



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

RETOS EN LA FORMACIÓN  
DE INGENIEROS EN LA  
ERA DIGITAL

# FORMACIÓN PARA LA INNOVACIÓN: LA EVOLUCIÓN DE UN CURSO-PROYECTO DE MITAD DE CARRERA DURANTE DIEZ AÑOS, Y UNA EVALUACIÓN DE SU IMPACTO

**José Tiberio Hernández, María Catalina Ramírez, María Fernanda Zúñiga, Juan Sebastián Duque, Gleidys Blanco, Rafael Forero**

**Universidad de los Andes  
Bogotá, Colombia**

## Resumen

Los esfuerzos en formación para la innovación en facultades de ingeniería se vienen haciendo de manera explícita en el mundo, desde finales del siglo XX. Tanto la iniciativa CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate), después complementada Ocdio (con Observe) y posteriormente POcdio (con Participación) la adopción de aprendizaje basado en proyectos, y la incorporación de actividades para impulsar competencias como Trabajo en equipo, Comunicación, e Innovación están cada vez más presentes en los currículos de ingeniería de avanzada. En la evolución de los currículos de ingeniería, la presencia de espacios específicos (cursos centrados en estas competencias) no solo se ha hecho más frecuente, sino que también han debido evolucionar en el tiempo. En este artículo se presenta la evolución de un curso-proyecto en mitad de carrera, de innovación con Tecnologías de información en el período 2006-2016. Cómo este curso ha evolucionado en su organización, actividades, y actores durante dicho periodo. También se presentan los resultados de una evaluación por parte de una muestra de los estudiantes de dicho curso (900 estudiantes durante esos 10 años), que hoy cuentan entre uno y diez años de ejercicio profesional. Finalmente se presenta la reflexión por parte de un grupo de Empresarios-Mentores que han seguido la experiencia, y de los profesores (de diferentes disciplinas) que han llevado a cabo la misma.

**Palabras clave:** formación para la innovación; evaluación de impacto; aprendizaje por proyecto

## **Abstract**

---

*Training efforts for innovation in engineering faculties have been made explicitly around the world, since the end of the 20th century. Both the CDIO (Conceive Design, Implement, Operate), then complemented Ocdio (with Observe) and subsequently POcdio (with Participation) the adoption of project-based learning, and the incorporation of activities to boost skills such as teamwork, Communication, and Innovation are increasingly present in advanced engineering curricula. In the evolution of engineering curricula, the presence of specific spaces (courses focused on these competencies) has not only become more frequent, but also have evolved over time. This article presents the evolution of a project course in the middle of career, of innovation with information technologies in the period 2006-2016. How this course has evolved in your organization, activities, and actors during that period. Also presented are the results of an evaluation by a sample of the students in that course (900 students during those 10 years), who today count between one and ten years of professional practice. Finally, the reflection is presented by a group of Entrepreneurs-Mentors who have followed the experience, and of the teachers (from different disciplines) who have carried out it.*

**Keywords:** *education for innovation; impact assessment; project-based learning*

---

## **1. Introducción**

A comienzos de los años 2000, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes llevó a cabo un proceso de renovación curricular que ha servido de escenario para el proceso descrito en el presente artículo. La idea principal ha sido responder a las necesidades de formación de los ingenieros en el contexto de la sociedad del conocimiento. Este proceso pretendía ser integral en el sentido de abordar la formación, la investigación, la infraestructura y el capital humano como los cuatro grandes frentes de trabajo. Como parte de la dimensión de formación, la Facultad incluyó en sus currículos tres momentos especiales para el desarrollo de proyectos de ingeniería. Así, se definen tres proyectos: proyecto de inicio, proyecto intermedio y proyecto final. Estos espacios se enmarcan en la práctica de la ingeniería en alguna de sus diferentes facetas. El proyecto inicial: busca enfrentar al estudiante a una problemática en la que la ingeniería interviene, permitiéndole comprender los fundamentos del quehacer del ingeniero; el proyecto intermedio busca enfrentar al estudiante a un contexto de proyectos de innovación con sostenibilidad en el mercado, que pueda continuar el desarrollo de sus habilidades para enfrentar problemáticas. El proyecto final, busca que el estudiante trabaje en torno a una problemática propia de la ingeniería. Estos espacios curriculares pretenden desarrollar competencias requeridas para el desempeño de los ingenieros relacionadas con el desarrollo de proyectos, el trabajo en equipo, la solución de problemas, la comunicación efectiva, entre otras. Esas competencias que la Facultad busca que los estudiantes desarrollen en el marco de la línea de proyectos de pregrado, se encuentran igualmente en el trabajo desarrollado en el mismo periodo por la Accreditation Board of Engineering and Technology (ABET).

