equipar a los estudiantes con un conocimiento multidisciplinario y las habilidades apropiadas para que se puedan adaptar de manera fácil a los cambios que afrontarán en su vida profesional.

4. Nuevo enfoque para la formación de ingenieros civiles

La ingeniería históricamente ha sido una de las profesiones en las cuales el título de pregrado ha sido suficiente para adquirir un estatus profesional [12]. Pero ante los cambios que ha tenido la profesión de la ingeniería, el pregrado se empieza a ver como un nivel educativo de pre-ingeniero o “ingeniero en

entrenamiento” que requiere de la maestría y una práctica profesional para poder acceder, después a la licencia profesional, y al ejercicio posterior de la profesión de ingeniería [13].

Para alcanzar la visión descrita se propone la siguiente ruta de formación que se representa como Pregrado + Maestría + Experiencia laboral:

- Un pregrado en ingeniería civil
- Una maestría o un número de créditos académicos en programas de maestría o cursos impartidos por agencias, organizaciones con igual nivel de calidad y rigor.
- Una práctica profesional que provea una flexibilidad suficiente para conocer un cierto número de roles en que se puedan desempeñar los ingenieros en el mercado de trabajo [8].

Para el ejercicio de la profesión se propone entonces, aumentar los niveles educativos que comprende la formación de ingeniería (pregrado y maestría) y articular la formación con la experiencia profesional. En cuanto a la maestría [21], esta propuesta está en coherencia con las particularidades mismas que tiene la ingeniería civil, pues es una profesión que cuenta con varias especialidades a nivel de postgrado. Basta con observar la oferta de programas de maestría de algunas universidades que son reconocidas en el ámbito internacional por contar con una oferta de alta calidad [22-25]. Dicha oferta comprende especialidades bien definidas en ingeniería ambiental, ingeniería geotécnica, ingeniería de transportes, ingeniería de recursos hídricos, ingeniería de estructuras, y geomática, entre otras.

Esta variedad de especialidades a nivel de maestría tiene una implicación sobre los alcances educativos a los cuales debe propender la formación de pregrado. Al respecto, varios estudios coinciden en concluir que la formación de pregrado debe ser revisada en su alcance y propósitos [9]. El pregrado debe ser pensado para proveer una rigurosa y profunda fundamentación en ciencias naturales y matemáticas, humanidades, ciencias sociales y ciencias básicas de ingeniería [13]. Smith [14] argumenta que los programas de pregrado no sólo deben estar orientados a una formación más fundamentada en ciencias y las ciencias de ingeniería, sino que es imposible que ellos cubran todos los avances que se registran en la ciencia y tecnología. En consecuencia, el pregrado debe dar a los estudiantes una formación muy sólida para acceder a un nivel más complejo de educación y para un ejercicio profesional en un mercado laboral cambiante [15].

En este escenario, se propone que los programas de pregrado en ingeniería deben cubrir al menos el siguiente cuerpo de áreas del conocimiento: 1) los fundamentos en matemáticas y ciencias naturales 2) ciencias de la ingeniería 3) espectro amplio de la técnica 4) espectro amplio en ciencias sociales y humanidades y 5) espectro amplio de la práctica profesional [10].

Como se ha venido argumentando, para el desarrollo de este cuerpo de conocimiento se requiere educación más allá de la que puede proveer el pregrado. Desde un punto de vista ético y de responsabilidad, no es conveniente tratar de sobrecargar la formación de pregrado cuando ya está demostrado que el pregrado requiere una mayor articulación con la maestría. En

general, se requiere establecer nuevas formas de tránsito entre el pregrado y la maestría y apropiados lineamientos para realizar la práctica profesional. “El cuerpo de conocimiento necesario para practicar efectivamente la ingeniería civil a nivel profesional está más allá del alcance del tradicional pregrado. La formación debe combinar la excelencia técnica con la habilidad para liderar, influenciar e integrar: preparar al ingeniero para sopesar las diversas cuestiones sociales que configuran las aproximaciones óptimas para la planeación, el diseño y la construcción” [10].

5. Discusión

Es innegable que la profesión de ingeniería civil está siendo cuestionada por los cambios que están aconteciendo en la sociedad. Estos cambios no solamente están relacionados con cuestiones técnicas sino con demandas éticas y consideraciones sociales que los ingenieros civiles deben observar en su actuar profesional. La educación en ingeniería señala que el estudio de estos cambios es fundamental para alinear la formación con las demandas que se hacen en la actualidad a la profesión de ingeniería civil. La principal implicación de esta aseveración es que se debe revisar y transformar la educación que están recibiendo los estudiantes logrando no sólo que los estudiantes reciban una formación más fundamentada sino articulada con la maestría.

Durante los últimos años, se ha venido proponiendo un nuevo enfoque para formar a los estudiantes y sobre todo para garantizar que los futuros graduados estén preparados para acceder a la licencia profesional. Este enfoque se basa en el principio de revisar la naturaleza misma del pregrado. El pregrado debe estar orientado a cubrir las áreas fundamentales que permitan a los estudiantes apropiarse del lenguaje y técnicas de la ingeniería civil. La profundización en los campos propios de la ingeniería civil es una cuestión que se aborda en los programas de maestría. Estos programas por naturaleza están pensados para que los estudiantes profundicen en un campo específico de una profesión. Pero no es suficiente que los estudiantes cursen programas de pregrado y maestría. La práctica profesional es una actividad básica para que los estudiantes tengan una experiencia en el mercado de trabajo. Los valores del trabajo se aprenden indiscutiblemente en la práctica profesional y poder contar con una experiencia laboral previa a la obtención de la licencia profesional resulta fundamental para contar con profesionales idóneos para la profesión de la ingeniería civil. Para el caso colombiano en el cual el título de pregrado es el único requisito para acceder a la licencia profesional este nuevo enfoque resulta de la máxima pertinencia, pues el país requiere adoptar mecanismos que estén acordes con las prácticas utilizadas a nivel global con la ingeniería y que contribuyan a profesionalizar la ingeniería.

Varios retos deben ser asumidos a futuro para lograr consolidar este nuevo enfoque en la ingeniería civil. Estos retos están asociados a la necesidad de producir investigación en educación para ingeniería sobre estos nuevos cambios en la formación, la urgencia de que el sistema de aseguramiento de la calidad reconozca y promueva estos cambios en los programas de pregrado en ingeniería y finalmente que se piense con más seriedad el otorgamiento de las licencias profesionales.

6. Conclusiones

A pesar de la cantidad considerable de estudios que se han adelantado sobre los cambios en la ingeniería en la última década, se concluye que hay una escasez de investigación sobre estrategias para alcanzar cambios exitosos, así como de evidencia para evaluar el impacto de los cambios curriculares hechos en los programas en ingeniería. Es apenas natural que los cambios que se propongan introducir en la formación de los estudiantes demanden investigación que permita saber cuál es el camino más adecuado para lograr resultados en beneficio de los estudiantes.

Es importante anotar que estos nuevos enfoques en la formación de los ingenieros civiles requieren no sólo el conocimiento derivado de la investigación en educación en ingeniería y sistemas de evaluación, sino del reconocimiento para el otorgamiento y renovación del registro calificado [26,27] y la acreditación de alta calidad de los programas de ingeniería civil [28]. Las innovaciones curriculares que propendan por transformar la manera en que se ha venido ejerciendo la profesión de ingeniería civil deben ser reconocidas y en especial promovidas. No es recomendable para la ingeniería civil en particular, y para la ingeniería en general, continuar perpetuando modelos de formación que no son pertinentes para las demandas que se fijan a la profesión de ingeniería.

En el caso de las licencias profesionales, no basta con que los estudiantes se gradúen de un programa de pregrado para acceder a ellas. Obtener un título de maestría y una práctica profesional rigurosa y exigente deben ser reglamentados como requisitos también para la obtención de la licencia profesional. Si algo muestra la experiencia internacional es que los cambios que se proponen para la formación en ingeniería no sólo apuntan a que sea más fundamentada y articulada a la maestría sino que los aspirantes a una licencia tengan una experiencia profesional previa con miras a que realmente estén calificados para obtener dicha licencia. Se asume que la licencia profesional no debe ser asumida únicamente como una cuestión de conocimientos teóricos, sino como la certificación de unas competencias profesionales y experiencia necesarias para poder desarrollar con solvencia proyectos de impacto y responsabilidad social.

Referencias

- [1] Froyd, J.E. and Lohmann, J.R., Chronological and ontological development of engineering education as a field of scientific inquiry, in Johri, A. and Olds, B.M., Eds., Cambridge Handbook of Engineering Education Research, Ed. Cambridge University Press, UK, 2014, pp. 3-26.
- [2] Weber, M., The theory of social and economic organization. The Free Press. A division of Simon & Schuster Inc., USA, 1964.
- [3] Form, W., Ocupaciones, profesiones y carreras, in Sills, D.L., Johnson, A. and Wallis, W.A., Eds. Enciclopedia Internacional de las Ciencias Sociales. 7, Editorial Aguilar, España, 1979, pp. 408-416.
- [4] Parsons, T., The professions and social structure, in Parsons, T., Ed., Essays in Sociological Theory, Ed The United States of America: The Free Press. A Division of Macmillan Publishing Co., Inc. 1954, pp. 37-48.

- [5] Sheppard, S.D., Macatangya, K., Colby, A. and Sullivan, W.M., *Educating engineers: Designing for the future of the field*. The Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching, USA, 2008.
- [6] ASCE, *The vision for civil engineering in 2025*. The American Society of Civil Engineers, USA, 2006.
- [7] Colmenares, J., Hernández, G. and Celis, J. A propósito de las licencias profesionales en ingeniería, *Anales de Ingeniería*, 126, pp. 12-15, 2013.
- [8] ASCE, *Civil Engineering Body of Knowledge for the 21st Century. Preparing the Civil Engineer for the Future*. The American Society of Civil Engineers, USA, 2008.
- [9] RAE, *Achieving excellence in engineering education: The ingredients of successful change*, The Royal Academy of Engineering & Massachusetts Institute of Technology, UK, 2012.
- [10] ASCE, *2014-2015 Policies and Priorities*. The American Society of Civil Engineers, USA, 2014.
- [11] Behrentz, E., ¿Sirve la licencia profesional en Ingeniería?, in *El Tiempo*, ed. El Tiempo, Bogotá, Colombia, 2015.
- [12] Duderstadt, J.J., *Engineering for a changing world: A roadmap to the future of engineering practice, research, and education*. The University of Michigan, USA, 2008.
- [13] NAP, *Educating the engineer of 2020: Adapting engineering education to the new century*. The National Academies Press, USA, 2005.
- [14] Smith, R., *La formación científica del ingeniero para el año 2020*, en *El Ingeniero Colombiano del año 2020: Retos para su formación*, ACOFI, Ed., ACOFI, Bogotá: 2007, pp. 174-196.
- [15] Lambropoulos, S., Pantouvakis, J.-P. and Marinelli, M., *Reforming civil engineering studies in recession times*, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, pp. 776-785, 2014. DOI:10.1016/j.sbspro.2014.03.087
- [16] UN, *World Urbanization Prospects. The 2014 Revision*. United Nations, USA, 2015.
- [17] Angelides, D.C. and Loukogeorgaki, E., *A strategic approach for supporting the future of civil engineering education in Europe*, *European Journal of Engineering Education*, 30, pp. 37-50, 2005 DOI: 10.1080/03043790512331313822
- [18] Franzoni, C. and Sauermann, H., *Crowd science: The organization of scientific research in open collaborative projects*, *Research Policy*, 43, pp. 1-20, 2014. DOI:10.1016/j.respol.2013.07.005
- [19] Burland, J., Terzaghi: *Back to the future*, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66, pp. 29-33, 2007. DOI:10.1007/s10064-006-0083-9
- [20] Conlon, E., *The new engineer: Between employability and social responsibility*, *European Journal of Engineering Education*, 33, pp. 151-159, 2008. DOI:10.1080/03043790801996371
- [21] UNESCO, *International standard classification of education*. ISCED 2011. Canada: UNESCO Institute for Statistics, 2012.
- [22] ICL, *MSc Student Handbook*. Imperial College London, UK, 2014.
- [23] Purdue University, *Civil Engineering Graduate Student Handbook*. Purdue University, USA, 2014.
- [24] UI, *Civil and Environmental Engineering Graduate Handbook 2015-2016*. The University of Illinois, USA, 2015.
- [25] UN-Lincoln, *Civil Engineering Graduate Handbook*. University of Nebraska, Lincoln, USA, 2014.
- [26] CRC, *Ley 1188 de 2008. Por la cual se regula el registro calificado de programas de educación superior y se dictan otras disposiciones*. Bogotá: Congreso de la República de Colombia, 2008.
- [27] MEN, *Decreto 1295 de 2010. Por el cual se reglamenta el registro calificado de que trata la Ley 1188 de 2008 y la oferta y desarrollo de programas académicos de educación superior*. Bogotá: Ministerio de Educación Nacional, 2010.
- [28] CNA, *Lineamientos para la acreditación de programas de pregrado*. Bogotá: Consejo Nacional de Acreditación, 2013.

Su intereses de investigación están concentrados en el estudio experimental del comportamiento mecánico de los suelos, mecánica de suelos no-saturados y en la enseñanza de la Ingeniería.

ORCID: 0000-0002-1485-0327

J. Celis, recibió el título de Sociólogo en (2001), el título de MSc. en Sociología en (2001) de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia y el título de MSc en Estudios Comparados e Internacionales en Educación en (2015) de la Universidad de Estocolmo, Estocolmo, Suecia. Ha trabajado como consultor para COLCIENCIAS, Ministerio de Educación Nacional, Banco Mundial, entre otros. Ha sido investigador en las Universidades Nacional de Colombia y Andes. Sus intereses investigativos incluyen: formación doctoral; inserción de doctores al sector productivo; transferencia tecnológica; educación media.

ORCID: 0000-0003-0410-5953

J.E. Colmenares, es Ingeniero Civil en (1989) y MSc en (1996) (en Geotecnia, ambos de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá; MSc y DIC en (1997) en Mecánica de Suelos y Geotecnia Ambiental y Dr of Philosophy en (2002) del Imperial College de la Universidad de Londres, Reino Unido. Es Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, en donde desarrolla actividades académicas desde (1992).

Implementación de módulos didácticos para sistemas electrónicos de potencia

Alejandro Guerrero-Hernández^a, José Antonio Araque-Gallardo^b & Martin Gallo-Nieves^c

Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad de Sucre, Sincelejo; Colombia. Alejandro.guerrero@unisucra.edu.co

Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad de Sucre, Sincelejo; Colombia. Jose.araque@unisucra.edu.co

Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad de Pamplona, Pamplona; Colombia. Martingallo6@gmail.com

Resumen— Este trabajo presenta la implementación de módulos didácticos como apoyo a la docencia en el área de dispositivos semiconductores de potencia para el aprendizaje práctico de esta disciplina. El sistema está compuesto por cinco módulos que permiten el desarrollo de diferentes aplicaciones en el área de electrónica de potencia incluyendo el control de potencia eléctrica en AC y DC. Cada uno de los prototipos fue desarrollado con el propósito de permitir al estudiante la validación y verificación de los circuitos típicos empleados en esta disciplina de una forma intuitiva y fácil.

Palabras Clave— Electrónica; semiconductor; módulo didáctico; microcontrolador.

Recibido: 14 de octubre de 2015. Revisado: 10 de febrero de 2016. Aceptado: 15 de febrero de 2016.

Development of didactic modules for power electronic systems

Abstract

In this paper the implementation of training modules are presented as teaching support in the area of power semiconductor devices, for practical learning of this discipline. The system is composed by five modules that allow the development of different applications in power electronics including de AC and DC power electric control. Each of prototypes was developed with the aim that the student can validate and test the typical circuits employed in this topic easy and intuitive form.

Keywords— Power electronics, semiconductor, didactic modules, microcontroller

1. Introducción

Actualmente la electrónica de potencia ocupa un lugar importante en la tecnología moderna y se utiliza en una gran variedad de equipos entre los que se encuentran los controles de calefacción, controles de iluminación, controles de motor, fuentes de alimentación, sistemas de propulsión de vehículos eléctricos y sistemas de corriente directa de alto voltaje[1]. La relevancia de esta disciplina en la vida moderna ha provocado que hoy en día la electrónica de potencia forme parte integral de la mayoría de currículos de instituciones de educación superior (IES) que ofrecen programas académicos en el campo de la ingeniería eléctrica, la ingeniería electrónica y áreas afines. Esto ha generado un mercado importante que pretende satisfacer las necesidades académicas de las IES ofreciendo sistemas entrenadores y kits didácticos para el apoyo a la

docencia en el área de la electrónica de potencia con empresas como *Lúcas Nulle, Sidilab, Phywe, Festo, Graymark, LabVolt y K&H y Edibon*. En Colombia no se fabrican materiales didácticos de apoyo a la docencia de este tipo por lo que las IES deben adquirirlo y/o importarlo desde el exterior. Se han reportado en la literatura varias herramientas tecnológicas como apoyo a la docencia en el área de la electrónica de potencia: En 2009 Armando Cordeiro y otros desarrollan una serie de módulos didácticos enfocados al control de máquinas de DC [2]. También en 2009 Flabio Batista y otros plantean un laboratorio de control digital para aplicaciones de electrónica de potencia [3]. En 2014 Yazan Alsmadi y otros presentan la implementación de un laboratorio de electrónica de potencia y control de motores para la Universidad de Ohio [4]. En Colombia se destacan varios desarrollos enfocados en el desarrollo de soluciones didácticas como apoyo al proceso pedagógico en electrónica de potencia, como se puede apreciar en [5-8].

El campo de la Electrónica de Potencia puede dividirse en tres grandes disciplinas o bloques temáticos como muestra la Fig. 1: Electrónica de regulación y control, convertidores de potencia y componentes electrónica de potencia [9].

Los componentes electrónicos de potencia se han extendido durante las últimas décadas a una amplia gama de aplicaciones como consecuencia del continuo y rápido desarrollo de la tecnología de semiconductores de potencia, que ha conseguido dispositivos muy potentes, efectivos y fáciles de usar [10].

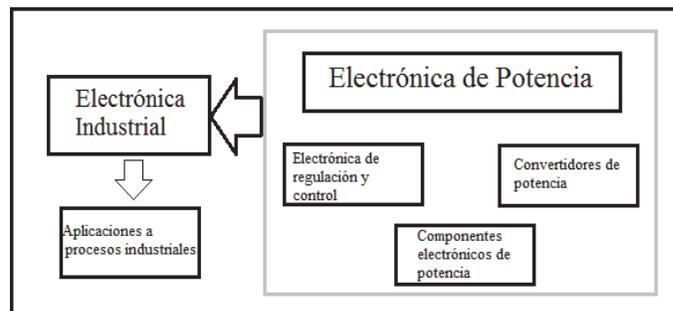


Figura 1. Bloque temático de la electrónica de potencia.

Fuente: [9]

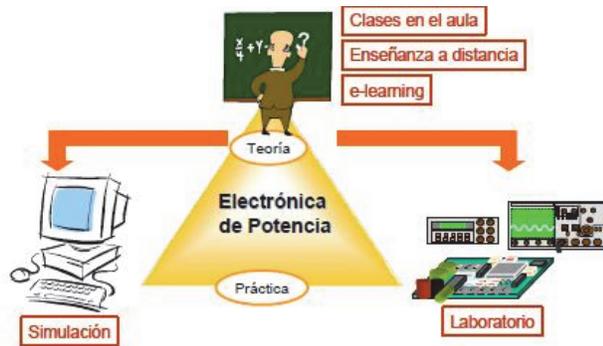


Figura 2. Programa educativo electrónica de potencia. Fuente: [8]

La aplicación de nuevas estrategias pedagógicas en la enseñanza de la ingeniería han resultado de la discusión permanente acerca de los roles del educador y el estudiante en el proceso de formación y la necesidad de involucrar al estudiante como partícipe activo. Para ello, cada estrategia debe ser cuidadosamente seleccionada para una temática específica, un ambiente de aprendizaje específico o incluso, un grupo de estudiantes específico. De esta manera, el concepto de buena enseñanza planteado en [11], se ve representado en la intencionalidad pedagógica gracias a la cual el estudiante se motiva y participa activamente, logrando que una actividad de enseñanza se convierta efectivamente en una actividad de aprendizaje.

Con base en lo anterior, puede afirmarse que la innovación de estrategias metodológicas aplicadas en la enseñanza de la electrónica de potencia, implica necesariamente la participación activa de los estudiantes [12].

El programa de enseñanza de la electrónica de potencia se articula un componente teórico y un componente práctico. Las clases en el aula han evolucionado y la enseñanza *e-learning* ha tomado importancia en el modelo educativo actual como muestra la Fig. 2.

Un módulo educativo, es un recurso instruccional que sirve de guía para aprender. El mismo provee y contiene herramientas que ayudan al estudiante a entender y aprender paso a paso cualquier tipo de material expedido por cualquier curso educativo; de manera que el adquirir conocimientos y destrezas se haga de manera efectiva aun sin tener contacto presencial continuo con un instructor. La construcción de dispositivos de hardware para la enseñanza, no debe limitarse a la utilización de tecnología para resolver problemas específicos, sino que debe apoyar todo el proceso que el estudiante comprenda el uso de dicha tecnología [13]. El desarrollo alcanzado en software y hardware en la actualidad, ha revolucionado también la didáctica, y en este contexto ha tenido lugar la renovación y la introducción de nuevos conceptos orientados a hacer más dinámicos, más flexibles y más creativos los encuentros pedagógicos en las universidades [13].

Actualmente, la formación en electrónica de potencia se fundamenta en actividades de análisis diseño, simulación e implementación. Gran parte del tiempo dedicado a estas tareas en el aula de clase se invierte en la implementación física de circuitos que no varían mucho de un periodo académico a otro, poniendo en evidencia la necesidad de contar con elementos didácticos que liberen al estudiante de desarrollar estos circuitos y le permitan

dedicar más tiempo a las tareas de análisis. Frente a la alternativa comercial de sistemas didácticos de apoyo a la docencia se propone el diseño y desarrollo de un prototipo que pueda servir como plataforma de experimentación en el aula de clase

2. Metodología

El desarrollo de los módulos didácticos se llevó a cabo en dos partes:

- El hardware y los componentes físicos.
- Las guías metodológicas de laboratorio.

Se inició con una especificación de las temáticas del curso de electrónica de potencia que requerían el apoyo pedagógico por medio de prácticas de laboratorio. A partir de estos temas se procedió a la selección e implementación de los circuitos de electrónica de baja señal y electrónica de potencia, así como de la interfaz de cara al usuario que permitiera un fácil acceso a puntos de alimentación y medición de variables del circuito. A continuación se describen los componentes principales de los módulos didácticos:

2.1. Desarrollo del hardware

El desarrollo del hardware se llevó a cabo mediante una estructura modular, es decir, cada módulo de práctica cuenta con los componentes necesarios para funcionar independientemente [14]. Adicionalmente, en el diseño se tuvo en cuenta la parametrización que las prácticas deben tener, ya que es sumamente importante que el usuario pueda modificar variables de cada una de éstas.

El sistema de prácticas de laboratorio de electrónica de potencia se basa en cuatro módulos de bajo costo, lo que genera una solución efectiva para las instituciones educativas con recursos limitados que desean tener acceso a laboratorios de tipo presencial, como muestra la Fig. 3.

2.1.1. Modulo control velocidad motor DC

Este módulo está basado en la práctica de modulación de pulsos PWM, esta técnica de modulación modifica el ciclo del trabajo de una señal periódica para variar el voltaje aplicado a una carga, así se podrá variar la velocidad de un motor o la potencia aplicada a una lámpara.

El PWM se utiliza para regular la velocidad de los giros de los motores eléctricos. Mantiene el par motor constante y no supone un desaprovechamiento de la energía eléctrica. Se utiliza al controlar mediante un circuito de potencia el momento alto (encendido o alimentado) y el momento bajo (apagado o desconectado) del motor.

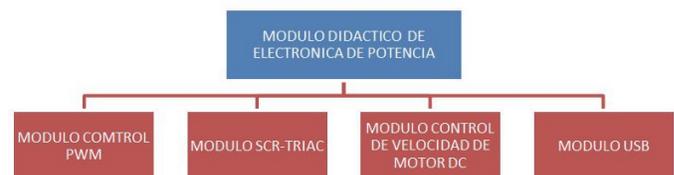


Figura 3. Módulo didáctico electrónica de potencia. Fuente: Los autores

En la Fig. 4 se aprecia una fotografía del módulo PWM. El primer circuito con el MOSFET de potencia BUZ11 permite controlar motores medianos y grandes, hasta 10 A de corriente.

El segundo circuito con el transistor 2N2222A se usa para motores pequeños, Con una corriente nominal máxima de hasta 800 mA. Mediante este módulo el estudiante podrá comprobar la técnica de modulación PWM por medios cualitativos (observación de las cargas) y cuantitativos (medición con instrumentos) sin perder de vista el diseño de los circuitos electrónicos los cuales están plasmados en serigrafía sobre el módulo.

2.1.2. Módulo SCR-TRIAC

En la Fig. 5 se aprecia el módulo didáctico para SCR y TRIAC usados en circuitos de CA, para controlar la potencia entregada a las cargas eléctricas. La fuente de voltaje es de 13V AC, la potencia suministrada a la carga se controla variando el ángulo de conducción [15].

Este módulo consta de los siguientes esquemas:

- 1) Control de fase de media onda con resistencia variable.
- 2) Control ángulo de disparo con red RC.
- 3) Control de ángulo de fase mediante red RC TRIAC.

Con el uso de este módulo el estudiante experimentará el control de cargas de corriente alterna mediante TRIAC y SCR pudiendo observar mediante osciloscopio el comportamiento temporal de estos circuitos.

2.1.3. Módulo detector de cruce por cero

El módulo se diseñó para determinar el momento en que la señal de alterna pasa por cero (eje x), para manejar la potencia aplicada a una carga como un bombillo (dimmer) o un reductor de velocidad para un motor universal por medio encendido y apagado de un TRIAC.

Para esto se utilizó un circuito con un NE 555 como monoestable generando un pulso de duración determinado por un potenciómetro.

El esquema consta de las siguientes etapas como muestra la Fig. 6.



Figura 5. Módulo SCR-TRIAC.
Fuente: Los autores.

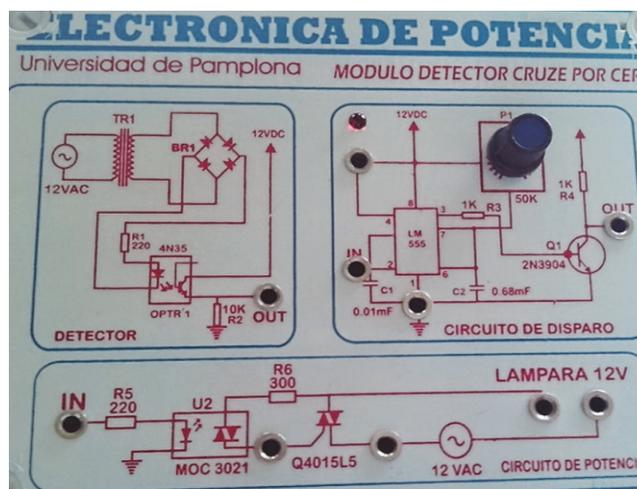


Figura 6. Módulo detector de cruce por cero
Fuente: Los autores

- 1) Etapa de aislamiento y detección por cruce por cero.
- 2) Circuito de disparo.
- 3) Circuito de potencia.

2.1.4. Modulo USB

Este módulo se basa en la conexión USB con un computador para manejar cargas de potencia por medio de una aplicación en cualquier software en que se diseñe una interfaz gráfica y que tenga comunicación con diferentes dispositivos como el puerto USB permitiendo una comunicación del ordenador y una tarjeta basada en el microcontrolador PIC 18F4550 a través de este por medio de un código de programación ejecutará y codificará las órdenes recibidas para manejar cargas de potencia como los motores, lámparas, que podrá más adelante ser modificado para hacer control de lazo cerrado. Este módulo está conformado por las siguientes etapas, como se muestra en la Fig. 7.

En la Fig. 8 se aprecia un diagrama en bloques del módulo microcontrolador-USB.

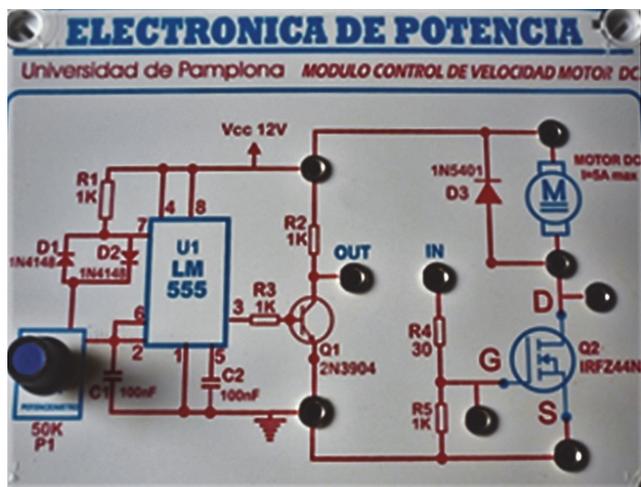


Figura 4. Módulo Control Velocidad Motor DC.
Fuente: Los autores.

3. Resultado de la aplicación del prototipo

Esta estructura modular es aplicada actualmente en el curso de electrónica de potencia, para lo cual se han dispuesto de las siguientes prácticas de laboratorio:

- 1) Conocimientos básicos dispositivos electrónicos de potencia.
- 2) Curvas características de los tiristores.
- 3) Detector de cruce por cero.
- 4) Aplicaciones prácticas de los opto acopladores.
- 5) Circuito de control de potencias con SCR.
- 6) Circuito de control de potencias con TRIAC.
- 7) Circuitos de conversión de CC a CC.
- 8) Aplicaciones del microcontrolador como dispositivos de control de potencia.

La construcción de los módulos se acoplan completamente al laboratorio, tanto en su parte manipulable y su parte funcional, con los equipos existentes sin ningún requerimiento adicional.

En la Fig. 9 se observa el módulo finalizado en una estructura modular.

Esta estructura modular se utiliza para dar soporte a los módulos de potencia, aquí se encuentra cada una de las cargas:



Figura 9. Estructura modular.
Fuente: Los autores.

- 1) Motores universales.
- 2) Lámparas de 12v y 120v.
- 3) Resistencias térmicas.
- 4) 1 motobomba de 120v.
- 5) 1 extractor de aire de 120v.
- 6) Transformador de 120v / 12-0-12.

4. Conclusiones

La percepción del cuerpo docente en cuanto a la experiencia en el laboratorio sugiere que los estudiantes mostraron gran interés en el uso de los módulos didácticos de electrónica de potencia.

El uso de los módulos didácticos permite que el estudiante dedique más tiempo al estudio y análisis de las topologías usadas en el proceso de experimentación.

El módulo microcontrolador permite que el estudiante pueda aplicar competencias en el área de la programación y los sistemas SCADA.

El principal aporte de este trabajo ha sido presentar una alternativa de bajo costo desarrollada en nuestro país que permite aprovechar los recursos limitados del laboratorio y facilita la labor docente.

5. Trabajo futuro

Se propone a mediano plazo el diseño de módulo en el área de control industrial e instrumentación electrónica.

Es necesario medir cuantitativamente el grado de satisfacción del estudiante acerca del uso de los módulos didácticos desarrollados.

A corto plazo el sistema de módulos didácticos debe articularse con herramientas *e-learning*. Utilizando material online presente en la web como son: video tutoriales, presentación, archivos electrónicos, Nota de las experiencias de los estudiantes en el laboratorio, entre en otros.



Figura 7. Representación por etapas del módulo USB
Fuente: Los autores

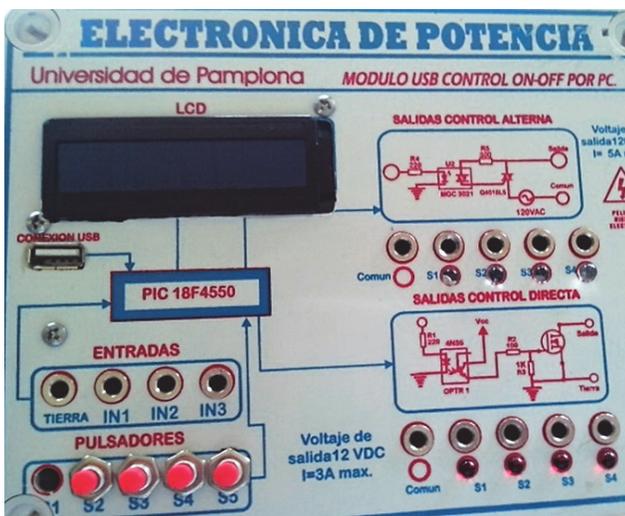


Figura 8. Módulo USB.
Fuente: Los autores

Referencias

- [1] Rashid, M., *Electrónica de potencia: Circuitos, dispositivos y aplicaciones*, segunda Ed., Prentice Hall, México, 1995, pp. 1-2.
- [2] Cordeiro, A, Foito, D, Guerreiro, M., Power electronics didactic modules for direct current machine control, International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. 2009, pp. 624-628. DOI: 10.1109/POWERENG.2009.4915257.
- [3] Batista, F. et al., Didactic system for digital control of power electronics applications, Brazilian Power Electronics Conference, Bonito (MS) – Brazil, 2009, pp. 1093-1098. DOI: 10.1109/COBEP.2009.5347672.
- [4] Alsmadi, Y. et al., New trends and technologies in power electronics and motor drives education, 121 ASEE Annual Conference & Exposition, Indianapolis, in, 2014.
- [5] López, O., Metodología para la investigación en electrónica de potencia basada en una nueva herramienta didáctica, *Revista Educación en Ingeniería*, 6(12), pp. 80-89, 2011.
- [6] López, O., Cambiando el rol de las actividades experimentales en la enseñanza de electrónica de potencia, *Revista Educación en Ingeniería*, 8(15), pp. 13-23, 2013.
- [7] Cardona, S. y Ospina, S., Diseño de entrenador de electrónica industrial para la formación de los estudiantes, World Engineering Education Forum WEEF, Cartagena-Colombia, Septiembre, 2013.
- [8] Zumel P., Fernández C., et al. Herramienta interactiva para la enseñanza de la electrónica de potencia. [En línea]. 2006, Disponible en: <http://www.upc.edu/euetib/xiicuiet/comunicaciones/din/comunicacion/s/284.pdf>.
- [9] Aguilar J., *Electrónica de potencia*, [En línea]. (1ra ed). Disponible en: https://issuu.com/jaguilarpena/docs/electronica_potencial_1. 2005.
- [10] Calapaquí, O, Wilfrido, R., Diseño y construcción de un módulo didáctico de un convertidor AC/DC – DC/DC con control PWM, para puente completo utilizando IGBT's destinado al laboratorio de control eléctrico de la ESPE Extensión Latacunga. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7020>. 2013.
- [11] Biggs, J., *Calidad en el aprendizaje universitario*. Narcea S.A. de Ediciones, España, 2006, pp. 100-127.
- [12] Abramovitz, A., Teaching behavioral modeling and simulation techniques for power electronics courses. *IEEE Transactions on Education*, 54(4), pp. 523-529, 2011. DOI: 10.1109/TE.2010.2076380.
- [13] Herrera, F, Merchan, S. and Villamizar, F., Kit de desarrollo robótico: Una herramienta de aprendizaje en ingeniería *Revista Educación en Ingeniería*, 5(9), pp 49-63, 2010.
- [14] Sánchez, J. y Guerrero, F., Sistema didáctico remoto para el aprendizaje de comunicaciones digitales, *Revista Educación en Ingeniería*, 8(16), pp. 148-160, 2013.
- [15] Timothy, J., Malony. “SCR”, Ed. Prentice Hall, 2006, pp 160-185.

A. Guerrero-Hernández, recibe el título Ingeniero Electrónico en 2004, el título Especialista en Gestión de Proyectos Informáticos en 2007, MSc. en Controles Industriales en 2012, todos ellos en la Universidad de Pamplona, Colombia. Actualmente es docente tiempo completo del programa de Tecnología en Electrónica Industrial en la Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.
ORCID: 0000-0001-5179-6473.

J. Araque-Gallardo, recibe el título Ingeniero Electrónico en 2005, Especialista en Gestión de Proyectos Informáticos en 2007, MSc en Controles Industriales en 2013, todos ellos en la Universidad de Pamplona, Colombia. Actualmente es docente tiempo completo del programa de Tecnología en Electrónica Industrial en la Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.
ORCID: 0000-0002-4156-7105

M. Gallo-Nieves, recibe el título Ingeniero Electrónico en 2007, Especialista en Gestión de Proyectos Informáticos en 2015, todos ellos en la Universidad de Pamplona, Colombia. Es docente del programa de ingeniería electrónica e ingeniería eléctrica de la Universidad de Pamplona, Villa de Rosario, Colombia.
ORCID: 0000-0001-6809-7089

Framework para el proceso de seguimiento a graduados del programa ingeniería industrial de la Universidad Industrial de Santander

Henry Lamos-Díaz ^a, Karin Julieth Aguilar-Imitola ^b & Yuly Andrea Ramírez-Sierra ^c

^a Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. hmos@uis.edu.co

^b Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. karin.aguilar@correo.uis.edu.co

^c Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. yaramsie@uis.edu.co

Resumen— El propósito de este trabajo es construir un framework como una herramienta dinámica de apoyo a las instituciones de educación superior para realizar el seguimiento de sus graduados en lo relacionado con la calidad y pertinencia de sus programas. El framework está conformado por seis componentes: identificación del problema, antecedentes nacionales e internacionales, elaboración del instrumento de medición, recopilación de la información; después, se realiza el proceso de descubrimiento de conocimiento, aplicando técnicas de análisis multivariante y de minería de datos, con el fin de descubrir patrones y relaciones entre los datos, e identificar los perfiles de los graduados que permiten finalmente desarrollar estrategias enfocadas al mejoramiento de la calidad y la pertinencia educativa, y al fortalecimiento de las competencias de los graduados. Este trabajo presenta los resultados para el Programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Industrial de Santander, en el periodo comprendido entre 2007 y 2013.

Palabras Clave— análisis multivariante, calidad y pertinencia educativa, competencias, minería de datos, seguimiento a graduados.

Recibido: 6 de septiembre de 2015. Revisado: 1 de noviembre de 2015.

Aceptado: 25 de noviembre de 2015.

Framework for follow-up industrial engineering graduates of Industrial University of Santander

Abstract— The purpose of this paper is to build a framework, as a dynamic tool to support higher education institutions to follow up their graduates in relation to the quality and relevance of their programs. The framework consists of six components: problem identification, national and international background, development of measuring instrument, collecting information; later, knowledge discovery process is performed by applying multivariate analysis techniques and data mining in order to discover patterns and relationships between data, and identify profiles of graduates eventually allow developing strategies focused at improving educational quality and relevance, and to strengthen the skills of graduates. In this paper are the results for the Universidad Industrial de Santander's Industrial Engineering Industrial program, in the period between 2007 and 2013.

Keywords— multivariate analysis, education quality and pertinence, competences, data mining, graduates follow-up

1. Introducción

Debido a la transición del mundo hacia la sociedad del conocimiento y los nuevos retos que ésta impone, así como el acelerado avance de las nuevas y mejoradas tecnologías de la información [1], se requiere una educación superior comprometida con las necesidades de la comunidad, del

mundo laboral, de la familia y de manera especial con las necesidades, intereses y expectativas de los futuros profesionales [2]. Así, las instituciones de educación superior (IES) han considerado ofrecer programas académicos congruentes con las condiciones de la demanda laboral y social, incrementar sus relaciones con el gobierno y los sectores productivos [2], incentivar en los estudiantes el emprendimiento [1], y realizar convenios institucionales [3], con el fin de consolidar una institución de calidad y con pertinencia educativa [4].

En relación con la educación en ingeniería, la Universidad no sólo debe estructurar la ingeniería en función de unos saberes científicos y tecnológicos, sino enfocarla en la solución de problemas de la sociedad [5]. La ingeniería es parte esencial del proceso de innovación y busca la integración de conocimientos apropiados para el desarrollo [6].

Por otro lado, en los procesos de selección las empresas actualmente les exigen a los aspirantes el talento, las habilidades, los conocimientos y las competencias que les permitan afrontar de forma flexible el mundo laboral [7]. Blas [3], afirma que hoy las competencias son un referente para los sistemas de formación profesional, una forma de darle la mejor interpretación a los desempeños laborales y profesionales, un indicador para los sistemas de promoción e incentivos y un objetivo de evaluación y acreditación del trabajo profesional. Algunas de las competencias que se requieren de los ingenieros a escala mundial son el liderazgo, la capacidad de innovar, el emprendimiento, el trabajo interdisciplinario, la relación teórico-práctica, la investigación, el trabajo en equipo, las habilidades comunicativas, el compromiso social, el uso de tecnologías y el desarrollo socioeconómico [8].

Es fundamental que las IES analicen los efectos o impactos de la educación que ofrecen a los estudiantes [2], y den garantías suficientes para la empleabilidad y la competitividad de sus profesionales [9]. Entre algunas iniciativas de mejoramiento a la educación superior se encuentra el Proyecto Tunning Educational Structures in Europe (2000-2002), también implementado en América Latina [10], que permite mediante debates entre universidades lograr un consenso

sobre los aspectos claves que contribuirán a fortalecer la educación y a generar desarrollo socioeconómico [11].

Una de las formas de evaluar el impacto de los graduados en el entorno es por medio de estudios de seguimiento, que permiten conocer información acerca del desempeño profesional, y opiniones de los graduados y empleadores sobre la calidad de la educación recibida y las demandas del mercado laboral y del medio social [12] para que, con base en su análisis, los directivos de las IES y de los programas académicos tomen decisiones alineadas con sus planes estratégicos. En este sentido, los graduados son el resultado del proceso de formación y están en capacidad de reflexionar y analizar, si este proceso formativo fue efectivo [1].