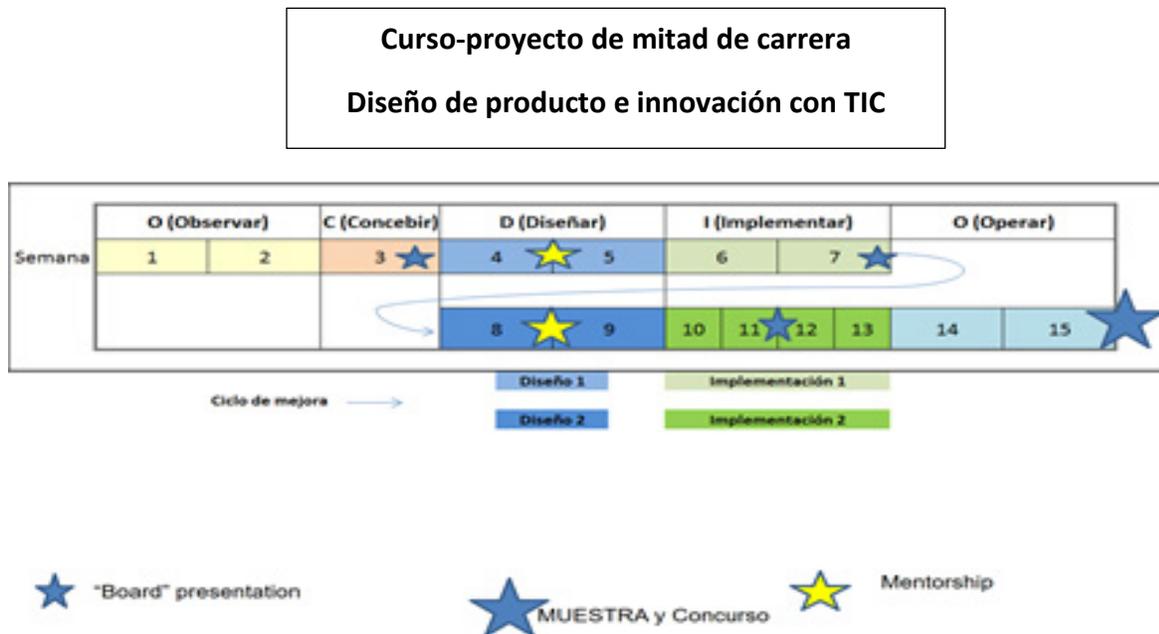
## 2. Espacios de aprendizaje alrededor de proyectos

En articulación con su propósito de “formar ingenieros capaces de dominar las ciencias básicas, las matemáticas y la tecnología para desarrollar conocimiento útil en la resolución de los problemas del país y de la sociedad en general” (Proyecto de Renovación de la Facultad de Ingeniería, 2005), la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes procura el desarrollo de mejores prácticas de apoyo al aprendizaje mediante la comprensión de los procesos del mismo. Asimismo, la facultad afirma que “[es] necesario generar un conjunto de nuevas estrategias encaminadas a garantizar una evaluación oportuna, pertinente y continua en la cual el estudiante asuma un papel protagónico, dado que es él quien debe servirse de este instrumento” (Proyecto de Renovación de la facultad de Ingeniería, 2005, p15). Se hace pertinente entonces generar conocimiento sobre cómo se está recogiendo evidencia acerca del nivel de comprensión sobre un dominio de acción o el desarrollo de una habilidad.

El modelo actual es el que se describe a continuación y sus tres momentos se caracterizan por ser espacios curriculares SIN contenido explícito. En el primer semestre, el estudiante, en la dinámica de trabajo en equipo de un proyecto de ingeniería, realiza un proyecto para resolver una situación problemática identificada (proyecto de colaboración). Este trabajo debe llevarse a cabo con la orientación de los profesores en el contexto de un proyecto de ingeniería. Durante 8 semanas, los estudiantes que se han entrenado realizando dos proyectos de 4 semanas cada uno, en equipo, con el acompañamiento de profesores y monitores, conforman equipos de cuatro estudiantes, y desarrollan un proyecto en una situación problemática identificada por ellos, conciben una solución, que diseñan y que implementan llegando a un prototipo mínimo viable que presentan en un formato feria a público externo (estudiantes externos, padres de familia, y profesores). En este contexto, en un aprender haciendo, se pone a los estudiantes en el marco **OCDIO**, que se presenta como primera experiencia para los estudiantes: Los estudiantes **O**bservan una situación problemática, y con base en la comprensión de la misma, **C**onciben una intervención (solución), emprenden un **D**iseño de la misma, con base en dicho diseño, **I**mplementan un prototipo mínimo viable, que deben evaluar con los usuarios, y la presentan **O**perando, en la feria mencionada arriba. Recientemente se ha incorporado en estas fases la de cómo lograr la Participación de los protagonistas en una situación problemática, para llegar a un OP-CDIO (ObservarParticipando, Concebir, Diseñar, Implementar y Operar).