En Colombia, en el 2005, con el fin de establecer políticas de seguimiento y vinculación a los graduados de las IES, el MEN crea el Observatorio Laboral para la Educación (OLE), sistema de información que permite analizar la calidad, las brechas y la pertinencia educativa a partir de los perfiles y el nivel de empleabilidad de los graduados, recolectando información de los empleadores y estudios sectoriales, y de los graduados en cuatro momentos, usando un enfoque longitudinal [13].

El propósito del trabajo de investigación es desarrollar un framework para el proceso de seguimiento a graduados con el fin de determinar la calidad y pertinencia del Programa de Ingeniería Industrial de la UIS en el periodo comprendido entre 2007 y 2013.

El *framework* está conformado por seis componentes (Fig. 1): identificación del problema, antecedentes nacionales e internacionales, elaboración del instrumento de medición, recopilación de la información, proceso de descubrimiento de conocimiento y desarrollo de estrategias. A continuación se describe la metodología para el desarrollo de la investigación con base en los últimos cuatro componentes

2. Metodología

En el componente tres se construye el instrumento de medición con base en la información recolectada de estudios

similares de la literatura académica realizados por Arrieta & De la Rosa, [14]; Red Gradua2 [15] y el OLE [16]. El instrumento tipo encuesta consta de las siguientes secciones: datos sociodemográficos, trayectoria académica y educativa, trayectoria profesional y laboral (inserción laboral, situación actual e interés por crear empresa), satisfacción profesional y académica, y pertinencia educativa. Se lleva a cabo una prueba piloto para la validez del instrumento con un grupo de expertos, esta prueba permite hallar errores tanto sintácticos como semánticos y estimar el tiempo destinado para diligenciar la encuesta.

La investigación es de tipo transversal [17], descriptiva y de carácter exploratoria; se utiliza muestreo no probabilístico por conveniencia. La población objeto de estudio está conformada por 1229 graduados del programa de ingeniería Industrial en el periodo comprendido entre el año 2007 y septiembre de 2013 (496 de sexo masculino y 733 de sexo femenino). Tomando como base la metodología del observatorio laboral, se evalúa a los graduados en tres momentos: el momento 0, que corresponde a los ingenieros con un tiempo de graduados inferior a un año; el momento 1, a los que tienen entre uno y tres años de graduados, y el momento 3, a los que llevan más de tres años de graduados.

La información de los graduados se recolecta usando los registros de la base de datos del Programa de Ingeniería Industrial, la cual se depura eliminando algunas inconsistencias. El estudio se difunde mediante correo electrónico, redes sociales y sitios web oficiales del programa.

En el proceso de selección, limpieza y transformación de los datos se elimina el 32,5 % de los registros de los graduados entre el 2007 y septiembre de 2013, y quedan sólo aquellos registros con participación completa en el diligenciamiento de la encuesta. En total se analiza la información proporcionada por 135 graduados, de los cuales el 14,8 % corresponde a ingenieros con un tiempo de graduación menor de un año, el 45,18 % son ingenieros industriales que llevan entre uno y tres años como graduados, y el restante 40 % se graduó hace más de tres años.

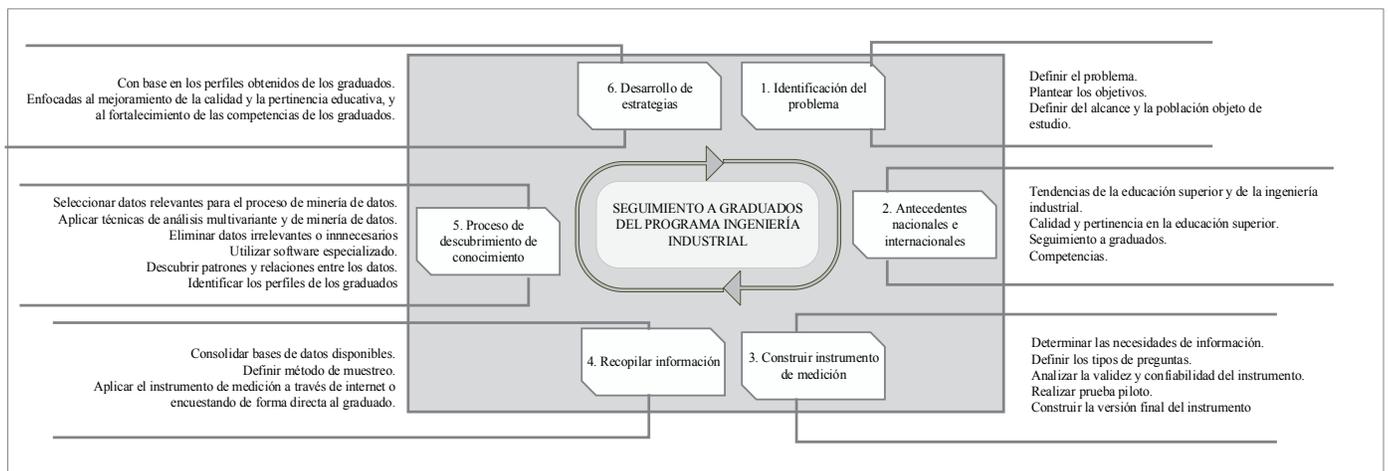


Figura 1. Framework para el proceso de seguimiento a graduados

Fuente: Los autores

En el análisis de los datos se usa un conjunto de técnicas de análisis multivariante para la clasificación no supervisada y supervisada. El análisis de clustering permite agrupar a los graduados por medio de un conjunto de variables de segmentación, describir perfiles mediante el uso de cubos OLAP, tablas de contingencia, etc. En el análisis de correspondencia se determina la dependencia entre variables discretas y la relación entre las categorías. Se lleva a cabo un análisis factorial exploratorio que ayuda a describir a los graduados con un conjunto de variables “latentes” de menor dimensión.

Algunos métodos de minería de datos se aplican entre los que se encuentran los árboles de decisión, redes bayesianas y reglas de asociación, para descubrir patrones y posibles relaciones ocultas en los datos. La técnica de árboles de decisión se basa en el método de crecimiento CRT, el cual divide los datos en segmentos para que sean lo más homogéneos respecto de la variable dependiente. Las redes bayesianas permiten encontrar nueva información a partir de redes que establecen relaciones entre las variables. Estas redes se obtienen mediante el método Tree Augmented Naïve Bayes (TAN), que admite ciertas dependencias entre los atributos, de manera que se construye una red bayesiana en forma de árbol. Finalmente, se aplican las reglas de asociación utilizando el algoritmo a priori, para encontrar algunos hechos que ocurren en común dentro del conjunto de datos estudiado.

En el sexto y último componente se definen estrategias de mejoramiento y fortalecimiento del programa con base en la interpretación de los resultados encontrados a partir de las técnicas usadas en el análisis de los datos.

3. Resultados y discusión

A continuación se presentan algunos de los hallazgos encontrados mediante el uso de técnicas multivariadas y de

minería de datos; se analiza la información de los graduados en los tres momentos expuestos.

Los ingenieros industriales del momento 0 tienen una edad promedio de 25 años; el 60 % corresponde a mujeres; la mayoría (75 %) está soltera; todos residen en Colombia, un número considerable en Santander; el 55 % domina otro idioma; el 50 % es empleado de la empresa privada; el 25 % está desempleado; el 50 % desempeña su cargo en el nivel intermedio; en el sector terciario labora el 65 %; el 76,9 % tiene contrato a término fijo; el 57,1 % lleva menos de seis meses en el trabajo actual; el 71,4 % considera que deberían estar en otro trabajo para desarrollar mejor sus competencias profesionales; el 50 % se sentía suficientemente preparado para incorporarse en el mundo laboral y el 60 % sentía que contaba con las competencias requeridas durante el ejercicio de la profesión.

Por otro lado, de la aplicación de la técnica de redes bayesianas se obtiene que, para el momento 0, de los graduados que están en desacuerdo con el emprendimiento que se promueve y en desacuerdo con el apoyo al desarrollo de la investigación en la universidad, hay una probabilidad del 11,1 % de que volviendo hacia atrás estudien de nuevo ingeniería industrial en la UIS.

Mediante las reglas de asociación, con confianza de 100 %, los graduados del momento 0 que tienen un alto grado de desarrollo la capacidad crítica y autocrítica y la de formular proyectos, tienen interés por crear empresa.

Para el caso del momento 1, se encuentra la siguiente información (Fig. 2).

Mediante un análisis de correspondencia para las variables se observa que los niveles administrativo y operativo tienen mayor presencia en el sector terciario; en el sector secundario la mayoría de cargos de los ingenieros industriales son de nivel intermedio, y en el primario algunos graduados están en el nivel directivo

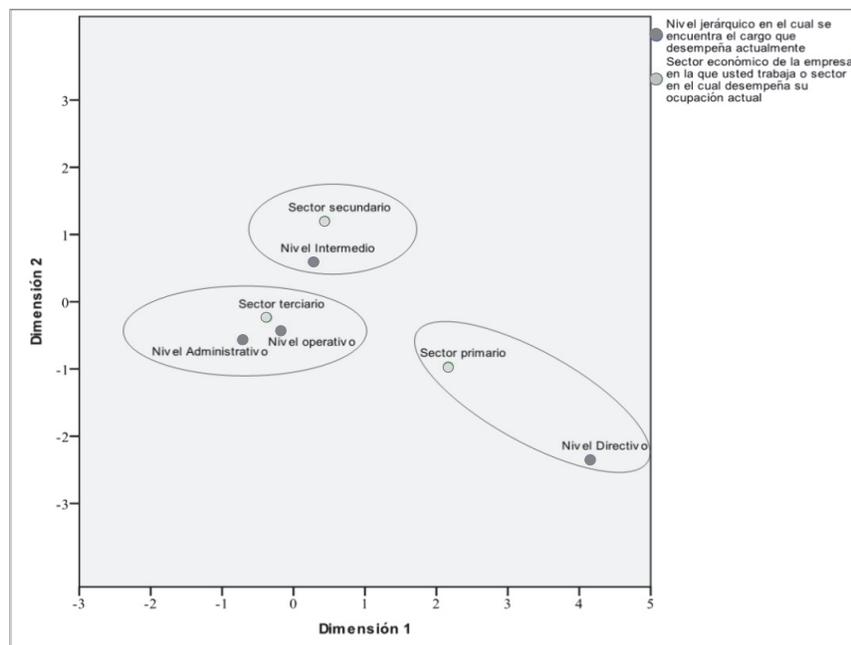


Figura 2. Puntos de columna y de fila. Normalización Simétrica
Fuente: Los autores

Con el fin de estudiar las dimensiones que integran la variable seguimiento de graduados, en lo que respecta a la calidad académica del programa y la pertinencia, por medio de un análisis de factores utilizando el método de componentes principales, aplicado a los 26 ítems que miden las percepciones sobre el nivel de desarrollo de cada competencia al obtener el título profesional (desde muy bajo hasta alto grado de desarrollo), se seleccionan seis factores que explican el 70,25 % de la variabilidad total. A continuación (Fig. 3) se muestran estos factores con las respectivas variables que los conforman y las denominaciones según las cargas (grado de asociación de la variable medida con la variable latente). Por ejemplo, el factor 1 denominado adaptación al entorno, capacidad de liderazgo y compromiso social, cultural y ambiental, explica el 19,42 % de la variabilidad total.

La escala elaborada para cada uno de los factores dio un valor del coeficiente Alpha de Cronbach: 0,91, 0,826, 0,769, 0,814 y 0,753, respectivamente para los factores 1, 2, 3, 4, y 5; esto evidencia un alto (entre 0,61 y 0,8) o muy alto (entre 0,81 y 1) nivel de confiabilidad en todos los factores. En cuanto a su adecuación para llevar a cabo un análisis factorial, el test de esfericidad de Bartlett y el índice Kaiser-Meyer-Olkin confirman la validez de los datos para el anterior análisis.

Mediante el análisis de clustering, usando como datos de entrada las puntuaciones obtenidas en el análisis factorial anterior, y utilizando la técnica de agrupamiento K medias, se seleccionan tres segmentos de graduados en el momento 1: el grupo 1 tiene 65,57 % de los casos analizados, el grupo 2 el 32,79 % de los casos y el restante 1,64% al 3. Estos grupos se describen mediante el uso de cubos OLAP, tablas de contingencia, etc., y se encuentran los siguientes datos relevantes:

El grupo 1 está conformado por personas con una edad promedio de 26 años; el 40 % mujeres; el 80 % está soltero; la mayoría (65,8 %) reside en Santander; sólo el 55 % domina otro

idioma; el 55,3 % es empleado de empresas privadas y tan sólo el 5,3 % está desempleado; el 2,6 % corresponde a empresarios/empleadores. El sector económico de trabajo que predomina es el terciario, con el 63,6 %; el 41,9 % tiene cargos en un nivel intermedio; el 42,4 % tiene contrato a término fijo; el 47,1 % ha permanecido en el empleo actual entre uno y dos años; el 34,4 % está algo o muy satisfecho con el salario; el 79,5 % manifiesta interés en crear empresa y considera que la mayor dificultad para ser emprendedor es la falta de recursos económicos propios; el 64,7 % desea estar en otro trabajo que permita desarrollar mejor las competencias, considera que la aplicación de sus conocimientos ha sido de calidad y al obtener el título se sentía algo preparado para ingresar al mundo laboral.

El perfil del grupo 2 es semejante al del grupo 1 en lo que respecta a la edad; al porcentaje de mujeres, la mayoría ha laborado en la empresa privada (65 %), el sector económico en el que hay más presencia de graduados y el nivel jerárquico de la mayoría de los cargos. Se caracteriza porque menos del 50 % domina otro idioma; el 30 % ha cursado o está cursando un programa de especialización; ninguno es empresario/empleador; en igual proporción (33,3 %), los graduados tienen contrato a término fijo o a término indefinido; Como complemento de lo anterior, de la técnica de redes bayesiana se obtiene que hay una probabilidad del 84,6 % de que los graduados del momento 1 estén satisfechos con el Programa de Ingeniería Industrial en la UIS, dado que están completamente de acuerdo con la calidad de la formación y el emprendimiento que se promueve en la UIS. Además, mediante las reglas de asociación, con confianza mínima del 91 %, se descubre que quienes desean desempeñarse en otro trabajo y consideran que tienen un grado muy alto de desarrollo de la capacidad de comportarse de acuerdo con principios y valores, se interesan en crear empresa.

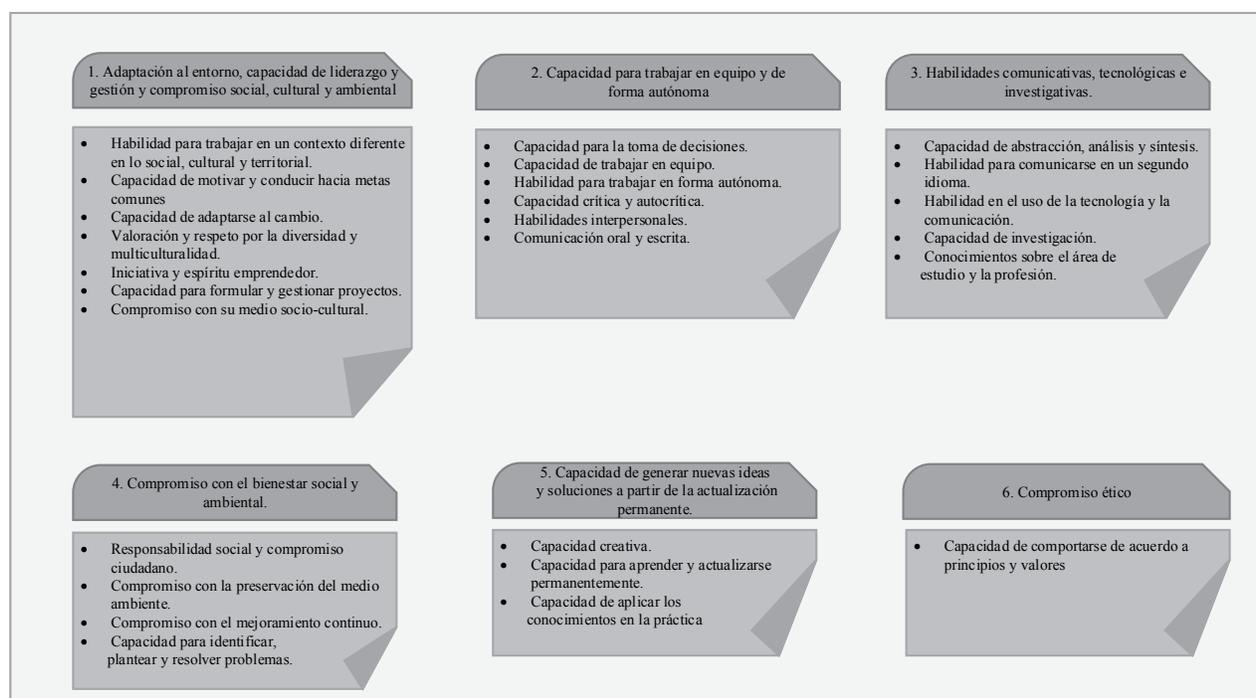


Figura 3. Factores según competencias desarrolladas por graduados del momento 1.

Fuente: Los autores

Para el caso del momento 3, mediante el análisis de correspondencia (ACO) se obtiene que en el sector terciario el cargo de la mayoría de los graduados se encuentra en el nivel administrativo o el intermedio, mientras que en el sector primario está la mayoría de graduados que laboran en el nivel operativo.

Al igual que en el momento 1, se seleccionan seis factores que explican el 73 % de la variabilidad total. Por ejemplo, el factor 2 se denomina capacidad para gestionar la información, que explica el 16,4 % de la variabilidad total; en este factor las mayores cargas se asocian a competencias que permiten de manera crítica, creativa y autocrítica identificar, analizar y dar solución a los diferentes problemas.

En el análisis de consistencia interna (fiabilidad) los valores del coeficiente Alpha de Cronbach son: 0,901, 0,871, 0,846, 0,828, 0,722 y 0,545, respectivamente, para los factores 1, 2, 3, 4, 5 y 6; evidenciando un alto o muy alto nivel de confiabilidad en la mayoría de los factores. Además, el test de esfericidad de Bartlett y el índice Kaiser-Meyer-Olkin confirman la validez de los datos para realizar el análisis factorial.

Para este caso, utilizando el mismo método del momento 1, se seleccionan tres segmentos. El grupo 1 tiene el 46,3 %, el grupo 2 el 35,2 % y el grupo 3 el restante 18,5 %.

El grupo 1 está conformado por personas con una edad promedio de 30 años; el 56 % es de sexo masculino; el 56 % está soltero; la mayoría (76,2 %) reside en Santander; tan sólo el 6 % vive en el exterior; el 60 % domina otro idioma; el 43,5 % es empleado de empresas privadas; tan sólo el 4,3 % está desempleado; el 4,3 % es empresario/empleador. El sector económico de trabajo que predomina en el grupo es el terciario, con el 38,9 %; el 40 % tiene cargos en un nivel intermedio; el 33,3 % cuenta con contrato a término indefinido; el 63,2 % ha permanecido en el empleo actual más de dos años; el 63,2% está algo o muy satisfecho con el salario, el 91,7 % tiene interés por crear empresa y considera que la mayor dificultad para ser emprendedores es la falta de recursos económicos propios y el miedo para asumir el riesgo; y tan sólo el 26,3 % desea estar en otro trabajo que permita desarrollar mejor sus competencias. La mayoría considera que la aplicación de sus conocimientos ha sido considerada de calidad y se sentía preparada para ingresar al mundo laboral. El campo de acción de la mayoría es asesoría y consultoría, gestión de calidad o gestión de proyectos.

En el perfil del grupo 2, a diferencia del grupo 1, el promedio de edad es de 29 años; la mayoría (57,9 %) es de sexo femenino; nadie vive en el exterior ni en Norte de Santander; nadie ha cursado o está cursando estudios de doctorado; tan sólo el 42,1 % domina otro idioma; el 73,7 % trabaja en la empresa privada y nadie es empresario/empleador o trabajador independiente; en el sector primario se encuentra la minoría (16,7 %); el 38,9% desempeñan cargos que corresponden al nivel administrativo, y en esta misma proporción (38,9%) los cargos desempeñados corresponden al nivel intermedio; tienen contrato a término fijo o a término indefinido; tan solo el 5,6 % se muestra insatisfecho con el salario; el 38,9 % ha permanecido más de dos años en el empleo actual; el 38,9 % no desea estar en otro trabajo para desarrollar mejor las competencias, y el campo de acción de la mayoría (42,4 %), además de la gestión de proyectos o la gestión de calidad, está en la planificación.

El grupo 3 es semejante al grupo 1 en lo que respecta al promedio de edad, el sexo de la mayoría de los graduados, el estado civil y la cantidad de graduados que están realizando estudios de posgrado. Pero, a diferencia del grupo 1, ninguno es empresario/empleador. Es similar al grupo 2 en los siguientes aspectos: tan sólo el 40 % domina otro idioma; la mitad se desempeña en el sector terciario; la mayoría (75 %) desea estar en otro trabajo para desarrollar mejor las competencias, y el tipo de contrato es a término fijo o indefinido. Se diferencian en que el 20 % vive en el exterior y tan sólo el 20 % ha cursado o está cursando alguna especialización. Este grupo se caracteriza porque nadie está desempleado, nadie tiene un cargo en el nivel directivo, la mitad desempeña un cargo de nivel intermedio y el campo de acción de la mayoría es gestión de proyectos y planificación. En igual proporción (37,5 %) viven en Santander o en Cundinamarca, y el resto habita en Casanare o en Norte de Santander.

Mediante la técnica de árboles de decisión se obtiene que el 88,2 % de los graduados actualmente son empleados o trabajadores independientes, y de este total el 93,3 % se interesa en crear empresa y el 73,33 % está muy satisfecho con su salario.

Por otro lado, al aplicar la técnica de redes bayesianas se obtiene que, con una probabilidad del 86,7 %, los graduados del momento 3 volverían a estudiar ingeniería industrial en la UIS, y están completamente de acuerdo con el emprendimiento que se promueve y la innovación y la creatividad que se fomentan. Además, de las reglas de asociación, con confianza mínima del 96 %, los graduados que manifiestan que la aplicación de sus conocimientos académicos ha sido considerada de calidad y tienen en grado muy alto de desarrollo la capacidad de comportarse de acuerdo con principios y valores, se interesan en crear empresa.

Por último, se analiza el nivel de diferencia que existe entre las competencias que posee el graduado al obtener el título profesional y la medida en que estas competencias le son requeridas actualmente, de donde se descubre que: en el momento 1 se presenta un comportamiento de las competencias similar al del momento 0, pero en el momento 1 los requerimientos actuales presentan niveles más altos a los del 0. En el caso del momento 3, el comportamiento de las competencias difiere muy poco de los momentos 0 y 1, ya que persisten las deficiencias en las competencias: la habilidad para comunicarse en un segundo idioma y la capacidad de investigación.

4. Conclusiones

La encuesta, instrumento de medición adaptado a las necesidades de este estudio, proporciona información importante para analizar la situación de los graduados en lo relacionado con datos sociodemográficos, trayectoria académica y educativa, trayectoria profesional y laboral, satisfacción profesional, satisfacción académica y pertinencia educativa.

La falta de una base de datos consolidada de los graduados de ingeniería industrial de la UIS dificultó el proceso de recolección de la información.

La tipología hallada para los graduados permitió desarrollar estrategias con el fin de mejorar la calidad y pertinencia del programa. A continuación se exponen algunas de ellas:

- Ofrecer conferencias sobre las entidades que apoyan proyectos de emprendimiento.
- Gestionar las prácticas en empresas para vincular a los graduados al mundo laboral antes de obtener el título profesional.
- Aumentar el grado de desarrollo de la competencia “Trabajo en equipo” y aplicar los conocimientos en la práctica mediante actividades realizadas en las aulas de clase y métodos tales como talleres y estudios de casos de empresas, entre otros.
- Monitorear constantemente el nivel de desarrollo de las competencias de los graduados al obtener el título profesional y las competencias requeridas en el mercado laboral.
- Crear una asignatura denominada metodología de la investigación en el currículo del programa de Ingeniería Industrial.
- Seguir usando material de trabajo en inglés y, si es posible, dar algunas clases en este el idioma.

De las competencias evaluadas en la encuesta, las que requiere el mercado laboral actual en un nivel de desarrollo más alto son: habilidades interpersonales, capacidad crítica y autocrítica, aptitud para identificar y resolver problemas y para trabajar en equipo. Por otra parte, las competencias que están en un nivel de desarrollo más alto o igual al requerido son: la valoración y respeto por la diversidad y multiculturalidad, el compromiso con la preservación del medio ambiente, la habilidad para trabajar en un contexto diferente en lo social, cultural y territorial; el compromiso con su medio sociocultural y la capacidad de comportarse de acuerdo con principios y valores, y la responsabilidad social y el compromiso ciudadano.

Las competencias requeridas actualmente por el mercado laboral en un nivel de desarrollo más bajo son la capacidad de investigación y la habilidad para comunicarse en un segundo idioma. Sin embargo, el nivel de desarrollo que tienen los graduados de estas competencias al obtener su título es más bajo que el requerido, excepto los del momento 0, que presentan un nivel más alto que el necesitado en la capacidad de investigación. Además, los graduados al obtener el título tienen un nivel de desarrollo menor en las capacidades creativa y de formulación y gestión de proyectos, de motivación y conducción hacia metas comunes, y la iniciativa y espíritu emprendedor.

Agradecimientos

El equipo del proyecto agradece la colaboración de los Docentes, del personal administrativo y de los graduados del programa Ingeniería Industrial de la UIS.

Referencias

- [1] Vergara-Quintero, M.d.C., Giraldo-Osorio A.M. y Naranjo-Aristizabal, M.M., Graduados UAM-calidad y pertinencia, Manizales: Universidad Autónoma de Manizales, [en línea] pp. 160, 2009. Diponible en: <http://repositorio.autonoma.edu.co/jspui/bitstream/11182/357/1/Graduados%20UAM%20Calidad%20y%20pertinencia.pdf>
- [2] Maya-Guerra J.I. y Herrera-Herrera, M.E., Caracterización e impacto de los graduados de la Católica del Norte, Revista Virtual Católica del Norte, [en línea] 34, pp. 78-112, 2011 Disponible en: <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/331/633>
- [3] Estrada-Cea, A.E., De la percepción a la realidad: Análisis comparativo entre las competencias profesionales de los estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad del Bío-Bío Chile y la Universidad Nacional de Misiones, Argentina, [en línea] Tesis de Pregrado, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile 2005, pp. 14-315 Disponible en: http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2005/estrada_a/doc/estrada_a.pdf
- [4] Almonacid, P., Montes I.C y Vasques, J. J., Un análisis factorial para evaluar la pertinencia de un programa académico desde la perspectiva de los graduados: Un estudio de caso, Ecos de Economía, [en línea] 29, pp. 97-126, 2009. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ecos-economia/article/view/194/210>
- [5] Tirado, L.J., Estrada, J. Ortíz, R., Solano H., González, J., Alfonso, D., Restrepo, G., Delgado, J.F. y Ortíz-Montoya, D., Competencias profesionales: Una estrategia para el desempeño exitoso de los ingenieros industriales, Revista Facultad de Ingeniería, 1(1), pp. 1-11, 2006.
- [6] Torres, J., Filosofía de enseñanza de mecánica de materiales para los ingenieros del siglo XXI, Latin American and Caribbean Journal of Engineering Education, 3(1), pp. 18-27, 2009.
- [7] Mena, Á., Carvajal, D., Téllez, A., Barranco, C., Gallego J.M. y Bellido, M., Desarrollo de competencias en dirección de proyectos en los alumnos de las titulaciones de ingeniería industrial en la Universidad de Huelva (España) [en línea]. XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos Badajoz, Julio 2009. Disponible en: http://aeipro.com/files/congresos/2009badajoz/ciip09_2227_2236.2654.pdf
- [8] Burq, I., Correa, J., Gutiérrez, N., Puga, V. y Galilea, P., La motivación del alumno, el apoyo del docente y el temprano compromiso con la sociedad: Tres pilares para impulsar el perfil del Ingeniero UC, Journal de Investigación de Pregrado [en línea]. 13(3), pp. 101-103, 2013. Disponible en: <http://www.ing.uc.cl/wp-content/uploads/2014/06/revistai3-abril-2013.pdf>
- [9] Martín-del Peso, M., Rabadán-Gómez A.B. y Henández-March, J., Desajustes entre formación y empleo en el ámbito de las enseñanzas técnicas universitarias: La visión de los empleadores de la comunidad de Madrid, Revista de Educación, [en línea]. 360, pp. 16-17, 2013. Disponible en: http://www.revistaeducacion.mec.es/doi/360_110.pdf. DOI: 10-4438/1988-592X-RE-2011-360-110
- [10] Valle, M. y Cabrera, P., ¿Qué competencias debe poseer un ingeniero civil industrial?. La percepción de los estudiantes, Revista Iberoamericana de Educación, [en línea]. 50, pp. 1-14, 2009. Disponible en: <http://www.rieoei.org/deloslectores/3072Cabrera.pdf>
- [11] González, J. y Wagenaar, R., Tuning educational structures in Europe: La contribución de las universidades al proceso de Bolonia, [en línea]. Bilbao, 2006. Disponible en: <http://www.deusto-publicaciones.es/deusto/pdfs/tuning/tuning04.pdf>
- [12] Aldana-de Becerra, G.M., Morales-González, F.A., Aldana-Reyes, J.E., Sabogal-Camargo, F.J. y Ospina-Alfonso, Á.R., Seguimiento a egresados: Su importancia para las instituciones de educación superior, Teoría y Praxis Investigativa, 3(2), pp. 61-65, 2008.
- [13] Ministerio de Educación Nacional, Resultados de las condiciones laborales de los graduados de la educación superior 2002-2011 (Documento técnico), [online]. Colombia, 2003. Disponible en: www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/articles-312791_recurso_1.pdf
- [14] Arrieta-Torres W. y de la Rosa, C.A., Estudio de seguimiento a egresados del programa de ingeniería industrial de la Universidad Industrial de Santander, [online]. Tesis de pregrado, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, UIS, Bucaramanga, Colombia, 2010, 202 P. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133724.pdf>
- [15] Red Gradua2 y Asociación Columbus, Manual de instrumentos y recomendaciones sobre el seguimiento de egresados, [en línea]. Instituto

Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México, 2006.
Disponible en:
https://www.almalaura.it/sites/almalaura.it/files/docs/universita/altro/red_gradua2.pdf

- [16] OLE, (). Glosario [en línea]. 2013. Disponible en:
<http://www.graduadoscolombia.edu.co/html/1732/propertyvalue-37268.html>
- [17] Schomburg, H., Manual para estudios de seguimiento a graduados universitarios (versión 3), [en línea]. 2004, 345 P. Disponible en:
http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-136797_pdf.pdf

H. Lamos-Díaz, graduado en PhD. en Matemática Física en 1997 de Universidad Estatal de Moscú (LOMONOSOV), Rusia, MSc en Informática en 1990 de la Universidad Industrial de Santander, Colombia, MSc. en Matemáticas en 1982 de la Universidad de la Amistad, Moscú, Rusia, y Matemático en 1981 de la Universidad de la Amistad, Moscú, Rusia. Es docente investigador del Grupo de Investigación en Optimización y Organización de Sistemas Productivos y Logísticos-OPALO. UIS-UNAB pertenecen a la Asociación Colombiana de Investigación de Operaciones ASOCIO, es profesor titular de la Universidad Industrial de Santander adscrito a la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander, Colombia.
ORCID: 0000-0003-1778-9768

K. Aguilar-Imitola, MSc. en Ingeniería Industrial e Ingeniera Industrial en 2013, ambos de la Universidad Industrial de Santander, Colombia. Es profesional de investigación, afiliada al Grupo de Investigación en Optimización y Organización de Sistemas Productivos y Logísticos OPALO, adscrito a la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander, Colombia.
ORCID: 0000-0001-9776-4258

Y.A. Ramírez-Sierra, es Ingeniería Industrial en 2014 de la Universidad Industrial de Santander, Colombia, en el 2014 es profesional de apoyo en proyecto de extensión de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales y de la División de Recursos Humanos de la Universidad Industrial de Santander, Colombia, desde el año 2015 es profesional administrativa de la Universidad Industrial de Santander, Colombia.
ORCID: 0000-0001-6447-2291

Metodología de la enseñanza basada en las competencias aplicada a un proceso biotecnológico de ingeniería química

Elisa Inés Benítez^{a,b}, Nancy María Jimena Martínez-Amezaga^{a,b} & María del Rosario Acquisgrana^a

^a Laboratorio de Química Teórica y Experimental (Quitex), Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional, Resistencia, Argentina.
ebenitez@frre.utn.edu.ar

^b Iquiba-Nea, Conicet, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina.

Resumen—

En este trabajo se presentan los resultados de la integración de varias operaciones y procesos unitarios de ingeniería química aplicados a la elaboración de cerveza. El grupo de investigación Quitex (Química teórica y experimental), dependiente de la Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional, lleva a cabo proyectos orientados a las operaciones de filtración y estabilización de cerveza. Por lo tanto, se pensó en un curso para estudiantes de grado de la carrera de Ingeniería Química que involucrara no sólo las operaciones básicas de elaboración de dicha bebida sino también las de refinación, embotellado y pasteurización, para el 14º Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Química (Coneiq). Esta experiencia fue un claro ejemplo de cómo aplicar la metodología de la enseñanza basada en competencias con mucho entusiasmo y éxito por parte de los alumnos y docentes.

Palabras Clave—ingeniería química, integración, cerveza y competencia.

Recibido: 15 de octubre de 2015. Revisado: 1 de noviembre de 2015.

Aceptado: 22 de noviembre de 2015.

Methodology of competency-based education applied to a biotechnological process of chemical engineering

Abstract—

The results of the integration between of several operational units and chemical engineering processes applied to brewing, are present in this work. The research group QUITEX (Química Teórica y Experimental), dependent upon the Facultad Regional Resistencia –Universidad Tecnológica Nacional, carries out projects relate to the operations of filtration and stabilization of beer, then a course that involved not only the principal brewery stages but also refining, bottling and pasteurization was dictated to the 14th CONEIQ (Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Química-Student Congress of Chemical Engineering). This experience was a clear example of how the methodology of competency-based education can be applied with great enthusiasm and success by students and teachers.

Keywords—chemical engineering, integration, beer, competency.

1. Introducción

El Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Química (Coneiq) se realiza desde hace 14 años en la República Argentina y cuenta con una gran concurrencia de todos los estudiantes del país. En esta oportunidad fue la Asociación Chaqueña de Estudiantes de Ingeniería Química (Achetiq) la encargada de llevar adelante el evento. La asociación la dirigen estudiantes y tiene la finalidad de contribuir con su propia formación integral. La asociación se encarga de realizar actividades para lograr la unión de todos los miembros, como visitas a fábricas, seminarios, cursos y

conferencias, jornadas de ingeniería química y actividades solidarias [1].

Las actividades que se llevan a cabo en los congresos tienen como fin constituir una instancia de encuentro de académicos, investigadores, profesionales de la industria y de instituciones públicas y privadas para intercambiar experiencias, dar a conocer los resultados de sus investigaciones, los adelantos de la disciplina y las nuevas tecnologías. En esta oportunidad el evento se realizó en la provincia del Chaco, donde se encuentra la Facultad Regional Resistencia, dependiente de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Allí lleva a cabo sus actividades de investigación el Grupo de Investigación en Química Teórica y Experimental (Quitex). Las investigaciones de la UTN se caracterizan por su transferencia al medio productivo y por ello se busca que tengan impacto en el desarrollo tecnológico y social de la región. Los proyectos desarrollados por el grupo de investigación tienen relación con la tecnología de los alimentos. Actualmente se desarrollan proyectos sobre filtración y clarificación de bebidas fermentadas, estudios a escala molecular de precursores de turbidez coloidal y estabilizantes de la industria cervecera, y la elaboración de una bebida fermentada similar a la cerveza libre de gluten para celíacos [2], [3]. Cuando los alumnos, integrantes de la comisión organizativa del congreso, les solicitaron a sus docentes que planificaran un curso para el evento, se pensó que fuera principalmente práctico y que integrara varias operaciones y procesos de la ingeniería química. Habitualmente, en el grupo de investigación se prepara la cerveza a escala piloto y luego, en el laboratorio, se realizan ensayos de filtración y estabilización. En esta oportunidad se pensó en ir más allá y efectuar las operaciones de filtración y estabilización a escala piloto, reproduciendo las operaciones reales que se utilizan en la industria cervecera. Así mismo, debido a que esas operaciones reducen la cantidad de partículas coloidales presentes en la cerveza, y modifican la composición final [2], se pensó en un análisis sensorial con una prueba discriminativa con panelistas no entrenados, es decir, los mismos alumnos, para evaluar si la diferencia en la composición, producida por las operaciones de refinación, era percibida por ellos.

La elaboración de cerveza es un proceso biotecnológico que involucra varias operaciones y procesos unitarios de ingeniería química, entre las que se pueden destacar: mezclado, agitación,

Tabla 1
Competencias genéricas del ingeniero en Argentina

Competencias tecnológicas	Competencias sociales, políticas y actitudinales
Identificar, formular y resolver problemas	Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo
Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería	Comunicarse con efectividad
Gestionar proyectos de ingeniería	Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social
Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de la ingeniería	Aprender en forma continua y autónoma
Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos	Actuar con espíritu emprendedor

Fuente: Ponencia del Ing. Humberto Savio en el Congreso Internacional Ingeniería 2014.

proceso enzimático de degradación de almidón y proteínas, proceso de cocción, fermentación, precipitación, coagulación, transferencia de calor, filtración, entre otras [4,5]. La innovación importante del curso consistió en la aplicación de la metodología de la enseñanza basada en la generación de competencias por parte de los alumnos [6-8] y específicamente, las competencias en la carrera de ingeniería según el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (Confedi) acordadas en el año 2006 [9]. Se pensó en el uso de esta metodología, en lugar de una clase expositiva sobre un tema en particular, ya que el ingeniero no sólo debería saber sino también saber hacer [9] al egreso de su carrera de grado. El saber hacer no surge de la mera adquisición de conocimientos sino que es el resultado de la puesta en funciones de una compleja estructura de conocimientos, habilidades, destrezas, etc. En este curso se pensó en el desarrollo de esas habilidades y destrezas.

En el primer acuerdo sobre competencias genéricas del Confedi en el 2006 se clasificaron las competencias de la carrera de ingeniería como tecnológicas, sociales, políticas y actitudinales y específicas de la terminal. La terminal se refiere a las distintas carreras específicas de la ingeniería, como la química y la electromecánica, entre otras. Durante su ponencia en el Congreso Internacional de Ingeniería 2014, realizado en Buenos Aires, el ingeniero Humberto Savio, expresidente del Confedi, habló sobre la formación de un ingeniero global y las competencias necesarias para su formación, e hizo especial mención de las competencias tecnológicas, sociales, políticas y actitudinales que se mencionan a continuación (Tabla 1).

Para este modelo de enseñanza-aprendizaje el docente tiene el papel de facilitador de las situaciones de aprendizaje y acompaña al alumno en el proceso de adquisición de las competencias [9]. Por todo lo expuesto, en este trabajo se presentan las actividades llevadas a cabo y como resultado las capacidades desarrolladas por los alumnos.

2. Metodología

2.1. Primer día

La elaboración de cerveza consistió principalmente en una maceración de la malta cervecera a una temperatura de 62 °C para permitir la hidrólisis del almidón y proteínas por las enzimas propias del cereal, durante 90 min. Se continuó con la cocción del mosto, y se hizo el agregado de lúpulo para amargor y aroma [4,10]. El mosto

obtenido se enfrió y se pasó a la etapa fermentativa. Se elaboró una cerveza tipo lager, que consiste en la fermentación a temperaturas bajas entre 8 y 15 °C de una a tres semanas [11]. Se continuó con la fermentación un tiempo mayor al de la muerte de las levaduras para permitir que ellas precipitaran y se desarrollara el aroma y sabor característico de este tipo de bebida [12]. El proceso global se esquematiza en el siguiente diagrama de flujo (Fig. 1).

2.2. Segundo día

Para las etapas previstas durante el segundo día del congreso se partió de una cerveza que fue elaborada un mes antes, para permitir que se desarrollaran todas las etapas descritas previamente. Durante el segundo día se comenzó con una exposición teórica sobre las tecnologías actuales y las nuevas aplicadas al proceso de elaboración de cerveza. Se realizó especial mención a la filtración convencional con el uso de tierras de diatomeas [13] y las nuevas tecnologías que comprenden la microfiltración, sus ventajas y desventajas [14].

En el proceso de estabilización se habló sobre los distintos tipos de agentes estabilizantes: polivinilpolipirrolidona (PVPP), silica gel (SG) y la combinación de ambos para optimizar el proceso [15,16].

Para la filtración de la cerveza se utilizó el equipamiento disponible de filtro placa con membranas de celulosa con una permeabilidad de 1 µm y se utilizaron tierras de diatomeas como precapa [2]. Luego el mismo equipo se utilizó para filtrar la cerveza una vez estabilizada. Es decir, en el proceso de refinación se realizaron dos etapas de filtración. La operación de estabilización se hizo con PVPP en una concentración de 15 g L⁻¹ (Polyclar 10, Tudela, Argentina; [3]).

2.3. Tercer día

Durante el tercer día se comenzó con una exposición sobre análisis sensorial, las utilidades y condiciones necesarias para actuar como panelista y los distintos tipos de análisis que pueden llegar a realizarse [17,18]. Se optó por un análisis discriminativo de a pares, con la cerveza realizada previamente por el grupo de trabajo y la misma cerveza luego de las operaciones de filtración y estabilización realizada en iguales

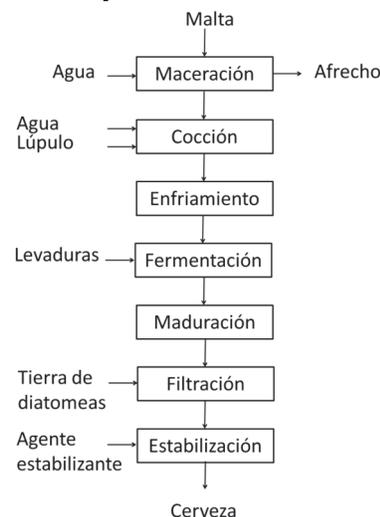


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cerveza.
Fuente: Los autores.