El curso de “Diseño de producto e innovación con TI” presentado en este artículo se desarrolla en el tercer año de estudio de Ingeniería de Sistemas y Computación. Los alumnos desarrollan durante 15 semanas, un proyecto innovador con TIC, en el que se aplican las herramientas de ingeniería adquiridas durante sus dos primeros años de estudio. Este es un espacio de aprendizaje basado en proyectos, en el contexto OCDIO, presentado arriba. Una característica muy importante es el de contar con el acompañamiento de un grupo de empresarios mentores durante el semestre. Un empresario-Mentor tiene como característica principal, el de contar con experiencia de terreno en empresas de base tecnológica de computación, de conocer el mercado y de estar muy dispuesto a acompañar con guías y apoyos a los equipos que, durante el semestre buscan la construcción de una propuesta innovadora con TI. El grupo de empresarios mentores, cuando está reunido, actúa como “Board”, como jurado que puede dar veredictos sobre la marcha de los proyectos. De otra parte, cada equipo cuenta durante el semestre con el acompañamiento de uno o dos mentores cuya

misión es ayudarles a encontrar el camino de plantear una propuesta innovadora que logre impacto. En la gráfica 1, se puede observar la dinámica del curso durante las 15 semanas del semestre académico. La dinámica principal es la de un proyecto de ingeniería, con documentación del proceso y presentaciones de avances en diferentes formatos.



**Gráfica 1.** Dinámica del curso

Las presentaciones al "Board" son momentos claves de realimentación por parte del grupo de empresarios-mentores. Al final de la semana 15 se presentan los prototipos mínimos viables, Operacionales y evaluados por los usuarios, en un formato feria (LaMuestra) a la que asisten los exalumnos, y empresarios principalmente.

Finalmente, y fuera del espacio académico, los equipos son invitados a participar en un concurso, cuyo jurado debe escoger UN equipo-proyecto que recibe un premio del patrocinador del concurso (una empresa-datatraffic-que nació en este espacio), un cubículo en los laboratorios durante un año y el acompañamiento de una junta directiva (doce empresarios y un profesor).

El proyecto de grado es un espacio de 3 créditos de un proyecto de ingeniería que debe evidenciar el proceso arriba descrito, y debe tener un entregable y un cliente que participe en la evaluación del resultado de proyecto.

### 3. Metodología

Teniendo en cuenta el modelo anteriormente descrito, en este artículo se presenta el conjunto de resultados de un proceso en que se pretendió hacer una evaluación del impacto en los egresados, del proceso en el curso de mitad de carrera de Ingeniería de Sistemas y Computación. La metodología del estudio consistió principalmente en 2 encuestas. La primera realizada a egresados de ingeniería de sistemas y computación que cursaron la materia de PMC entre los años 2006 y

2018. La segunda encuesta fue a empresarios mentores que han participado en el curso desde 2006 hasta la actualidad. Estas dos encuestas se realizaron por internet. En el caso de los egresados se tuvo una respuesta del orden del 5% lo que nos da poco menos de 50 respuestas procesadas. EN caso de los empresarios mentores se tuvo una respuesta del 50% lo que nos da 10 respuestas procesadas.