Figura 2. Equipos disponibles para el enfriamiento del mosto. A la izquierda, el intercambiador tubular y a la derecha, el intercambiador de placas.
Fuente: Los autores.

condiciones por los alumnos. Para no influir en las respuestas de los alumnos no se les informó a ellos qué diferencia existía entre ambas muestras. Debido a que la cantidad de alumnos disponibles para el ensayo era de 20, se invitó a personal de la facultad a participar por lo cual el grupo final fue de 25 personas. Se utilizó la tabla para detectar diferencias significativas con un nivel de significancia del 95 % para este tipo de análisis [19].

3. Resultados y discusión

3.1. El proceso de elaboración de la cerveza

Luego del proceso de cocción fue necesario enfriar el mosto para poder inocular la levadura. En la planta piloto se dispone de dos tipos de equipamientos (Fig. 2), un intercambiador tubular y un intercambiador de placas. Fue necesario que los alumnos evaluaran la conveniencia de usar un equipo en lugar del otro y se concluyó que por el salto de temperatura, el tiempo necesario y el uso discontinuo fuera el intercambiador tubular el más adecuado. El intercambiador de placas es más efectivo en bajar rápidamente la temperatura, pero por ser el intercambiador tubular más fácil de limpiar se optó finalmente por este último.

La salida del intercambiador se conectó al fermentador, que se encontraba en condiciones asépticas para utilizarlo durante la fermentación. Se seleccionó el fermentador teniendo en cuenta el volumen de cerveza por producir. Los dos fermentadores disponibles se muestran en la siguiente Fig. 3. Se seleccionó el más pequeño debido a que el de tamaño superior dejaría un espacio de cabeza muy grande, con mayor presencia de oxígeno, que provocaría la oxidación del producto una vez finalizada la fermentación. Durante la primera etapa del proceso de fermentación se requiere la oxigenación del mosto para que las levaduras puedan reproducirse, pero una vez finalizó el proceso, el exceso de oxígeno puede provocar la oxidación y un sabor desagradable en el producto final.

Se llevó el mosto a la cámara frigorífica, ya que por las características del tipo de cerveza que se buscaba elaborar se



Figura 3. Fermentadores disponibles en la planta piloto. A la izquierda, el fermentador de 60 L y a la derecha el fermentador de 20 L.
Fuente: Los autores.

necesitaba mantener una temperatura constante durante la fermentación de 12 °C. Una vez dentro de la cámara se inoculó con la levadura. Especial cuidado se tuvo en las condiciones de higiene, por lo cual se limpió el área de trabajo con alcohol al 70 %. Todo el procedimiento fue explicado por los docentes a cargo del curso y realizado por los alumnos involucrados, que a medida que durante la experiencia tomaban notas, hacían consultas y expresaban inquietudes.

Para las operaciones de filtración y estabilización se utilizó el equipo de filtración de placa y marco disponible en el laboratorio (Fig. 4). Para ello se adaptó la metodología utilizada en cervecerías artesanales y la utilizada en industrias con mayor desarrollo tecnológico, ya que se emplearon placas de celulosa como soporte y se cubrió cada una con tierra de diatomeas como ayuda filtrante. La tierra de diatomea tiene la particularidad de brindar un producto con una brillantez única. En la misma figura puede observarse una foto del equipo utilizado y en la Fig. 5, imágenes de las placas de celulosas con la capa de tierra de diatomea formada sobre su superficie.

Debido a que no se disponía de recipientes y equipamiento para la etapa de estabilización, se tuvo que adaptar el mismo recipiente utilizado durante la cocción del mosto y agregar allí el agente estabilizante. En esta experiencia se utilizó como agente estabilizante a la PVPP que se sabe que se combina con los polifenoles presentes en el mosto luego de la fermentación. Se utilizó ex profeso este agente porque se buscaba evaluar si la reducción de los polifenoles, responsables en parte de la astringencia y aroma de la cerveza, la podían percibir sensorialmente los alumnos. Para separar el agente estabilizante se volvió a filtrar la cerveza con el mismo equipamiento mencionado previamente, por lo que el proceso global se sometió a dos operaciones de filtración.

Finalmente, la cerveza fue suplementada por inyección de dióxido de carbono, embotellada y pasteurizada. Para la pasteurización también se utilizó el recipiente en el que se realizó la cocción del mosto. Con el propósito de identificar cada una de las botellas, los alumnos agregaron sus nombres con cinta, Fig. 6.

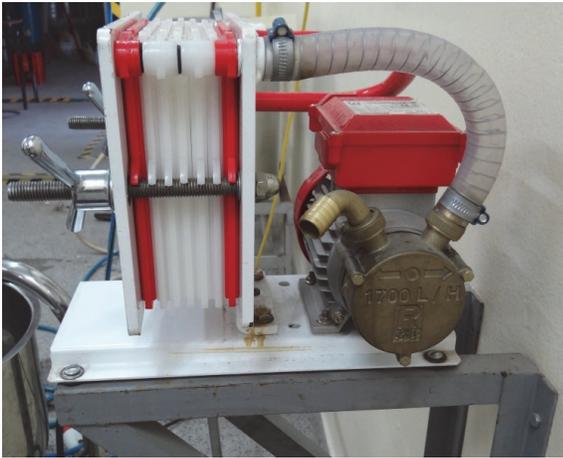


Figura 4. Filtro de placa y marco utilizado para la filtración.
Fuente: Los autores.



Figura 7. Laboratorio de Ingeniería Química donde se realizó el análisis sensorial.
Fuente: Los autores.



Figura 5. Placas de celulosa con la capa de tierra de diatomea. La placa de la izquierda corresponde al proceso de filtración y la segunda al de estabilización.
Fuente: Los autores.



Figura 8. Etiquetado de las botellas.
Fuente: Los autores.



Figura 6. Envasado de la cerveza.
Fuente: Los autores.

Para el análisis sensorial (Fig. 7), no se les informó a los alumnos qué diferencia existía entre las muestras. Se siguió la metodología planteada para este caso en particular y como resultado se obtuvo, de un total de 25 personas, la diferencia significativa entre las muestras de 2 y, de acuerdo con la tabla de Roessler et al. [19], se pudo concluir que no existe diferencia significativa entre las muestras, ya que en caso contrario se hubiera requerido que la diferencia fuera de 18.

Debido a que la consigna era que ellos evaluaran cuál de las dos muestras poseían mejor sabor y se permitió que hicieran las

observaciones que creyeran convenientes, varios alumnos encontraron que la muestra filtrada presentaba un gusto más intenso, pero no así el aroma; y otros que las muestras sin filtrar tenían mejor aroma. Esta experiencia fue útil para distinguir entre las cualidades más destacables de la bebida que sería útil evaluar por separado en la etapa de filtración, ya que, si bien en el sabor global no hubo diferencias, posiblemente en el aroma y gusto sí.

Una vez finalizado el análisis sensorial, los alumnos etiquetaron su propia botella (Fig. 8) y volvieron a su lugar de origen muy entusiasmados y con ganas de repetir el proceso por su cuenta.

Así mismo, luego del curso se recibieron varias consultas acerca del proceso, sobre el diámetro de las mangueras, capacidad de los recipientes, bombas, etc. que reflejaba su interés en llevar a cabo el proceso no sólo a pequeña escala sino como un piloto de microemprendimiento personal.

El personal del grupo de investigación los asesoró sobre cada uno de los procesos y en particular se mencionó la posibilidad de realizar el microemprendimiento para personas con celiaquía a partir de otro tipo de cereal diferente a la cebada, con lo que se contribuiría a nuevos desarrollos tecnológicos.

3.2. Habilidades o competencias alcanzada por los alumnos

Las capacidades mencionadas (Tabla 1) se logró con las siguientes acciones:

3.2.1. Competencias tecnológicas

Las habilidades tecnológicas logradas por los alumnos se encuentran resumidas (Tabla 2).

Identificar, formular y resolver problemas: se logró que los alumnos identificaran todas las etapas involucradas en el proceso de elaboración, el equipamiento disponible y los materiales necesarios, y que analizaran la factibilidad del proceso en el tiempo previsto.

Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería: se identificaron las capacidades de los diferentes equipos para cumplir con los objetivos fijados. Es decir, en función de la capacidad de cerveza por producir se les plantearon varias posibilidades en las que los alumnos pudieron evaluar qué tipo de equipamiento era el más adecuado. Así mismo, se les mostraron dos tipos de intercambiadores de calor que normalmente se utilizarían en la industria de alimentos, el de placas y el tubular, y se seleccionó este último porque era suficiente para provocar la diferencia de temperatura buscada y presentaba un factor de ensuciamiento menor al de placas. Se plantearon dudas y propuestas para el enfriamiento con otro tipo de sistema, como por ejemplo con un serpentín introducido en el recipiente de cocción. Es decir, la implementación del sistema de enfriamiento y fermentación despertó el interés por el diseño de ingeniería en los alumnos, quienes se propusieron nuevos desafíos para implementarlos en su lugar de origen una vez finalizado el curso.

Gestionar proyectos de ingeniería: se tuvo que adaptar el equipamiento disponible en la planta piloto para las operaciones que no estaban previstas normalmente, como la estabilización y pasteurización. Para ambas operaciones se utilizó la olla de cocción del mosto. En el caso de la estabilización se adaptó un agitador vertical para producir el mezclado y para el proceso de pasteurización se pusieron las botellas en la olla, se cargó con agua caliente a 95 °C y se mantuvo durante 30 minutos. Luego de ese tiempo se cambió el agua caliente por agua fría hasta que la temperatura exterior fuera de 30 °C.

Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de la ingeniería: el cumplimiento de cada una de las etapas tanto en tiempos como en el orden en que deben realizarse y las cantidades de materias primas necesarias se llevaron a cabo con responsabilidad para lograr el producto deseado. Existen variaciones en las recetas para lograr cada tipo de cerveza; sin embargo, existen límites en cuanto a los nutrientes necesarios para que el proceso de fermentación sea óptimo y los tiempos de maceración, cocción y fermentación (como las operaciones más importantes) se deben respetar. Si no se consideran en forma adecuada las cantidades y tiempos previstos, podría obtenerse un producto que no es apto para consumo humano. Sobre este tema se hizo especial mención y se explicó y realizó el proceso de acuerdo con el fin propuesto de obtener una cerveza tipo lager.

Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos: los alumnos adquirieron experiencia en la elaboración de la cerveza, y pudieron realizarla en su lugar de origen, buscando

reemplazar los equipos más sofisticados con equipamiento diseñado por ellos mismos.

3.3.2. Competencias sociales, políticas y actitudinales

Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo y comunicarse con efectividad: debido a que la experiencia didáctica estaba pensada para un grupo reducido de alumnos, de modo que pudieran interactuar y expresar sus inquietudes y consultas, sin lugar a dudas se logró la comunicación y el trabajo en equipo de forma eficiente y ordenada. Se permitió el diálogo y que cada alumno aportara, y que el grupo de investigación implementara prácticas para la mejora del proceso. Así, por ejemplo, cuando se quiso trasvasar el contenido del macerado a la olla de cocción, como el producto estaba caliente no funcionó correctamente la bomba. Los alumnos propusieron bajar el nivel de la olla de cocción para que el líquido fluyera por gravedad.

Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social: alumnos realizaron el producto de acuerdo con las normas vigente para alimentos. Se prestó mucha atención al hecho de que se estaba elaborando un producto alimenticio y que se debía conservar de manera adecuada, durante su lapso de aptitud, ya que se debía asegurar la inocuidad de la bebida. Durante la realización del producto se utilizaron las buenas prácticas de manufactura y vigilancia para que se hiciera en forma correcta. Se les solicitó a los alumnos que luego de dos meses tomaran la bebida elaborada y enviaran sus comentarios sobre el sabor que percibieran. En todos los casos la repercusión fue buena, lo que demuestra que observar buenas prácticas de elaboración garantiza un producto inocuo para la salud humana.

Aprender en forma continua y autónoma: el mayor logro destacado del curso es que cada uno de los asistentes se llevó a su lugar de origen la cerveza elaborada y muchas ideas para llevar a cabo el emprendimiento por su cuenta. Al poco tiempo de finalizar el curso se recibieron varios mensajes acerca de las inquietudes que surgieron en los estudiantes cuando comenzaron a incursionar en el tema y a elaborar autónomamente el producto en cuestión.

Actuar con espíritu emprendedor: el mercado de elaboración de cervezas artesanales en Argentina está en franca expansión (Ablin, 2014). Por lo tanto, la posibilidad de éxito comercial en el emprendimiento es muy favorable. Igualmente, debido a que en el

Tabla 2
Acciones para la adquisición de las competencias tecnológicas

Competencias tecnológicas	Acciones para el logro de las competencias
Identificar, formular y resolver problemas	Definición del proceso, capacidades, tiempo y equipamiento requerido
Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería	Selección de equipos
Gestionar proyectos de ingeniería	Adaptación del equipamiento disponible a los requerimientos del proceso
Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de la ingeniería	Respetar los balances máxicos y energéticos para lograr un producto inocuo
Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos	Nuevos desafíos para el diseño de equipos

Fuente: Los autores.

Tabla 3

Acciones para lograr las competencias sociales, políticas y actitudinales.

Competencias sociales, políticas y actitudinales	Acciones para el logro de las competencias
Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo	Entorno de enseñanza-aprendizaje adecuado para una capacidad de 20 alumnos
Comunicarse con efectividad	Permitir el diálogo y los aportes de los alumnos
Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social	Utilizar buenas prácticas de manufacturas
Aprender en forma continua y autónoma	Permitir que los alumnos participen en la elaboración
Actuar con espíritu emprendedor	Permitir sugerencias, opiniones y propuestas de los alumnos. Permitir cambios en el proceso por la intervención de los alumnos

Fuente: Los autores.

grupo de investigación se está trabajando con materia prima para elaborar cerveza para celíacos, también podría significar un nicho de mercado a posibles emprendedores. Por lo tanto, con una u otra posibilidad, las herramientas brindadas en el curso proporcionarán una base firme para actuar con espíritu emprendedor.

4. Conclusiones

A partir de la implementación de la metodología de la enseñanza basada en competencias, se logró despertar el interés de los alumnos, no sólo por el producto que elaboraron sino por la identificación de las herramientas necesarias para realizar el proceso por su propia cuenta.

Con esta integración entre operaciones de ingeniería química se logró la acción reflexiva del proceso enseñanza-aprendizaje, motivando a docentes, alumnos e investigadores a la mejora continua y al desafío de plantear otras formas de entender la enseñanza, no como una acción tubular por asignaturas dentro de la enseñanza sino como un proceso global en los planes de estudio.

Debido a las repercusiones que tuvo el curso en los alumnos, la asociación de estudiantes le solicitó al grupo de trabajo implementarlo nuevamente por cuanto permite una visión global de un proceso y la utilización de los recursos disponibles de la misma facultad. Este hecho permite dar cuenta de que el camino seguido en el proceso de enseñanza rinde sus frutos.

Agradecimientos

Los autores le agradecen a la Facultad Regional Resistencia-Universidad Tecnológica Nacional y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet) por su financiamiento.

Referencias

- [1] ACHETIQ, Asociación Chaqueña de Estudiantes Tecnológicos de Ingeniería Química. [En línea]. 2014. Disponible en: <http://achetiq.wix.com/utfnfre>.
- [2] Benítez, E.I., Martínez-Amezaga, N.M., Sosa, G.L. et al., Turbidimetric behavior of colloidal particles in beer before filtration process. *Food and Bioprocess Technology: An International Journal*, 6, pp. 1082-1090, 2013. DOI: 10.1007/s11947-012-0905-7
- [3] Lataza-Rovaletti, M.M., Benítez, E.I., Martínez-Amezaga, N.M., Peruchena, N.M., Sosa, G.L. and Lozano, J.E., Polysaccharides influence on the

- interaction between tannic acid and haze active proteins in beer. *Food Research International*, 62, pp. 779-785, 2014. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.03.017
- [4] Bamforth, C.W., Beer. Tap into the art and science of brewing. New York: Oxford University Press, 2003.
- [5] Briggs, D.E., Boulton, C.A., Brookes, P.A. and Stevens, R., *Brewing Science and Practice*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2004.
- [6] Araujo, J., *Competencias para el acceso a la educación superior*. Buenos Aires: CPRES, 2007.
- [7] Cepeda-Dovala, J., *Metodología de la enseñanza basada en competencias*. Revista Iberoamericana de Educación, pp. 1-10, 2010.
- [8] Savio, C.H., *Competencias necesarias del ingeniero*. Integración académica: Formación de ingenieros globales. Congreso de Ingeniería 2014 - Latinoamérica y Caribe, 2014.
- [9] CONFEDI., *Competencias genéricas*. Desarrollo de competencias en la enseñanza de la ingeniería argentina. San Juan, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, 2006.
- [10] Bamforth, C., *Beer: A quality perspective*. New York: Academic Press. (2009).
- [11] Pavsler, A. and Buiatti, S., *Lager Beer*. Beer in health and disease prevention. London: Academic Press, 2009.
- [12] Defemez, M., Foxall, R.J., O'Malley, C.J. et al., Modelling beer fermentation variability. *Journal of Food Engineering*, 83, pp. 167-172, 2007. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.02.033
- [13] Buttrick, P. Choices, choices: beer processing and filtration. *Brewer and Distiller International*, 6, pp. 10-16. (2010).
- [14] Cimini, A., Marconi, O. & Moresi, M. Rough beer clarification by crossflow microfiltration in combination with enzymatic and/or centrifugal pretreatments. *Chemical Engineering Transactions*, 32, pp. 1729-1734. (2013).
- [15] Mitchell, A., Hong, Y.-J., May, J.C., Wright, C. and Bamforth, C., A comparison of Polyvinylpyrrolidone (PVPP), Silica Xerogel and a Polyvinylpyrrolidone (PVP) - Silica Co-product for their ability to remove Polyphenols from beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 111, pp. 20-25, 2005. DOI: 10.1002/j.2050-0416.2005.tb00644.x
- [16] Taylor, J.P., Jacob, F. and Arendt, E.K., Fundamental study on the impact of silica gel and tannic acid on hordein levels in beer. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 31, pp. 177-184, 2015. DOI: 10.1016/j.ifset.2015.07.007
- [17] Anzaldúa-Morales, A., *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica*. Ed. Acirbia, Zaragoza, España, 1994.
- [18] Lawless, H. and Heymann, H., *Sensory evaluation of food principles and practices*. Segunda Edición. Springer: New York, USA, 2010.
- [19] Roessler, E.B., Pangborn, R.M., Sidel, J.L. and Stone, H., Expanded statistical tables for estimating significance in paired-preference, paired difference, duo-trio and triangle tests. *Journal of Food Science*, 43, pp. 940-941, 1978. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1978.tb02458.x

E.I. Benítez, recibió el título de Ingeniera Química en 2001 de la Universidad Tecnológica Nacional, el título de Dra. en Ingeniería Química en 2007 de la Universidad Nacional del Sur, el título de Esp. en Tecnología de los Alimentos en 2010 de la Universidad Tecnológica Nacional, y el título de Esp. en Docencia Universitaria en 2013 de la Universidad Nacional del Nordeste, todos ellos de Universidades públicas de Argentina. Desde 2011 es miembro del Conicet en la categoría Investigador Asistente. Desde 2008 es Jefe de trabajos prácticos en la cátedra de Integración II de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad Regional Resistencia- UTN, Argentina. ORCID: /0000-0002-6320-8357

N.M.J. Martínez-Amezaga, recibió el título de Ingeniera Química en 2009, el título de Esp. en Higiene y Seguridad en el Trabajo en 2013 y el título de Dra. en Ingeniería con mención en Química en 2015, todos ellos de la Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina. Desde 2016 es Becaria Postdoctoral del Conicet. Desde 2013 es ayudante de trabajos prácticos de primera en la cátedra de Química Inorgánica de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad Regional Resistencia- UTN, Argentina. ORCID: 0000-0002-3868-5493

M.R. Acquisgrana, recibió el título de Ingeniera Química en 2013 de la Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina. Desde 2014 participa como becaria de iniciación a la Investigación de la UTN en el grupo Quitex, de la Facultad Regional Resistencia -UTN, Argentina, y está realizando cursos de postgrado en el área de Ingeniería Química. ORCID: 0000-0002-4627-9698

Enseñanza de las matemáticas en ingeniería: Modelación matemática y matemática contextual

Angélica Bravo-Bohórquez, Luz Jaddy Castañeda-Rodríguez, Harvey Iovany Hernández-Yomayusa
& Luis Alejandro Hernández-Hernández

*Grupo Axioma, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cundinamarca, Facatativá, Colombia.
eymi.angy@gmail.com, jaddyc@gmail.com, hihy77@yahoo.com, alejandro_h_h@yahoo.com*

Resumen— Se presentan los resultados de una experiencia de aula aplicando la modelación matemática en la enseñanza de las ciencias básicas en educación superior y, la *Teoría de la Matemática en Contexto* [1] como un modelo didáctico de enseñanza aprendizaje, vinculando a los tres agentes dentro del proceso: estudiante - conocimiento - docente. De otra parte, se explica la metodología a desarrollar en la consecución del proyecto *Modelación matemática como un recurso didáctico viable en la enseñanza - aprendizaje de la ciencias concebido desde de la matemática contextual*, en el que se propone la enseñanza de la matemática en los programas de ingeniería de la Universidad de Cundinamarca partiendo de la triada: realidad - modelación - simulación.

Palabras clave— modelación, educación matemática.

Recibido: 6 de septiembre de 2015. Revisado: 1 de noviembre de 2015.
Aceptado: 25 de noviembre de 2015.

Teaching of mathematics in engineering: Mathematical modeling and contextual mathematics

Abstract— In this paper it shows results of a classroom experience applying mathematical modeling in teaching basic science in higher education and the Theory of Mathematics in Context [1] as a didactic model of teaching and learning, linking the three agents in the process: student - knowledge - teacher. Furthermore it explains, the methodology developed in the achievement of the *Mathematical modeling as a viable teaching resource in teaching - learning of science conceived from the contextual mathematics*, where it proposes the teaching mathematics in engineering programs of the Universidad de Cundinamarca based on the triad: actually - modeling - simulation.

Key words— modeling, math education

1. Introducción

Como profesionales de la educación matemática, notamos que nuestros estudiantes pueden tener diversas formas de adquirir el conocimiento. El Dr. David Kolb y otros investigadores manifiestan que menos del 25% de los estudiantes son estudiantes abstractos [2] En este sentido, los métodos comunes de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas irían dirigidos a este reducido grupo. Se ha demostrado igualmente, que la mayoría aprende cuando logran transferir nuevos conceptos al mundo que le rodea. [3] Es aquí donde la Teoría de la Matemática en Contexto [1] cobra toda su importancia.

La Teoría de la Matemática en Contexto, surge en el año de 1982 en el Instituto Politécnico Nacional por la necesidad de lograr que los estudiantes, particularmente de ingeniería se incentivarán ante la adquisición del conocimiento matemático, la sintieran como una herramienta necesaria y útil y no como una serie de conceptos aislados y complejos. En la Universidad de Cundinamarca, tal necesidad es la misma. A partir de los diferentes cursos de matemática y aún de física, se ha encontrado reiterativamente situaciones de negación hacia los conceptos y situaciones de análisis matemático. Problemática ésta común en todos los niveles de las distintas carreras profesionales.

2. Antecedentes

Se ha evidenciado a partir de los diagnósticos sobre nivel de conocimiento en las ciencias básicas, aplicados a los estudiantes que son admitidos en la Universidad de Cundinamarca (2008, 2009, 2010), que hay fuertes falencias en cuanto a conocimiento y pensamiento lógico matemático reflejado en la falta de habilidad para solucionar problemas, inferir posibles alternativas y proponer ideas frente al problema planteado.

De otra parte, es preocupante la estrecha relación existente entre deserción estudiantil y bajo desempeño académico en las ciencias básicas. (Encuesta Nacional de Deserción Escolar (ENDE), agosto de 2011). Los índices de deserción se hacen mayores cuando el estudiante asume no ser competente para cursar matemáticas y ciencias afines. En este sentido, surge la inquietud por buscar alternativas que minimicen el índice de mortalidad académica garantizando un óptimo nivel de aprendizaje. Es así, como se acude a experiencias como la del Instituto Politécnico Nacional de México, donde hace más de 20 años se plantea la Teoría de la Matemática en Contexto como una estrategia útil en la consecución de éste objetivo. Así mismo, capta nuestra atención el Modelo CORD, [2] con su estrategia REACT, con un enfoque basado en la matemática contextual.

La Teoría de la Matemática en Contexto, se desarrolla a través de 9 fases estratégicas [1], en función de dos ejes

fundamentales: contextualizar y descontextualizar: donde contextualizar obedece la relación que se puede establecer entre el conocimiento matemático y las ciencias, el conocimiento matemático y la cotidianidad y de otra parte entre el conocimiento matemático y el área de desempeño profesional.[1],[4],[5] De tal forma, que solo será posible una transferencia de conocimiento por parte del estudiante, si éste está en capacidad de relacionar un modelo matemático y a su vez es capaz de llevarlo a otros contextos, es decir, si logra descontextualizarlo del evento inicial.

Así, el modelo busca ir más allá de un procedimiento meramente mecánico en la resolución de situaciones de contexto, lo que permite una conexión de ideas y conceptos matemáticos con otras ciencias y orienta el conocimiento matemático hacia el aprendizaje significativo estipulado por Ausbel y Novak [3]. El Modelo CORD, basado igualmente en matemática contextual, surge en los Estados Unidos en el movimiento Tech Prep, con el propósito de apoyar estilos de aprendizaje que no se ajustan a los estándares convencionales, sencillamente porque tienen estilos de aprendizaje distintos. Propone un cambio en la estructura curricular como en los recursos de enseñanza convencionales.

La estrategia que se plantea desde este enfoque se encierra en la sigla REACT, de Relación, Experimentación, Aplicación, Cooperación y Transferencia [2], donde se busca que el estudiante a través de experiencias logre estructurar un nuevo concepto mediante el aprendizaje significativo[3]. Haciendo uso de la experiencia lograda por la Teoría de la Matemática en Contexto, aplicado al modelo REACT se encuentra que se encaja perfectamente a los objetivos que se buscan en la investigación, éste busca que los estudiantes aprendan y desarrollen sus inteligencias personales, además es posible encontrar por medio de ésta, problemas altamente relacionados con el ámbito laboral y profesional, desarrollando habilidades analíticas a través de la experiencia. Por otro lado, las investigaciones concluyen que al aplicar la estrategia REACT se puede alcanzar alto nivel cognitivo, haciendo de los estudiantes futuros profesionales competitivos.

3. Metodología

La investigación plantea y pretende validar la siguiente hipótesis:

Una estrategia pedagógica para la enseñanza de la matemática basada en la modelación matemática, reconociendo los estilos de aprendizaje y los estilos de pensamiento como variables incidentes en los procesos de enseñanza - aprendizaje, permiten una mejor adquisición de los conceptos y la utilización de éstos en la solución de eventos.

La investigación se desarrolla mediante un diseño cuasi - experimental. En el tratamiento metodológico se describen las siguientes etapas:

1) Habiendo ya adelantado una revisión bibliográfica y del estado del arte acerca de estrategias pedagógicas basadas en modelación matemática en la educación superior y, del diseño de programas de simulación para la interpretación de sistemas dinámicos mediante la

modelación matemática de los mismos, se procede a seleccionar un grupo experimental y un grupo control, siendo ellos estudiantes de uno de los programas de ingeniería de la Universidad de Cundinamarca de primer semestre. La selección de los grupos se realizará por aleatorización.

- 2) Las variables que se definen a tener en cuenta, son los cambios en el aprendizaje como la variable dependiente y las técnicas de enseñanza aprendizaje aplicadas al grupo experimental en comparación con el grupo control como la variable independiente.
- 3) Se hace necesario medir los estilos de aprendizaje, los estilos de pensamiento y las dominancias cerebrales de los estudiantes para estructurar equipos de trabajo eficaces en función de sus habilidades y fortalezas. De igual manera, esta información nos permite evaluar si la estrategia aplicada favorece la conceptualización, análisis y contextualización que hace el estudiante sobre los contenidos que se orientan en el aula de clase. Para ello, se aplicará el Test Revelador del Cociente Mental Triádico, (estilos de pensamiento y dominancias cerebrales) y el Test Gregorc Style Delineator (GSD) (estilos de aprendizaje). Esto permite evidenciar si el cerebro predominante del estudiante es lógico, operativo o emocional y se conformarán equipos de trabajo de tres estudiantes integrando las tres fortalezas. El GSD permite identificar si es del estilo Secuencial Concreto, Secuencial Abstracto, Casual Abstracto, o Casual Concreto, de cuyos resultados se analizará la eficacia de la estrategia con la forma como los estudiantes aprenden.
- 4) Se aplican instrumentos de evaluación previo y posterior a la aplicación de la estrategia para medir nivel de conceptualización matemática por parte de los estudiantes y de esta forma medir cambios en el aprendizaje. Durante todo el proceso de implementación de la estrategia se realizarán observaciones sobre la forma como los estudiantes se desenvuelven en cada uno de los niveles tomando registro en medio digital y/o en un diario de campo.
- 5) Finalmente, se recopila y se procesa la información obtenida en la aplicación de los instrumentos de evaluación procesados mediante la técnica de *Fisher* y de esta información junto con las observaciones realizadas durante el proceso, se obtienen conclusiones en función del objetivo planteado.

4. La estrategia propuesta

Los modelos antes mencionados son de gran relevancia en la consecución de ésta propuesta, para fortalecer los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. En este caso, son la piedra angular para el enfoque que se quiere dar a la propuesta Modelación matemática como un recurso didáctico viable en la enseñanza - aprendizaje de la ciencias concebido desde de la matemática contextual. Se propone la siguiente estrategia al respecto:

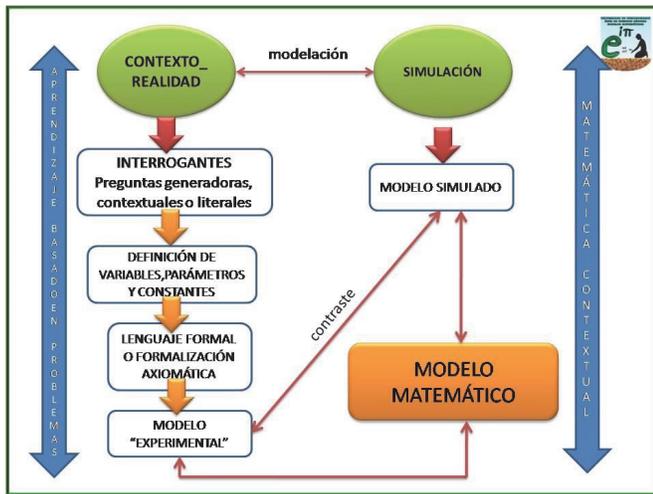


Figura 1. Estrategia REMSI.
Fuente: Grupo de Investigación Axioma, Universidad de Cundinamarca.

La estrategia REMSI (Realidad - Modelación – Simulación), pretende guiar un proceso a partir de la matemática contextual, inicialmente enfrentando al estudiante ante una situación problema o ante un evento [6], de su contexto o realidad para que finalmente esté en capacidad de construir un modelo matemático. La estrategia didáctica acota los siguientes momentos:

Un aspecto altamente importante, es el criterio de evaluación que se aplica sobre la estrategia. Al respecto, se realiza una observación constante del proceso y, se analiza la argumentación

Tabla 1.
Características de la Estrategia Remsi

Momentos	Propósitos y/o Características
1 Test de Honey – Alonso	Identificar estilos de aprendizaje para identificar el tipo de estudiante en activo, reflexivo, pragmático y teórico.
2 Test de estilos de pensamiento basado en la teoría del cerebro triádico de Waldemar de Gregori	Categorizar a los estudiantes en lógico, operativo ó creativo-emocional, a fin de conformar equipos óptimos de trabajo colaborativo
3 Evaluación de conceptos previos	Establecer los conocimientos previos del tema y preconceptos
4 Estrategia REMSI	<i>Realidad:</i> Sistema masa - resorte <i>Modelación:</i> Ecuación de Movimiento <i>Simulación:</i> Utilización de Easy Java Simulation
5 Evaluación conceptual posterior a la aplicación de la estrategia	Debe ser centrada en el modelo matemático en contexto y, además atender al aprendizaje significativo. Debe plantearse problemas, eventos o situaciones, que requieran simulaciones. El grado de complejidad de la situación problema, debe atender al nivel académico del estudiante.

Fuente: Grupo de Investigación Axioma, Universidad de Cundinamarca.

Tabla 2.
Criterios de evaluación cualitativa en modelación matemática.

Escala de valoración	Criterios de Comprensión del evento desde la Modelación Matemática						Argumentación		
	Identifica Parámetros	Define Variables	Relaciona Variables	Soluciona Modelos Matemáticos	Construye Modelos Matemáticos	Argumentación			
						No argumenta	Deficiente	Suficiente	
B-b	■	■	■	■	■	■			
Bajo	■	■	■	■	■	■			
M – b	■	■	■	■	■	■	■		
Medio	■	■	■	■	■	■	■	■	
M – a	■	■	■	■	■	■	■	■	
Alto	■	■	■	■	■	■	■	■	

Fuente: Grupo de Investigación Axioma, Universidad de Cundinamarca.

que presenta el estudiante frente a la resolución de un evento, ante la que se define una escala valorativa de tipo cualitativa. De igual manera, se hace una comparación de los resultados obtenidos en el test de conocimiento previo y posterior a la aplicación de la estrategia, tanto cualitativa como cuantitativamente. Así, los criterios de evaluación cualitativa se definen:

Para la evaluación cuantitativa, se puntúa en concordancia con la selección de la respuesta correcta.

4.1. Sobre la experiencia

La estrategia REMSI se aplicó a estudiantes de primer semestre de la Universidad de Cundinamarca, del programa de Ingeniería Ambiental, para el núcleo de Matemáticas I, abordando el concepto de Razón de Cambio Instantánea cuyo evento objeto de estudio fue el sistema Masa-Resorte. Se conformaron grupos de trabajo de tres

estudiantes de acuerdo con la estrategia. Para tres resortes distintos se evaluó la elongación en condición estática, se tomaron imágenes del sistema en cada una de las situaciones y se analizaron con el programa Tracker que permite visualizar la tabla de datos experimental y ajustar la curva más próxima a la descripción del suceso. A partir de ello, se le sugirió interrogantes como: identificar las variables (elongación, peso), los parámetros incidentes (fricción del aire) en el modelo, relación entre las variables, si esa relación era una función y qué características tenía esa función. Con el programa de Easy Java Simulation se validó el modelo.

En éste nivel, se espera que los estudiantes identifiquen el evento descrito y los parámetros incidentes en él, definan y relacionen las variables que precisan la solución del evento mediante una ecuación o modelo matemático. Es decir, se espera que el estudiante logre un nivel Medio, como se evidencia en la Tabla 2.

Particularmente, para el tema Razón de Cambio Instantánea, se busca a través de la evaluación identificar el grado de comprensión del concepto de derivada a través de la razón de cambio promedio y la razón de cambio instantánea.

Los resultados obtenidos de las pruebas aplicadas se muestran en la Fig. 2.

Como se puede observar en la Fig. 2., si sólo tenemos en cuenta el que el estudiante seleccione la respuesta correcta, el promedio para el grupo experimental en una escala de 0 a 5.0, es de 1.7. Mientras que para el grupo control, el promedio es de 2.3. Aunque son escalas numéricas que pudieran reflejar bajos resultados, se procedió en seguida a analizar bajo la escala cualitativa descrita en la Tabla 2, los razonamientos que describen los estudiantes para seleccionar su respuesta.

En la Fig. 3. se puede observar que la media para cada grupo ha cambiado sustancialmente. Para el grupo experimental la media se encuentra en Medio bajo, mientras que para el grupo control se encuentra entre Bajo y Medio bajo.

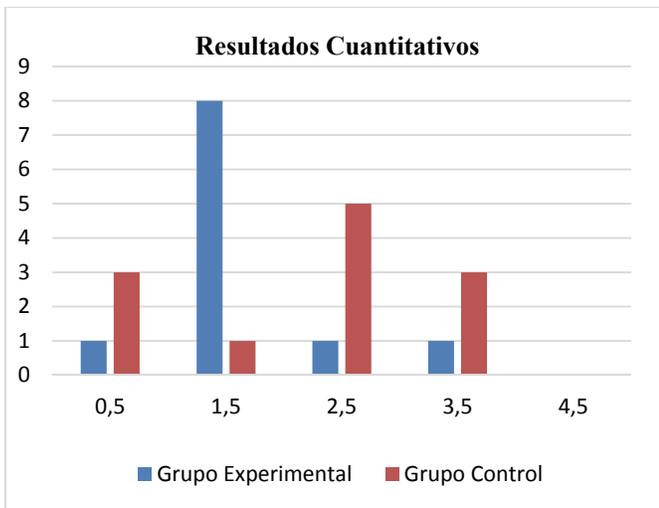


Figura 2. Resultados cuantitativos de la prueba posterior a la aplicación de la estrategia comparando el grupo experimental con el grupo control. Fuente: Los autores

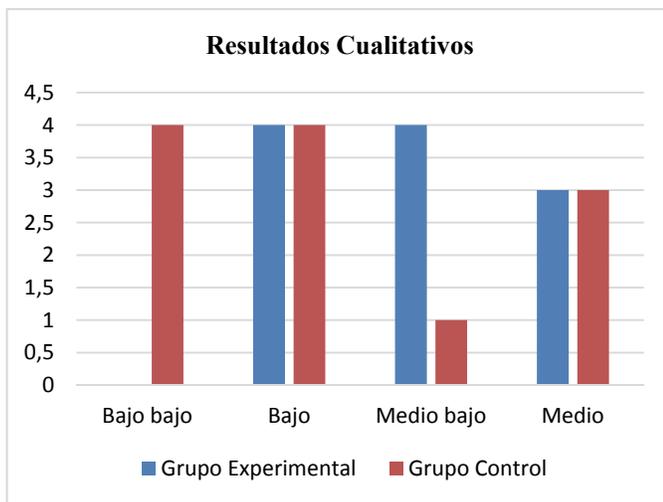


Figura 3. Resultados cualitativos de la prueba posterior a la aplicación de la estrategia comparando el grupo experimental con el grupo control. Fuente: Los autores



Figura 4. Comparación entre los diagramas de correlación para los resultados cuantitativos y cualitativos. Fuente: Los autores

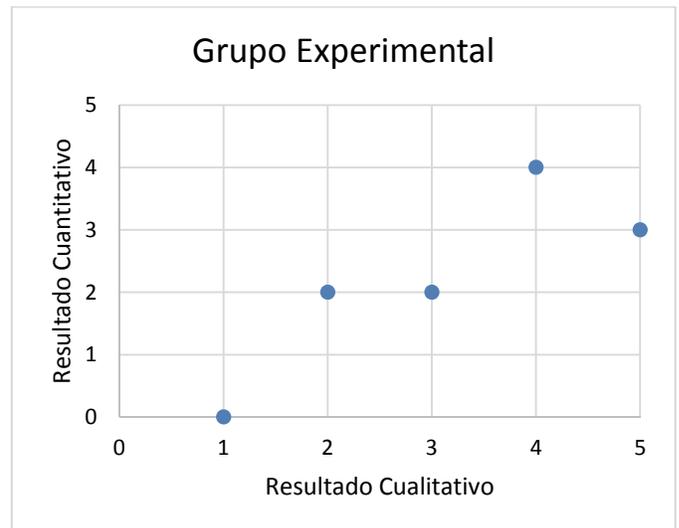


Figura 5. Comparación entre los diagramas de correlación para los resultados cuantitativos y cualitativos. Fuente: Los autores

Así, se puede deducir, de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 2, que todos los estudiantes estuvieron en capacidad de identificar el evento descrito y los parámetros incidentes en él. Sin embargo, el 66.6% de estudiantes del grupo control no argumentaron su respuesta o su argumentación fue deficiente, con respecto a un 36.3% del grupo experimental que argumentaron aunque de manera deficiente.

Un 8.3% de los estudiantes del grupo control se encuentran en nivel Medio bajo, con respecto a un 36.3% del grupo experimental. En éste nivel, se observa que los estudiantes además de estar en capacidad de identificar el evento descrito y los parámetros incidentes en él, definen y relacionan variables a través de una relación. Más su argumentación es deficiente.

Aproximadamente el 27% de los estudiantes, tanto de grupo control como del grupo experimental, lograron el nivel

esperado. Están en capacidad de identificar el evento descrito y los parámetros incidentes en él, definen y relacionan variables a través de una ecuación y argumentan suficientemente su respuesta.

En concordancia con las Figs. 4 y 5, se evidencia que en el grupo experimental existe una tendencia lineal entre el resultado cualitativo y el resultado cuantitativo. En éste sentido, la aplicación de la estrategia nos permite visualizar que cuanto mejor es el resultado cualitativo, mejor es el resultado cuantitativo. Mientas que en el grupo control, aun cuando obtuvieron en la mayoría de los casos la respuesta correcta al problema, sus razonamientos matemáticos no justifican su respuesta. Es decir, la modelación matemática puede ser una muy buena alternativa no sólo en la resolución de un problema, sino en el razonamiento que se hace acerca del mismo.

5. Conclusiones

Reconocer que los procesos educativos y el mismo conocimiento deben desarrollarse y evolucionar con la sociedad, sugiere que las actividades de aula actuales estén apoyadas en el aprendizaje de nuevas herramientas de conocimiento y también integrar las tecnologías a su aprendizaje de una manera asertiva. Se encuentra que es importante ajustar la didáctica de las matemáticas en concordancia con las necesidades actuales.

La matemática contextual presenta un nuevo enfoque para aplicar en la educación superior y, además resulta muy atractivo para los estudiantes, porque les permite repensar su entorno y enfocar su conocimiento y su saber profesional.

La estrategia REMSI permitió a los estudiantes establecer una conexión más tangible entre el conocimiento matemático y las aplicaciones. En general, esta estrategia dota al estudiante de la capacidad de contextualizar en otras disciplinas el conocimiento matemático.

Referencias Bibliográficas

- [1] Camarena, P., Diseño de un curso de ecuaciones diferenciales en el contexto de los circuitos eléctricos. Tesis de Maestría en Ciencias con especialidad en Matemática Educativa, CINVESTAV-IPN, México, 1987.
- [2] CORD, Enseñanza contextual de la matemática. Piedra angular del cambio de paradigmas. EEUU: CORD Communications Inc. 2003.
- [3] Ausubel-Novak-Hanesian., Psicología Educativa: Un punto de vista cognoscitivo. 2° Ed., TRILLAS, México, 1983.
- [4] Camarena, P., El currículo de las matemáticas en ingeniería. Mesas redondas sobre definición de líneas de investigación en el IPN, México, 1984.
- [5] Camarena, P., La enseñanza de las matemáticas en el contexto de la ingeniería. XXVIII Congreso Nacional de la Sociedad Matemática Mexicana, México, 1995.
- [6] Camarena, P., Hacia la integración del conocimiento: Matemáticas e Ingeniería, 1999.
- [7] Camarena, P., Los modelos matemáticos como etapa de la matemática en el contexto de la ingeniería. Reporte de investigación No. CGPI-IPN: 990413. Editorial ESIME-IPN. México, 2000a.
- [8] Rojas, G., Salas, R. y Jiménez, C., Estilos de aprendizaje y estilos de pensamiento entre estudiantes universitarios. *Estud. pedagóg.* [online]. 32(1), pp. 49-75, 2006. [Fecha de consulta: 01 de Marzo 2014]. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07052006000100004)

07052006000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es DOI: 10.4067/S0718-07052006000100004.

- [9] Rodríguez, N., Diseños experimentales en educación. *Revista de Pedagogía.* XXXII(91), pp. 147-158, 2011. [En Línea]. [Fecha de consulta: 1 de marzo de 2014] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65926549009>

A. Bravo-Bohórquez, recibió el título de Lic. en Física en 2007, de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia, el título de MSc. en Ciencias Física en 2014, de la Universidad Nacional, Bogotá, Colombia, ha trabajado como docente de la Universidad de Cundinamarca, Colombia desde el 2011, en el área de Ciencias Básicas y desde el 2012 se ha desarrollado en proyecto de Investigación Modelación Matemática desde la Matemática Contextual.

ORCID: 0000-0001-7655-4278

L.J. Castañeda-Rodríguez, recibió el título de Lic. en Matemáticas y Física en 2003, de la Universidad de Cundinamarca, Colombia, el Título de Esp. en Gerencia de las Telecomunicaciones de la Escuela de Comunicaciones Militares de Colombia y actualmente es candidata a obtener el título de MSc. en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado como docente de la Universidad de Cundinamarca desde el año 2004 en el Área de Ciencias Básicas. Desde el 2012 ha desarrollado trabajo de investigación en Modelación Matemática desde la Matemática Contextual. Es líder del Grupo de Investigación Axioma.

ORCID: 0000-0002-6970-9144

H.I. Hernández-Yomayusa, recibió el título de Ing. Industrial en 2000, de la Universidad América, Bogotá, Colombia, el título de Esp. en Seguridad Física y de la Informática en 2008, de la Escuela de Comunicaciones Militares de Colombia; ha trabajado como docente de la Universidad de Cundinamarca, Colombia desde el año 2007 y en la Universidad de la Sabana, Colombia desde el 2014, en el área de Ciencias Básicas y desde el 2012 ha desarrollado trabajo de investigación en Modelación Matemática desde la Matemática Contextual.

ORCID: 0000-0001-7849-4133

L.A. Hernández-Hernández, recibió de Ing. Agrícola en 2002, de la Universidad Nacional de Colombia, el título de Esp. en Gerencia de Proyectos Educativos en 2012, de la Universidad Cooperativa de Colombia. Actualmente, cursa el MSc. Internacional en Auditoría y Gestión Empresarial con la Fundación Universitaria Iberoamericana, Bogotá, Colombia. Ha trabajado como docente de la Universidad de Nacional de Colombia en el año 2003 y en la Universidad de Cundinamarca desde el año 2013. Desde el 2012 ha desarrollado trabajo de investigación en Modelación Matemática desde la Matemática Contextual.

ORCID: 0000-0003-4642-5648

Influencia de los dominios conceptuales en las competencias académicas: Área de física para ingeniería

Guillermo Mejía-Aguilar ^a & Diana Marcela Franco-Duran ^b

^a Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. gmejia@uis.edu.co

^b Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. diana.franco2@correo.uis.edu.co

Resumen— Muchos programas de ingeniería en Colombia no cuentan con una documentación sistemática y consistente sobre el desempeño académico de sus estudiantes. Los esfuerzos realizados a nivel nacional se han centrado en diseñar e implementar pruebas estandarizadas que permitan, de manera consistente, registrar únicamente resultados, y se le ha delegado a las universidades la responsabilidad de diseñar sus sistemas de documentación y análisis sistemático. El presente estudio analizó el desempeño académico en el área de física de 618 estudiantes de ingeniería de la Universidad Industrial de Santander –Colombia. Los resultados muestran evidencia estadística para afirmar que la enseñanza de la física en ingeniería promueve notablemente el desarrollo de la habilidad de abstracción y síntesis a través de los temas de campo gravitacional, eléctrico, magnético y electromagnético, principalmente. Igualmente se encontró evidencia para indicar que los estudiantes de ingeniería mecánica demuestran un desempeño relativamente mejor comparado con otras ingenierías.

Recibido: 6 de septiembre de 2015. Revisado: 1 de noviembre de 2015.
Aceptado: 25 de noviembre de 2015.

Influence of knowledge on academic skills: Physics for engineering

Palabras Clave— Competencias Académicas, Dominios Conceptuales, Pruebas EXIM.

Abstract— Several engineering programs in Colombia lack a systematic and consistent documentation upon effectiveness of student academic performance. Colombian public authorities have focused on design and implementation of standardized tests, which only report outcomes; while responsibility of monitoring systems for academic performance of students has been given to higher education institutions. This study analyzed the academic performance of engineering students in physics to explain the development of their academic skills. The sample was comprised of 618 engineering students at the Universidad Industrial de Santander –Colombia. The results indicated that there is statistical evidence to explain that for engineering students, learning physics improves considerably the academic skill of abstraction and synthesis through specific knowledge about gravitational, electric, magnetic and electromagnetic field, mainly. Furthermore, the results showed statistical evidence to indicate that Mechanical Engineering students present a relative performance better than those from the other engineering programs.

Keywords— Academic Skills, Conceptual Domain, EXIM Test.

1. Introducción

Durante la primera década del siglo XXI, la educación en ingeniería ha procurado plantear estratégicamente el perfil del ingeniero del nuevo siglo. Se han acuñado nuevos conceptos, como el de ingeniería global, la cual requiere nuevos desempeños, y por ello un tratamiento diferente a los fundamentos y competencias académicas con los que se forman

a los ingenieros en las instituciones de educación superior (IES). Actualmente se percibe una mayor cooperación entre la academia y la industria para formular las características de este ingeniero global. La industria, como portadora de necesidades reales, ha solicitado a las IES estrategias de desarrollo profesional continuado, y también, ha sugerido trasladar a los salones de clases dichas necesidades como estrategia de enseñanza. La educación en ingeniería debe responder adecuadamente a la velocidad del cambio tecnológico y a las actuales prácticas de ingeniería que se dan en las empresas. Es así, que la Asociación Americana de Ingenieros Civiles considera a la ingeniería civil como una profesión de permanente aprendizaje para atender adecuadamente a la sociedad que sirve [1]. En consecuencia, la educación en ingeniería requiere reformas de sus currículos y estrategias de enseñanza para cumplir con lo que la sociedad demanda.

La Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI) ha promovido la modernización de estructuras curriculares, la homologación internacional de estudios y el aseguramiento de la calidad de la educación en ingeniería [2]. ACOFI diseñó la prueba estandarizada EXIM para ser aplicada a los estudiantes de ingeniería que han terminado el ciclo básico de formación universitaria, como herramienta de seguimiento al desempeño en la formación de ingenieros [3]. Esta prueba se ajusta a las políticas nacionales de aseguramiento de la calidad y evaluación por competencias de la educación superior en Colombia, como lo establece el Decreto Núm. 1781 de 2003 [4]. EXIM ha sido administrada por ACOFI desde el año 2006 y han aplicado anualmente la prueba en promedio 25 instituciones de educación superior y 1.300 estudiantes [5].

Muchos programas de ingeniería en Colombia no cuentan con una documentación sistemática y consistente sobre índices de efectividad del desempeño académico de sus estudiantes. Los esfuerzos realizados a nivel nacional, se han centrado en diseñar e implementar pruebas estandarizadas que permitan, de manera consistente, registrar únicamente resultados. Mientras que se ha delegado a las IES la responsabilidad de diseñar sus sistemas de documentación y análisis sistemático. Es una necesidad latente realizar análisis más elaborados y sistemáticos sobre el desempeño académico en ingeniería, debido a la preocupación generalizada por el bajo nivel de competencias académicas de los estudiantes que ingresan a la universidad.

Algunos casos de estudio aislados han mostrado resultados que sirven como insumos para análisis más elaborados. En Colombia, algunos estudios señalan como una debilidad la formación académica adquirida durante los estudios secundarios, la cual influye en el desempeño de los estudiantes de los primeros niveles de formación universitaria [6]. Otros, por su parte, muestran que en los estudiantes, el conocimiento adquirido influye sobre ciertas competencias específicas, de acuerdo al área disciplinar. Un estudio sobre el desempeño de estudiantes de ingeniería de la Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas (FIFM) de la Universidad Industrial de Santander (UIS) indicó que los conocimientos adquiridos en matemáticas permitió que los estudiantes presentaran un mejor desempeño en la competencia de aplicar conocimientos en la práctica, y no en la de resolución de problemas, o en la de abstracción, análisis y síntesis [7]. En otros países, algunos estudios sugieren que los estudiantes que ingresan a las universidades tienen una mejor fundamentación y desempeño en matemáticas que en física; por ello, invitan a revisar los programas y currículos en la enseñanza secundaria para detectar temas no cubiertos durante esta formación previa [8].

Por lo anterior, resulta de interés analizar el desempeño académico de los estudiantes de ingeniería en áreas básicas como física, para explicar el desarrollo de ciertas competencias académicas. Los resultados de estos estudios servirán como insumo para análisis de desempeño más sistemáticos y continuados. El presente estudio espera responder a este interés, basado en los resultados de las pruebas EXIM. Más que el análisis de los resultados finales de las pruebas, que en cierto modo nos indicaría el grado de desempeño del estudiante, el interés del estudio es conocer sobre sus procesos cognitivos y su grado de efectividad, analizando los dominios conceptuales y competencias evaluadas por la prueba EXIM en el área de física.

1.1. Desempeño académico

En la literatura se han utilizado indistintamente los términos desempeño y rendimiento para referirse a la capacidad de respuesta de los educandos frente a los compromisos académicos adquiridos en un programa educativo. Esta capacidad de respuesta se mide con base en un conjunto de conocimientos y habilidades, requerido para garantizar un desenvolvimiento profesional adecuado.

Adoptar una definición de desempeño académico es difícil, debido a la complejidad de sus múltiples factores involucrados de tipo académico, social, económico y psicológico. Para el estudio, el desempeño académico es un indicador de logro de los educandos dentro de un sistema de educación, el cual se obtiene a través de pruebas estandarizadas, y proporciona información sobre los efectos académicos de los procesos de enseñanza y aprendizaje en los alumnos, con respecto a un conjunto específico de conocimientos y habilidades.

Para evaluar el desempeño académico en los términos tratados en el presente artículo, se emplearán los resultados de la prueba estandarizada EXIM en el área de física, orientados por lo que dispone la Resolución Núm. 2773 de 2003 del Ministerio de Educación Nacional [9], donde se establece que la formación básica científica del ingeniero en Colombia debe fundamentarse en los campos disciplinares de las matemáticas y ciencias naturales. Asimismo, la Asociación Americana de Ingenieros considera

indispensable, dentro del perfil del ingeniero del 2025, la apropiación de conocimientos fundamentales en matemáticas y física [1]. Estas áreas del saber brindan las herramientas conceptuales necesarias para entender y explicar los fenómenos físicos a los que se enfrentan un ingeniero en el ejercicio de su profesión.

1.2. Pruebas EXIM

Las pruebas estandarizadas son exámenes aplicados a estudiantes de un sistema educativo, las cuales ofrecen garantía de uniformidad en los criterios de evaluación, objetividad en las preguntas realizadas y facilidad para comparar cuantitativamente los resultados, tanto a nivel de estudiante como a nivel de institución educativa. Aunque estas pruebas no constituyen una medida absoluta de la calidad de la educación, ofrecen información relevante para diseñar estrategias y aplicar políticas de mejoramiento del sistema en general.

EXIM es una prueba estandarizada que evalúa 4 áreas disciplinares básicas: Matemáticas, Física, Química y Biología. La prueba está compuesta por 140 preguntas, de las cuales 45 corresponden a matemáticas; 35 a física; 30 a química; y 30 a biología. Cada área disciplinar está compuesta por dos categorías de evaluación: dominios conceptuales y competencias académicas [5]. ACOFI ha adoptado una escala de 100 puntos para clasificar el desempeño de los estudiantes de acuerdo al resultado obtenido en el test. Si el resultado corresponde a un puntaje entre 71 y 100 puntos, se clasifica como desempeño alto; puntajes entre 50 y 70, desempeño medio; y puntajes entre 0 y 49, desempeño bajo. Con respecto al grado de confiabilidad y validez de la prueba EXIM, un estudio realizado por [10] reportó para el área de física índices psicométricos moderados: índice promedio de dificultad de 0,30 y de discriminación de 0,32; e índice de fiabilidad moderado con un índice de consistencia interna $\alpha = 0,55$.

2. Metodología

Esta sección enuncia los objetivos y el alcance del estudio, describe el método de investigación y las técnicas de análisis estadísticos propuestos para lograr dichos objetivos, y finalmente, describe la composición de la muestra y las variables involucradas en los modelos estadísticos.

2.1. Objetivos y alcance

Para responder al interés enunciado en la introducción, el estudio analizó los resultados logrados por los estudiantes de la FIFM de la UIS en el área de física de la prueba EXIM. De manera específica, se propuso: (1) describir el grado de influencia que los dominios conceptuales ejercen en las competencias académicas de los estudiantes de ingeniería y (2) determinar si el tipo de programa en ingeniería influye en el desempeño académico de los estudiantes.

Estos objetivos se encuentran sujetos al siguiente alcance: (1) el período de observación del estudio comprendió los años 2009 al 2014; (2) la muestra estuvo conformada por estudiantes de la FIFM pertenecientes a las escuelas de: Ingeniería Civil, Ingeniería de Sistemas, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Industrial e Ingeniería Mecánica; y (3) los resultados analizados fueron aquellos obtenidos por los

estudiantes en los dominios conceptuales y competencias del área de física de la prueba EXIM.

2.2. Diseño de la investigación y método de análisis

En el estudio se implementó una investigación cuantitativa de correlación basada en modelos de regresión lineal. Se establecieron relaciones de asociación entre los dominios conceptuales y las competencias, para describir la variación de los resultados obtenidos en las competencias en función de los resultados obtenidos en los dominios. Los análisis se realizaron con el programa comercial IBM SPSS™ versión 21.

Cada objetivo específico requirió la definición de un modelo estadístico de análisis. Los modelos de regresión lineal múltiple fueron empleados para responder al primer objetivo específico de este estudio. Con estos modelos se buscó explicar: a) la proporción de la variación de una variable dependiente (Y), que para el estudio representa la competencia, influenciada por un grupo de variables independientes (X_i), que representan los dominios conceptuales; y b) el grado de influencia (o nivel de importancia relativa) de cada variable independiente (dominio conceptual), sobre la variable dependiente (competencia). La ecuación tipo de este modelo se muestra a continuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon \quad (1)$$

Por su parte, los modelos lineales generalizados de medidas repetidas fueron empleados para responder al segundo objetivo específico. Con estos modelos se plantearon hipótesis de influencia de los programas de ingeniería en el desempeño académico y se determinó si: a) hay efecto combinado de influencia entre el programa de ingeniería, los dominios conceptuales y las competencias; y b) dado el caso de no encontrar evidencia de efecto combinado, se determinó de manera independiente, el grado de influencia del programa de ingeniería en los dominios y las competencias. La ecuación tipo de este modelo se muestra a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_j X_i + \beta_k X_i + (\alpha\beta)_{jk} X_i + \varepsilon \quad (2)$$

Tabla 1
Distribución de la muestra por programa

Escuela	N	%
Ingeniería Civil	116	17%
Ingeniería de Sistemas	123	18%
Ingeniería Eléctrica	96	14%
Ingeniería Electrónica	112	16%
Ingeniería Industrial	114	17%
Ingeniería Mecánica	126	18%
Total	687	100%

Fuente: Los autores

Tabla 2
Distribución por año

Año	N	%
2009	100	15%
2010	113	16%
2011	74	11%
2012	181	26%
2013	107	16%
2014	112	16%
Total	687	100%

Fuente: Los autores

2.3. Composición de la muestra

La muestra poblacional estuvo conformada por 687 estudiantes de la FIFM, cuya composición por programa se presenta en la Tabla 1.

En este estudio se analizaron los resultados de la prueba EXIM correspondientes al período 2009-2014, cuya distribución porcentual se muestra en la Tabla 2.

2.4. Variables del Estudio

El desempeño de los estudiantes en el área de física fue medido a través de los componentes de evaluación definidos por ACOFI para la prueba EXIM: dominios conceptuales y competencias. Los dominios conceptuales y competencias representan las variables involucradas en los modelos estadísticos del estudio.

Los dominios conceptuales de evaluación fueron:

- *Campos (FK1)*: se refiere al conjunto de conocimientos sobre los campos gravitacional, eléctrico, magnético y electromagnético; sobre las leyes de Newton, relatividad y temas relacionados.
- *Ondas (FK2)*: se refiere al conjunto de conocimientos sobre ondas mecánicas y electromagnéticas, vibraciones, velocidad de transmisión de una onda según el medio, entre otros.
- *Sistemas de partículas (FK3)*: se refiere al conjunto de conocimientos sobre termodinámica, fluidos, estadística, sólidos y redes cristalinas. Comprende las leyes de la termodinámica, entropía, calorimetría, y diagramas de Carnot, entre otros.
- *Medición y modelos experimentales (FK4)*: se refiere al conjunto de conocimientos sobre la teoría de errores, los modelos experimentales, análisis dinámico de cuerpo libre, análisis de movimiento bajo la acción de una fuerza conservativa, vibración, ondas y efectos de interferencia, entre otros.

Las competencias académicas evaluadas fueron:

- *Abstraer-analizar-sintetizar (FC1)*: da cuenta sobre la habilidad para identificar, interpretar, describir, representar, modelar, analizar y sintetizar situaciones reales para explicarlas y obtener conclusiones lógicas.
- *Aplicar conocimientos en la práctica (FC2)*: da cuenta sobre la habilidad para transferir los conocimientos teóricos a la solución de una situación planteada de poca complejidad.
- *Identificar-plantear-resolver problemas (FC3)*: da cuenta sobre la habilidad para enfrentarse ante una situación real que alberga un problema a resolver, encontrando las soluciones más adecuadas, construyendo todos los sistemas de representación necesarios para resolverlo.

3. Resultados

Esta sección presenta los resultados de los modelos de regresión lineal múltiple que evaluaron las hipótesis de influencia de los dominios conceptuales en las competencias, y posteriormente, los resultados de los modelos lineales generalizados que evaluaron las hipótesis de influencia de los programas de ingeniería en el desempeño académico de los estudiantes.

3.1. Influencia de los dominios en las competencias

La Tabla 3 presenta el resumen estadístico de las variables involucradas en los modelos de regresión lineal múltiple. El dominio conceptual “*Campos (FK1)*” muestra el mejor promedio, y a su vez, la mayor desviación dentro del grupo de dominios conceptuales ($\bar{X} = 53,2$; $STD = 11,7$; $N = 687$). Por su parte, el dominio conceptual “*Sistema de partículas (FK3)*” muestra el más bajo promedio, y a su vez, la menor desviación ($\bar{X} = 50,8$; $STD = 9,8$; $N = 687$). En cuanto a las competencias, “*Abstraer-analizar-sintetizar (FC1)*” muestra ligeramente el mejor promedio y la mejor desviación ($\bar{X} = 52,7$; $STD = 10,6$; $N = 687$), mientras que “*Aplicar conocimientos en la práctica (FC2)*” muestra ligeramente el promedio más bajo y la mayor desviación ($\bar{X} = 52,1$; $STD = 11,1$; $N = 687$).

Todos los supuestos requeridos para los modelos de regresión lineal se cumplieron plenamente. El supuesto de multicolinealidad, con indicadores de tolerancia $\geq 0,2$, y factores de inflación de varianza (FIV) $\leq 3,0$, indicó que los modelos de regresión no presentaron correlaciones fuertes entre las variables predictoras o explicativas. Adicionalmente, se observó que la distribución de los residuos en cada modelo siguió una distribución normal.

Una vez comprobado que no se violaban los supuestos básicos para los modelos de regresión lineal múltiple, se plantearon 5

Tabla 3
Estadísticas básicas de los dominios y competencias en Física (N=687)

	FK1	FK2	FK3	FK4	FC1	FC2	FC3
Media	53,2	52,4	50,8	51,9	52,7	52,1	52,4
Error	0,45	0,43	0,37	0,38	0,40	0,43	0,41
STD	11,7	11,3	9,8	10,0	10,6	11,2	10,7
Mínimo	31	31	20	29	29	26	29
Máximo	89	79	79	83	82	89	85
Asimetría	0,499	0,172	-0,001	-0,050	0,102	0,238	0,198
Error	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093
Curtosis	-0,14	-0,71	-0,50	-0,52	-0,42	-0,41	-0,33
Error	0,186	0,186	0,186	0,186	0,186	0,186	0,186

Fuente: Los autores

modelos de regresión para evaluar la asociación entre los dominios conceptuales y las competencias (ver Tabla 4). Los primeros 3 modelos describen la asociación entre los 4 dominios conceptuales (*FK1*, *FK2*, *FK3* y *FK4*) y las 3 competencias (*FC1*, *FC2* y *FC3*), mientras que los 2 últimos describen la asociación de las competencias entre sí. El estadístico R^2 , evaluado estadísticamente, indicó el porcentaje de variación de la variable dependiente que es explicada por cada modelo. Los resultados del análisis indican que en el modelo 1, cuyo $R^2 = 0,71$, los dominios conceptuales explican el 71% del comportamiento de la competencia “*Abstraer-analizar-sintetizar (FC1)*”. Es decir, que la influencia de los dominios conceptuales se da en la mayor proporción sobre la competencia de abstracción y síntesis. Mientras que en el modelo 3, el comportamiento de la competencia “*Identificar-plantear-resolver problemas (FC3)*” es explicada en 57% por dichos dominios conceptuales. Es decir, que la influencia de los dominios conceptuales se da en la menor proporción sobre la competencia de resolución de problemas. Adicionalmente, cuando se plantearon los modelos de influencia entre las competencias (modelos 4 y 5), el grado de explicación de los modelos resultó ser más bajo (R^2 : 26% -modelo 4 y 24% -modelo 5) que el de los modelos basados en dominios conceptuales para explicar las competencias.

Tabla 4
Valores de R^2 de los modelos (N = 687)

Modelo No	Variable dependiente	Variables independientes	R^2	F	Gl	Significado ($\alpha=0,05$)
1	FC1 - <i>Abstraer-analizar-sintetizar</i>	FK1, FK2, FK3, FK4	0,71	426,30	4	$p < 0,001$
2	FC2 - <i>Aplicar conocimientos en la práctica</i>	FK1, FK2, FK3, FK4	0,64	308,69	4	$p < 0,001$
3	FC3 - <i>Identificar-plantear-resolver problemas</i>	FK1, FK2, FK3, FK4	0,55	213,05	4	$p < 0,001$
4	FC3 - <i>Identificar-plantear-resolver problemas</i>	FC1, FC2	0,26	122,86	2	$p < 0,001$
5	FC1 - <i>Abstraer-analizar-sintetizar</i>	FC2	0,24	213,25	1	$p < 0,001$

Fuente: Los autores

Tabla 5
Orden de importancia de las variables independientes (N = 687)

Modelo	Variable Dependiente	Variable Independiente	Coefficiente β_i estandarizados	Significado ($\alpha = 0,05$)	Orden de Importancia
M1	FC1	FK1	0,44	$p < 0,001$	1
		FK4	0,37	$p < 0,001$	2
		FK2	0,21	$p < 0,001$	3
		FK3	0,18	$p < 0,001$	4
M2	FC2	FK1	0,46	$p < 0,001$	1
		FK3	0,29	$p < 0,001$	2
		FK2	0,21	$p < 0,001$	3
		FK4	0,19	$p < 0,001$	4
M3	FC3	FK1	0,37	$p < 0,001$	1
		FK3	0,36	$p < 0,001$	2
		FK2	0,23	$p < 0,001$	3
		FK4	0,10	$p = 0,001$	4
M4	FC3	FC2	0,31	$p < 0,001$	1
		FC1	0,29	$p < 0,001$	2
M5	FC1	FC2	0,49	$p < 0,001$	-

Fuente: Los autores

Una vez evaluado el grado de variación explicada por cada modelo, el análisis del grado de influencia de cada dominio sobre la competencia de cada modelo, mostró los siguientes resultados (ver Tabla 5).

El modelo 1 muestra que los resultados de la competencia “*Abstraer-analizar-sintetizar (FC1)*” son influenciados de manera notable por los resultados del dominio conceptual “*Campos (FK1)*” (β_i : 0,44), mientras que el dominio “*Sistema de partículas (FK3)*” no tiene mucha incidencia como factor de explicación (β_i : 0,18). El modelo 2 muestra que la competencia “*Aplicar conocimientos en la práctica (FC2)*” es influenciada de manera predominante por el dominio “*Campos (FK1)*” (β_i : 0,46), mientras que el dominio “*Medición y modelos experimentales (FK4)*” tiene baja incidencia (β_i : 0,19). El modelo 3 muestra que la competencia “*Identificar-plantear-resolver problemas (FC3)*” es influenciada en mayor proporción por el dominio “*Campos (FK1)*” (β_i : 0,37), mientras que el dominio “*Medición y modelos experimentales (FK4)*” no tiene mucha incidencia como factor de explicación (β_i : 0,10). En términos generales, los temas sobre “*Campos*” fueron los que mostraron mayor grado de influencia en los resultados de las competencias, mientras que los temas sobre “*Medición y modelos experimentales*” mostraron el menor grado de influencia en los resultados de las competencias.

3.2. Influencia del programa en el desempeño académico

Los diferentes programas de ingeniería que están bajo la coordinación de la FIFM de la UIS, mostraron los siguientes promedios en los dominios y competencias del área de física. En la Fig. 1 se observa que el programa de Ingeniería Mecánica presentó los mejores desempeños en casi todos los dominios excepto en el dominio “Ondas (FK2)”, donde la Escuela de Ingeniería Electrónica mostró el mejor desempeño. Igualmente se observa que el programa de Ingeniería Mecánica presentó los mejores promedios en todas las competencias.

Todos los supuestos asumidos para el modelo lineal general de medidas repetidas fueron revisados y comprobados: la prueba de Box (M de Box = 161,94; $p = 0,15$); la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene ($p > 0,05$), la cual se cumplió para todos los dominios y competencias excepto para el dominio “Campos (FK1)” ($p < 0,05$); y la prueba de Mauchly que indicó ajustar la prueba de efectos ($p < 0,05$). La evaluación del efecto de interacción resultó estadísticamente significativa $F(24,7; 3.363) = 4,24$; $p < 0,05$. Este resultado indica que hay evidencia estadística suficiente para afirmar que, en el área de física de la prueba EXIM, los programas de ingeniería generan influencia en los dominios y las competencias, es decir, en el desempeño de los estudiantes. La Fig. 1 muestra cómo el programa de Ingeniería Mecánica muestra que sus estudiantes tienen un desempeño superior a los otros programas. Los demás programas no mostraron evidencia estadística suficiente para diferenciarse entre ellos. El Anexo 1 muestra un resumen estadístico básico de cada dominio y competencia, diferenciado por programa de ingeniería.

La Figura 1 indica además, que los estudiantes de los programas de ingeniería de la FIFM, diferentes al de Ingeniería Mecánica, tienen un desempeño similar. Se puede observar que Ingeniería Electrónica muestra un desempeño de sus estudiantes relativamente superior dentro de este grupo de programas, mientras que Ingeniería Civil muestra un desempeño de sus estudiantes relativamente inferior dentro de este grupo de programas. Hay programas de ingeniería que muestran un desempeño marcado en ciertos dominios. Por ejemplo, el programa de Ingeniería Electrónica muestra mejores resultados de sus estudiantes en los dominios

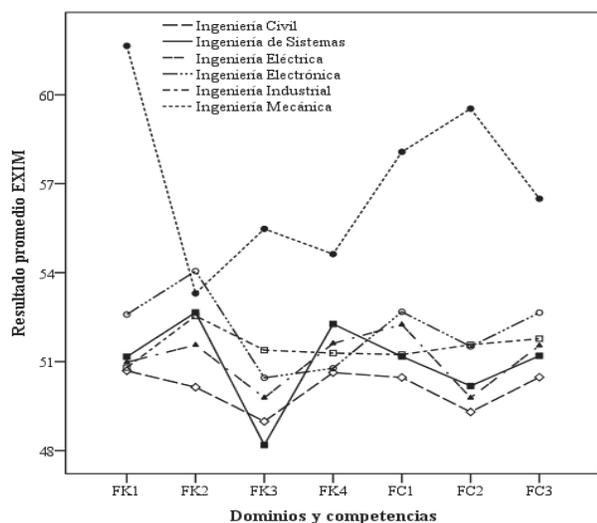


Figura 1. Valores promedio de los dominios y competencias en física por programa.

Fuente: Los autores

“Campos (FK1)” y “Ondas (FK2)”, mientras que el programa de Ingeniería Industrial muestra mejores resultados de sus estudiantes en el dominio “Sistema de Partículas (FK3)” y el programa de Ingeniería de Sistemas muestra mejores resultados en el dominio “Medición experimental (FK4).”

4. Discusión

4.1. Influencia de los dominios conceptuales en las competencias

Los resultados obtenidos sugieren que el conocimiento en física reflejado a través de sus dominios influye o explica en la mayor proporción el desempeño en la competencia “Abstraer-analizar-sintetizar”, y en la menor proporción, el desempeño en la competencia “Identificar-plantear-resolver problemas.” El conocimiento sobre temas relacionados con “Campos” -campo gravitacional, eléctrico, magnético y electromagnético, influye o explica en mayor proporción el desempeño en las competencias académicas. Es decir que, con los estudiantes de la FIFM de la UIS, la enseñanza de la física les desarrolla notablemente la habilidad de abstracción y síntesis a través de los temas de campo gravitacional, eléctrico, magnético, electromagnético y leyes de Newton, principalmente.

Por otro lado, los resultados muestran que los estudiantes tienen un bajo desempeño en la competencia “Identificar-plantear-resolver problemas.”. Llama la atención que los temas de Medición experimental mostraron los más bajos niveles de influencia sobre la competencia de resolver problemas, contrario a lo que se puede suponer, ya que temas relacionados modelos experimentales facilitarían el desarrollo de la competencia para resolver problemas. Estos resultados van en la misma dirección de otros estudios donde se muestra que estudiantes del ciclo básico de ingeniería en sus cursos de física demuestran más habilidad para aplicar procedimientos matemáticos que para usar el método científico en la resolución de problemas [11].

El estudio corrobora los resultados encontrados en contextos diferentes al de educación en ingeniería, pero relacionados con el aprendizaje de la física, donde se sugiere la existencia de una relación de dependencia entre el contenido (dominio conceptual) y el nivel cognitivo (competencia) desarrollado por los estudiantes. La forma de enseñar sobre cómo usar el conocimiento influye en el desarrollo de las competencias académicas del estudiante. Algunos autores sugieren crear espacios de enseñanza donde el conocimiento y la habilidad se vuelvan objetivos de la enseñanza. No solo basta adquirir el marco conceptual, sino, desarrollar las competencias para pensar y razonar sobre estos conceptos y cómo usarlos en nuestras actividades cotidianas [12]. Por su parte [13] encontró que el tipo de conocimiento (o forma en que el conocimiento es enseñado) influye sobre la habilidad para resolver problemas. El conocimiento declarativo, la enseñanza de simples hechos y leyes, le permite a los estudiantes de los primeros niveles de educación universitaria identificar estos conceptos (leyes físicas) en un problema y luego relacionarlos. Hay estudiantes que pueden describir la estructura conceptual de la disciplina muy bien sin desarrollar con el mismo éxito la capacidad para resolver problemas, tal como sucede ocasionalmente con la enseñanza de la física, donde a veces puede suceder que esté más orientada a la estructura conceptual (las leyes) que al desarrollo de una

competencia específica. [14] encontró que aplicando estrategias de enseñanza problémica con fundamento en interpretar situaciones, establecer condiciones y plantear hipótesis mejora el desempeño de los estudiantes de ingeniería en el área de la física.

A partir de los resultados de este estudio, sería interesante comprobar si la naturaleza de los temas evaluados desarrolla ciertas competencias de manera específica, es decir, si los temas relacionados con el campo gravitacional, eléctrico, magnético y electromagnético desarrollan con mayor incidencia la competencia de abstraer y sintetizar. En este sentido, autores afirman que la calidad del conocimiento sobre cierto dominio conceptual influye en el desempeño en esa área de conocimiento. [15] encontró que estudiantes de los primeros niveles de la educación universitaria responden a las características generales de un problema, mientras que aquellos estudiantes con mayor nivel de conocimiento, responden a estructuras más complejas del problema. Los estudiantes de los primeros niveles pueden tener dificultad al analizar problemas basados en sus conocimientos básicos sobre conceptos y leyes (ej. Campo gravitacional, campo magnético, campo eléctrico, etc.), mientras que los estudiantes de niveles más avanzados contarán con cierta ventaja al analizar el problema

basado en conceptos más complejos (ej. Conservación de la energía). Estos hallazgos explican en cierta medida, por qué los dominios conceptuales evaluados en este estudio influyen más en la competencia de abstraer, y no tanto, en la de resolver problemas.

4.2. Influencia de los programas en el desempeño académico

El estudio mostró evidencia estadística suficiente para afirmar que los dominios y competencias interactúan con los programas de ingeniería generando un efecto de influencia sobre el desempeño de los estudiantes en las pruebas. Los resultados muestran el predominio del programa de Ingeniería Mecánica en el desempeño de la mayoría de los dominios y competencias, excepto en el dominio conceptual *Ondas*, donde el programa de Ingeniería Electrónica mostró el mejor desempeño. Los otros programas de ingeniería de la FIFM, diferentes al de Ingeniería Mecánica, mostraron que sus estudiantes tienen un desempeño similar, siendo el programa de Ingeniería Civil el de menor nivel de desempeño, aunque no hay evidencia estadística para sugerir diferencia de desempeño entre este grupo de programas.

Anexo 1

Estadísticas básicas de las competencias evaluadas en Física (N=687)

Dominio/ Competencia	Programa	Media	DS	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
FK1 Campos	Ing. Civil	50,7	9,8	31	80	0,208	-0,116
	Ing. de Sistemas	51,2	10,4	32	80	0,464	-0,082
	Ing. Eléctrica	51,0	10,1	32	84	0,727	0,43
	Ing. Electrónica	52,6	11,1	31	85	0,42	-0,179
	Ing. Industrial	50,8	10,2	32	79	0,371	-0,216
FK2 Ondas	Ing. Mecánica	61,7	13,5	32	89	-0,130	-0,718
	Ing. Civil	50,1	11,6	31	79	0,437	-0,436
	Ing. de Sistemas	52,7	11,5	31	79	0,204	-0,762
	Ing. Eléctrica	51,6	11,9	32	79	0,466	-0,563
	Ing. Electrónica	54,1	10,8	31	79	0,111	-0,546
FK3 Sistemas de partículas	Ing. Industrial	52,5	10,8	33	75	-0,128	-0,819
	Ing. Mecánica	53,3	11,0	33	77	0,018	-0,760
	Ing. Civil	49,0	9,7	26	68	-0,039	-0,447
	Ing. de Sistemas	48,2	8,7	32	66	0,049	-0,776
	Ing. Eléctrica	49,8	9,8	32	79	0,129	-0,251
FK4 Medición experimental	Ing. Electrónica	50,5	9,9	20	75	-0,053	0,039
	Ing. Industrial	51,4	8,9	32	69	-0,17	-0,687
	Ing. Mecánica	55,5	10,0	32	76	-0,224	-0,816
	Ing. Civil	50,6	8,9	32	71	-0,03	-0,683
	Ing. de Sistemas	52,3	10,2	29	77	0,114	-0,168
FC1 Abstracción y Síntesis	Ing. Eléctrica	51,6	9,9	35	71	-0,179	-0,819
	Ing. Electrónica	50,8	9,7	29	69	-0,286	-0,801
	Ing. Industrial	51,3	10,7	29	74	-0,038	-0,833
	Ing. Mecánica	54,6	10,0	35	83	-0,057	-0,188
	Ing. Civil	50,5	9,4	31	74	0,067	-0,649
FC2 Aplicación de Conocimientos	Ing. de Sistemas	51,2	11,0	29	82	0,194	-0,273
	Ing. Eléctrica	52,3	9,8	35	82	0,453	0,242
	Ing. Electrónica	52,7	10,7	29	74	-0,123	-0,738
	Ing. Industrial	51,2	9,8	29	81	0,152	-0,119
	Ing. Mecánica	58,1	10,6	29	81	-0,253	-0,313
FC3 Solución de Problemas	Ing. Civil	49,3	11,0	26	84	0,425	0,152
	Ing. de Sistemas	50,2	10,0	30	74	0,318	-0,56
	Ing. Eléctrica	49,8	10,6	30	89	0,755	0,998
	Ing. Electrónica	51,5	9,9	31	74	0,043	-0,73
	Ing. Industrial	51,6	10,3	30	77	0,108	-0,366
FC3 Solución de Problemas	Ing. Mecánica	59,5	11,8	30	83	-0,49	-0,099
	Ing. Civil	50,5	10,8	29	79	0,329	-0,546
	Ing. de Sistemas	51,2	9,9	29	81	0,123	0,148
	Ing. Eléctrica	51,5	11,1	29	78	0,276	-0,526
	Ing. Electrónica	52,7	9,6	30	72	0,023	-0,492
FC3 Solución de Problemas	Ing. Industrial	51,8	9,9	30	72	0,018	-0,546
	Ing. Mecánica	56,5	11,8	32	85	0,076	-0,38

Fuente: Los autores

A nivel de programa de estudio, aunque no se encontró evidencia estadística para asumir diferencia de desempeño entre competencias, llama la atención que en Ingeniería Mecánica la competencia con mayor desempeño fue “*Aplicar conocimientos en la práctica*”, contrario a los resultados de los demás programas, en los cuales la competencia con mayor desempeño fue “*Abstraer-analizar-sintetizar.*” La estructura del plan curricular en la fundamentación básica de la física de cada programa de ingeniería, pareciera que promoviera una habilidad de procesamiento del conocimiento adquirido para abordar la física. El programa de Ingeniería Mecánica de la FIFM de la UIS, hasta el quinto semestre, tiene establecido 3 cursos de física, al igual que los otros programas de ingeniería. La diferencia radica en que, hasta el quinto semestre, el programa de Ingeniería Mecánica tiene establecido en su plan curricular 4 cursos de física aplicada, al igual que los programas de Ingeniería Civil y Eléctrica, mientras que los programas de Ingeniería de Sistemas, Industrial y Electrónica tienen establecidos en su planes curriculares entre 1 y 2 cursos de física aplicada.

5. Conclusión

El presente estudio muestra evidencia para sugerir que en la enseñanza de la física del ciclo básico de los programas de ingeniería de la FIFM de la UIS predomina el desarrollo de la competencia “*Abstraer-analizar-sintetizar*” más que el desarrollo de las competencias de “*Aplicar conocimientos en la práctica*” e “*Identificar-plantear-resolver problemas*”. El dominio que mostró mayor influencia sobre las competencias fue “*Campos.*” En otras palabras se puede afirmar que la enseñanza de la física a estudiantes de la FIFM de la UIS promueve notablemente el desarrollo de la habilidad de abstracción y síntesis a través de los temas de campo gravitacional, eléctrico, magnético, electromagnético y leyes de Newton, principalmente.

Por otro lado, hay indicios que muestran la influencia que las disciplinas, sus programas de estudio y sus dominios conceptuales, ejercen sobre las competencias en física de los estudiantes de ingeniería de la FIFM de la UIS. Los resultados indican que los diseños curriculares en los programas de ingeniería, durante el ciclo básico, promocionan la enseñanza de la física predominantemente con el pensamiento de la mecánica newtoniana, y posiblemente por ello, los estudiantes de ingeniería mecánica muestran un desempeño relativo mejor que los estudiantes de las otras ingenierías.