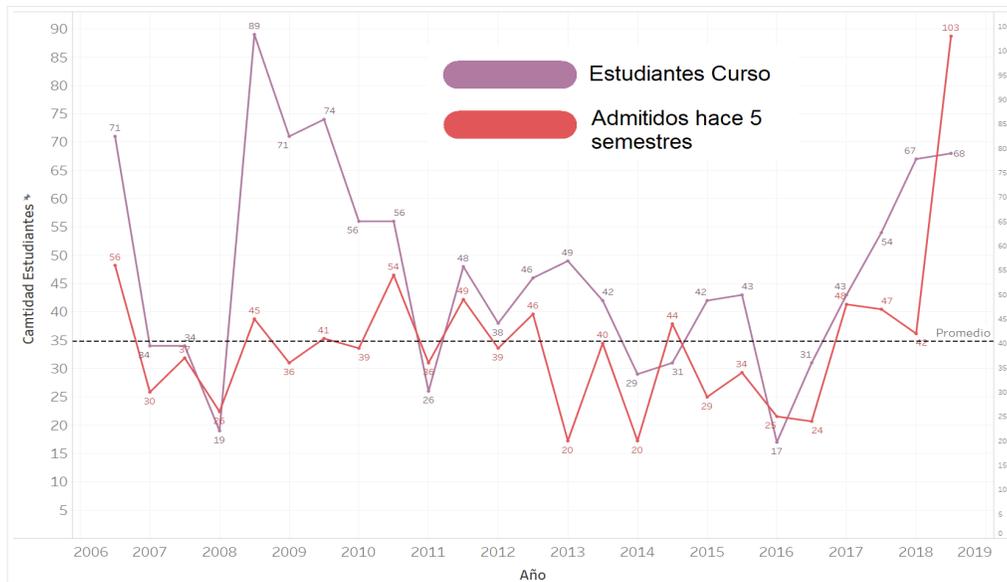
La encuesta para **egresados** consistía de 9 secciones con preguntas demográficas , sobre el alcance que tuvo el proyecto realizado en el curso y la perspectiva actual, trabajo en equipo y actividades grupales, la metodología del curso, "El Concurso", actividades de presentación de ideas frente a empresarios mentores, evaluación de la experiencia y la importancia de actividades como "La Muestra", el nivel de motivación percibido durante las diferentes actividades realizadas en el curso, Tecnologías y habilidades adquiridas en el curso, el impacto percibido por las mentorías de empresarios, entre otras.

La encuesta para los **empresarios** mentores consistía de 3 secciones, cada una con 3 preguntas iguales para diferentes años asociadas con calidad en el uso de tecnologías de los equipos en el primer año en el que participó en las mentorías , percepción sobre el espíritu emprendedor y nivel de motivación en los equipos el primer año en el que participó en las mentorías y la capacidad de trabajo en equipo (coordinación y cohesión) de los equipos en el primer año en el que participó en las mentorías.

#### **4. Resultados y Análisis**

Es importante también tener en cuenta que el curso ha evolucionado en el periodo 2006-2016. En el periodo 2006-2010 el curso se desarrollaba a lo largo de dos semestres con una intensidad menor (2 créditos por semestre). Este modelo se revaluó con el fin de tener una mayor intensidad durante un solo semestre. Si bien aproximadamente 35% de los estudiantes de Ingeniería de sistemas y computación realizan una segunda carrera, buscando una mayor diversidad disciplinar, hasta 2011, se incorporaba al conjunto de estudiantes de ingeniería de Sistemas y Computación, un grupo de aproximadamente 10 estudiantes de Ingeniería Industrial (lo que representaba un 20% de estudiantes con este perfil), como se puede observar en la Gráfica 2 en donde se presenta el volumen de estudiantes cursando el curso en estudio, en cada año. Desde 2011 se viene realizando entonces el modelo descrito en el numeral anterior, lo que nos da aproximadamente la mitad de la muestra explorada.

**FORMACIÓN PARA LA INNOVACIÓN: LA EVOLUCIÓN DE UN CURSO-PROYECTO DE MITAD DE CARRERA DURANTE DIEZ AÑOS, Y UNA EVALUACIÓN DE SU IMPACTO**



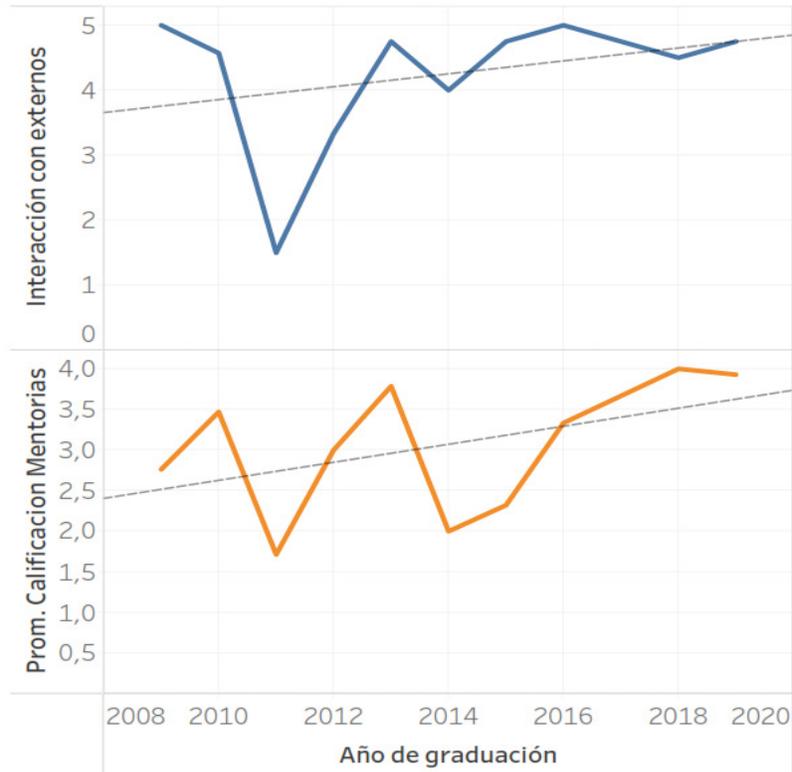
**Gráfica 2.** Cantidad de estudiantes de PMC y cantidad de estudiantes admitidos 5 semestres antes en ingeniería de sistemas y computación, por año. **Fuentes de datos:** Planeación Uniandes (Cifras de admitidos ingeniería de sistemas y computación) y datos propios del curso

Se presenta a continuación los resultados más relevantes que se encontraron, primero con los egresados, y luego con los empresarios-mentores:

**Los egresados**

Si bien se debe ser prudentes, dada la baja respuesta que se obtuvo, vemos con interés la manera como los egresados le dan importancia a la intervención del modelo de empresarios-mentores en el curso.

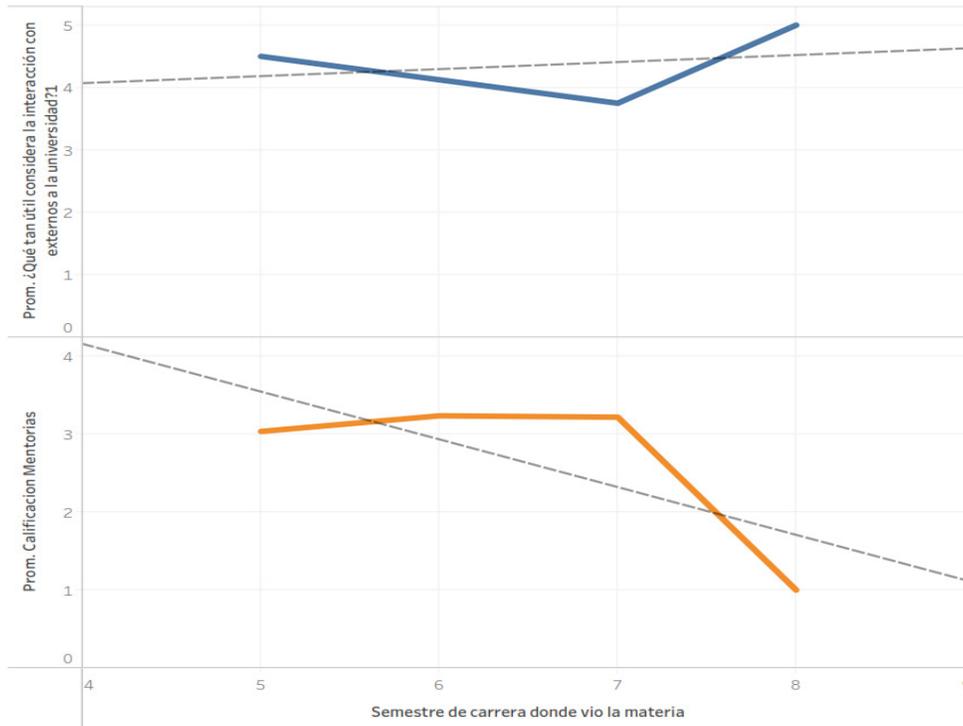
**FORMACIÓN PARA LA INNOVACIÓN: LA EVOLUCIÓN DE UN CURSO-PROYECTO DE MITAD DE CARRERA DURANTE DIEZ AÑOS, Y UNA EVALUACIÓN DE SU IMPACTO**



**Gráfica 3.** Año de graduación egresados comparado con promedio de calificación a las mentorías (Línea naranja) y calificación de la importancia de experiencia con externos a la universidad (Línea azul).