Referencias

[1] American Society of Civil Engineers., The vision for civil engineering in 2025, based on the summit on the future of civil engineering 2025, In American Society of Civil Engineers, June 21-22, 2006. [En línea]. Disponible en: http://www.ril.fi/media/files/vaikkuttaminen/e1_2007_asce_the-vision-for-civi-lengineering-2025.pdf

[2] Silva, E., Educación en ingeniería frente a los acuerdos del libre comercio, Revista de Ingeniería, [En línea]. 24, pp. 115-116, 2006. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1210/121014222019.pdf>

[3] Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería., Capítulo 1. Características Generales del EXIM, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.acofi.edu.co/portal/documentos/Capitulo%201.pdf>

[4] Ministerio de Educación Nacional., Decreto Número 1781 de 2003. [En línea]. Disponible en: http://www.mineducacion.gov.co/1621/articulos-86039_archivo_pdf.pdf

[5] Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería., Resultados Generales EXIM, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.acofi.edu.co/wp-content/uploads/2015/03/Resultados-nacionales-aplicaci%C3%B3n-EXIM-2014.pdf>

[6] Valencia-Giraldo, A., Mejía-Vélez, L.F., Restrepo-González, G., Parra-Mesa, C.M. Muñoz-Ortiz, L.D. y Ochoa-Ángel, J., Primer año en ingeniería: Más allá del rendimiento académico. Revista Educación en Ingeniería, [En línea]. 2(4), pp. 55-68, 2007. Disponible en: <http://www.educacioningenieria.org/index.php/edi/article/view/53/44>

[7] Mejía-Aguilar, G., Arenas A.L. y Sierra, D., Influencia de los dominios conceptuales en las competencias académicas: Área de matemáticas para ingenierías. Revista Educación en Ingeniería, [En línea]. 9(18), pp. 74-88, 2014. Disponible en: <http://www.educacioningenieria.org/index.php/edi/article/view/419/211>

[8] Preradovicy, L.S. and Kosic-Jeremic, S. Student achievement in the university entrance examination and the effects of preparation classes – A case study of civil engineering students. Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette, 22(3), pp. 785-791, 2015. DOI: 10.17559/TV-20140513114019

[9] Ministerio de Educación Nacional (MEN), Resolución 2773 de 2003 sobre la calidad para los programas de formación profesional de pregrado en ingeniería. 2003. [En línea]. Disponible en: http://www.mineducacion.gov.co/1621/articulos-86417_Archivo_pdf

[10] Rodríguez. O.R., La evaluación objetiva en ingeniería. Aportes en procesos de evaluación y mejora curricular. World Engineering Education Forum WEEF. Cartagena, Colombia, ACOFI, 2013, pp. 1-8. [En línea]. Disponible en: <http://www.acofipapers.org/index.php/acofipapers/2013/paper/viewFile/367/186>

[11] Mihret-Zewdie. Z. An investigation of students’ approaches to problem solving in physics courses. International Journal of Chemical and Natural Science, [En línea]. 2(1), pp. 77-89, 2014. Disponible en: <http://ijcns.aizeonpublishers.net/content/2014/1/ijcns77-89.pdf>

[12] Glaser, R., Education and thinking: The role of knowledge. Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh, 1985.

[13] Friege, G. and Lind, G.G., Types and qualities of knowledge and their relations to problem solving in physics. International Journal of Science and Mathematics Education, 4(3), pp. 437-465, 2006. DOI: 10.1007/s10763-005-9013-8

[14] León-Tejada, P., La enseñanza problémica y las competencias básicas como alternativa para la resolución de problemas de física. Revista Colombiana de Física, 39(2), pp. 657-660, 2007.

[15] Chi, M.T.H, Glaser, R. and Rees, E., Expertise in problem solving. Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh, 1981.

G. Mejía-Aguilar, recibió el título de Ing. Civil en 1989 de la Universidad del Cauca, Colombia, el título de MSc. en Ingeniería de la Construcción en 2003 de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia y el título de Dr. en Ingeniería de la Construcción en 2013 de la Universidad de Alabama, Estados Unidos. Actualmente es profesor asociado y coordinador de posgrados de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Sus temas de investigación incluyen: educación en ingeniería planeación estratégica, sistemas de control y gestión de proyectos. ORCID: 0000-0002-3829-7730

D.M. Franco-Duran, recibió el título de Ing. Civil en 2013 de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, en donde actualmente es estudiante de Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en gestión de la construcción. Trabaja como asistente de investigación en el grupo de investigación en estructuras y materiales de construcción. Sus intereses de investigación son: sistemas de control, medidas de desempeño, incertidumbre y gestión de proyectos. ORCID: 0000-0001-8523-9309

Análisis y actualización del programa de la asignatura Automatización Industrial en la formación profesional de ingenieros electrónicos

Heyder Páez-Logreira ^a, Víctor Zabala-Campo ^b & Ronald Zamora-Musa ^c

^a Facultad de Ingeniería, Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia. hpaez@cuc.edu.co

^b Facultad de Ingeniería, Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia. ing.victorzabala@gmail.com

^c Facultad de Ingeniería, Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia. rzamora2@gmail.com

Resumen— La industria requiere procesos automatizados y las tecnologías deben innovar permanentemente. Las instituciones de educación superior, los profesionales en electrónica y el sector industrial comprenden la importancia de estar actualizados en las tendencias tecnológicas en el área de automatización. Las instituciones de educación superior deben mantener una formación académica coherente con las necesidades del sector profesional. Para lograr este objetivo, se actualizan continuamente los programas de la asignatura. En este artículo se presenta el estudio para la actualización del programa de la asignatura Automatización en la Universidad de la Costa. Se identifican los requisitos del sector industrial y empresarial, en automatización, se analizan las temáticas y metodologías utilizadas en la asignatura en Instituciones de Educación Superior y se hace una propuesta curricular en programas de pregrado en Ingeniería Electrónica. La propuesta está enmarcada en una metodología de enseñanza-aprendizaje mediante el desarrollo de hardware y software para asignaturas teoricoprácticas. La estructura propuesta se ha denominado “Microáreas de aprendizaje”, y está orientada a la construcción del conocimiento con el estudiante, como eje central, proceso en el cual él escoge una línea de desarrollo en ciclos básicos y electivos. La propuesta diseñada permite abarcar de forma organizada las temáticas y prácticas que requiere el sector industrial y empresarial en la formación de ingenieros electrónicos, en el área de automatización.

Palabras Clave— programa de asignatura, automatización, electrónica, competencias.

Recibido: 6 de septiembre de 2015. Revisado: 1 de noviembre de 2015.

Aceptado: 25 de noviembre de 2015.

Analysis and update of course syllabus Industrial Automation in the professional training of electronic engineers

Abstract— Industry requires automated processes and technologies should be kept in continuous innovation. Institutions of higher education, electronic professionals, and industry have understood the importance of being updated on technological trends in automation. Institutions of higher education must ensure academic training consistent with the needs of the professional sector. To achieve this goal, the updating of academic training contents is needed. In this project, we present the study of the curricular actualization in Automation, of the ‘Universidad de la Costa, CUC’. We identify the requirements of the industrial and business sectors, and the analysis of academic contents and methodologies used in higher education institutions, more specifically in automation area. Finally, we propose a curriculum for automation course of electronic engineering undergraduate program. The curriculum proposed for automation courses is framed on a hardware and software development methodology for teaching/learning on theoretical and practical courses. The structure proposed is named “learning micro-areas” addressed at building knowledge where the students are the core. Student choose a base line and elective lines of training units. The curriculum proposed organizes the issues and practices of automation courses consistent with the industrial and business sector requirements.

Keywords— course syllabus, automation, electronics, skills.

1. Introducción

La ingeniería electrónica ha sobresalido en las últimas décadas, su progreso acelera el desarrollo industrial y fortalece a la ciencia moderna. La automatización industrial es una rama de la ingeniería electrónica que aplica la integración de tecnologías en los campos del control automático industrial, los sistemas de control y la supervisión de datos, la instrumentación industrial, el control de procesos y las redes de comunicación industrial [1].

La utilización de tecnología para automatizar procesos industriales requiere personal capacitado en el diseño, mantenimiento, operación y optimización de sistemas automáticos. Las instituciones de educación superior forman ingenieros electrónicos con estas capacidades, mediante planes de estudios basados en las tecnologías y dispositivos de punta [2,3].

Este artículo presenta una actualización del currículo de la asignatura Automatización para el fortalecimiento del perfil del ingeniero electrónico de la Universidad de la Costa (CUC). Se presenta un estudio de las necesidades del sector industrial en el perfil del ingeniero electrónico, específicamente en el área de automatización. Adicionalmente, se desarrolla un análisis de los temas y metodologías de enseñanza-aprendizaje empleadas en los cursos de automatización de instituciones de educación superior.

Finalmente, se presenta una propuesta curricular para la asignatura Automatización en el pregrado de Ingeniería Electrónica. La propuesta curricular está enmarcada en metodologías de enseñanza-aprendizaje, cooperativa y basada en la resolución de problemas con un perfil propuesto, dirigido al desarrollo de hardware y software.

La estructura de la propuesta curricular ha sido denominada “microáreas de aprendizaje”. El estudiante, de forma autónoma en la construcción del conocimiento, cursa una línea base de aprendizaje y selecciona una línea electiva al final del curso. Para cada línea se han definido unidades y contenidos por desarrollar.

Esta estructura constituye una innovación en la forma de enseñanza y aprendizaje de la automatización industrial. Las “microáreas de aprendizaje” corresponden a temas específicos de automatización que se conectan con cursos posteriores con un mayor nivel de profundización. La propuesta curricular amplía el alcance de los contenidos de la asignatura y brinda un soporte metodológico y documental claro al docente y al estudiante.

2. Metodología o desarrollo de la investigación

La investigación realizada es de enfoque cuantitativo [4]. El problema de estudio es la pertinencia de las competencias académicas en la formación de ingenieros electrónicos en el sector industrial. El análisis numérico de dicho problema se realiza implementando recolección de información a una muestra no probabilística de empresas en automatización, profesores y egresados del programa de ingeniería electrónica.

El alcance de la investigación es descriptivo [5]. El objetivo es diseñar un programa de asignatura actualizado y pertinente que fortalezca los cursos de automatización, implementando una metodología de enseñanza-aprendizaje que apoye el diseño curricular.

La investigación fue organizada en dos fases: análisis y elaboración. En la primera, se estudió el contexto industrial y académico de la automatización industrial. Se realizó una búsqueda de programas de asignaturas de automatización en universidades acreditadas. Se utilizó una herramienta de recolección de información tipo encuesta [4], diligenciada por una muestra no probabilista de empresas prestadoras de servicios de automatización y control industrial, docentes y egresados de programas de ingeniería electrónica. El análisis preliminar permite establecer aspectos favorables y negativos de los programas de asignaturas de automatización existentes con las necesidades identificadas en el sector empresarial.

La fase de elaboración construye un programa de asignatura para los cursos de automatización industrial basado en el análisis realizado. El planteamiento del programa de asignatura para la enseñanza de la automatización industrial determina los temas apropiados para cursos teóricos o prácticos de automatización. Los que se incluyeron garantizan la coherencia con programas de universidades acreditadas y las necesidades del sector industrial y empresarial en automatización. Un estudio de las metodologías de enseñanza-aprendizaje permite seleccionar las apropiadas para la asignatura y sus contenidos. Estas metodologías ayudan a desarrollar y fortalecer las competencias del curso en el estudiante [3]. El diseño de programa de asignatura es verificado por pares, docentes, estudiantes de posgrado y empresarios en automatización.

3. Resultados

Se analizaron los contenidos de universidades con programas de ingeniería electrónica, en los cuales se incluyera una asignatura teórico o práctica de automatización, autómatas programables, PLC o afines. Las universidades que constituyen esta muestra se presentan a continuación (Tabla 1). Se

Tabla 1
Universidades que integran la muestra de análisis de programas de asignaturas

Universidad	País
Universidad de los Andes	Venezuela
Universidad de la Laguna	España
Universidad de Córdoba	España
Universidad Superior de Ingenieros	España
Universidad Católica Andrés Bello	Venezuela
Universidad del País Vasco	España
Universidad Pontificia de Madrid	España
Universidad Miguel Hernández de Elche	España
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	México
Universidad de Valladolid	España

Fuente: Los autores.

Tabla 2
Muestras de empresarios, egresados y docentes en la aplicación del instrumento de recolección de información (encuesta).

Tipo de Muestra	Tamaño de la muestra	Preguntas
Empresarios	8	17
Egresados	21	25
Docentes	4	31
Total de encuestados	33	

Fuente: Los autores.

seleccionaron tres muestras no probabilísticas: empresarios, egresados y docentes del área de automatización y control. Con cada grupo se obtuvieron respuestas en tres diferentes encuestas (Tabla 2).

Tabla 3
Dimensiones, indicadores e ítems de instrumentos de recolección de encuesta.

Variable	Dimensión	Indicador	Total ítems		
			Emp.	Egres.	Doc.
Relación entre las competencias de formación en automatización y las que se requieren en el sector industrial	A nivel académico	Preguntas genéricas		4	5
		Nivel académico alcanzado en la asignatura	2	2	2
		Evaluación de competencias del ingeniero al ingreso	2	2	
	Formación dentro de la empresa	Nivel de formación aportado	2	2	
		Grado de exigencia de las competencias	2	2	1
		Herramientas requeridas	1	1	2
	En la ejecución de proyectos	Roles desempeñados	1	1	1
		Competencias requeridas	3	3	3
		Tecnologías y marcas aplicadas en los proyectos	4	4	8
		Con lo evaluado por el Ministerio de Educación Nacional		4	7

Fuente: Los autores.

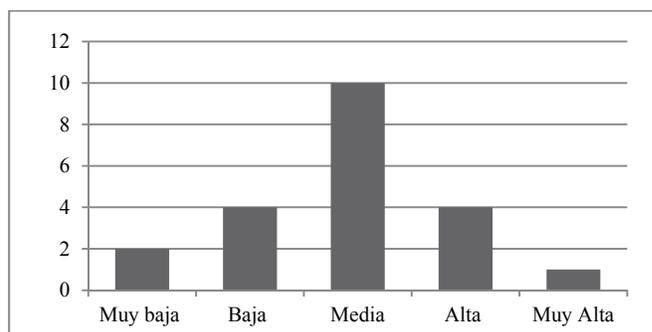


Figura 1. Grado de relación de competencias de formación en automatización con las que se requieren en el sector industrial.

Fuente: Los autores.

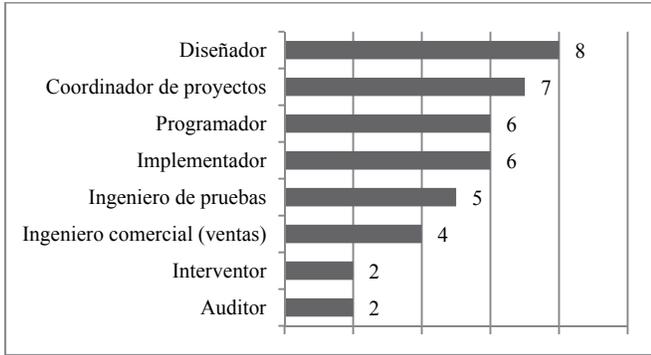


Figura 2. Roles del ingeniero electrónico en la industria de la automatización. Fuente: Los autores.

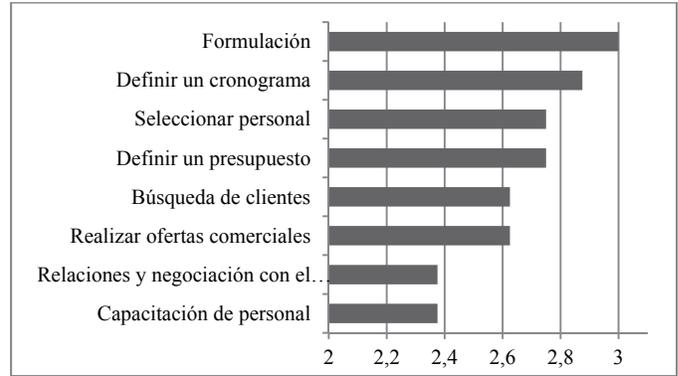


Figura 4. Capacidades requeridas por las empresas en el área de gestión de proyectos. Fuente: Los autores.

El diseño del instrumento de recolección de información se realiza siguiendo metodologías de elaboración de encuesta [4]. Para ello, se realiza la selección de dimensiones e indicadores basados en la revisión de la literatura y el análisis de programas de asignaturas de las universidades (Tabla 1). Las dimensiones e indicadores, y el número de preguntas o ítems relacionados en cada encuesta se presentan a continuación (Tabla 3).

En las Figs. 1 y 2 se presentan los resultados de ítems específicos. Éstos permiten identificar las competencias requeridas por el sector industrial y la percepción actual de docentes y egresados en el nivel de formación de dichas competencias, incluyendo la percepción actual de empresarios, egresados y docentes en la coherencia de las competencias de formación de las asignaturas de automatización y afines y las competencias que necesita el sector empresarial e industrial.

En cuanto a la dimensión académica, el indicador correspondiente que se alcanzó en la formación de competencias en la asignatura Automatización permite analizar las competencias de mayor prioridad presentadas en la Fig. 3. En otras palabras, si los contenidos de la asignatura están orientados con las principales competencias y habilidades que requiere la industria.

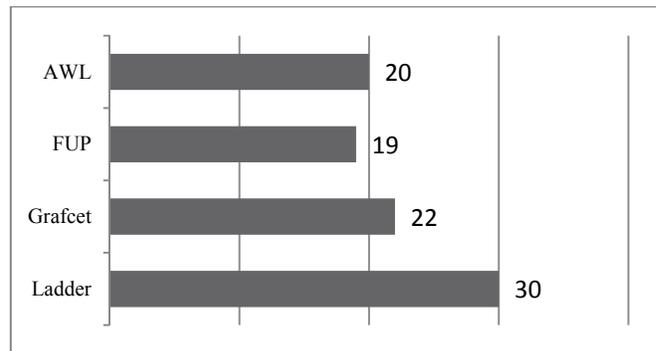


Figura 5. Lenguajes de programación de PLC requeridos por la industria. Fuente: Los autores.

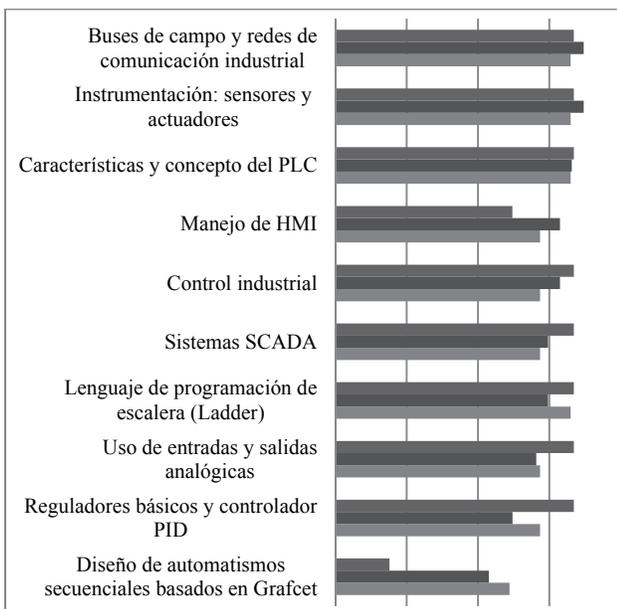


Figura 3. Nivel de importancia de las competencias técnicas. Fuente: Los autores.

Todos los empresarios encuestados afirmaron que sus ingenieros electrónicos realizan actividades de gestión de proyectos y que el cargo de coordinador de proyecto es uno de los más importantes desempeñados por los ingenieros electrónicos en automatización (Fig. 2). En esta dimensión, es de interés identificar las capacidades, habilidades y actividades de mayor importancia en la gestión de proyectos (Fig. 4).

Otro aspecto considerado de interés en el diseño de un programa de asignatura en automatización es el lenguaje de programación empleado en la implementación de algoritmos de control y automatización. A continuación en la Fig. 5 se presentan los resultados de importancia de los lenguajes de programación de uso destacado en la industria de la automatización.

A continuación se presenta el análisis y la discusión de los resultados, basado en los que se obtuvieron con el instrumento de recolección de datos o encuesta, el análisis de los programas de asignatura de universidades con áreas de automatización y la revisión de la literatura realizada en fases previas a esta investigación.

4. Discusión y análisis de resultados

La asignatura Automatización se cursa en semestres o niveles superiores de programas de ingeniería electrónica, mecatrónica, eléctrica y afines. La mayoría de los casos estudiados corresponde a cursos de formación obligatoria, con intensidad de seis créditos semanales, de los cuales tres son teóricos y tres prácticos. Sólo en

programas con énfasis computacional, mecánico o civil se ofrecen asignaturas de automatización o afines como cursos electivos o de profundización.

El objetivo de la asignatura es desarrollar las competencias relacionadas con tecnologías de automatización y control industrial. Los temas más comunes en los programas de asignatura son: características básicas del PLC, lenguaje escalera (Ladder), lógica de relés o contactos, software de programación de PLC, puertos de entrada y salida del PLC según su funcionamiento y aplicación, uso de interfaces HMI, entre otros.

Adicionalmente, las metodologías de enseñanza-aprendizaje permiten fortalecer la capacidad de análisis, comunicación, investigación, implementación y otras. Además, permiten generar una construcción cognitiva multiperspectiva para adquirir competencias de resolución de problemas complejos de ingeniería [6]. Nuevas tendencias surgen como la virtualización de la cátedra y los laboratorios remotos [7]. Sin embargo, sobresale el formato magistral, integrando contenidos científicos y tecnológicos, que favorezcan en el alumno la capacidad de aprender por sí mismo y trabajar de forma autónoma o en grupo.

Dentro de las metodologías, estrategias y prácticas pedagógicas identificadas y necesarias para llevar a cabo satisfactoriamente el cumplimiento de las competencias requeridas por la industria, se presentan las siguientes:

- Dirigir los contenidos para potenciar el "saber hacer".
- Informar al estudiante los contenidos, criterios de evaluación, unidades de competencia, unidades de trabajo y actividades de la asignatura.
- Iniciar las unidades didácticas con una introducción motivadora, poniendo de manifiesto su utilidad en el mundo profesional.
- Presentar la documentación técnica necesaria para el desarrollo de las unidades de trabajo.
- Realizar trabajos o actividades individuales y en grupo.
- Llevar a cabo visitas técnicas o culturales.
- Utilizar el binomio teoría-práctica de forma permanente durante el proceso de aprendizaje.
- Proporcionar soluciones a ejemplos prácticos como modelo de las actividades por desarrollar.
- Realizar actividades opcionales para afianzar el contenido.
- Socializar el resultado de las actividades.
- Fomentar estrategias que promuevan el aprendizaje y comprensión de los contenidos educativos: hechos, conceptos, principios, terminología, etc.
- Evaluar los conceptos, procedimientos y actitudes en el desarrollo de las actividades.

Los conceptos básicos de automatización y programación de autómatas son temas imprescindibles en el programa de la asignatura. Sin embargo, la introducción a redes de comunicación industrial, buses de campo (Ethernet, Modbus, DeviceNet, etc.), sistema de supervisión (Scada y HMI), instrumentación y programación Grafset se destacan en el sector industrial. Algunos de estos se vienen abordando de forma complementaria en cursos electivos complementarios reflejando cierta deficiencia en estos temas. Incluso otras opciones como Matlab y Simulink PLC Coder también se estudian también en el sector académico [8].

4.1. Hallazgos positivos

En la investigación realizada se destaca que la formación en automatización posee un enfoque específico y centrado en competencias. Adicionalmente, el componente práctico de la asignatura le permite al estudiante tener una interacción directa con los equipos, siendo esto complementado con ejercicios para adquirir competencias en el desarrollo de proyectos de ingeniería.

Por otra parte, la formación incluye herramientas adecuadas para la preparación de los estudiantes a las pruebas Saber Pro.

4.2. Hallazgos negativos

En contraste a los hallazgos positivos, algunos programas de asignatura no incluyen el lenguaje Grafset, competencia importante para la programación de autómatas. Algunos temas como gestión de redes industriales, buses de campo y sistemas de supervisión (HMI y Scada) sólo son tratados por medio de pequeñas estrategias académicas como investigaciones breves.

Las prácticas de laboratorio, en su mayoría, manejan pocas o una marca en los equipos que implementan. Además, la relación entre las competencias desarrolladas por la asignatura y las que se requieren en el sector industrial no es completamente coherente. En este contexto, es necesario que se incluya la gestión de proyectos como competencia transversal en la asignatura.

5. Modelo de enseñanza por microáreas en automatización

Se propone una aproximación a un programa de asignatura basado en un modelo de aprendizaje de microáreas. Éstas son una estrategia de apoyo al proceso de aprendizaje en asignaturas con temas densos y de alta complejidad. La asignatura de automatización industrial o sus afines poseen alta complejidad debido a la convergencia de varias disciplinas (electrónica, sistemas, mecánica, industrial, eléctrica, entre otras).

Este modelo enfoca al alumno como principal actor en el desarrollo de su conocimiento. Se propone una estructura de dos ciclos. El primero desarrolla los temas fundamentales para adquirir las competencias básicas del área de automatización. En el segundo, los estudiantes desarrollan grupalmente los temas específicos de forma electiva. El grupo de estudiantes selecciona una temática relacionada al proyecto de aula planteado al inicio del curso [9].

El ciclo básico fomenta la capacidad de analizar, identificar y diseñar una solución en automatización industrial y, además, desarrollar códigos de programación para autómatas y controladores lógicos. Este ciclo comprende cuatro áreas: identificación de dispositivos de maniobra y control, lógica cableada y controles eléctricos, arquitectura y programación de autómatas programables y, por último, identificación de marcas (Fig. 6).

El ciclo electivo se enfoca en desarrollar los temas específicos más comunes del área de automatización industrial (controladores PID, interfaces máquina-humano, instrumentación y redes de comunicación) (Fig. 7). Este ciclo le brindará al estudiante la oportunidad de seleccionar el tema que más se ajuste a sus preferencias. El tutor del curso deberá supervisar y evaluar la selección de cada alumno.

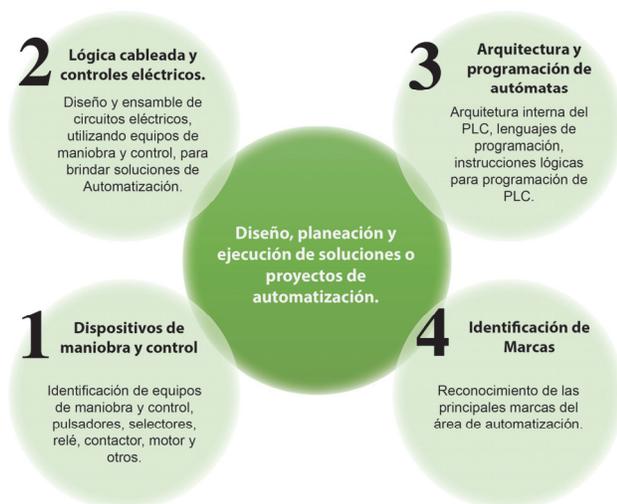


Figura 6. Ciclo básico del aprendizaje por microáreas.
Fuente: Los autores



Figura 7. Ciclo electivo del aprendizaje por microáreas..
Fuente: Los autores

Tabla 4
Dedicación porcentual en un curso de automatización industrial.

Unidad	Contenido	C.A.	H.P.	H.I.	T.H.	Dedicación
Introducción a la automatización	Ciclo básico 1 y 2	3	16	32	48	25 %
Arquitectura y programación de autómatas programables	Ciclo básico 3 y 4		28	56	84	44 %
Desarrollo de aplicaciones específicas en proyectos de automatización	Ciclo electivo		20	40	60	31 %

Fuente: Los autores.

El porcentaje de dedicación a cada área, calculado con base a un curso teórico práctico de un total de 192 horas en un semestre se presenta en la Tabla 4. Si bien la distribución puede ajustarse según las condiciones de cada curso, número de créditos académicos (C.A.), horas presenciales de clase (H.P.), horas de trabajo independiente del estudiante (H.I.) y la intensidad horaria total durante el periodo académico (T.H.). De igual forma, la dedicación porcentual a cada área de la asignatura se puede ajustar con base en la experiencia del docente y el desempeño del grupo de estudiantes.

El tutor o docente juega un papel importante en la implementación de esta metodología de enseñanza-aprendizaje. El tutor supervisa el proceso de aprendizaje del estudiante en el ciclo básico y el desarrollo del tema seleccionado en el ciclo electivo. El tutor debe poseer conocimiento y experiencia en cada una de las rutas, con el fin de garantizar el óptimo acompañamiento de todos los estudiantes.

La metodología de enseñanza por microáreas, se apoya en las metodologías de aprendizaje cooperativo [10], resolución de problemas [11] y proyecto de aula [9].

6. Conclusiones

La formación específica de asignaturas en automatización industrial requiere un programa de asignatura actualizado y en coherencia con los avances tecnológicos del área. Las exigencias del sector industrial en automatización y control van en aumento y con requisitos más específicos. Esto hace necesaria la continua evaluación de los contenidos y programas de asignaturas en el área de automatización, así como la validación de estos contenidos con las necesidades del sector externo industrial.

El modelo de programa de asignatura propuesto permite la formación en las competencias básicas y específicas que requiere el sector industrial en materia de automatización. Temas como lógica cableada, programación de autómatas programables, controladores PID, interfaces máquina-humano HMI, redes de comunicación e instrumentación industrial, le permiten al egresado realizar proyectos de su actividad profesional, dentro de su actividad profesional.

Esta propuesta supone una innovación en modelos de enseñanza y formación por competencias en asignaturas con una teoría amplia que involucra desarrollo de software y hardware en convergencia con otras áreas de la ingeniería. La metodología de enseñanza y aprendizaje por microáreas, junto a las metodologías aprendizaje cooperativo, aprendizaje basado en la resolución de problemas y proyecto de aula, le permitirá al estudiante adquirir un gran número de conocimiento y competencias con una ruta sencilla, asistida por un docente o tutor.

Este tipo de investigaciones reduce la brecha entre la academia y el sector profesional en el área de automatización. Además, el modelo de investigación y de programa de asignatura propuesto se puede extender a otras asignaturas y programas profesionales.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó con el apoyo del Grupo de Investigación de la Universidad de la Costa (Giacue). Los autores les agradecen a los egresados, docentes y empresarios

de las instituciones y entidades participantes por su disposición a dar respuesta a las encuestas.

Referencias

- [1] Pillapa-Tibanquiza Ó.W. y Hurtado-Guambingo, E.G., Diseño, construcción e implementación de tableros didácticos para el laboratorio de control eléctrico y PLC de la ESPE Extensión Latacunga., 2010.
- [2] Daneri, P.A., PLC. Automatización y control industrial. Editorial Hispano Americana HASA, 2008.
- [3] Silva-Ortega, J.I., Comas-González, Z., De la Hoz-Valdiris, E., Elguedo-Pallares, A., Fuentes-Jimenez, J., Osorio-García, C. y Miranda-Samper, O., Implementación de nueva herramienta de seguimiento académico que valida la evaluación por competencias genéricas dentro de la facultad de ingeniería de la Universidad de la Costa (CUC), Rev. Educ. En Ing. 9(18), pp. 1-11, 2014.
- [4] Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista-Lucio, P., Metodología de la investigación. McGraw-Hill Education, 2014.
- [5] Lerma, H.D., Metodología de la investigación : Propuesta, anteproyecto y proyecto. ECOE EDICIONES, 2003.
- [6] Zamora-Musa R. y Villa-Ramirez, J.L., Estudio de la alternativa de ambientes virtuales colaborativos como herramienta de apoyo a laboratorios tele-operados en ingeniería, en WEEF 2013, Cartagena, 2013.
- [7] Zamora-Musa, R., Análisis de requerimiento para la implementación de laboratorios remotos, Educosta, 2011.
- [8] Páez-Logreira, H.D. Zamora-Musa, R. y Bohórquez-Pérez, J., Programación de controladores lógicos (PLC) mediante ladder y Lenguaje de control estructurado (SCL) en MATLAB, Rev. Fac. Ing., 24(39), pp. 109-119, 2015.
- [9] Ruiz L.P. y Páez, E.R., Proyectos de aula, Rev. Episteme, 1, 2010.
- [10] Benítez, R. Giraldo, B. y Domingo, J., Aprendizaje cooperativo basado en problemas en el diseño y desarrollo de proyectos de ingeniería, en Actas del XII Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas, 2004, vol. 12.
- [11] Morales P. y Landa, V., Aprendizaje basado en problemas, Theoria, 13(1), pp. 145-157, 2004.

V. Zabala-Campo, es candidato Ing. Electrónico, en 2015 llevó a cabo el proyecto de investigación titulado “Análisis y diseño curricular de la asignatura Automatización de la Universidad de la Costa C.U.C.”. Desde 2013 ha estado vinculado como Ingeniero de proyectos en empresas del sector de la automatización industrial. Sus intereses investigativos incluyen: programación de PLC, formación por competencias en automatización y diseño de programas curriculares.

ORCID: 0000-0002-9236-4367

H.D. Páez-Logreira, recibió el título de Ing. Electrónico en 2005 de la Universidad de la Costa - CUC, Barranquilla, Colombia. Es candidato a MSc. en Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. De 2004 a 2009 trabajó en el sector administrativo en empresas del sector de alimentos, específicamente harinas y pastas. Se vinculó a la Universidad de la Costa, en el año 2011 y es profesor tiempo completo desde 2013. En 2012 fue Joven Investigador de Colciencias, y durante el 2014 coordinó la Especialización en Automatización y Control de la Universidad de la Costa. Actualmente es Coordinador del área de automatización y control industrial de la Facultad de Ingenierías de la Universidad de la Costa. Sus intereses investigativos incluyen: control y automatización industrial, sistemas embebidos, programación de PLC y sistemas embebidos, formación por competencias en ingeniería electrónica, y metodologías de desarrollo de hardware y software.

ORCID: 0000-0002-4223-7407

R. Zamora-Musa, recibió el título de Ing. Electrónico en Telecomunicaciones en 2003 de la Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia, de Esp. en Telecomunicaciones en 2008 de la Universidad del Norte, Colombia y MSc. en Ingeniería en 2014 de la Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia. Actualmente cursa estudios en el Doctorado en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia. De 2005 a 2008 trabajó en el sector productivo como ingeniero de proyectos e ingeniero de telecomunicaciones en empresas de comunicaciones. Se vinculó a la Universidad de la Costa, en 2009 como profesor tiempo completo del programa de Ingeniería Electrónica. Durante el año 2012 y 2013 fue Coordinador de la Especialización en Automatización y Control Industrial y actualmente es líder del Grupo de Investigación en Electrónica y Automatización, GIACUC. Sus intereses investigativos incluyen: las telecomunicaciones, laboratorios remotos y, entornos colaborativos e inmersivos aplicados a la educación.

ORCID: 0000-0003-4949-4438

Propuesta de un juego de mesa como herramienta didáctica para la explicación de conceptos de control de inventarios en programas de ingeniería industrial

Andrés Mauricio Paredes-Rodríguez ^a, Kelly Andrea Peláez-Mejía ^b & Andrés Felipe Salazar-Ramos ^c

^a Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Guadalajara de Buga, Colombia. andres.paredes@correounivalle.edu.co

^b Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Guadalajara de Buga, Colombia. kelly.pelaez@correounivalle.edu.co

^c Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Guadalajara de Buga, Colombia. andres.f.salazar@correounivalle.edu.co

Resumen— Frente a los retos que se señalan en la enseñanza en Ingeniería se hace necesario proponer herramientas que complementen la formación de estudiantes. El siguiente documento propone un juego de mesa que explica conceptos alrededor del tema de control de inventarios en los cursos de logística para programas de Ingeniería Industrial. Se evidencian los resultados de implementar el juego en diversos espacios de cursos de pregrado y posgrado, y se detallan los aspectos que componen el juego. La herramienta propuesta hace parte del curso de Logística Industrial de la Universidad del Valle sede Buga y ha logrado involucrar estudiantes de pregrado y de la especialización en logística de la misma universidad con excelentes resultados, generando discusiones en clase que se recogen desde la experiencia práctica de los estudiantes.

Palabras Clave— Enseñanza lúdica, Control de Inventarios, Nivel de Servicio, Costos Logísticos.

Recibido: 25 de octubre de 2015. Revisado: 27 de enero de 2016. Aceptado: 5 de febrero de 2016.

Proposal of a board game like didactic tool for explaining concepts inventory control in Industrial Engineering programs

Abstract— Taking into account several challenges that affront the teaching around engineering, it is necessary to propose tools that support the learning of the students. This document suggest a table game that explains concepts around inventory control in the logistics courses for Industrial Engineering programs. The document shows the implementation results across different group of people, students from bachelor degree to postgraduate degree. The proposed tool born in the Industrial Logistics course from the Industrial Engineering program at the Universidad del Valle – Buga and it had achieved involve several types of students from the university with relevant results, bringing discussions to the class room coming from the practical experience from the students.

Keywords— Game teaching, inventory control, level service, logistics costs

1. Introducción

La enseñanza en ingeniería enfrenta varios retos, uno de ellos es complementar la formación en las aulas con una serie de actividades que permitan al estudiante tener un rol más participativo en el salón de clases. Tal como lo plantean [1] las estrategias didácticas con enfoque en el aprendizaje activo son las de mayor relevancia para el desarrollo de competencias y el aprendizaje autónomo del estudiante. Así mismo [2] señala que el uso de modelos de enseñanza con la aplicación lúdica permite fomentar el trabajo en

equipo, profundizar conocimientos y a la vez que se vivencien los diferentes aspectos que pueden afectar un proceso de la vida real.

De acuerdo con [3], las pruebas de laboratorio permiten a sus realizadores aceptar o rechazar hipótesis, así como aprender de sus acciones. Igualmente las actividades lúdicas favorecen la exploración de la creatividad, la creación de soluciones novedosas, el análisis de una situación desde diferentes perspectivas, así como la comprensión de un determinado problema, sus causas y consecuencias [4].

El juego de la cerveza desarrollado por el MIT, en los años 60 es un típico ejemplo de lúdica donde sus integrantes logran simplificar y entender la realidad de muchas empresas, para evidenciar el impacto de las decisiones de algunos agentes de una cadena de suministro sobre el desempeño de esta. Así mismo The fishbanks game (también desarrollado por el MIT) es otro ejemplo de lúdica orientada a que los estudiantes aprendan acerca de los desafíos de la gestión de recursos de manera sostenible en un entorno de recursos comunes, con la dinámica de los recursos realistas.

Uno de los temas más importantes dentro del área logística es el control de inventarios. Para [5] el control de inventarios se ha convertido en uno de los temas más complejos y apasionantes de la logística ya que es un tema aplicable a cualquier tipo de industria. Lo anterior plantea una relevancia para que el programa de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle busque mejorar las competencias de sus egresados en el control de inventarios.

Una buena administración del inventario busca responder adecuadamente tres preguntas fundamentales: ¿Con qué frecuencia se debe revisar el nivel de inventario?, ¿Cuándo se debe ordenar? y ¿Cuánto se debe pedir? El objetivo principal de una política de control es la obtención de un nivel de inventario deseado que pueda suplir la demanda del cliente, y que a su vez evite incurrir en costos asociados al pedido o mantenimiento del inventario [6].

Se debe aclarar que los motivos principales por los que surge la necesidad de mantenimiento de inventarios son las fluctuaciones aleatorias de la demanda y el tiempo de suministro. Las inversiones que son utilizadas para los

inventarios pueden llegar a representar hasta un 25% del total de activos corrientes de una empresa [5]

[7] realizan una revisión literaria sobre el control de inventarios y logran identificar dos enfoques que utilizan las compañías para manejar los inventarios: El primero hace referencia a la política de revisión continua (s, Q) introducida por [8], en donde se revisa continuamente el inventario y se realiza un pedido equivalente a Q, cuando el inventario efectivo¹ se encuentre por debajo del punto de reorden (r).

El segundo sistema de control de inventario que se utiliza es la política de revisión periódico (R, S), la cual fue introducida por [9] y consiste en revisar cada R periodos de tiempo el inventario y pedir una cantidad igual a la diferencia entre el inventario máximo y el inventario efectivo.

A continuación se exhiben algunos estudios sobre administración y control de inventarios en diferentes tipos de industrias, que han sido abordados desde enfoques distintos

[10] comparan diferentes métodos de punto de re-orden para el control efectivo de inventario de repuestos, basado en un caso de estudio en una gran refinería de petróleo. Los autores utilizan diferentes técnicas de modelado de la demanda y políticas de inventario para evaluar datos reales.

[11] realizan una valoración de los efectos económicos de las diferentes políticas de retención de inventarios a través del estudio del indicador del VaR en el valor de una empresa y las variaciones inducidas en este indicador por los cambios realizados en el capital de trabajo, relacionados con las políticas de inventario. Los autores analizan tres sistemas típicos de inventario diferentes y trazan comparaciones entre las diferentes políticas.

[12] presenta una optimización conjunta, tanto para el control de inventario de las piezas de repuesto como para el intervalo de inspección preventiva de mantenimiento (PM). Las variables de decisión son el intervalo y tamaño de la orden. Debido a la naturaleza aleatoria de fallos de la instalación, el autor deriva modelos de costos estocásticos para el inventario de piezas de repuesto y emplea un algoritmo de enumeración con programación dinámica estocástica para encontrar las soluciones óptimas conjuntas durante un horizonte de tiempo finito.

[13] proponen y discuten un método de clasificación jerárquica multicriterio de repuestos desarrollado para fines de gestión de inventario y probado mediante un intensivo caso de estudio en una empresa de fabricación de electrodomésticos italiano. En particular, el sistema de clasificación se construye sobre la base de varias dimensiones clave de una manera casi jerárquica, lo que resulta en 12 clases diferentes de piezas de repuesto, para las que se propone y prueba diferentes métodos de previsión y de inventario. Los resultados del estudio de simulación demuestran que se alcanza la reducción de los costos logísticos totales en un 20% mientras que el nivel objetivo de servicio para cada una de las clases es alcanzado. Aún más importante, el enfoque propuesto es simple y lo suficientemente sencillo como para ser entendido por los administradores de la empresa, lo que aumenta la probabilidad de su adopción (así mismo o de una forma similar) en otros entornos del mundo real.

[14] estudian el problema de inventario óptimo de una cartera diversa que consta de inventarios de materias primas bajo una restricción que implican riesgo de mercado a causa de las fluctuaciones de precios, así como una cuenta bancaria libre de riesgo. Los autores definen la función objetivo como la maximización de la utilidad del valor total de la cartera. [15] plantean un modelo para determinar el impacto financiero de las decisiones referentes a la definición de niveles de inventarios de suministros proponiendo una herramienta de apoyo para la toma de este tipo de decisiones, incorporando metodologías del análisis de riesgo de inversiones a la gestión de inventarios y considerando que los inventarios son una inversión en capital de trabajo

[16] investigan los efectos de valor temporal del dinero y la inflación en la política de ordenamiento óptimo en un sistema de control de inventario y proponen un modelo de cantidad económica para gestionar un artículo perecedero en el horizonte de planeación finito bajo el cual se asume pedidos pendientes y pagos aplazados. [17] determinan los parámetros de control para el inventario de piezas de repuesto de una empresa de energía, cuya política actual se fundamenta en un sistema (s,S) sujeto a una restricción de fill rate. Al final del estudio, los autores logran encontrar que diferencias significativas en costo y nivel de servicio pueden aparecer de usar uno u otro modelo.