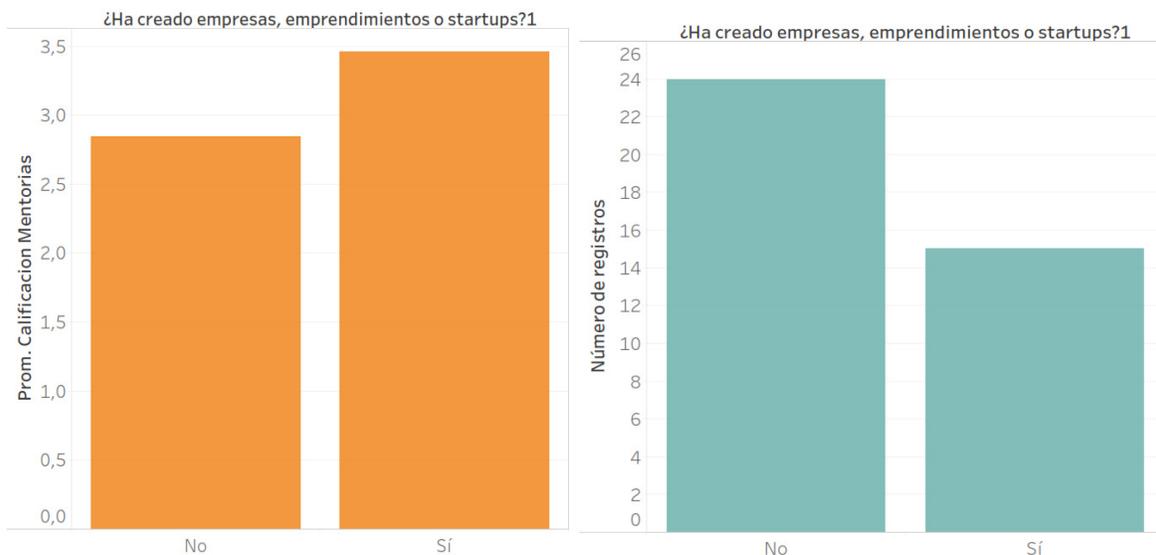
Otro hallazgo interesante que podemos reportar es la aparente pertinencia del momento en la formación de los estudiantes en el que se realiza este ejercicio de formación para la innovación. Los estudiantes que cursan esta materia al final de su carrera, si bien aprecian la interacción con externos, al mismo tiempo dan una evaluación baja a las mentorías.

**FORMACIÓN PARA LA INNOVACIÓN: LA EVOLUCIÓN DE UN CURSO-PROYECTO DE MITAD DE CARRERA DURANTE DIEZ AÑOS, Y UNA EVALUACIÓN DE SU IMPACTO**



**Gráfica 4.** Semestre donde vio la materia el egresado comparado con promedio de calificación a las mentorías (Línea naranja) y calificación de la importancia de experiencia con externos a la universidad (Línea azul).

Es interesante igualmente, observar que los egresados que han creado startups, empresas o emprendimientos le dan una calificación significativamente mayor a la experiencia de aprendizaje con los empresarios mentores. También vale la pena destacar el porcentaje de egresados emprendedores que llega al 38.4% de los encuestados.

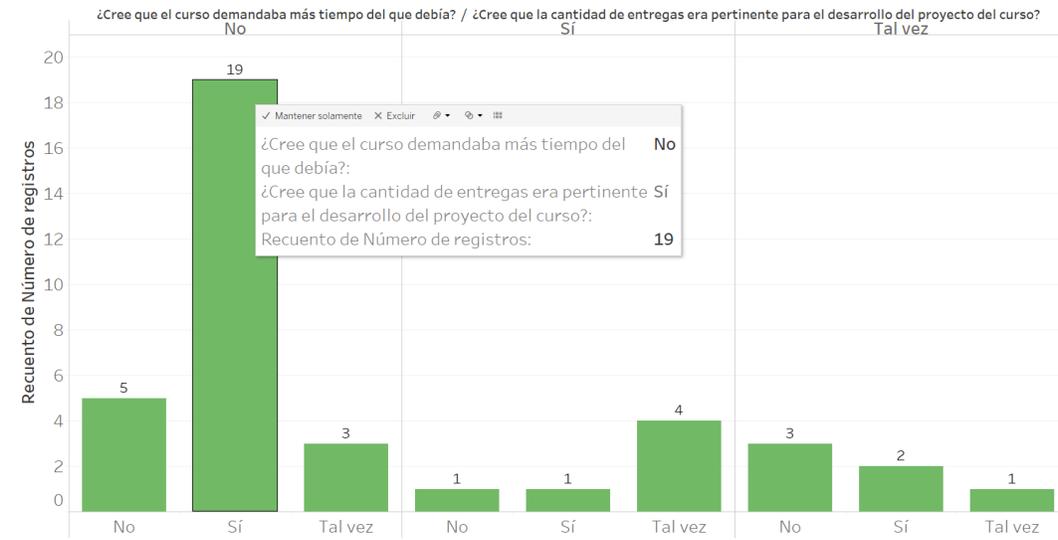


**Gráfica 5.** Creación de empresas y participación en el concurso comparado con la calificación de mentorías y experiencia con externos.