Dada la revisión bibliográfica anterior se logra identificar que el control de inventarios tiene motivaciones tanto académicas como prácticas, lo cual hace de este tema un elemento relevante para un programa de Ingeniería Industrial en cualquier universidad del país. El presente documento pretende proponer un juego de mesa como herramienta para explicar los principales conceptos alrededor del control de inventarios en los cursos de Logística Industrial de los programas de Ingeniería Industrial.

La intención del documento entonces es lograr explicar cómo funciona el juego de mesa propuesto y evidenciar los resultados de las distintas implementaciones que se han realizado en diversos espacios con estudiantes de pregrado y postgrado. El artículo está presentado de la siguiente manera: En la sección 2 se describe la metodología que sigue el tablero de juego introduciendo los principales conceptos que difunde. En la sección 3 se detallan los resultados obtenidos con diversos públicos y al llegar a la sección 4 se tienen las conclusiones del documento.

2. Metodología

Antes de explicar el funcionamiento de la lúdica, es necesario aclarar los conceptos que se presentan a continuación con base a lo expuesto por [5]:

Backorder: Pedido pendiente que se adquiere cuando el cliente puede aceptar que su orden completa sea clasificada como requisición pendiente

Lead Time: Tiempo que transcurre entre el momento de expedir una orden (de compra o de producción) y el instante en que se tienen los artículos listos para ser demandados por el cliente

Tasa del costo de mantener el inventario: Comprende los costos de servicio del inventario (almacenamiento y manejo), el costo del espacio utilizado, los costos de capital y los costos de

¹ Inventario efectivo es equivalente al inventario a la mano, más los pedidos que vienen en tránsito, menos las unidades que se tienen comprometidas con el cliente.

riesgo del inventario (los costos de obsolescencia, daños y filtraciones y los seguros e impuestos)

Costo de ordenamiento: Costos fijos que se generan cada vez que se realiza una orden para reponer el inventario y que no dependen del tamaño de la misma. Estos costos corresponden al procesamiento, transmisión, manejo y compra de la orden

Costo de faltante: Costo que se produce cuando se recibe una orden y no hay suficiente inventario disponible para cubrirla, pero que podrá entregársela al cliente en el periodo siguiente

Costo de venta perdida: Costo que se produce cuando se recibe una orden y no hay suficiente inventario disponible para cubrirla ocasionando que se pierda la venta.

En el desarrollo de la actividad intervienen tres roles los cuales se definen a continuación:

Banco: La persona que tome este rol deberá hacerse cargo de todo lo correspondiente al manejo del dinero: pagar a las empresas por la venta de sus productos, recibir el dinero por la compra de productos y dar premo monetarios debido a su buen desempeño.

Bodega: El expositor que tome este rol deberá hacerse cargo de entregar y recibir los legos que las empresas solicitan y venden.

Registrador: El expositor que tome este rol deberá hacerse cargo de registrar los movimientos de cada una de las empresas durante todos los turnos del juego: cuanto producto pidió, cuanto producto le llegó, cuanto debió pagar en total, entre otras.

El desarrollo de la lúdica toma alrededor de una (1) hora. La lúdica involucra el recorrido en un tablero formado por 52 casillas, que representan cada una de las semanas del año. Para cada semana hay un valor de demanda y un lead time, por si se llega a pedir en ese determinado periodo. En la Fig. 1 se presenta el diseño final del tablero y la explicación del funcionamiento de cada una de las casillas del juego se muestra en la Tabla 1.

El lead time dependerá de la casilla en la cual se encuentre el equipo y estará representado por el número de tiros; es decir, que un lead time de 3 exige que el equipo deba esperar tres tiros más sobre el tablero para poder recibir el pedido. Otro aspecto a tener en cuenta, es que cada vez que un equipo cumpla una vuelta (un año de simulación) deberá pagar un impuesto al banco.

Además, dentro del tablero, se podrán encontrar zonas en las cuales los participantes se enfrentarán a decisiones que pueden beneficiarlos o perjudicarlos. Estas áreas son representadas por tarjetas “up” y “down”. El primer tipo de tarjeta hace referencia a situaciones que pueden mejorar el desempeño de la compañía en el juego o perjudicar a la competencia; por el contrario el segundo tipo de tarjeta perjudica al equipo o beneficia a la competencia.

En el tablero existen tres lugares indeseables donde ningún equipo quiere quedar. Uno representa una auditoria externa, otra simboliza sanciones ambientales y el último un aumento en los impuestos de la renta.

A medida que los participantes van recorriendo el tablero se enfrentarán a decisiones cruciales en la gestión de inventarios tales como ¿Cuánto pedir? Y ¿Cuándo pedir? Estas decisiones deberán estar basadas en un pronóstico de demanda de las próximas semanas en las que los jugadores podrán incurrir, para de esta forma tener siempre inventario disponible para responder a las necesidades del cliente, sin tener un costo excesivo de mantenimiento de inventario.

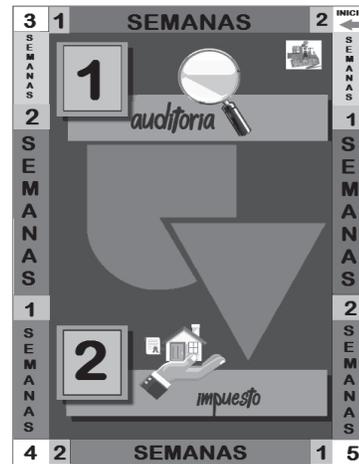


Figura 1. Distribución del tablero de juego.

Fuente: [1]. Los autores

Tabla 1. Convenciones correspondientes a la imagen 1

Casilla Número	Definición
1	Representan aquellas casillas en las cuáles irán ubicadas las tarjetas UP.
2	Representan aquellas casillas en las cuáles irán ubicadas las tarjetas DOWN.
3	Si el jugador cae en esta casilla deberá pagar un monto de dinero al banco por las auditorías de la empresa, y depositarlos en la imagen de la mitad del tablero correspondiente.
4	Si el jugador cae en esta casilla deberá pagar un valor monetario al banco por problemas ambientales de la empresa, y depositarlos en la imagen de la mitad del tablero correspondiente.
5	Si el jugador cae en esta casilla deberá pagar cierta cantidad de dinero al banco por los impuestos de la empresa y depositarlos en la imagen de la mitad del tablero correspondiente.

Fuente: Los autores.

Puede darse el caso de que a lo largo del juego un participante tome diferentes estrategias de juego, ya que alguno podría optar por hacer los pedidos en pocas ocasiones por una mayor cantidad (arriesgándose a mantener mayores cantidades de inventario); mientras que otro podría optar por mantener niveles más bajos de inventario, por lo cual pediría cantidades pequeñas en momentos más frecuentes.

Los participantes deberán calcular la estimación de su próxima venta y deberán pedir tantas unidades como sean posibles para tratar de suplir la cantidad de demanda que, aleatoriamente, le corresponda.

Al finalizar la lúdica (es decir, cuando se dé una vuelta completa al tablero), el equipo ganador será aquel que obtenga mayor utilidad, puesto que la finalidad de toda empresa es ganar dinero [18] y que a su vez logre un nivel de servicio cercano al 100%, siendo este factor determinante a la hora de cumplir con

los objetivos de rentabilidad de la compañía debido a que si se logra una buena imagen frente al cliente, se puede fidelizar la compra y crear una nueva demanda [19]. Al final de la simulación se llegará a la conclusión de que el nivel de servicio y el costo de inventario no deben ser objetivos excluyentes.

Para el correcto desarrollo de la lúdica, se deben formar entre 4 o 5 empresas compuesta cada una de ella por 2 estudiantes. A cada una de las empresas formadas se les dará un monto inicial de dinero equivalente a 3 billetes de cada denominación; un inventario de 20 unidades de producto (representados por fichas lego) y la información referente a los precios y costos que involucrará la lúdica (Ver Tabla 2). Se debe tener en cuenta que el costo de almacenamiento se cobrará después de cada equipo cruce cada una de las esquinas del tablero, asumiendo el costo por todas las unidades de producto con las que llegue a su nueva posición. Cabe aclarar que el cobro de mantener inventario deberá ejecutarse antes de que la empresa realice cualquier tipo de transacción de producto.

En la Fig. 2 se presente un diagrama de flujo en donde se explica el funcionamiento paso a paso de la lúdica, con el objetivo de garantizar réplicas futuras.

2.1. Criterios de evaluación

Para seleccionar el equipo ganador de la lúdica se utilizó una función multiatributo con distribución uniforme, en la cual se ponderan los criterios de nivel de servicio promedio y rentabilidad (Ver Tabla 3). La función se presenta a continuación:

$$\text{Ponderación} = \alpha F(x) + \beta G(y)$$

α =peso del criterio de nivel de servicio

β =peso del criterio utilidad

F (x)= función multiatributo para nivel de servicio

G (y)= función multiatributo para rentabilidad

Partiendo de que el peso tanto del nivel de servicio como de la utilidad es del 50% se procede a aplicar la función multiatributo en los escenarios simulados.

3. Resultados

La lúdica desarrollada se aplicó en 3 ocasiones a tres escenarios distintos con personas de características particulares y conocimientos variados sobre el tema de administración de inventarios: El primer escenario abarca a estudiantes de la especialización en logística de la Universidad del Valle sede Buga, los cuales poseen la experiencia real sobre el manejo y control de inventarios; el segundo contexto en el que se evaluó la lúdica fue a estudiantes de la carrera de pregrado de Tecnología de Sistemas, cuyo conocimiento sobre la temática es poco o nulo; y por último se desarrolló la prueba en estudiantes del curso de Logística Industrial del plan de pregrado de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle sede Buga durante un semestre completo, los cuales tienen una comprensión de algunos términos relacionados a la gestión de inventarios, pero carecen de un contacto real con el problema de administración de inventarios. En la Fig. 3 se muestra una evidencia fotográfica de las distintas simulaciones realizadas.

Tabla 2. Información inicial de la lúdica

Costos logísticos	
Precio de venta	\$ 10.000
Costo pedido	\$ 1.000
Costo almacenamiento	\$ 5.000
Costo faltantes	\$ 5.000
Costo venta perdida	\$ 7.000

Fuente: Los autores.

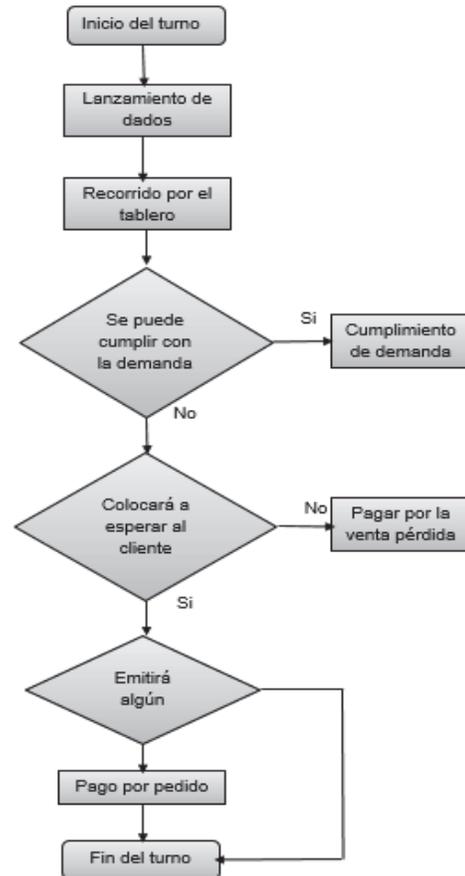


Figura 2. Diagrama de flujo de decisiones del juego. Fuente: [1]. Los autores

Tabla 3. Ponderación nivel de servicio y rentabilidad

X	F(X)	Y	G(Y)
0-30%	1	<0	1
30-60%	2	0-\$500.000	2
60-80%	3	\$500.000-\$750.000	3
80%-90%	4	\$750000-\$1.000.000	4
90-100%	5	>\$1.000.000	5

Fuente: Los autores

Los resultados para el escenario 1 se muestran en la Tabla 4; en esta se puede observar como el equipo ganador fue el número 4 ya que alcanzó el nivel de servicio más alto en la simulación (97%) y a su vez logró mantener un margen de rentabilidad para la compañía (\$975.000), obteniendo así, al final del desarrollo de la lúdica, una ponderación de 4.5.



Figura 3. Muestra fotográfica de distintos escenarios simulados
Fuente: [1]. Los autores

Tabla 4.
Resultados del escenario 1

ESCENARIO 1- Ingenieros industriales estudiantes de especialización en Logística			
Empresa	Nivel de servicio	Utilidad	Ponderación final
1	51%	\$ 2,148,000	3.5
2	91%	\$ 747,000	4.0
3	68%	\$ 486,000	2.5
4	97%	\$ 975,000	4.5

Fuente: Los autores.

Tabla 5.
Resultados del escenario 2

ESCENARIO 2- Estudiantes de tecnología en sistemas con colaboración de estudiantes de ingeniería industrial			
Empresa	Nivel de servicio	Utilidad	Ponderación final
1	48%	\$ 1,350,000	3.5
2	83%	\$ 921,000	4
3	66%	\$ 1,418,000	4
4	92%	\$ 623,000	4
5	81%	\$ 1,348,000	4.5

Fuente: Los autores.

Respecto al escenario 2 (Ver resultados en la Tabla 5), el equipo ganador fue el número 5 ya que logro obtener un nivel de servicio aceptable (81%), y a su vez generó una buena utilidad (\$1.348.000) para su compañía comparada con la obtenida por los otros participantes de la lúdica. Su ponderación final fue de 4.5.

Por último para el escenario 3 (Ver resultados en la Tabla 6) tenemos que el grupo ganador fue el número 3 ya que durante la simulación de la lúdica logró cumplirle en un gran porcentaje a su cliente (representado en un nivel de servicio del 93%) y esto conlleva a que logrará obtener un buen margen de utilidad (\$2.143.00).

Para analizar las semejanzas que se tuvieron entre las distintas simulaciones de la lúdica, lo que se hizo fue clasificar en rangos de 10% cada uno de los niveles de servicio obtenidos en los tres escenarios y luego se calculó un promedio de la utilidad de las empresas que quedaron dentro de cada categoría. En la Fig. 4 se puede observar como a medida de que las compañías buscaban obtener un mejor nivel de servicio (cercano al 100%) la utilidad de estas disminuía ya que incurría en una mayor proporción de

costos logísticos para poder responder a las necesidades del cliente. La estrategia en el juego consistía, como lo muestra el punto gris en la Fig. 4, en mantener un nivel de servicio bueno (entre el 80% y 90%) y a la vez obtener un margen de rentabilidad aceptable para la compañía.

En las tres simulaciones se ha evidenciado los siguientes resultados:

- Existen grupos que tienen un pensamiento orientado a los costos, por lo que buscan tener el menor nivel de inventario posible para no asumir demasiados costos por almacenamiento. Sin embargo, esta decisión afecta el nivel de servicio de su compañía y a su vez su rentabilidad, porque existen penalizaciones asociadas a una venta pérdida.
- Existen equipos con un pensamiento orientado al cliente, los cuales no tienen miedo de acumular inventario, para siempre satisfacer la demanda de su cliente, a pesar de que esto afecte el flujo de dinero de su compañía
- Los participantes ganadores por lo regular fueron las personas que supieron realizar un pronóstico acertado de la demanda, teniendo en cuenta todas las posibles fluctuaciones que podía tener ésta en el transcurrir de las semanas. El equipo ganador logró encontrar un equilibrio entre un buen nivel de servicio y una rentabilidad positiva para su compañía.

A partir de la función multiatributo desarrollada, se realizó un análisis de sensibilidad en el cual se variaron los valores de α y β , con el objetivo de evaluar el resultado final de la lúdica cuando se otorga un porcentaje de importancia mayor a uno de los dos criterios evaluados.

En la Tabla 7 se puede observar como el equipo ganador en los escenarios 1 y 2 es muy sensible a los cambios en los factores de ponderación, debido a que en estos casos existe algunos equipos que obtienen un bajo nivel de servicio, pero logran mantener unos costos logístico bajos por lo que su rentabilidad es mayor. Por el contrario en el escenario 3, se puede notar como no existe sensibilidad alguna con la variación

Tabla 6.
Resultados del escenario 3

ESCENARIO 3- Estudiantes del curso de logística Industrial del pregrado de Ingeniería Industrial			
Empresa	Nivel de servicio	Utilidad	Ponderación final
1	88%	\$ 1.354.000	4.5
2	86%	\$ 1.446.000	4,5
3	93%	\$ 2.143.000	5
4	87%	\$ 2.378.000	4.5

Fuente: Los autores

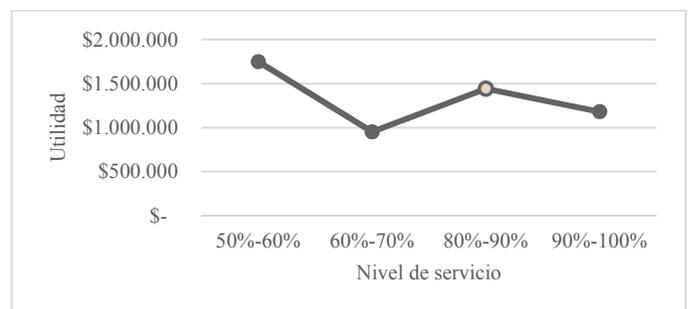


Figura 4. Nivel de servicio vs Utilidad
Fuente: [1]. Los autores

Tabla 7.
Resultados del escenario 3

Factores		Equipo ganador		
α	β	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
0.1	0.9	1	3	3
0.2	0.8	1	3	3
0.3	0.7	4	3	3
0.4	0.6	4	5	3
0.5	0.5	4	5	3

Fuente: Los autores

de los atributos de la función, debido a que el equipo ganador logra obtener un excelente nivel de servicio y a la vez una utilidad esperada alta. En conclusión, la sensibilidad explícita en la función multiatributo se ve directamente relacionada con los resultados obtenidos por cada uno de los equipos en el periodo de simulación.

4. Conclusiones y Recomendaciones

Esta actividad lúdica le permitió a sus participantes entender la complejidad que requiere el manejo y control de los inventarios para una compañía. Con la lúdica los participantes comprendieron cómo afecta a una empresa el elegir una determinada política para el manejo de sus inventarios, ya que mientras unos jugadores optan por tener grandes cantidades de inventarios para cumplir siempre con los pedidos del cliente; otros preferían tener pedidos pendientes o incluso perder ventas con tal de no que acumular costos por mantener inventarios; y cómo estas decisiones afectaban la utilidad final en el periodo de cada empresa.

Con la lúdica se deja abierta la posibilidad de una futura investigación y/o mejoramiento de la misma en torno a maneras didácticas de enseñar y apropiar sobre los inventarios.

Desde el punto de vista didáctico se observa que, a partir de la aplicación de esta herramienta, los participantes desarrollan un ambiente de competencia sana, donde ejecutan y mejoran sus habilidades para tomar decisiones en conjunto y bajo presión. Así mismo se observa que la lúdica permite desarrollar la capacidad de negociación entre sí de los participantes, así como la apropiación de un rol en particular. La herramienta permite la apropiación de temas complejos mediante la asociación de lo sucedido en el juego con situaciones de la vida real.

Bibliografía

- [1] Andrés, C., Suárez, T., María, E., y Agudelo, G., Aprendizaje activo en cursos básicos de ingeniería: Un ejemplo en la enseñanza de Dinámica Resumen. Uni-Pluri/versidad, [En línea]. 10(2), 2010. Disponible en: http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/3248/1/TrujilloCarlos_2010_Aprendizajeactivocursos.pdf
- [2] Porras, Y.J., Mejoramiento de las prácticas lúdicas “The Beer Game”, “Flow Shop / Job Shop”, “Fabrica XZ” y “Push/Pull” en los laboratorios de ingenierías de la Universidad Autónoma De Occidente, 2011, pp. 1-169.
- [3] Marín, Y., Montes, J., Hernández, H. y López, J., Validación de la lúdica como herramienta metodológica complementaria en la enseñanza del método de producción tradicional y del método de producción de la teoría de restricciones (TOC) para el manejo de los entornos multitarea * Tool in the Teaching of, 14(1), pp. 97-115, 2010.
- [4] Zuluaga, M.C. y Aguirre, M.A., GEIO automatizadas en la Celda, Ingeniería y Tecnología, 10, pp. 340-352, 2014.

- [5] Vidal-Holguín, C.J., Fundamentos de control y gestión de inventarios. C.E.-U. del Valle, Ed. Santiago de Cali, 2010, 364 P.
- [6] García, C.A., Ibeas, A. y Vilanova, R., A switched control strategy for inventory control of the supply chain. Journal of Process Control, 23(6), pp. 868-880, 2013. DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.04.005
- [7] Williams, B. D. y Tokar, T., A review of inventory management research in major logistics journals. The International Journal of Logistics Management, 19(2), pp. 212-232, 2008. DOI: 10.1108/09574090810895960
- [8] Harris, F., How many parts to make at once. The Magazine of Management, 10(2), pp. 135-152, 1913.
- [9] Hadley, G. and Whitin T.M., Analysis of inventory systems. United States of America. Prentice Hall Inc. 1963.
- [10] Porras, E. and Dekker, R., An inventory control system for spare parts at a refinery: An empirical comparison of different re-order point methods, European Journal of Operational Research, 184(1), pp. 101-132, 2008. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.11.008
- [11] Toro, H., Rivera, L. and Manotas, D.F., Financial risk assessment of different inventory policies. Revista EIA, pp. 43-60, 2011.
- [12] Wang, W., A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimisation. European Journal of Operational Research, 216(1), pp. 127-139, 2012. DOI: 10.1016/j.ejor.2011.07.031
- [13] Bacchetti, A. and Saccani, N., Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. Omega, 40(6), pp. 722-737, 2012. DOI: 10.1016/j.omega.2011.06.008
- [14] Wang, S.Y., Yiu, K.F.C. and Mak, K.L., Optimal inventory policy with fixed and proportional transaction costs under a risk constraint. Mathematical and Computer Modelling, 58(9-10), pp. 1595-1614, 2013. DOI: 10.1016/j.mcm.2012.03.009
- [15] Ramírez-Reyes, G.S. y Manotas-Duque, D.F., Modelo de medición del impacto financiero del mantenimiento de inventario de suministros. Scientia et Technica, 19(3), pp. 251-260, 2014.
- [16] Taleizadeh, A.A. and Nematollahi, M., An inventory control problem for deteriorating items with back-ordering and financial considerations. Applied Mathematical Modelling, 38(1), pp. 93-109, 2014. DOI: 10.1016/j.apm.2013.05.065
- [17] Guajardo, M., Rönnqvist, M., Halvorsen, A.M. and Kallevik, S.I., Inventory management of spare parts in an energy company. Journal of the Operational Research Society, 66(2), pp. 331-341. 2014. DOI: 10.1057/jors.2014.8
- [18] Goldratt, E., The Goal. United States of America. North River Press, 1984.
- [19] Ballou, R.H., Administración de la cadena de suministro. Prentice Hall, Ed. 2004.

A.M. Paredes, recibirá el título de Ingeniero Industrial en 2016 de la Universidad del Valle, Guadalajara de Buga, Colombia. Actualmente pertenece al grupo de investigación GLASP (Grupo de Lúdicas Aplicadas a la Solución de Problemas) y al grupo de investigación GIMAST de la Universidad del Valle, Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: simulación, optimización y modelado de sistemas productivos y/o logísticos. ORCID: 0000-0001-9196-9965

K.A. Peláez, recibirá el título de Ingeniero Industrial en 2016 de la Universidad del Valle, Guadalajara de Buga, Colombia. Actualmente pertenece al grupo de investigación GLASP (Grupo de Lúdicas Aplicadas a la Solución de Problemas) y al grupo de investigación GIMAST de la Universidad del Valle, Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: optimización y modelado de sistemas productivos y/o logísticos y la creación de herramientas lúdicas en diversos temas de ingeniería industrial. ORCID: 0000-0002-6495-5848

A.F. Salazar, recibió el título de MSc. en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Industrial en diciembre del 2015 por la Universidad del Valle, Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: simulación, optimización y modelado de sistemas productivos y/o logísticos. ORCID: 0000-0001-9911-0792

Herramienta didáctica para la explicación de conceptos de balanceo de línea en cursos de producción de los programas de ingeniería industrial

Kelly Andrea Peláez-Mejía ^a, Jorge Luis Payán-Quevedo ^b & Andrés Felipe Salazar-Ramos ^c

^a Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Guadajajara de Buga, Colombia. kelly.pelaez@correounivalle.edu.co

^b Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Guadajajara de Buga, Colombia. jorge.quevedo@correounivalle.edu.co

^c Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Guadajajara de Buga, Colombia. andres.f.salazar@correounivalle.edu.co

Resumen— Uno de los elementos más importantes en cualquier empresa manufacturera es lograr el adecuado balanceo de sus líneas de producción. De manera específica el balanceo de línea busca distribuir la carga de trabajo entre los recursos de un proceso, de tal manera que se logre equilibrar las capacidades productivas con las necesidades de operación. El presente documento busca proponer una herramienta didáctica para la explicación de conceptos alrededor del balanceo de línea. El montaje logra discutir también un segundo escenario donde se explica una metodología para el balanceo de línea denominada Bucket Brigades. Este es un método eficiente que tiene pocas aplicaciones prácticas en Colombia debido a que es bastante nuevo y poco conocido por la comunidad académica; razón por la que el presente documento también busca difundir el método como alternativa a la consecución de los objetivos de balanceo de línea. Con los resultados de la investigación, se logra demostrar que a partir de la experiencia práctica de los estudiantes en la línea de montaje desarrollada, entienden de mejor manera los conceptos teóricos de este importante tema.

Palabras Clave— Bucket Brigades; tiempo de ciclo; trabajo en proceso; tasa de producción; aprendizaje.

Recibido: 15 de octubre de 2015. Revisado: 10 de febrero de 2016. Aceptado: 15 de febrero de 2016.

Teaching tool for understanding concepts of rolling production line courses programs Industrial Engineering

Abstract— One of the most important elements in any manufacturing company is to achieve the proper balancing of their production lines. Specifically balancing line seeks to distribute the workload among the resources of a process, so as to achieve balance production capacity with operational needs. This document seeks to propose a teaching tool for explaining concepts about rolling line. The assembly also manages to discuss a second scenario where a methodology for balancing line called Bucket Brigades explained. This is an efficient method that has few practical applications in Colombia because it is fairly new and little known to the academic community; why this document also seeks to spread the method as an alternative to the achievement of the objectives of balancing line. With the results of the investigation, it is possible to show that from the practical experience of students in developed assembly line, to better understand the theoretical concepts of this important issue.

Keywords— Bucket Brigades; cycle time; Work in process; production rate; learning.

1. Introducción

Para [1] uno de los casos más importantes y estudiados en un sistema productivo es el problema de balancear una línea, buscando lograr la asignación óptima de los recursos obteniendo mejoras en el desempeño de la misma. Recientemente algunas empresas han adoptado nuevas

herramientas como la metodología Bucket Brigades (BB) para la resolución de este problema.

Según [2] la primera implementación de la metodología BB en los ambientes productivos fue en el año 1989 con la introducción del Toyota Sewn Products Management System (TSS). La metodología BB no se aplica únicamente a las líneas de ensamble, desensamble o de manufactura; [3] observaron que el BB puede aplicarse a otros sectores como, por ejemplo, la fabricación de prendas de vestir y almacenes de recogida de productos (picking).

La metodología BB en las zonas de picking (BB picking) utiliza el concepto de BB en las operaciones de recogida de pedidos. A diferencia de los sistemas comunes de picking, el BB picking no restringe los recolectores dentro de las áreas de trabajo especificadas. Los beneficios alcanzados por los sistemas BB picking se maximizan cuando los supuestos bajo los cuales funciona el modelo están satisfechos y la tasa de producción converge a un valor máximo y estable [4].

Según [5] los medios tradicionales de la organización de una línea de producción, tal como una línea de montaje clásico, son inflexibles; y sólo se cuenta con dos formas de cambiar el ritmo de producción: cambiar el número de turnos o bien redistribuir las tareas, herramientas y piezas en diferentes estaciones. El primero permite sólo ajustes gruesos, y el segundo es caro y poco ágil.

Por estos motivos, [2] hablan de una variación de la línea de montaje que ha sido introducido recientemente en la industria del vestido por Aisin Seiki Co., Ltd. una filial de Toyota, para aumentar la flexibilidad a la cual llamaron TSS. El TSS fue desarrollado bajo la dirección de Toyota durante la década de 1970 para mejorar la fabricación de fundas de asiento [5]. Esta nueva variación consistió en la descentralización de la línea, donde, cada trabajador independiente sigue una regla simple que determina qué hacer a continuación.

Basándose en las reglas del TSS [2] propusieron una nueva metodología llamada Bucket Brigades en la cual, en una línea de producción se tienen n trabajadores que se desplazan entre las m estaciones de la línea siguiendo 3 reglas: 1). Si su artículo es asumido por su sucesor (o si usted es el último trabajador y completa el procesamiento del artículo), a continuación, abandona el elemento y comienza la parte atrasada; 2). Caminar

hacia atrás y tomar el artículo de su predecesor (o, si usted es el primer trabajador, recoger materias primas para iniciar un nuevo artículo) y comenzar a seguir la secuencia de trabajo y 3). Secuenciar los trabajadores del más lento al más rápido. Al cumplir estas tres reglas surgirá de manera espontánea una partición de las cargas de trabajo en las estaciones y la tasa de producción convergerá a un valor máximo posible y estable.

Teóricamente la metodología Bucket Brigades promete grandes mejoras en diferentes tipos de sistemas productivos, siempre y cuando se cumplan a cabalidad ciertos supuestos planteados y estudiados por diversos autores y, que en un sistema de la vida real podrían llegar a entorpecer o minimizar los beneficios de la metodología.

[2] presentan los principales supuestos que se deberían cumplir para el desarrollo del método:

- **Supuesto 1:** Una estación puede procesar como máximo un elemento a la vez, y exactamente se requiere un trabajador para realizar el procesamiento.
- **Supuesto 2:** Todos los artículos son idénticos y por lo tanto cada uno requiere el mismo tiempo de procesamiento.
- **Supuesto 3:** Secuenciar a los trabajadores del más lento al más rápido independientemente de la estación en la que empezara. Surgiría de manera espontánea un balanceo en la carga laboral y la tasa de producción convergerá a un punto máximo.
- **Supuesto 4:** La metodología Bucket Brigades funciona mejor en procesos con pocas estaciones, que en aquellos donde tienen demasiadas: de tres a seis estaciones son los procesos más comunes.

Por lo mencionado anteriormente y dado que la metodología BB parece ser muy promisoría para el balanceo o equilibrio de una línea, el objetivo principal de la lúdica es mostrar que tan prometedor es el desempeño del método, certificándolo con indicadores como el Throughput, el tiempo de ciclo, el número de defectuosos, el WIP (Trabajo en proceso, por sus siglas en inglés) y al mismo tiempo proporcionar nuevos conocimientos de una forma clara y práctica para una mejor interiorización; al igual que permite conocer una nueva metodología para el balanceo de línea que ha surgido en los últimos 20 años y que lleva como nombre Bucket Brigades. Los conceptos más importantes tratados son:

Bucket Brigades: Brigada de cubo o de cadena humana, es un método para el transporte de artículos de una persona a la siguiente. En producción hace referencia a un modo de organización y asignación de operarios en una línea de ensamble [6].

Balanceo de línea: Agrupación de operaciones o actividades en centros de trabajo que cumplen con un orden y tiempo operativo determinado, de manera que la línea tenga continuidad y equilibrio [6].

Trabajo en proceso (WIP): Conjunto general de las entidades o elementos pendientes por ser procesados a lo largo de la línea de ensamble [6]. El trabajo en proceso requiere espacio de almacenamiento y representa un riesgo de caducidad y/o daño sobre los elementos.

Tiempo de ciclo: Es el tiempo promedio entre la producción de dos unidades consecutivas de productos [6].

Throughput: Se define como el número de ítems fabricados por unidad de tiempo [6].

Número de defectuosos: Cantidad de órdenes que salen al final de la línea de ensamble sin cumplir con los requisitos.

La metodología BB se realizó por medio de pruebas o lúdicas dado que, como dice [7], el uso de modelos de enseñanza con la aplicación lúdica permite fomentar el trabajo en equipo, profundizar conocimientos y a la vez que se vivencien los diferentes aspectos que pueden afectar un proceso de la vida real. Espacios como los laboratorios favorecen la exploración de la creatividad, la creación de soluciones novedosas, el análisis de una situación desde diferentes perspectivas, así como la comprensión de un determinado problema, sus causas y consecuencias [8].

Una vez realizada la revisión bibliográfica frente al tema es necesario plantear el esquema de presentación del documento. En la sección de metodología se presentan los aspectos necesarios a tener en cuenta para el desarrollo de la lúdica en el salón de clase como soporte a la enseñanza de los conceptos relacionados al balanceo de línea. La sección de resultados detalla los más relevantes del estudio, posteriormente se aborda la sección de conclusiones que además presenta algunas discusiones fruto de los experimentos con los estudiantes en el salón de clase.

2. Metodología

Este trabajo de investigación fue realizado con apoyo de los estudiantes de Ingeniería Industrial de séptimo semestre de la Universidad del Valle sede Buga, participantes en el IV Encuentro de la Red IDDEAL realizada en la universidad Autónoma de Occidente y estudiantes de especialización en logística de la Universidad del Valle sede Buga (Anexo A).

El desarrollo de la lúdica se llevó a cabo en un tiempo estimado de 35 minutos en los cuales se explicaron los conceptos a medida que se desarrollaba. La lúdica se dividió en tres fases; cabe resaltar que tanto al comienzo como al final de la lúdica se realizó una encuesta (Anexo F) con el fin de determinar el proceso de aprendizaje o conocimiento adquirido tras la aplicación de la herramienta propuesta. La primera fase de la lúdica consistió en la simulación de una línea de picking donde los participantes que participaron como operarios se encontraban asignados a estaciones fijas. En la segunda fase se simuló la misma línea de picking pero ahora los operarios no tenían zonas fijas y estuvieron secuenciados bajo la metodología BB.

El escenario de la lúdica se organizó de la siguiente manera: cada equipo tuvo 3 mesas alineadas a lo largo una frente a la otra. Sobre cada mesa se colocaron 9 cajas que representaron las estaciones de trabajo que fueron nombradas desde la estación "A" hasta la estación "I" y donde cada una contenía pitillos de diferentes colores los cuales, al agruparse, representaron las órdenes (Anexo B) de diferentes productos que debían alistarse.

Las órdenes representaban pedidos de productos realizadas por los clientes las cuales debían alistarse y debían de llegar a la línea a una razón de 30 segundos cada una. En cada orden se especificó el número y color requerido de pitillos en cada estación. A continuación se muestran los roles de cada persona durante la lúdica.

En la Tabla 1 se puede observar el número de personas que se necesitan por cada equipo y los roles con su respectiva función. Para cada equipo se necesitaron un total de 6 personas.

2.1. Primera fase

A) Se organizaron dos equipos de 6 personas y en cada equipo se asignaron los respectivos roles a cada uno de los participantes como se muestra en la Tabla 1. A cada equipo se le entregaron dos baquetas, un par de pinzas y dos formatos (Anexo C y Anexo D) para el registro de información.

B) Las tres personas seleccionadas como operarios se bicaron de pie al frente de la línea en el siguiente orden: 1) Operario. 2) Operario con baquetas. 3) Operario con pinzas. (Ver Anexo A)

C) El operario 1 se encargó de las estaciones A, B y C; el operario con baquetas de las estaciones D, E y F; y por último, el operario con pinzas se encargó de las estaciones G, H y I.

D) Las personas elegidas como jefe de calidad y jefe de producción se situaron al final de la línea al igual que el patinador.

E) Al iniciar la lúdica se liberaron en intervalos de 30 segundos cajas con sus respectivas órdenes de producto al inicio de la línea. Si en algún momento una estación se encontraba desabastecida de material, el patinador debía reabastecer dicha estación. El jefe de calidad registró la cantidad de órdenes defectuosas que salieron de la línea al igual que la cantidad de órdenes terminadas. El jefe de producción se encargó de registrar el tiempo de ciclo y el inventario en proceso una vez que terminó la primera simulación.

Tabla 1. Roles de los participantes.

Rol	Función
Operario con baquetas	Encargado de realizar la actividad de picking con las baquetas.
Operario con pinzas	Encargado de realizar la actividad de picking con las pinzas.
Operario 1	Encargado de realizar la actividad de picking con las manos.
Jefe de calidad	Encargado de revisar que al final de la línea los pedidos salgan con los requisitos de color y cantidad exigidos, y anotar la cantidad de órdenes que salen.
Jefe de producción	Encargado de registrar el tiempo de ciclo y el inventario en proceso de cada línea al final de la lúdica.
Patinador	Encargado de reabastecer las estaciones con materia prima.

Fuente: Los autores.



Figura 1. Recreación del primer escenario de la lúdica. Fuente: [1]. Los autores

F) Al finalizar la simulación de la primera fase el jefe de producción y de calidad entregaron los formatos (Anexo C y Anexo D) para ingresar la información a una plantilla (Anexo E) de Excel para un posterior análisis y socialización de los datos al final de las dos fases.

2.2. Segunda fase

En esta segunda fase se realizaron los cambios que se explicarán a continuación:

A) Las tres personas seleccionadas como operarios se ubicaron de pie al frente de la línea en el siguiente orden: 1) Operario con baquetas, 2) Operario con pinzas y 3) Operario 1.

B) Cada operario seguirá las reglas de la metodología BB a lo largo de la línea de la siguiente manera: cuando el último trabajador complete una tarea, éste debe regresar y hacerse cargo de la tarea de su antecesor; a su vez el trabajador que acaba de ser interrumpido vuelve atrás y toma la tarea de su antecesor y así sucesivamente a lo largo de la línea hasta que el primer trabajador ingresa materia prima [9].

C) Al finalizar de la simulación, el jefe de producción y de calidad entregaron los formatos (Anexo C y Anexo D) de registro para ingresar la información a una plantilla o formato (Anexo E) de Excel para un posterior análisis y socialización de los datos al final de las dos fases.

3. Resultados

Esta lúdica fue realizada con los estudiantes de Ingeniería Industrial de séptimo semestre de la Universidad del Valle sede Buga, participantes en el IV Encuentro de la Red IDDEAL realizada en la Universidad Autónoma de Occidente y estudiantes de especialización en logística de la Universidad del Valle sede Buga.

Cabe aclarar que la lúdica se realizó para un total de 6 equipos o líneas de ensamble, los resultados obtenidos mostraron un significativo aumento en la tasa de producción y una disminución en los tiempos de ciclo y lead time cuando se

Tabla 2. Tabla resumen de las variaciones de los indicadores de los diferentes equipos

Indicadores	% de variación
Órdenes completadas	174%
Tasa de producción	174%
Tiempo de Ciclo Promedio	41%
N° de defectuosos	150%
WIP	65%

Fuente: Los autores.

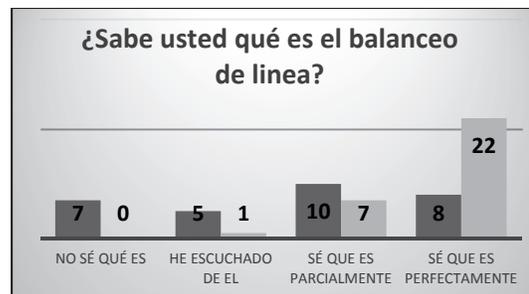


Figura 2. ¿Sabe usted qué es el balanceo de línea? Fuente: [1]. Los autores

utilizaba la metodología Bucket Brigades. Los resultados hacen referencia a la comparación de los indicadores antes y después de la aplicación de la metodología Bucket Brigades para cada equipo (Anexo G). En la Tabla 2 se muestra el promedio de las variaciones de todos los equipos:

Como se puede observar de la Tabla 2, al aplicar la metodología Bucket Brigades se obtuvo un aumento en promedio del 174% en relación a la tasa de producción de los 6 equipos. En cuanto al trabajo en proceso y el tiempo de ciclo estos disminuyeron en promedio 65% y 41% respectivamente para los 6 equipos. El número de defectuosos aumentó un 150%, esto indica que, aunque se tuvo un aumento en la tasa de producción y disminución del tiempo de ciclo la cantidad de órdenes defectuosas se debió principalmente a la comunicación de los operarios en la línea y la complejidad de la labor de picking.

También se debe resaltar el conocimiento adquirido por parte de los estudiantes, ya que al comienzo de la lúdica se les explicó los conceptos nuevos como el balanceo de línea, Bucket Brigades, tasa de producción, tiempo de ciclo, trabajo en proceso, calidad, etc.; y gracias a esta actividad pudieron asimilar de una forma más rápida y didáctica estos conceptos. A continuación se presentan los resultados de la encuesta realizada a 30 personas (Anexo H).

En la Fig. 2 el color gris oscuro representa los resultados de la primera encuesta realizada antes de empezar la lúdica y el color gris claro muestra los resultados después del desarrollo de la lúdica y la explicación de los conceptos.

Como se puede apreciar de la Fig. 2, solo 8 personas conocían qué es el balanceo de línea antes de explicar los conceptos. Al final de la lúdica se pasó de 8 personas a 22 que conocían que es el balanceo de línea, dando como resultado un aumento de 14 personas que corresponde a un 175%.

De las personas encuestadas solo una sabía que era perfectamente la metodología Bucket Brigades. Se puede apreciar que la lúdica fue bastante útil para que los participantes interiorizaran un nuevo concepto. En promedio 20 personas aprendieron que es la metodología Bucket Brigades.

Para la pregunta ¿Sabe usted cómo funciona la metodología Bucket Brigades? 29 personas aprendieron sobre la metodología Bucket Brigades.