Una preocupación permanente de un curso debe ser el de la medida de la intensidad horaria

demandada (con respecto a los créditos enunciados). Esta indagación, muy orientada a la gestión del curso, refleja una intensidad adecuada tanto en el tiempo como en las entregas asociadas al desarrollo del proyecto.

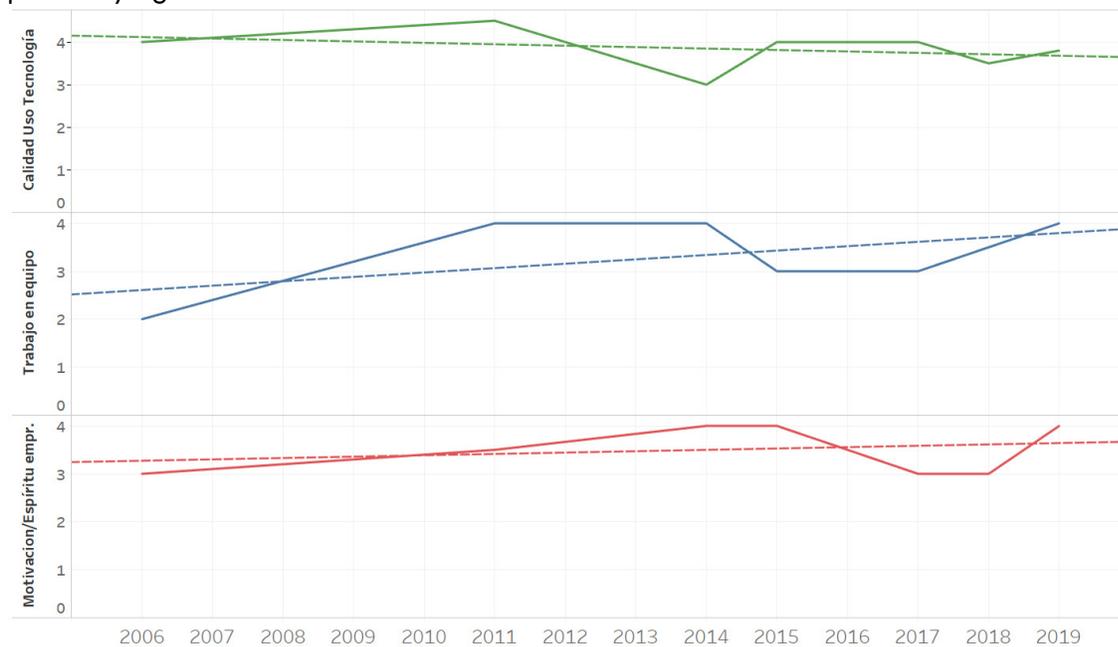
Metodología



**Gráfica 6.** Preguntas sobre la metodología, demanda de tiempo y cantidad de entregas.

**Los empresarios-mentores**

La percepción que se indagó en los empresarios-mentores con respecto al uso de nuevas tecnologías, y el trabajo en equipo y el espíritu emprendedor de los estudiantes en su primer año de mentoría, y en su último año de mentoría. En la gráfica podemos observar que la percepción es positiva y ligeramente creciente.



**Nombres de medidas**

- Prom. Calidad del uso de tecnologías de los equipos. Primer año
- Prom. Capacidad de trabajo en equipo de los equipos. Primer año
- Prom. Espíritu emprendedor y la motivación que mostraban los grupos. Primer año

**Gráfica 7.** Percepción de los empresarios mentores de la calidad del uso de tecnologías, capacidad de trabajo en equipo y espíritu emprendedor/nivel de motivación en PMC en el tiempo.

## 5. Conclusiones

Se presentó en este artículo un curso-proyecto de innovación con TIC que se encuentra como punto de mitad de carrera en una propuesta curricular de tres puntos de intervención en competencias de manejo de proyectos, trabajo en equipo y comunicación efectiva.

Se exploró la población de egresados que ha visto este curso en el periodo 2006-2016 buscando realimentación de su parte en cuanto a los factores distintivos del curso: Trabajo en la concepción y realización de proyectos de innovación (en una aproximación OCDIO) e interacción con empresarios-mentores. Igualmente se hizo una encuesta con empresarios-mentores acerca de su percepción del trabajo con los estudiantes en cuanto a uso de nuevas tecnologías, trabajo en equipo y espíritu emprendedor. Los aspectos de resaltar son que una proporción importante (38,4%) de los egresados se presentan como emprendedores y/o creadores de startups, y que la interacción con los empresarios-mentores se considera valiosa, en un espacio de 3 créditos que busca tener un impacto a largo plazo. El tener esta respuesta de parte de una población que ya está en el ejercicio profesional, permite una reflexión para reforzar este tipo de intervenciones en el currículo.