Para las medidas de desempeño como la tasa de producción, el tiempo de ciclo y el trabajo en proceso, se observó también un aumento en el número de personas que aprendieron que eran estos indicadores y como servían para medir el desempeño de la línea. El aumento de personas no fue tan significativo dado que la gran mayoría ya conocían que son estos indicadores.



Figura 3. ¿Sabe usted qué es la metodología Bucket Brigades? Fuente: [1]. Los autores



Figura 4. ¿Sabe usted cómo funciona la metodología Bucket Brigades? Fuente: [1]. Los autores



Figura 5. ¿Sabe usted que es el throughput o tasa de producción? Fuente: [1]. Los autores



Figura 6. ¿Sabe usted qué es el tiempo de ciclo? Fuente: [1]. Los autores

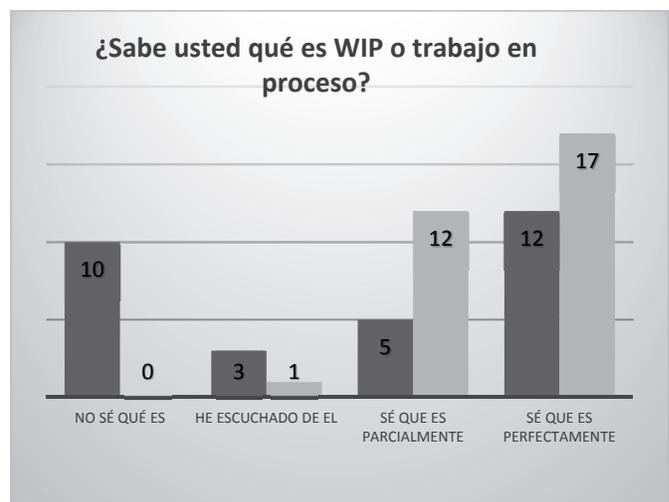


Figura 7. ¿Sabe usted qué es WIP o trabajo en proceso? Fuente: [1]. Los autores

4. Conclusiones y Discusiones

Con la realización de la lúdica se pretende que los asistentes puedan conocer los problemas que afectan a las empresas, la importancia de estos, las herramientas para resolverlos y los indicadores para medir el desempeño de las soluciones aplicadas.

En la lúdica realizada se utilizaron pitillos de diferentes colores por lo cual la complejidad de las tareas fue mayor. Se resaltó por parte de los estudiantes que la calidad con la que salían las órdenes se vio afectada por la comunicación y los pitillos de varios colores.

Cabe resaltar que se evidenció claramente que la eficacia del método depende de la comunicación existente entre los trabajadores debido a que sí, por cualquier motivo, los operarios llegan a omitir, tergiversar o anular cualquier tipo de información, se ocasionará que se produzcan defectuosos o que el correcto flujo de la línea se vea entorpecido a causa del reproceso causado por esos errores.

Los asistentes a la lúdica pudieron conocer una nueva metodología para el balanceo de línea, al igual que las condiciones en las que se puede aplicar y los requisitos de la misma.

Se puede decir que la metodología Bucket Brigades si es efectiva para el balanceo de una línea pero se deben tener en cuenta factores importantes que afectan la aplicabilidad de la metodología como es la comunicación de los operarios en la línea, la complejidad de las tareas y la habilidad manual.

La lúdica si cumplió con el objetivo planteado de mostrar la bondad del método para balancear una línea dado que se obtuvieron mejoras tanto en los indicadores utilizados como en los conocimientos adquiridos por los participantes y espectadores. Los resultados de la lúdica mostraron que con la aplicación de la metodología Bucket Brigades se aumentó tanto la tasa de producción como la disminución del tiempo de ciclo en las líneas de ensamble simulados en 173,6% y 64,7% respectivamente.

Por otro lado se logró con la lúdica se interiorizaran conceptos nuevos, esto está sustentado en la encuesta realizada que refleja que los participantes al terminar la lúdica aprendieron algo nuevo.

Anexos

Anexo A: Muestra fotográfica de diversos escenarios



Figura 8. Prueba lúdica realizada con estudiantes de especialización en logística de la Universidad del Vale sede Buga.
Fuente: [1]. Los autores



Figura 9. Demostración realizada con estudiantes de especialización en logística de la Universidad del Vale sede Buga.
Fuente: [1]. Los autores



Figura 10. Prueba lúdica realizada durante el IV Encuentra de la Red IDDEAL Cali, Valle del Cauca.
Fuente: [1]. Los autores

Anexo B: Ejemplo de orden a completar por los trabajadores



Figura 11. Orden a completar por los trabajadores.
Fuente: [1]. Los autores

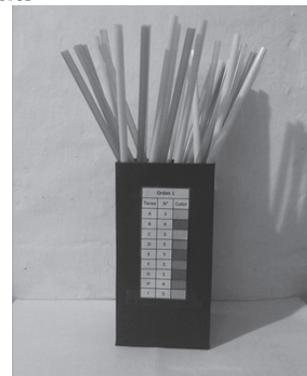


Figura 12. Orden completada por los trabajadores.
Fuente: [1]. Los autores

Anexo C: Formato de tiempo de ciclo y WIP – Jefe de producción

Formato: Tiempo de ciclo y WIP

Equipo			Simulación N°				Trabajo en proceso	
N°	Minutos	segundos	N°	Minutos	segundos	WIP		
1			26					
2			27					
3			28					
4			29					
5			30					
6			31					
7			32					
8			33					
9			34					
10			35					
11			36					
12			37					
13			38					
14			39					
15			40					
16			41					
17			42					
18			43					
19			44					
20			45					
21			46					
22			47					
23			48					
24			49					
25			50					

Anexo D: Formato de Throughput y numero de defectuosos – Jefe de calidad

Formato: Throughput y número de defectuosos

Equipo																									Simulación N°				
N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25				
Defectuosos																													
Órdenes																													
N°	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50				
Defectuosos																													
Órdenes																													

Marque con una x en la casilla órdenes cada vez que salga una orden de la línea o en defectuosos cada vez que una orden no cumpla con los criterios de calidad.

Anexo E: Formato de resultados

Formato de resultados

Tabla Resumen					Tabla de variación			
Simulación N°	1	2	1	2	Unidades	Equipo		
Equipo					Minutos	Equipo		
Tiempo de simulación					Órdenes	Órdenes completados		
Órdenes completados					Tasa de producción	Tiempo de Ciclo Promedio		
Tasa de producción					Orden/Min	WIP		
Tiempo de Ciclo Promedio					Minutos			

Anexo F: Encuesta de evaluación de conocimientos (la encuesta se realizó antes y después de la lúdica)

Encuesta de Evaluación: ¿Qué sabes del Bucket Brigades?

1.1 ReResponda las siguientes preguntas con total honestidad marcando con una x la repuesta que crea conveniente. Esta encuesta es solo para fines académicos.

1. ¿Sabe usted qué es el balanceo de línea?

- A. No sé qué es.
- B. He escuchado de él.
- C. Sé qué es parcialmente.
- D. Sé qué es perfectamente.

2. ¿Sabe usted que es la metodología Bucket Brigades?

- A. No sé qué es.
- B. He escuchado de ella.
- C. Sé qué es parcialmente.
- D. Sé qué es perfectamente.

3. ¿Sabe usted cómo funciona la metodología Bucket Brigades?

- A. No lo sé.

- B. He escuchado cómo funciona.
- C. Sé cómo funciona parcialmente.
- D. Sé cómo funciona perfectamente.

4. ¿Sabe usted qué es el tiempo de ciclo?

- A. No sé qué es.
- B. He escuchado sobre él.
- C. Sé qué es parcialmente.
- D. Sé qué es perfectamente.

5. ¿Sabe usted qué es el Throughput o tasa de producción?

- A. No sé qué es.
- B. He escuchado sobre él.
- C. Sé que es parcialmente.
- D. Sé qué es perfectamente.

6. ¿Sabe usted qué es WIP o trabajo en proceso?

- A. No sé qué es.
- B. He escuchado sobre él.
- C. Sé qué es parcialmente.
- D. Sé qué es perfectamente.

Anexo G: Resultados

Tabla 3. Resultados de los estudiantes de 7to Semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle Sede Buga

Simulación N°	1	2	1	2	Unidades
Equipo	Equipo A	Equipo A	Equipo B	Equipo B	
Tiempo de simulación	5	5	5	5	Minutos
Órdenes completados	3	6	3	5	Órdenes
Tasa de producción	0,6	1,2	0,6	1	Orden/Min
Tiempo de Ciclo Promedio	1,33	0,73	1,09	0,75	Minutos
N° de defectuosos	1	3	1	0	Órdenes
WIP	7	3	9	3	Órdenes

Fuente: Los autores.

Tabla 4. Tabla de variación de resultados de estudiantes de 7to Semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle Sede Buga

Equipo	Equipo A	Equipo B
Órdenes completados	100%	67%
Tasa de producción	100%	67%
Tiempo de Ciclo Promedio	45%	31%
N° de defectuosos	200%	100%
WIP	57%	67%

Fuente: Los autores.

Tabla 5. Resultados de los equipos participantes en el IV encuentro de la Red IDDEAL

Simulación N°	1	2	1	2	Unidades
Equipo	Equipo A	Equipo A	Equipo B	Equipo B	
Tiempo de simulación	5	5	5	5	Minutos
Órdenes completados	4	6	2	5	Órdenes
Tasa de producción	0,8	1,2	0,4	1	Orden/Min
Tiempo de Ciclo Promedio	0,67	0,51	1,38	0,64	Minutos
N° de defectuosos	1	2	1	4	Órdenes
WIP	8	3	9	3	Órdenes

Fuente: Los autores.

Tabla 6. Tabla de variación de resultados de los equipos participantes en el IV encuentro de la Red IDDEAL

Equipo	Equipo A	Equipo B
Órdenes completados	50%	150%
Tasa de producción	50%	150%
Tiempo de Ciclo Promedio	24%	54%
N° de defectuosos	100%	300%
WIP	62,5%	67%

Fuente: Los autores

Tabla 7. Resultados de los estudiantes de especialización en Logística de la Universidad del Valle Sede Buga

Simulación N°	1	2	1	2	Unidades
Equipo	Equipo A	Equipo A	Equipo B	Equipo B	
Tiempo de simulación	5	5	5	5	Minutos
Órdenes completados	4	7	1	7	Órdenes
Tasa de producción	0,8	1,4	0,2	1,4	Orden/Min

Tabla 9. Encuestas tabuladas

Pregunta	Resultados encuesta inicial			Resultados encuesta final				
	No sé qué es	He escuchado de él	Sé qué es parcialmente	Sé qué es perfectamente	No sé qué es	He escuchado de él	Sé qué es parcialmente	Sé qué es perfectamente
¿Sabe qué es el balanceo de línea?	7	5	10	8	0	1	7	22
¿Sabe cómo funciona la metodología Bucket Brigades?	20	2	7	1	1	1	7	21
¿Sabe qué es la tasa de producción?	19	5	4	2	1	0	10	19
¿Sabe qué es la metodología Bucket Brigades?	6	6	5	13	0	0	11	19
¿Sabe qué es el tiempo de ciclo?	7	5	8	10	0	4	13	13
¿Sabe qué es el trabajo en proceso?	10	3	5	12	0	1	12	17

Fuente: Los autores.

Bibliografía

- [1] De Carlo, F., Borgia, O., and Tucci, M., Bucket brigades to increase productivity in a luxury assembly line. *International Journal of Engineering Business Management*, 5(28), pp. 1-5, 2013. DOI: 10.5772/56837
- [2] Bartholdi, J.J. and Eisenstein, D.D., A production line that balances itself. *European Journal of Operations Research*, 44(1), pp. 21-34, 1996. DOI: 10.1287/opre.44.1.21
- [3] Bartholdi, J.J., Bunimovich, L.A. and Eisenstein, D.D., Dynamics of 2- and 3-worker Bucket Brigades production lines, 1996, pp. 1-10.
- [4] Koo, P.-H., The use of bucket brigades in zone order picking systems. *OR Spectrum*, 31(4), pp. 759-774, 2008. DOI: 10.1007/s00291-008-0131-x
- [5] Bartholdi, J.J., Eisenstein, D.D., Jacobs-Blecha, C. and Ratliff, H.D., Design of bucket brigade production lines, 1995.
- [6] Saucedo, D. y Tigreros, G.M., Evaluación de las medidas de desempeño de una línea de ensamble bajo la metodología bucket brigades, Tesis de Grado. Universidad del Valle, Buga, Colombia. 2014.
- [7] Porras, Y.J., Mejoramiento de las prácticas lúdicas “the beer game”, “flow shop / job shop”, “fabrica xz” y “push/pull” en los laboratorios de ingenierías de la Universidad Autónoma de Occidente, 2011, pp. 1-169.
- [8] Zuluaga-Ramírez, C.M., y Aguirre-Henao, A.M, Actividades prácticas del Grupo GEIO automatizadas en la celda de manufactura flexible. *Entramado*, 10(1), pp. 340-352, 2014.
- [9] Bartholdi, J.J., Eisenstein, D.D. and Foley, R.D., Performance of bucket brigades when work is stochastic, *Oper. Res.*, 49(5), pp. 710-719, 2001. DOI: 10.1287/opre.49.5.710.10609

K.A. Peláez-Mejía, recibirá el título de Ingeniero Industrial en 2016 de la Universidad del Valle, Guadalajara de Buga, Colombia. Actualmente pertenece al grupo de investigación GLASP (Grupo de Lúdicas Aplicadas a la Solución de Problemas) y al grupo de investigación GIMAST de la Universidad del Valle, Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: optimización y modelado de sistemas productivos y/o logísticos y la creación de herramientas lúdicas en diversos temas de ingeniería industrial.
ORCID: 0000-0002-6495-5848

J.L. Payán-Quevedo, recibirá el título de Ingeniero Industrial en 2016 de la Universidad del Valle, Guadalajara de Buga, Colombia. Actualmente pertenece al grupo de investigación GLASP (Grupo de Lúdicas Aplicadas a la Solución de Problemas) y al grupo de investigación GIMAST. de la Universidad del Valle, Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: optimización y modelado de sistemas productivos y/o logísticos y la creación de herramientas lúdicas en diversos temas de ingeniería industrial.
ORCID: 0000-0002-7648-7500

A.F. Salazar-Ramos, recibió el título de MSc. en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Industrial en diciembre del 2015 por la Universidad del Valle, Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: simulación, optimización y modelado de sistemas productivos y/o logísticos.
ORCID: 0000-0001-9911-0792

Práctico profesional reflexivo. Estudio de múltiples casos y progresión formativa

Hildebrando Ramírez-Arcila ^a & John Freddy Ramírez-Casallas ^b

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué, Colombia. hildebrando.ramirez@campusucc.edu.co

^b Facultad de Ingeniería, Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué, Colombia. john.ramirez@campusucc.edu.co

Resumen— Se ha determinado que en las prácticas profesionales que realizan los estudiantes en diferentes entidades de la región, es posible confirmar una concepción técnica predominante. Frente a esta perspectiva, se ha optado por un estudio múltiple de casos para indagar a profundidad la vivencia de las prácticas realizadas por estudiantes particulares. Primeros resultados permiten identificar que van entre experiencias técnicas y reflexivas; lo que obliga a un proceso de formación más allá de las concepciones personales y/o institucionales, que fueron el punto de partida. En consecuencia, la formación del ingeniero para los retos que le depara la sociedad actual aparece como un problema multidimensional y sistémico. Al respecto, se aporta como primer resultado relevante una posible progresión entre el estado técnico y el reflexivo, que al caracterizar y evidenciar sus diferencias, sirve como un referente crítico para actuar con el propósito de formar prácticos profesionales reflexivos.

Palabras clave: calidad educativa, formación de ingenieros, investigación formativa, progresión formativa, cambio social.

Recibido para revisar Octubre 25 de 2015, aceptado Noviembre 22 de 2015, versión final Febrero 4 de 2016

The engineer reflective practitioner. Formative progression through multiple case study

Abstract— In previous study it has determined that, in professional practices carried out by students in different entities in the region, it is possible to confirm a formative Technical Conception. Faced with this overview, we have opted for a multiple case study to investigate in depth the experience of the practices of students. The first results show experiences of the two types; in consequence, requires that the training process exceed the personal conceptions and / or institutional, which were the starting point. Consequently, the Engineering Education -for the challenges that holds the information society and knowledge- appears as a multidimensional and systemic problem. In this regard, as a first significant result, here it provides a possible progression between technical and reflexive conceptions that characterize and highlight their differences. This result serves as a critical reference to act in order to educate reflective practitioners in pre-service.

Keywords: Educational Quality, Engineering Education, Formative research, formative progression, Social Change.

1. Antecedentes y justificación

En recientes investigaciones, orientadas por el interés de promover la formación de ingenieros civiles que construyan conocimiento sobre las problemáticas de su realidad regional, se ha elegido el enfoque del ingeniero como Práctico Profesional Reflexivo; en especial, desde una perspectiva de reconstrucción de la experiencia desde la que “el profesional se

considera sujeto de conocimiento que puede contribuir de forma legítima sobre la realidad de la práctica.” [1].

En el marco de esta perspectiva, que va más allá de una concepción profesionalizante de la formación, alineándose con una posición donde el ingeniero en formación es concebido como protagonista de las transformaciones y aporte a la solución de las problemáticas que viven nuestras regiones; se han formulado con anterioridad [1] tres criterios generales para valorar el trabajo formativo, de los que es posible realizar una primera descripción del estado actual de los avances (Tabla 1).

En el aspecto epistemológico, el trabajo de investigación ha mostrado que no basta solamente con identificar y transformar las concepciones que los estudiantes y/o instituciones poseen sobre la realidad en la que se desempeñan. En un primer estudio [4]

Tabla 1.

Estado de los avances en los criterios generales de valoración [ideológico, epistemológico y ontológico].

Criterios generales de valoración	Estado actual
En lo ideológico. Se hace necesario clarificar la concepción de desarrollo sostenible que se posee y derivar criterios concretos para valorar la formación de los ingenieros en el espacio de las prácticas profesionales	Por el momento, se ha adelantado la identificación de Dimensiones de Desarrollo Sostenible para el proceso de Emprendimiento [2].
En lo epistemológico. Convertir el conocimiento práctico profesional pasa por darle verdaderos espacios en la vida universitaria y la dinámica (normativa, ética, legislativa, administrativa) de las empresas y otros tipos de organizaciones (sociales, comunitarias, etc.). En particular, los esquemas y procedimientos de carácter semiautomático que han mostrado ser efectivos –en las líneas ideológicas propuestas o que obstaculizan el desempeño eficaz en la práctica profesional.	Inicialmente se considera que para afectar el conocimiento de los estudiantes en prácticas profesionales es suficiente con transformar sus formas de trabajo desde los cursos regulares [3] o desde las práctica investigativas [4]. A pesar de esta posición, se identifica que la problemática es aún más compleja, siendo necesario concebir la formación como una problemática multidimensional y sistémica.
En lo Ontológico. Profundizar en la realidad como una construcción social diversa, que en el caso especial de las obras de ingeniería, no obedece tan sólo a los grados de libertad que impone el mundo social sino donde también operan los niveles de organización biológico, antrópico y ecosistémico	Más allá de los desarrollos tecnológicos alrededor del agua [5], se considera necesario desarrollarla como un objeto de estudio complejo.

Fuente: Los autores

se reconocen evidencias que apoyan la idea de que la realización de las prácticas profesionales en la región son evaluadas mayoritariamente desde una Concepción Técnica; asunto que es ratificado posteriormente y que ha servido de soporte para el desarrollo de teorías e hipótesis que sirven de base a la indagación que aquí se presenta [1]. Pero, en estos mismos estudios, la evidencia ha hecho necesario considerar que las entidades que reciben a los estudiantes se “expresan” a través de sus integrantes [tutores, directores de división, etc.] e imponen ciertas restricciones a los estudiantes que se desempeñan en dichos espacios institucionales.

Debido a que los estudios anteriores no fueron concebidos metodológicamente para indagar por esta problemática en particular, se ha considerado necesario acudir a un estudio múltiple de casos en el que -más allá de lo que informan los cuestionarios-, sea posible profundizar en lo que sucede o ha sucedido en las prácticas profesionales que se ha realizado. En este documento se informa de los resultados obtenidos con cuatro estudiantes del programa.

2. Diseño metodológico

La ampliación que se ha hecho de la Investigación Formativa (IF), como un concepto que se refiere a las interacciones propias del proceso de enseñanza-aprendizaje hacia los diversos subsistemas que componen la organización [6,7], ha requerido el desarrollo y validación de un enfoque metodológico que se caracteriza por [8,9]:

- Una perspectiva general de Investigación Acción Participativa, desde la que se considera que el estado ideal de la organización se obtiene cuando todos los integrantes de la Universidad, desde los diversos subsistemas y niveles de la organización operan como actores críticos que usan el conocimiento para contribuir en su transformación y evolución.
- Una concepción metodológica en la que los diversos estudios que se realizan sobre la misma realidad aportan visiones complementarias, que apoyan su comprensión e intervención transformadora.

En este caso particular, puede apreciarse que se pasa de estudios basados especialmente en la aplicación de cuestionarios hacia un estudio múltiple de casos que permite profundizar sobre la experiencia que cada uno de los estudiantes ha tenido en el desarrollo de sus prácticas profesionales. La razón básica consiste en que a pesar de los aportes interesantes que se han realizado, la complejidad de lo que sucede en cada una de las entidades de práctica ha llevado a conocer casos múltiples que permitan potenciar la intervención en los procesos formativos a través de la práctica, forma mediante la cual se superan las limitantes que suponían los cuestionarios.

Este reporte cobija a cuatro estudiantes (Tabla 2), dos que se desempeñaron en entidades de naturaleza privada y dos en una entidad estatal. A cada uno de los estudiantes se le informó que sus datos serían confidenciales. Se les explica que su contribución es importante para mejorar las prácticas profesionales desde la perspectiva del ingeniero como Práctico Profesional Reflexivo. Se realizaron tres entrevistas, una por cada entidad de práctica. Cada uno de los autores tomó los apuntes correspondientes; uno de ellos elaborando grafos de conceptos y sus relaciones [10], y el otro realizando apuntes de

forma analítica, sobre lo que expresaron los estudiantes. Posteriormente, los autores se sentaron a revisar las hipótesis previas y conflictos teóricos que representan estos datos en relación con el conocimiento ya construido. Bajo estas consideraciones, la información se sometió a Análisis de Contenido [11] con el propósito de construir Teoría Fundamentada sobre la realidad social, teniendo en cuenta las críticas a este enfoque [12], solucionadas bajo la estrategia de considerar las categorías previas como fundamentales en este análisis [13]. Las discusiones y resultados al respecto se sintetizan a continuación, bajo el entendido de que nuevos casos ayudarán a enriquecerlos.

3. Análisis y discusión de los resultados

La complejidad y riqueza de los hallazgos ha hecho necesario que se dividan los resultados y su discusión en dos apartados: el primero, dedicado a la concepción de una organización multidimensional y sistémica de las prácticas profesionales; y, la segunda, orientada a formular una progresión desde un estado simple hacia un estado ideal de las prácticas profesionales, clave en la identificación de caminos para actuar en la reformulación de lo que sucede en el proceso formativo.

3.1. El papel protagónico de la organización y categorías en la construcción de conocimiento a través de la práctica profesional

Resultados anteriores han mostrado que el cambio en las concepciones y prácticas sobre el conocimiento, que se dan en la Universidad como organización, hacen posible elevar el impacto significativo que esta tiene sobre la región [14]. Dicho trabajo mostraba que si la organización sufre transformaciones desde dentro, entonces se hace posible elevar los indicadores de Responsabilidad Social de la institución al beneficiar el contexto en que se desempeña. En contraste, estudios recientes [4] muestran que, en el caso de la práctica profesional concebida desde el modelo de Práctico Profesional Reflexivo, tal afectación también se da en sentido contrario. Por ejemplo, cuando un estudiante requiere a la institución condiciones para realizar la producción de conocimiento desde una perspectiva

Tabla 2
Características de las prácticas de/y los estudiantes que se toman como casos.

Caso	Características
1	Sexo masculino. Realizó su práctica en una entidad privada que se encarga de la prestación de servicios públicos en municipio del departamento del Tolima. Elige la práctica porque considera que es más rápido graduarse si se compara con la modalidad de investigación. En la entidad le hacen sentir que concederle espacio para la práctica consiste en un “favor” que le hacen.
2	Sexo masculino. Realizó su práctica en una entidad privada que se encarga de presentar proyectos a entidades públicas de un municipio del departamento. Escoge esta entidad porque le facilita la estadia el hecho de que allí tenía familiares que lo alojaban; no recibe ayuda económica de la empresa. En la entidad le hacen sentir que concederle espacio para la práctica consiste en un “favor” que le hacen.
3 y 4	Sexo femenino. Realizan la práctica en entidad estatal del municipio de Ibagué. Reciben una ayuda económica por el trabajo de práctica profesional que realizan.

Fuente: Los autores

reflexiva (impacto de la formación en el programa, en gran parte), pero encuentra que la entidad simplemente desconoce estas solicitudes (impactando el proceso mismo de formación que espera la Universidad).

El carácter organizacional que es necesario reconocer en la práctica profesional requiere revisar el modelo II de profesional reflexivo propuesto por Donald Schön [15], en la medida que este tan sólo tiene en cuenta la relación entre el profesional reflexivo y los usuarios que solicitan sus servicios. Como se ha mostrado en el caso de las prácticas profesionales, se hace necesario incluir el componente organizacional para concebir ahora la construcción de conocimiento como una relación mediada organizacionalmente (Fig.1).

De esta manera se desprenden cuatro categorías de trabajo. La categoría 1, orientada a la construcción de conocimiento y soluciones tecnológicas; de la que se considera como estado ideal que el conocimiento construido se haga desde la perspectiva del Práctico Profesional Reflexivo. La categoría 2 sugiere que la relación del estudiante, como parte de las dos organizaciones en el ejercicio de la práctica, requiere de concebirse como una relación triádica, en la que su estado ideal sería el caso donde se da una relación fluida entre los tres actores [estudiante y tutores], reconocida y permitida en el marco de las organizaciones. La categoría 3 se deriva de reconocer que los convenios de cooperación entre las instituciones debe existir obligatoriamente, lo que afecta, define y limita el tipo de interacciones que se pueden dar en la categoría 2, su estado ideal se daría cuando se hace un proceso de

colaboración dinámico entre la producción de la Universidad con la de la entidad, como ha ocurrido en algunos casos. Finalmente, la categoría 4, relacionada con la naturaleza [estatal, solidaria o privada] y los intereses de las entidades; pues terminan por definir la lógica del conocimiento que puede proveer a los usuarios.

3.2. Progresión formativa propuesta a partir de los casos estudiados

A partir de los múltiples casos estudiados, es posible obtener una primera hipótesis de progresión [16] de la evolución de las prácticas profesionales desde una posición simple hacia otra ideal; estado en el que las cuatro categorías deberían adquirir los valores ideales propuestos anteriormente. Por otro lado, dichas progresiones pueden ir entre diversos estados de la progresión personal del estudiante frente a la progresión de la relación triádica que se da al interior de las organizaciones (Fig.2).

El procedimiento para realizar la hipótesis de progresión ha consistido en tomar cada uno de los cuatro casos, para identificar las diversas posiciones que pueden darse, de acuerdo con los datos empíricos recopilados. Cada posición que se plantea se ilustra de acuerdo con el número del caso; y entre diferentes posiciones es posible identificar obstáculos que deben superarse para pasar de una posición más simple hacia otra más compleja e ideal [nivel de referencia], siendo esta en donde es posible encontrar interacciones fuertes de ida y vuelta entre las dos organizaciones alrededor de la práctica profesional.

Para iniciar la práctica profesional, cada estudiante debió cumplir con aprobar al menos el 70% del plan de estudios. Además, debe optar por una entidad que tenga convenio con la Universidad. En algunos casos, son los mismos estudiantes los que han adelantado la gestión del convenio con la entidad que les interesaba (casos 1,2), mientras que en otros el convenio existía (casos 3,4). Antes de iniciar la práctica profesional, los estudiantes deben presentar y obtener el aprobado de un proyecto donde se contemplan las actividades a realizar. En algunos casos los estudiantes indagan por las necesidades que se identifican en las entidades, como información previa para escribir el proyecto (casos 3,4), mientras que otros escriben una propuesta que no necesariamente encaja plenamente con lo que van a realizar (casos 1,2).

En todos los casos sobresale el hecho de que los estudiantes se integran a las actividades, pero bajo la idea de “seguir las instrucciones” que les imparte la persona que funge como tutor al interior de la entidad. Aun así, la experiencia ha sido diferente; mientras algunos estudiantes tan sólo cumplen con lo ordenado (casos 1,2), otros intentan ir más allá en el proceso de construcción de conocimiento al solicitar que se les dote de espacios y equipamiento para la investigación, como parte del cumplimiento de las tareas, aunque reciben la respuesta común de no salirse del marco que imponen las normas (casos 3,4).

Finalmente, el nudo más grande a superar se conforma con las dificultades que se tienen al realizar las interacciones entre estudiantes y tutores. En el mejor de los casos, un estudiante accedió a consultar sobre intervenciones específicas que venía haciendo en una obra en particular, preocupado por los riesgos que podrían sobrevenir (caso 1).

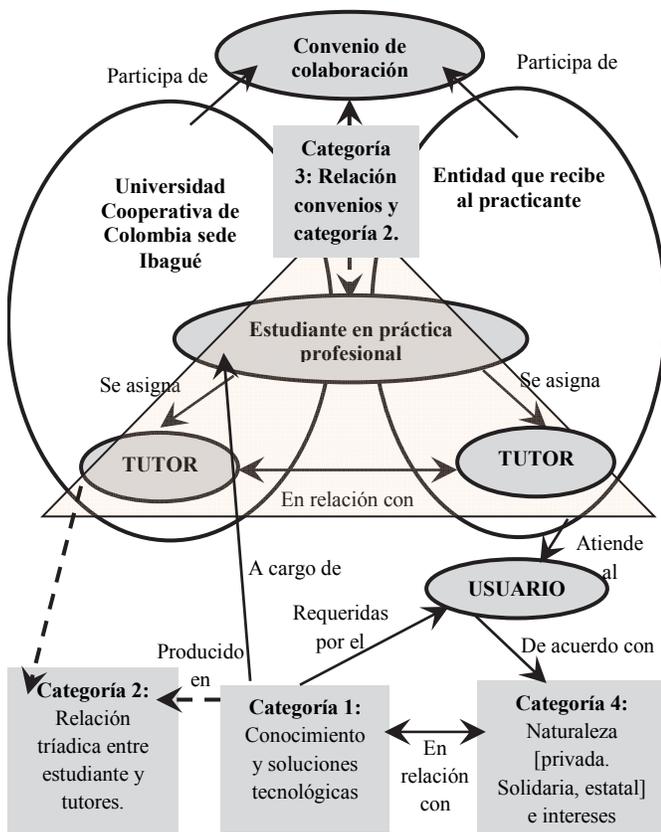


Figura 1. El ingeniero en prácticas profesionales y categorías concebidas desde una perspectiva organizacional. Fuente: Los autores.

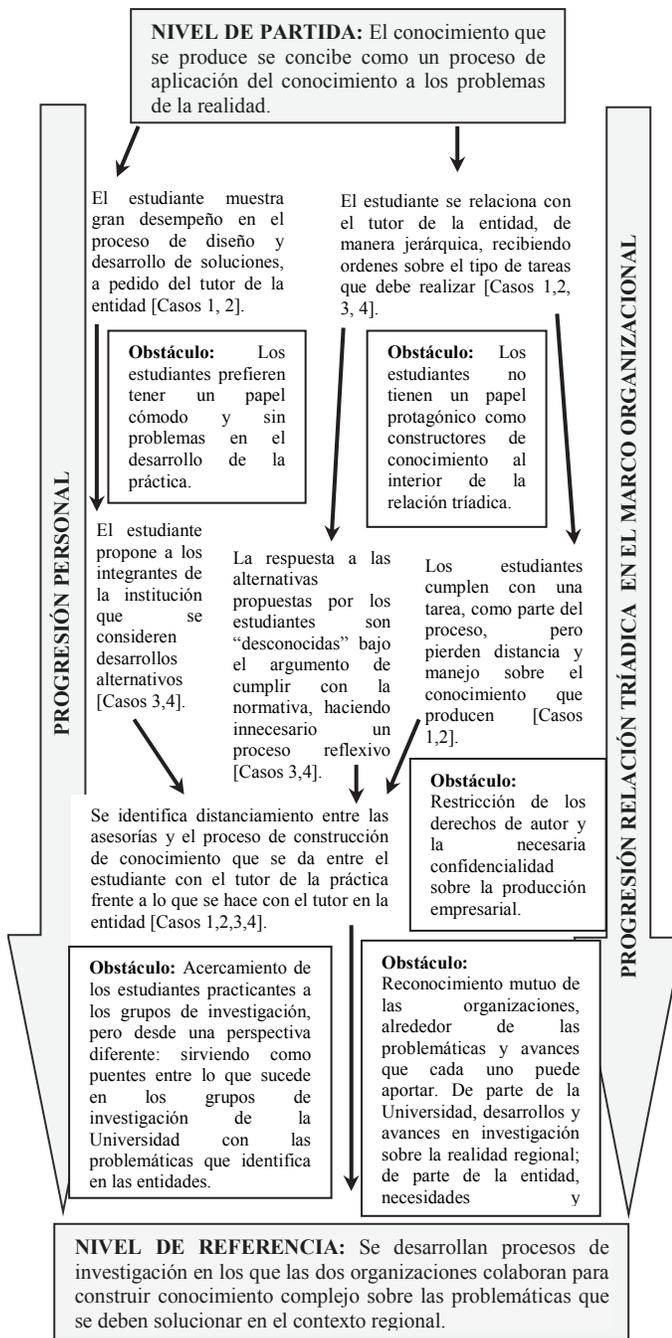


Figura 2. Hipótesis de Progresión sobre la evolución de las prácticas profesionales desde una Concepción Reflexiva. Fuente: Los autores.

Pero, en general, aunque se encuentran disponibles, los tutores de la Universidad no son consultados, ya que todo el proceso se restringe a la relación que se da con el tutor de la entidad. Tradicionalmente aquellos se consultan cuando se trata de escribir y defender públicamente el informe final de la práctica. Este comportamiento se explica, en parte, porque las entidades requieren de los estudiantes firmar compromisos de confidencialidad, bajo la lógica de que el estudiante está en la empresa, pero llevándolos a romper de alguna manera la

conexión con el tutor de la Universidad; además de mantener una relación jerárquica, donde la “autoridad” sobre el tipo de conocimiento a construir se encuentra básicamente en el tutor de la entidad, propia de una concepción Técnica del ingeniero.

4. Conclusiones y reflexiones

Concebir la práctica profesional del ingeniero civil en formación, desde la perspectiva del Práctico Profesional Reflexivo, ha hecho necesario que se pase a un modelo en el que es necesario incluir la dimensión organizacional como un componente clave para comprender la práctica profesional. Aunque, al igual que Schön [15], se considera que la función fundamental es la producción de conocimiento complejo sobre una problemáticas específicas; el incluir, con base en datos empíricos, la práctica profesional como parte de las relaciones entre organizaciones, trae como consecuencias: (i) que la relación entre estudiantes y usuarios se da de forma mediada por la organización; (ii) la relación triádica entre estudiantes y tutores es fundamental en el mejoramiento de la calidad del conocimiento producido; de hecho, los obstáculos más complejos se refieren a lograr una mejor dinámica en este asunto; (iii) tal relación triádica pasa por comprometer a las organizaciones, tanto desde la perspectiva de los intereses que persiguen [tipo de desarrollo al que apuntan], como en relación con el tipo de productos que pueden/deben compartir [p.e. problemas no resueltos, resultados de investigación].

La progresión formativa propuesta pone en evidencia que en el plano de la práctica profesional, cada estudiante se encuentra afectado por las condiciones que le ofrecen las dos organizaciones. Y aunque esto explica las limitantes que tienen en el ejercicio de su práctica, también aporta información sobre los obstáculos que se requieren superar para obtener una mejora. Una de las recomendaciones de interés es que, si se quieren obtener prácticas profesionales donde se produzca un conocimiento de corte reflexivo, es deseable que los estudiantes se encuentren cercanos a los grupos de investigación que posee el programa.

Referencias

- [1] Ramírez-Arcila, H. y Ramírez-Casallas, J.F., La formación del ingeniero desde la perspectiva del Profesional reflexivo: Desarrollo de teoría e hipótesis a partir de resultados previos de investigación. Revista de Educación en Ingeniería, 10(20), pp. 46-53, 2014.
- [2] Morales; A.A., Ramírez-Casallas, J.F., Murcia, C. y Morales, F., Dimensiones de desarrollo sostenible para el proceso de emprendimiento del Tolima- Propuesta desde la investigación formativa. El Holismo en las Ciencias Económico Administrativas: Causas, Efectos y Tendencias. México, La Coyotera Editores, 2014, pp.161-184.
- [3] Ramírez-Casallas, J.F., Estrategia de enseñanza en física: Desde los problemas de siempre hasta la construcción de artículos con estudiantes de Física. Exigencias y posibilidades para el profesor. Revista de Educación en Ingeniería, 8(16), pp.62-69, 2013.
- [4] Ramírez-Arcila, H., Ospina, O.E. y Ramírez-Casallas, J.F., Evaluación de las entidades a las prácticas profesionales realizadas por estudiantes del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Cooperativa de Colombia – sede Ibagué. 1er Congreso Internacional de Investigación Educativa, Nuevo León, México, 2013.
- [5] Ospina-Zúñiga, O.E. y Ramírez-Arcila, H., Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia. Ingeniería Solidaria, 10(17), pp. 125-138, 2014. DOI: 10.16925/in.v9i17.812

- [6] Ramírez-Casallas, J.F., Morales, A.A. y Salgado, D., Identificación de los problemas que experimenta la investigación formativa en la Universidad Cooperativa de Colombia-Seccional Ibagué -Hacia la consolidación de una propuesta formativa-. *Perspectivas Educativas*, 1(1), 2008. procesos de formación de ingenieros (y otras profesiones) desde la perspectiva de la Investigación Formativa (IF).
ORCID: 0000-0001-7194-0962
- [7] Ramírez-Casallas, J.F., La investigación formativa en la UCC de Ibagué: Identificación de problemas institucionales asociados. *Memorias*, [En línea], 8(13), pp. 201-215, 2010. Disponible en: <http://revistas.ucc.edu.co/index.php/me/article/view/198/199>
- [8] Ramírez-Casallas, J.F., Metodología para la definición de ámbitos de investigación alrededor de la investigación formativa en la Universidad Cooperativa de Colombia de Ibagué. En COMIE (Ed.), XII Congreso Nacional de Investigación Educativa [Material en CD], Guanajuato, México, 2013.
- [9] Ramírez-Casallas, J.F., Ámbitos de investigación alrededor de la investigación formativa: Método y resultados en la perspectiva de la Investigación-Acción. *Proc. ARNA Conference 2014, Bethlehem*, [En línea], 2014. Disponible en: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWVfbnJhcn5hcHJvY2VIZGluZ3N8Z3g6OTFjZjc0NzI2Yzg1MTBh>
- [10] Cañas, A.J. y Novak, J.D., Re-examinando los fundamentos para el uso efectivo de mapas conceptuales. En Cañas, A.J. y Novak, J.D., Eds., *Proc. Of Second Int. Conference on Concept Mapping*, San José, Costa Rica, [En línea], 2006. Disponible en: <http://emap.ihmc.us/publications/ResearchPapers/Re-ExaminandoLosFundamentos.pdf>
- [11] Piñuel, J.L., Epistemología, metodología y técnicas de análisis de contenido. *Estudios de Sociolingüística*, [En línea], 3(1), pp.1-42, 2002. Disponible en: https://www.ucm.es/data/cont/docs/268-2013-07-29-Pinuel_Raigada_AnalisisContenido_2002_EstudiosSociolingüísticaUVigo.pdf
- [12] Kelle, U., ¿Hacer “emerger” o “forzar” los datos empíricos? Un problema fundamental de la teoría fundamentada reconsiderada. *Qualitative Social Research*, [En línea], 6(2), Art.27, 2005. Disponible en: <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/467/3397>
- [13] Ramírez-Casallas, J.F., Integración de las NTIC en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física desde la perspectiva del modelo de investigación en la escuela. Estudio de caso. Tesis Doctoral, Facultad de Educación, Univ. de Sevilla, España, [En línea], 2015. Disponible en: <http://fondosdigitales.us.es/tesis/tesis/2637/integracion-de-las-ntic-en-los-procesos-de-ensenanza-aprendizaje-de-la-fisica-desde-la-perspectiva-del-modelo-de-investigacion-en-la-escuela-estudio-de-caso/>
- [14] Morales, A.A., Ramírez-Casallas, J.F., Salgado, D., De la teoría a la práctica: la responsabilidad social como resultado de los procesos de investigación formativa en la UCC-Ibagué (Análisis de caso). *Encuentro Internacional ASCOLFA*, Bucaramanga, Colombia, 2009, pp.1-19.
- [15] Schön, D., *La formación de profesionales reflexivos*. España; Paidós Ibérica, 1992.
- [16] García-Díaz, J.E., *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. Sevilla, España; Diada, 1998.