También es importante resaltar el compromiso de los empresarios-mentores en el proceso y poner en valor su percepción del compromiso que los estudiantes expresan con su proceso de formación para la innovación. Se pone en evidencia la necesidad de adelantar estos procesos de evaluación de impacto en los egresados con metodologías más activas, grupos focales, por ejemplo.

## 6. Bibliografía

- Arias, J., Ramírez, M. C., Duarte, D. M., Flórez, M. P., & Sanabria, J. P. (2016). poCDIO: A Methodological Proposal for Promoting Active Participation in Social Engineering Projects. *Systemic Practice and Action Research*, 29(4), 379-403. <https://doi.org/10.1007/s11213-016-9370-y>
- Goldberg, David E. 2008. "Bury the Cold War Curriculum." *ASEE Prism* 17 (8): 21.
- Gómez Puente, Sonia M., Michiel van Eijck, and Wim Jochems. 2014. Professional Development for Design-Based Learning in Engineering Education: A Case Study. *European Journal of Engineering Education* 40 (1): 14-31. doi:10.1080/03043797.2014.903228.

- King, C Judson. Restructuring Engineering Education: Why, How And When? *Journal of Engineering Education* 101, n° 1 (2012): 1-5.
- Hernández, J.T., Ramírez, M.C., Carvajal, J.A. (2009). Teamwork assessment in order to promote engineering students' innovative attitude. Proceedings of ninth international workshop ALE2009 Universitat Politècnica de Catalunya – Universitat de Barcelona, Junio 2009, Barcelona, España.
- Hernández, J.T., Ramírez, M.C. (2008). Innovation and Teamwork Training in Undergraduated Computing Engineering Education. SEFI Annual Conference 2008. Aalborg, Dinamarca.
- Hernández, J.T., Ramírez, M.C. (2008). Innovation and Teamwork Training in Undergraduate Engineering Education. The fair and the contest: milestones of innovation. 8th ALE International Workshop, June 2008. Bogotá, Colombia.
- Hernández, J.T., Caicedo, B., Duque, M., Gómez, R. (2004). Engineering School Renovation Project: Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. ALE Workshop June 2004. Nantes, France.
- Ramírez, M.C., Hernández, J.T. Teamwork and innovation competences: a first-semester engineering students' hands-on course. (2008). SEFI Annual Conference 2008. Aalborg, Dinamarca.
- Steiner, M., Ramírez, M.C., Hernández, J.T., Plazas, J. (2008). Aprendizaje en Ingeniería basado en Proyectos, algunos casos. Ciencia e Ingeniería en la Formación de Ingenieros para el siglo XXI, Sección 2, pp 129-147, Acofi, Bogotá, Colombia.
- Ramirez, M C., (2016). A methodological proposal for promoting Active Participation in Social Engineering Projects. En: Systemic Practice and Action Research, v29 p 1-25
- Hernández JT., Ramirez MC. (2010) Formación para la Innovación con TICs: Proyecto conjunto Facultad de Ingeniería-Empresarios". En: Revista Educación en Ingeniería v5 fasc 9 p 1-15.

## **Sobre los autores**

- **José Tiberio Hernández:** Ingeniero de Sistemas y Computación, Magister Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad de los Andes, DEA *Informatique Appliquée, Docteur Ingénieur*, Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées. [jhernand@uniandes.edu.co](mailto:jhernand@uniandes.edu.co)
- **María Catalina Ramírez Cajiao:** Ingeniera Industrial, Magister en Ingeniería Industrial, Doctora de *Ingegneria Gestionale* del Politécnico di Milano. Profesor Asociado. [mariam@uniandes.edu.co](mailto:mariam@uniandes.edu.co).
- **María Fernanda Zúñiga,** Ingeniera Electrónica, MSc Física, Universidad Tecnológica de Pereira, Emprendedora, Cofundadora y CEO de DUTO <mariafernandazuniga@gmail.com>
- **Juan Sebastián Duque,** Ingeniero Ambiental, Emprendedor, Profesor cátedra Ingeniería de Sistemas y Computación Universidad de los Andes [juansedu@mac.com](mailto:juansedu@mac.com)
- **Gleidys Blanco,** Ingeniera Industrial, Magister Ingeniería Industrial, Investigadora Decanatura Ingeniería Universidad de los Andes. [gm.blanco854@uniandes.edu.co](mailto:gm.blanco854@uniandes.edu.co)
- **Rafael Forero,** Estudiante Ingeniería de Sistemas y Computación Universidad de los Andes. [ra.forero11@uniandes.edu.co](mailto:ra.forero11@uniandes.edu.co)

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

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