H. Ramírez-Arcila, es Licenciado en Biología y Química de la Universidad del Tolima, Colombia, en el año de 1982, es MSc. en Investigación y Docencia Universitaria en 1986 de la Universidad Santo Tomás de Aquino, Colombia. Dr. en Ciencias en 2015 de la Atlantic International University, USA. Ha profundizado en el estudio del agua y sus procesos de potabilización y tratamiento, en la perspectiva de satisfacer necesidades básicas insatisfechas de la población colombiana, y en el estudio y mejoramiento del proceso de formación de ingenieros civiles desde una perspectiva investigativa.
ORCID: 0000-0003-4917-483X

J.F. Ramírez-Casallas, es Licenciado en Matemáticas y Física en 1997 de la Universidad del Tolima, Colombia. Dr. en Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales en 2015, de la Universidad de Sevilla, España. Su trabajo se ha centrado en la enseñanza-aprendizaje y la formación del profesorado de ciencias, desde la perspectiva del Modelo de Investigación Escolar (MIE); y en la evolución de las organizaciones educativas y los

La modelación matemática como estrategia de enseñanza-aprendizaje: El caso del área bajo la curva

Lina María Peña-Páez ^a & John Fredy Morales-García ^b

^a Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de San Buenaventura, Bogotá, Colombia. lpena@usbog.edu.co

^b Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de San Buenaventura, Bogotá, Colombia. johmorales@usbog.edu.co

Resumen— Concebir la modelación matemática como una herramienta didáctica para la enseñanza y aprendizaje de las Ciencias Básicas en la formación de ingenieros, le brinda la posibilidad a los docentes de re-evaluar la manera como se abordan los contenidos programáticos, y así, acercar a los estudiantes a su área específica de conocimiento. Cuando los estudiantes se enfrentan a situaciones que le atañan en su profesión comienzan a comprender la necesidad de sus cursos de ciencias básicas, es así como en este artículo se presentan situaciones contextualizadas, que le permiten a los estudiantes de los diferentes programas de ingeniería de la Universidad de San Buenaventura, una aproximación al concepto de la integral definida como área bajo la curva.

Palabras Clave— modelación matemática, cálculo integral, área, ingeniería, enseñanza-aprendizaje.

Recibido: 19 de enero de 2016. Revisado: 10 de febrero de 2016. Aceptado: 15 de febrero de 2016.

The mathematical modeling as a strategy for teaching and learning: The case of the area under the curve

Abstract— The mathematical modeling as a didactic tool for teaching and learning the Basic Sciences in the training of engineers provides teachers the opportunity to re-evaluate the curriculums, and so bring students their specific area of expertise. When students are faced with situations that pertain to their profession, begin to understand the needs of their basic science courses, so as this article bring contextualized situations that allow students from different engineering programs, an approach to the concept of the definite integral as area under the curve

Keywords— mathematical modeling, integral calculus, area, engineering, teaching and learning.

1. Introducción

Los profesores de Ciencias Básicas, en una Facultad de Ingeniería, en su práctica docente, inevitablemente se enfrentan a los cuestionamientos de los estudiantes en cuanto al para qué y por qué de los cursos de física y matemáticas, dado que ellos muestran mayor interés por los cursos propios de su disciplina, y aunque teóricamente se encuentren muchas justificaciones, en la práctica no pareciera tan evidente para los estudiantes la necesidad de los cursos de ciencias básicas [1,2].

La búsqueda de la metodología más acertada para abordar las clases de Ciencias básicas, tiene una implicación directa sobre el currículo, sin embargo, no debe olvidarse que estos cursos se orientan en una facultad de ingeniería, lo que conduce a revisar no sólo el aspecto de la didáctica de las matemáticas;

sino las necesidades y requerimientos esperados de un estudiante de cualquier programa de ingeniería. Es por ello, que las actividades propuestas a los estudiantes, también responden, a las discusiones dadas en los foros convocados por la Asociación Colombiana de facultades de ingeniería Acofi en el 2006, que posteriormente fueron presentadas en el libro: *El ingeniero colombiano del año 2020. Retos para su formación*. Allí, se plantean tres características básicas del currículo de ingeniería, entre las que se destaca: “predominio del componente formativo sobre el informativo. Solidez en la formación en Ciencias Básicas: Matemáticas, Física, Química e Informática. *Objetivo: aprender a aprender de por vida*” [3]. Más adelante, se enuncian las competencias esenciales de los ingenieros, entre las que se consideran más relevantes están: “capacidad para *modelar* fenómenos, capacidad para *resolver problemas mediante la aplicación* de las ciencias naturales (física química, biología) y las matemáticas, utilizando un lenguaje lógico simbólico” [3].

Bajo este marco, el propósito de esta investigación es el de plantear situaciones contextualizadas que le permitan al estudiante de los programas de ingeniería, identificar la integral definida como el área comprendida entre dos curvas, y para ello se utilizará como estrategia metodológica la modelación matemática.

2. Antecedentes teóricos

Las investigaciones en modelación matemática y su relación con los procesos de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes, muestran que estos procesos son exitosos cuando los docentes utilizan los modelos como estrategia y componente central para abordar el currículo[4], no sólo en el aspecto académico sino que abarca aspectos actitudinales y de percepción positiva, dado que los estudiantes disfrutaban más cuando la enseñanza involucra actividades de modelación matemática [5].

La modelación matemática puede entenderse como el proceso de construcción de un modelo, dirigido de una situación real a un modelo matemático, más específicamente, la manera de conectar el mundo real con las matemáticas (Blum, 1993). Para llevar a cabo este proceso se requiere una secuencia de actividades que se conocen como: “círculo de modelación”, que básicamente, debe completarse en siete pasos: construcción,

estructura, matematización, trabajo matemático (resolución), interpretación, validación y exposición [7]. Concebir la modelación matemática como un proceso, en el que en cada etapa es posible evidenciar las dificultades y avances de los estudiantes, es una forma de mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de los mismos.

Cuando se plantea una tarea de modelación a los estudiantes, los objetivos, las preguntas de investigación y la naturaleza del diseño, planteamiento y, principalmente, el rol de la modelación en las tareas es de naturaleza variada. Por ejemplo, la perspectiva puede tener por objetivo lo utilitario y pragmático, o la intención puede ser reconstruir la matemática a través de la modelación. Otra intención podría ser explorar la relación del sujeto y las metas psicológicas o la reflexión sobre el uso de la modelación matemática. Para este trabajo la modelación matemática se ha considerado como un medio para el aprendizaje de las matemáticas. [8].

Investigaciones precedentes muestran cómo la modelación matemática permite aproximar al estudiante a temas propios de los cursos de Ciencias Básicas, por ejemplo, el uso de modelos RC en ecuaciones diferenciales y su posterior resolución acercan al estudiante al significado de las soluciones de problemas con condiciones iniciales [8], proponer tareas que involucren los pasos de la modelación permite al estudiante comprender la importancia tanto de la construcción de modelos concretos como de modelos físicos, así mismo, la retroalimentación en clase de las tareas propuestas le permite a los estudiantes verificar sus propias soluciones. Más aún, el estudio recomienda para futuras intervenciones, el diseño de actividades con todas las fases de la modelación, de acuerdo a los cursos que cada profesor tenga a su cargo [8].

Cuando se plantean actividades, es bien sabido, que el proceso de construcción de los conceptos abstractos les resulta difícil a los estudiantes, de allí que el uso de actividades de modelación, a través de sus diferentes etapas, les ofrece una posibilidad para confrontar las nuevas necesidades conceptuales. La investigación de Posanni y otros, sobre el uso de modelos para la enseñanza del álgebra lineal, enfatiza en dicha necesidad, para los autores, orientar el proceso de enseñanza que introduzca actividades adicionales ayudan a los estudiantes a identificar la necesidad de procesos de construcción para aprender conceptos abstractos del álgebra lineal [9].

Bajo este marco, se asumirá la modelación matemática como una herramienta didáctica para la enseñanza-aprendizaje, que en este caso particular, se refiere a la integral definida, interpretada como el área bajo la curva. Ahora bien, una herramienta didáctica es un medio y tiene una intención, de esta forma la modelación matemática puede ser considerada como herramienta didáctica. Las investigaciones, afirma Biembengut, sobre modelación matemática señalan que ésta “puede representar un avance en la enseñanza de las matemáticas en clase, porque ésta deja de ser una mera transmisión de técnicas de resolución (del tipo: siga el modelo) y pasa a ser presentada como herramienta o estructura de otra área del conocimiento”[10].

En el curso de cálculo integral, se utilizan los problemas de área y distancia para aproximar a los estudiantes a la idea de una integral definida, en el texto *Cálculo. Conceptos y Contextos*, 4

edición, del autor James Stewart (texto guía utilizado en la universidad para los estudiantes de ingeniería), aparece una sección introductoria en la que se analiza el significado de la palabra área, y para ello, se inicia con las figuras planas cuya fórmula es conocida, y se muestra cómo a una figura de lados rectos, se le puede encontrar el área, a partir de la descomposición de la figura en rectángulos, triángulos, según la forma de la mencionada figura [11].

Usando la suma de Riemann y el hecho de que una función sea positiva, es posible interpretar la integral definida como el área bajo la curva. En secciones posteriores, el autor muestra cómo encontrar áreas comprendidas entre dos curvas. Ahora bien, la idea de comprender la integral definida como el área bajo la curva, al igual que, entender que la ecuación de una parábola y su gráfico se refieren al mismo objeto matemático, pero no necesariamente dan cuenta de las mismas propiedades del objeto[12], fue uno de los temas a desarrollar en esta investigación.

Por otra parte, en algunos textos de cálculo, es frecuente encontrar ejercicios eminentemente algebraicos, más aún, sobresalen las aplicaciones rutinarias en las que el resultado es lo más importante; en cuanto a las gráficas, el papel fundamental de éstas es la visualización de los resultados, dotando los conceptos de un carácter estático [13]. Esta situación, no es sólo recurrente en el concepto de función, donde se le explica al estudiante que la función puede ser representada de cuatro formas diferentes (sección 1.1) [11], sino que se encuentra cuando se desarrolla el tema del área entre curvas como aplicación de la integral definida, en la sección 6.1, de los 45 ejercicios propuestos, sólo en 5, se le solicita al estudiante que plantee la integral definida y la resuelva, a partir de la gráfica proporcionada [11].

El aprendizaje de los estudiantes y el desarrollo de un pensamiento conceptual serán favorecidos al involucrar en la práctica educativa tareas contextualizadas, que le permitan transitar por las diferentes representaciones semióticas[12]. Plantear este tipo de situaciones requiere de la creatividad del profesor, puesto que la evidencia muestra que no muchas de estas actividades se encuentran en los libros de cálculo usados en la universidad.

3. Metodología

Para la construcción de una propuesta metodológica, que toma como principal insumo la modelación matemática, debe considerarse, el contenido programático, al cual un profesor está sujeto cuando orienta cualquier curso de Ciencias Básicas. Así mismo, no puede ignorarse el hecho significativo que los docentes que asumieron el reto no eran “expertos” en orientar cursos bajo esta nueva herramienta didáctica, ni los estudiantes habían experimentado antes este tipo de metodología. Bajo esta perspectiva, se definió una primera fase del proyecto denominada “sensibilización de los estudiantes”, que se desarrolló durante el curso de cálculo diferencial, y que permitió un acercamiento a la Modelación Matemática, escenario que Biembengut ha denominado pre-modelación y que implica el desarrollo de ciertas estrategias:

- Presentar cada uno de los contenidos del programa a partir de modelos matemáticos ya conocidos;

- Aplicar trabajos o proyectos realizados por colegas, por un tiempo corto, con un único grupo y de preferencia aquél que tiene mejor dominio de matemáticas.
- Como trabajo extra-clase, para los alumnos, se solicita que busquen ejemplos o intenten crear sus propios modelos, siempre a partir de la realidad [14].

La secuencia utilizada implicó justificación de proceso, elección del tema, desarrollo de contenido programático, ejemplos análogos - fijación de conceptos y evaluación y convalidación de los resultados [10].

Finalizada la “etapa de sensibilización”, los estudiantes y docentes se encontraban preparados para abordar los pasos necesarios que implica la metodología de la modelación matemática, así, durante el siguiente semestre, en el curso de cálculo integral, se desarrollaron las situaciones en las que a través de la modelación matemática y bajo lo que Blum denomina “círculo de la modelación” fue posible acompañar el proceso de aprendizaje y observar fortalezas, dificultades y resultados de los estudiantes involucrados en este experimento pedagógico.

3.1. Participantes

El experimento pedagógico se desarrolló en dos partes, la primera denominada “etapa de sensibilización” se llevó a cabo con los estudiantes de primer semestre de los programas de ingeniería, allí se encontraban inscritos estudiantes de ingeniería de sonido, aeronáutica, sistemas, telecomunicaciones, electrónica y macetrónica, esta etapa se realizó durante el curso “Cálculo Diferencial”. La segunda parte, fue el diseño de actividades y resolución de las mismas bajo “el círculo de modelación” de Blum, ésta se llevó a cabo, especialmente, con los estudiantes de ingeniería de Sonido, Mecatrónica e ingeniería Aeronáutica, durante el curso de cálculo integral. El texto guía utilizado como fuente de información de los conceptos matemáticos fue el establecido en el currículo, a saber, “Cálculo conceptos y contextos” del autor James Stewart. Los temas abordados fueron: el concepto de función con sus diferentes representaciones y la derivada y su interpretación geométrica (etapa de sensibilización), y la integral definida como el área entre dos curvas.

3.2. Etapa de sensibilización

Esta etapa se desarrolló con los estudiantes de los cursos de cálculo diferencial, allí se realizó un acercamiento a la modelación matemática a través de la construcción de plantillas bidimensionales que permitieron armar objetos tridimensionales, de acuerdo con los intereses de cada programa de la Facultad. Por ejemplo, los estudiantes de ingeniería aeronáutica; construyeron plantillas de aviones, los de sonido; instrumentos musicales, los de telecomunicaciones y sistemas; antenas y memorias y los estudiantes de macetrónica; brazos robóticos.

3.2.1. Diseño de las plantillas bidimensionales

Los estudiantes trabajaron en grupos de 3 personas, a cada grupo se le asignó una foto que contenía el dibujo que debían construir, en algunos casos los estudiantes trajeron su propia foto para hacer la construcción. Como el semestre académico

en la Universidad está dividido en tres cortes de notas, el trabajo se organizó respetando estos tiempos, así: en el primer corte (5 semanas) los estudiantes debían descomponer la figura tridimensional elegida en partes bidimensionales, de tal manera que cuando se ensamblaran aparecía la misma figura de la foto. Luego esta plantilla bidimensional fue cuadrículada en papel milimetrado, para que de esta forma, pudiesen encontrar las ecuaciones que modelaban la figura, ahora bien, puesto que algunos de los estudiantes manejaban el programa Geogebra, ellos importaron directamente la plantilla al mencionado programa y con los comandos correspondientes encontraron las ecuaciones buscadas.

Durante el segundo corte (6 semanas), los estudiantes, usando el programa Matlab y las ecuaciones entregadas durante el primer corte, imprimieron la plantilla bidimensional en una hoja de papel y encontraron las tangentes a las curvas en puntos en diferentes puntos seleccionados. Finalmente, durante el último corte del semestre (5 semanas), los estudiantes construyeron su figura tridimensional a partir de la plantilla bidimensional, los materiales fueron diversos, por ejemplo, cartón paja, madera y acrílico (usando laser).

Las actividades propuestas por los docentes, la organización de las mismas y la resolución por parte de los estudiantes siguieron la secuencia establecida por Biembengut y Hein (2004), la que resultó más apropiada en esta etapa, dado que para los autores, en la modelación matemática como método de enseñanza-aprendizaje; el currículo es una parte imprescindible (Tabla 1).

3.3. Implementación de la etapa de modelación matemática

Esta etapa se desarrolló con los estudiantes del curso de cálculo integral, ellos trabajaron la modelación matemática a través de la construcción de planos bidimensionales en papel para construir objetos tridimensionales, de acuerdo con los intereses de cada programa de la Facultad. Al finalizar el semestre, se solicitó un informe escrito y una evidencia visual (un video) del trabajo realizado.

3.3.1. Diseño en papel del plano bidimensional

Los estudiantes, nuevamente, trabajaron en grupos de 3 personas, cada grupo eligió la figura que quería armar según el programa de ingeniería en el que estaban inscritos (aviones, brazos mecánicos, antenas e instrumentos musicales).

Teniendo presente los tres cortes de notas, el trabajo se organizó respetando estos tiempos, así: en el primer corte (5 semanas) los estudiantes debían descomponer la figura tridimensional elegida en partes bidimensionales, de tal manera que cuando se armara apareciera la misma figura de la foto, esta descomposición se debe hacer de manera análoga a como se construye un cubo a partir de seis cuadrados, incluyendo las pestañas para pegarlo. Esta descomposición, fue cuadrículada en papel milimetrado, para de esta forma, al igual que en la etapa anterior, pudiesen encontrar las ecuaciones que modelaban la figura. Durante el segundo corte (6 semanas), los estudiantes, usando el programa Matlab y las ecuaciones entregadas

Tabla 1.

Los cuatro modelos y su respectiva asociación con las fases de la secuencia sugerida por Biembengut y Hein.

Fases	Situaciones
Justificación de proceso lo propuesto	Como habitualmente se hace en la Universidad, se socializó el Contenido Programático (currículo) con los estudiantes. Posteriormente, se justificó la conveniencia de abordar el estudio de tales contenidos contextualizados dentro de situaciones reales.
Elección del tema	En este primer “experimento” la figura (modelo) fue elegida por los docentes del curso de cálculo diferencial, basada en los intereses de los estudiantes de los diferentes programas de ingeniería, teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos previamente, de tal manera que los estudiantes reconocieran buenas posibilidades para poder abordar con suficiente “libertad y versatilidad” los contenidos programáticos.
Desarrollo del contenido programático	De las temáticas presentes en el currículo del curso se abordaron las siguientes: los conceptos de dominio y rango, resolución de ecuaciones, diferentes representaciones del concepto de función y la derivada como pendiente de la recta tangente e la curva.
Ejemplos análogos - fijación de conceptos	Los docentes les presentaron a los estudiantes plantillas bidimensionales, que habían sido elaboradas por expertos en figuras decorativas, los modelos conseguidos fueron la de un avión y un helicóptero. Así mismo, en semestres anteriores los estudiantes del curso de “matemática básica” diseñaron un avión, definido funcionalmente, en Matlab, el que fue presentado para que tuviesen una visión de lo que deberían desarrollar con sus figuras elegidas
Evaluación y convalidación de los resultados	En este caso la validación de los resultados, fue constatada por los propios estudiantes, dado que el plano bidimensional que al ensamblarse producía la figura tridimensional debía ser lo más fiel posible a la foto entregada al iniciar el “experimento pedagógico”. Finalmente, se solicitó un escrito, en el que cada grupo daba cuenta, de los resultados obtenidos y su relación con los contenidos programáticos.

Fuente: Los autores

durante el primer corte, imprimieron el plano bidimensional en una hoja de papel. Así mismo, encontraron el área superficial de la figura, a partir de la descomposición bidimensional de la misma, usando la integral definida.

Durante el último corte del semestre (5 semanas), los estudiantes armaron su figura tridimensional a partir del plano elaborado en Matlab, algunos cortaron y pegaron sobre cartón paja para darle más consistencia a su maqueta. Finalmente, cada grupo elaboró un video de una duración aproximada de 10 minutos, en el que evidenciaron cada uno de los pasos de la modelación matemática que les permitieron la construcción de su diseño, así como el posterior ensamblaje del mismo. Algunos de estos videos se pueden encontrar en la Web (Hernández y otros, 2013), dentro de su contenido aparecen explicaciones sobre cómo plantear ecuaciones lineales y cuadráticas a partir del conocimiento de la gráfica, el procedimiento para encontrar el área de una figura usando la integral definida y el significado de algunos comandos del programa Matlab y su correspondencia con los conceptos matemáticos. Para complementar esta experiencia contextualizada del uso de la modelación matemática para los procesos de aprendizaje, cada grupo escribió un artículo de 8

páginas, en el que dieron cuenta de los conceptos matemáticos usados para la consecución de su proyecto. [15]

Las tareas propias de un proceso de modelación matemática no son fáciles de asimilar por parte de los estudiantes, dado que se requiere de un análisis cognitivo que implica competencias tales como: “leer y comunicar, diseñar y aplicar estrategias a la resolución de problemas o trabajar matemáticamente”[16], así la secuencia de situaciones que permitieron el desarrollo de esta segunda etapa, obedecieron al *círculo de modelación* sugerido por Blum, el cual permitió ayudar al estudiante en este proceso, así como también evaluar dicho proceso por parte de los docentes. El mencionado círculo sugiere la secuencia de siete etapas, cada una con un objetivo como se establece en la Tabla 2.

Los docentes elaboraron una matriz de evaluación, que da cuenta de las mencionadas etapas del círculo de modelación. En la Tabla 3, encontramos un ejemplo de matriz de evaluación aplicada a los estudiantes.

4. Análisis de resultados

La *fase de sensibilización*, por un lado, acercó a los estudiantes al desarrollo del currículo usando la modelación matemática como metodología, y por otro, fortaleció aspectos necesarios para el desarrollo de dicha metodología, a saber, conceptos matemáticos de Precálculo y manejo del programa Matlab, fundamentales para el proceso.

Tabla 2
Etapas del círculo de modelación de Blum

Etapas	Objetivos
Construcción	Comprender la relación entre el área bajo la curva y la integral definida. Seleccionar una figura real Representar, en un plano bidimensional (x,y), las partes de la figura.
Estructuración	Construir la definición funcional de la figura bidimensional. Entregar todas las ecuaciones (líneas y curvas) que representen las partes de la figura Construir las gráficas de las ecuaciones especificando el dominio.
Matematización	Identificar el área superficial de la figura tridimensional. Reconocer el área superficial como la suma de las áreas bajo la curva de las partes que componen el plano bidimensional.
Resolución	Determinar el área superficial de la figura tridimensional. Resolver el área superficial usando la suma de las áreas bajo la curva de las partes que componen el plano bidimensional.
Interpretación	Interpretar de manera real y en contexto los resultados encontrados sobre el área superficial de la figura. Reconocer las unidades de medida del área superficial de la figura.
Validación	Construir de manera sólida (en físico) la figura tridimensional a partir del plano bidimensional obtenido en el programa Matlab.
Exposición	Socializar el proceso desarrollado a lo largo de la actividad.

Fuente: Los autores

Tabla 3
Matriz de evaluación ajustada al círculo de modelación de Blum

Evaluación		
Construcción		
0.0 a 1.9	2.0 a 3.9	4.0 a 5.0
Se presenta una figura, pero es una figura simple y sin fundamento. No se presenta de manera organizada la figura tridimensional. No se tiene en cuenta la escala y no se especifican los ejes. No hay claridad en el proyecto y se percibe improvisación en la propuesta. No se puede construir la figura de manera sencilla y correcta.	Eligen una figura sencilla y con poca creatividad de acuerdo al programa de ingeniería al que pertenecen. Representan de manera correcta la figura. Sin embargo, falta presentación y organización de la figura tridimensional en un plano de dos variables. No se tiene en cuenta la escala, y no se especifican los ejes. Es posible construir la figura tridimensional a partir de los planos. Sin embargo, hay inconvenientes cuando se ensambla la figura. Falta calidad en los cortes y uniones.	Eligen una figura impactante y representativa de acuerdo al programa de ingeniería al que pertenecen. Representan de manera correcta y organizada la figura tridimensional en un plano de dos variables, teniendo en cuenta la escala, y especificando los ejes. Es posible construir de manera sencilla y preliminar la figura tridimensional a partir de los planos, teniendo en cuenta elementos como las pestañas para unir las partes y la calidad de los cortes y las uniones.
Estructuración		
0.0 a 1.9	2.0 a 3.9	4.0 a 5.0
Las ecuaciones presentadas no permiten representar la figura. No se reconocen los dominios de las funciones y las gráficas no coinciden con la figura. Utilizan algunos tipos de funciones para representar la figura, en su mayoría son lineales y cuadráticas. Falta creatividad para representar la figura utilizando diferentes funciones. Presentan dificultades al graficar la figura bidimensional en Matlab. No reconocen los comandos necesarios para realizar la superposición de las ecuaciones.	Las ecuaciones presentadas permiten representar de algunas de las partes de figura. Los dominios de las funciones son adecuados, sin embargo, algunas gráficas no coinciden con la figura. Utilizan algunos tipos de funciones para representar la figura, en su mayoría son lineales y cuadráticas. Falta creatividad para representar la figura utilizando diferentes funciones. Realizan la gráfica de la figura bidimensional en Matlab. Sin embargo presentan dificultades al realizar superposición de las ecuaciones.	Las ecuaciones presentadas permiten representar de manera correcta las partes de figura, de manera que los dominios de las funciones son adecuados y las gráficas coinciden con la figura. Utilizan diferentes tipos de funciones para representar la figura (lineales, cuadráticas, exponenciales, racionales, etc.) Realizan la gráfica de la figura bidimensional en Matlab de manera correcta, superponiendo las ecuaciones encontradas.
Matematización		
0.0 a 1.9	2.0 a 3.9	4.0 a 5.0
No presentan el área superficial de la figura tridimensional. Presentan de manera desorganizada e incompleta el área superficial de la figura tridimensional. No hay creatividad para seleccionar figuras regulares para construir la figura. No reconocen, ni aplican el concepto de integral definida para identificar las áreas de formas no regulares. Aun no comprenden el concepto de integral definida y su relación con el área superficial de la figura.	Presentan de manera parcial el área superficial de la figura tridimensional. Tienen algunas dificultades de organización y presentación. Utilizan algunas formas regulares para construir el área superficial (rectángulos, círculos, polígonos). Falta creatividad para la selección de las formas. Aplican el concepto de integral definida para identificar las áreas de formas no regulares. Sin embargo, presentan dificultades para seleccionar los límites que corresponden a la	Presentan de manera organizada y completa el área superficial de la figura tridimensional. Utilizan formas regulares para construir el área superficial (rectángulos, círculos, polígonos, trapecios, entre otros). Aplican el concepto de integral definida de manera correcta para identificar las áreas de formas no regulares, teniendo en cuenta los límites que corresponden a la región que se quiere analizar. Plantean de manera

	región que se quiere analizar. Presentan algunas dificultades para plantear las integrales definidas.	correcta las integrales definidas para determinar el área entre dos curvas.
Resolución		
0.0 a 1.9	2.0 a 3.9	4.0 a 5.0
No Determinan el área superficial de la figura seleccionada. No identifican y aplican métodos de integración para resolver las integrales definidas	Presentan algunas dificultades al resolver de manera el área superficial de la figura seleccionada. Tienen dificultades al utilizar diferentes métodos de integración para resolver integrales definidas.	Resuelven de manera correcta y exacta el área superficial de la figura seleccionada. Utilizan de manera correcta diferentes métodos de integración para resolver integrales definidas.
Interpretación		
0.0 a 1.9	2.0 a 3.9	4.0 a 5.0
.Se percibe poca disposición para solucionar las dificultades de comprensión del concepto de integral definida y su relación con el área superficial para la construcción de figuras tridimensionales.	Aplica el concepto de área superficial en figuras tridimensionales. Sin embargo, se identifican algunas dificultades para relacionar el concepto de integral definida y su relación con el área superficial y en el reconocimiento de las unidades de medida.	Reconoce la importancia del área superficial de figuras tridimensionales, mediante ejemplos concretos. Identifica y reconoce de manera correcta las unidades de medida del área superficial.
Validación		
0.0 a 1.9	2.0 a 3.9	4.0 a 5.0
No se presenta una figura sólida. Se presenta una figura sólida que no es coherente con los planos desarrollados en Matlab. No se seleccionan materiales adecuados para reproducir la figura real. El área superficial de la figura supera en una cantidad significativa el área de la hoja en la que el plano fue representado. Esto demuestra que hubo superposición de áreas.	Se presenta una figura sólida y coherente con los planos desarrollados en Matlab. Sin embargo, no representa con exactitud la figura original. Se seleccionan materiales adecuados para reproducir la figura real. Sin embargo, su utilización y manipulación demuestran falta de calidad y presentación. El área superficial de la figura supera el área de la hoja en la que el plano fue representado. Esto demuestra que hubo superposición de áreas.	Se presenta una figura con una estructura sólida y coherente con los planos desarrollados en Matlab. Se utilizan materiales adecuados y la presentación física de la figura es acorde al modelo real. Se demuestra que el área superficial de la figura no supera el área de la hoja en la que el plano fue representado.
Exposición		
0.0 a 1.9	2.0 a 3.9	4.0 a 5.0
No presentan un video que resumen el proceso para el desarrollo de la actividad. No presentan el artículo tipo escrito científico de acuerdo a las normas APA.	Presentan un video donde describen el proceso para el desarrollo de la actividad, teniendo en cuenta los aciertos y las dificultades. Sin embargo, se nota improvisación y una edición de mediana calidad. Sistematizan la información en un artículo tipo escrito científico de acuerdo a las normas APA, pero presentan dificultades en la redacción y argumentación de las ideas presentadas	Presentan un video donde describen de manera coherente y articulada el proceso para el desarrollo de la actividad, teniendo en cuenta los aciertos y las dificultades. Sistematizan la información en un artículo tipo escrito científico de acuerdo a las normas APA, con coherencia y buena redacción.

Fuente: Los autores

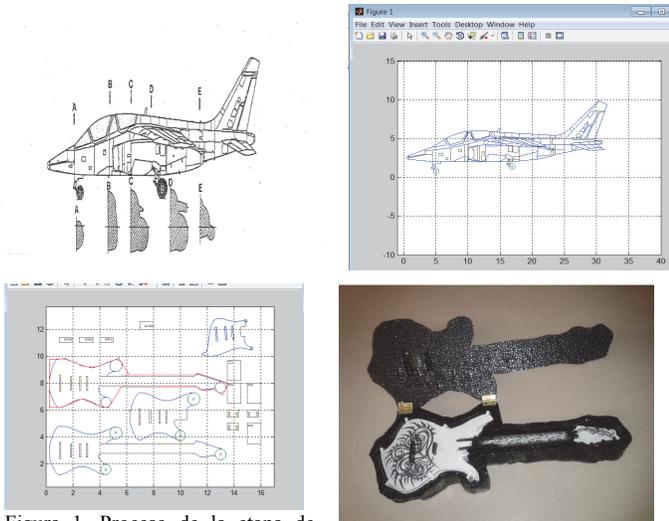


Figura 1. Proceso de la etapa de sensibilización.
Fuente: Los autores

En la Fig. 1 puede observarse cómo a partir de la foto de un avión (entregada a un grupo de estudiantes de ingeniería aeronáutica en el curso de “matemática básica”), su posterior cuadrícula en papel milimetrado y la elección de coordenadas pertinentes para la digitación de las funciones, usando los comandos correspondientes en el programa Matlab, permitieron la construcción de una réplica exacta de la propuesta inicial. A continuación se presenta, la plantilla bidimensional de una guitarra construida en Matlab y la guitarra tridimensional. Al finalizar la etapa de sensibilización, los estudiantes comprendieron en un contexto real la importancia de conceptos como dominio y rango y su correlación con los comandos *linspace* y *axis*, respectivamente, en el programa Matlab. Otro aspecto relevante se encuentra en el tránsito de la representación gráfica y su correspondiente ecuación. Así mismo se encuentra, en plano de Matlab el trazo de las tangentes lo que al final permitió armar la caja para guardar la guitarra. Un dato relevante, fue el hecho de que algunos estudiantes, gracias a este proyecto comprendieron que la recta vertical está relacionado con la no existencia de la pendiente y que por tanto la forma de digitarlo en Matlab es diferente a la opción de los otros tres casos (pendiente cero, positiva o negativa).

En la etapa de *implementación de la modelación matemática*, se diseñó una actividad en la que la creatividad, fue un detalle importante, dado que cada grupo de estudiantes, al enfrentarse a la construcción de la figura de su foto, debía imaginarse la figura descompuesta en piezas bidimensionales, como se observa en la Fig. 2

A partir de la plantilla cuadrículada en papel milimetrado se planteó la tarea, que consistió en usar las diferentes funciones para modelar la forma de cada una de las piezas del plano y luego al introducir las funciones en Matlab se produjo el plano de la figura izquierda. Esta actividad permitió a los estudiantes, comprender la importancia de la continuidad de una función, del dominio, del rango, así como diferenciar entre función y relación. Al lado derecho encontramos la figura ensamblada a partir del plano generado en el programa Matlab.

En la Fig. 3 se encuentra el procedimiento utilizado por un grupo para encontrar la ecuación de una parábola, los comandos necesarios para graficar una circunferencia en coordenadas cartesianas en el programa Matlab y un extracto de cómo los estudiantes encontraron el área de una parte del plano elaborado.

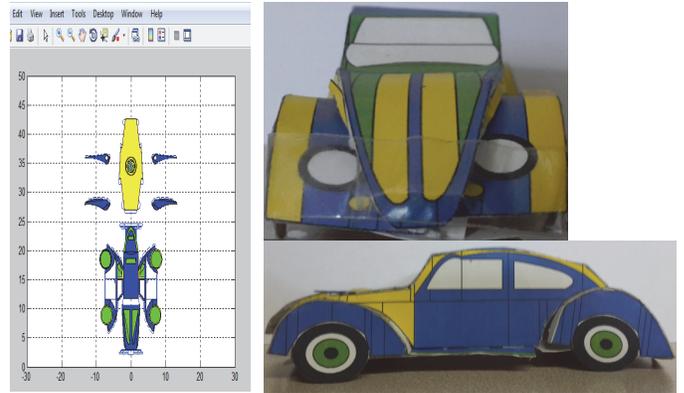


Figura 2. Plano en papel de la figura
Fuente: Los autores

Procedimiento para encontrar la ecuación de una parábola a partir de la gráfica

Comandos en el programa Matlab para graficar una circunferencia

```

85 hold on
86 plot(x,y)
87 axis([x,y])
88 hold on
89 axis([x,y])
90 hold on
91 axis([x,y])
92 hold on
93 axis([x,y])
94 hold on
95 axis([x,y])
96 hold on
97 axis([x,y])
98 hold on
99 axis([x,y])
100 hold on
101 axis([x,y])
102 hold on
103 axis([x,y])
104 hold on
                    
```

Handwritten area calculation:

$$A_1 = \int_{x_1}^{x_2} y dx = \int_{-10}^{10} (0.164x^2 - 992.4983) dx = 7,8938$$

$$A_2 = \int_{x_1}^{x_2} y dx = \int_{-10}^{10} (0.164x^2 - 992.4983) dx = 9,4936$$

$$A_3 = \int_{x_1}^{x_2} y dx = \int_{-10}^{10} (0.164x^2 - 992.4983) dx = 9,5827$$

$$A_{Total} = A_1 + A_2 + A_3 - A_F = 0,4536$$

Handwritten area calculation with diagram:

Figura 3. Procedimientos
Fuente: Los autores

En esta tarea los estudiantes tuvieron la oportunidad de moverse por las diferentes representaciones de la función, así mismo reforzaron el manejo de expresiones algebraicas, el concepto de pendiente y la resolución de sistemas de ecuaciones usando diferentes métodos, incluyendo la resolución usando herramientas tecnológicas. El resultado de este arduo trabajo, conllevó a la verificación de los procedimientos cuando, los grupos de estudiantes, introdujeron las funciones encontradas en el programa Matlab, esto implicó un manejo de los comandos propios del programa que correspondieran con los conceptos propios de la matemática. El hecho de que el programa exija explicitar las operaciones y la utilización de un punto siempre antes de cada operación para indicar que la variable independiente toma valores de un conjunto de números (llamado *linspace*), son elementos que ayudan a fortalecer conceptos en los estudiantes. Así mismo, el programa ofrece otros beneficios como la claridad de las operaciones, el uso de los paréntesis, decisión de cuando es mejor usar la función inversa, las ventajas y desventajas de parametrizar una función, por ejemplo, es más fácil parametrizar la circunferencia para digitarla en Matlab, todas estas conclusiones fueron a las que llegaron los estudiantes cuando se acercaron a los detalles del uso del programa. Al final, algunos grupos le indicaron y sugirieron a otros, posibilidades más eficientes del uso del programa, en muchos casos los estudiantes presentaron soluciones más interesantes que las propuestas por los docentes. El hecho de que algunas partes del plano, no eran figuras “tradicionales” de las que se conoce la fórmula para hallar el área, implicó que los estudiantes usaran el concepto de la integral definida para encontrarla.

5. Conclusiones

La investigación planteada ha querido mostrar que, aunque es una realidad la dificultad de instaurar un nuevo método de enseñanza aprendizaje, se hace necesario e importante tomar como punto de partida el contexto, es decir, los modelos que se encuentran en la realidad, para la formación de los ingenieros. Así, el desarrollo del proyecto permitió el inicio de un cambio en la perspectiva tanto de los profesores como de los estudiantes en la formación matemática de los futuros ingenieros. Ahora bien, tal cambio debe ser gradual y esencialmente debe tomar como referencia el contenido programático de los cursos, en nuestro caso, de Ciencias Básicas.

Involucrar a los estudiantes en “experimentos pedagógicos”, con tareas enfocadas hacia la modelación matemática, les brinda la posibilidad de poner en juego todas las competencias propias de la matemática y a buscar estrategias para la resolución de problemas propuestos. Aproximarse a los contenido programáticos a partir de modelos, bien sean unos ya existentes u otros propuestos por los docentes (más aún se espera llegar a que sean los mismos estudiantes los que proponen los modelos que quieren resolver), abre una nueva dimensión al proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes.

Encontramos, también, que la modelación matemática acerca de una manera mucho más efectiva a los estudiantes de primeros semestres de ingeniería con aquellas realidades particulares de su quehacer profesional, más aún, esta

metodología evidencia las bondades del trabajo colaborativo y permite una formación, no sólo teórica del estudiante de ingeniería sino formativa, en el sentido que lo hace desarrollar habilidades matemáticas, sociales y comunicativas.

Sin embargo, se percibe que esta metodología debe estar acompañada de una disposición y apropiación por parte de los estudiantes hacia el trabajo y hacia el conocimiento de los conceptos matemáticos. En algunas fases de la modelación, nos encontramos con dificultades en cuanto a la comprensión, apropiación y aplicación de área bajo la curva y su relación con la integral definida. Así mismo, se presentó en algunos grupos poco empoderamiento a la hora de diseñar, construir y presentar su proyecto. En este punto es importante ver que toda metodología de aprendizaje debe estar acompañada situaciones que permitan capturar de capturar el interés de los estudiantes para el desarrollo de toda práctica pedagógica.

En este mismo sentido, se evidencia la necesidad de más proyectos de investigación encaminados a la renovación de las metodologías de enseñanza-aprendizaje de las ciencias básicas para estudiantes de ingeniería, dado que la modelación matemática exige un cambio no sólo en las concepciones de los estudiantes sino de los mismos docentes de matemáticas. Por tanto, los resultados y conclusiones de este proyecto, no sólo serán evidentes en el 2020 como lo plantea Acofí, sino que en la práctica diaria será posible que los estudiantes mejoren su rendimiento académico y encuentren en la matemática un medio para dar respuesta a problemas propios de su campo disciplinar.

Referencias

- [1] Camarena, G.P., A treinta años de la teoría educativa ‘Matemática en el Contexto de las Ciencias’ Patricia, Cuad. Investig. y Form. en Educ. Matemática, 10(7), pp. 183-193, 2013.
- [2] Martínez, G. and Gaitán, M., Sistemas de creencias y rendimiento en matemática en estudiantes de ingeniería, pp. 2800-2811. 2013
- [3] ACOFI, El ingeniero colombiano del año 2020. Retos para su formación. 2007.
- [4] Justí, R., Learning how to model in science classroom: Key teacher’s role in supporting the development of students’ modelling skills, Educ. Química, 20(1), pp. 32-40, 2009.
- [5] Özdemir E. and Üzel, D., Student opinions on teaching based on mathematical modelling, Procedia - Soc. Behav. Sci., 55, pp. 1207-1214, 2012. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.09.616
- [6] Blum, W., Mathematical modelling in mathematics education and instruction. In Breiteig, T., Huntley, I. and Kaiser-Messmer, G., (Eds.), Teaching and learning mathematics in context, Chichester, UK: Ellis Horwood. 1993, pp. 3-14.
- [7] Blum, W. and Borromeo, R., Mathematical modelling: Can it be taught and learnt?, J. Math. Model. Appl., 1(1), pp. 45-58, 2009.
- [8] Blomhøj, M. and S. Carreira, Eds., Mathematical applications and modelling in the teaching and learning of mathematics, no. 461, 2009, 248 P.
- [9] Possani, E., Trigueros, M., Preciado, J.G. and Lozano, M.D., Use of models in the teaching of linear algebra, Linear Algebra Appl., 432(8), pp. 2125-2140, 2010. DOI: 10.1016/j.laa.2009.05.004
- [10] Biembengut, M.S. and Hein, N., Modelación matemática y los desafíos para enseñar matemática, 16, pp. 105-125, 2004.
- [11] Stewart, J., Cálculo. Conceptos y contextos, 4ta Edición. Cengage Learning, 2010.
- [12] Morales, Z.E., Transformando las representaciones semióticas: Un enfoque cognitivo en el estudio del álgebra, Acta Latinoam. Matemática Educ. 26, pp. 673-678, 2013.

- [13] González, M. y Sierra, A., Metodología de análisis de libros de texto, *Enseñanza las Ciencias*, 22, pp. 389-408, 2004.
- [14] Bassanezi, M. y Biembengut, R., Modelación matemática: Una antigua forma de investigación-un nuevo método de enseñanza, *Rev. Didáctica las Matemáticas*, 32, pp. 13-25, 1997.
- [15] Sofronas, K.S., DeFranco, T.C., Vinsonhaler, C., Gorgievski, N., Schroeder, L. and Hamelin, C., What does it mean for a student to understand the first-year calculus? Perspectives of 24 experts, *J. Math. Behav.*, 30(2), pp. 131-148, 2011. DOI: 10.1016/j.jmathb.2011.02.001
- [16] Blum, W., Mathematical modelling: Can it be taught and learnt?, 1(1), pp. 45-58, 2009.

L.M. Peña-Páez, recibió el título de Licenciada en Matemáticas en 2002 de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia; el título de Esp. en Matemática Aplicada en 2006 de la Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia y el título de MSc. en Filosofía en 2012 de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Es docente investigadora de la universidad de San Buenaventura, Bogotá, Colombia.
ORCID: 0000-0001-9472-1375

J.F. Morales-García, recibe el título Licenciado en Matemáticas de la universidad Distrital, Bogotá, Colombia, el título de MSc en Educación de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Es docente investigador de la Universidad de San Buenaventura, Bogotá, Colombia. Actualmente docente de la Universidad Manuela Beltrán, Bogotá, Colombia
ORCID: 0000-0003-4752-7101