

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

## RETOS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS EN LA ERA DIGITAL

# LABORATORIOS DE FORMACIÓN PARA LA INGENIERÍA: TRABAJO EN EQUIPO Y RESPONSABILIDAD SOCIAL

**María Catalina Ramírez Cajiao,  
Andrés Esteban Acero, Camilo  
Andrés Navarro**

**Universidad de los Andes  
Bogotá, Colombia**

**Diana María Duarte, David Osorio,  
Carolina González**

**Distancia Cero  
Bogotá, Colombia**

### Resumen

La formación en ingeniería de avanzada ha venido demandando el diseño de currículo basado en competencias específicas como trabajo en equipo y responsabilidad social. Una forma de desarrollar dichas competencias es el diseño de cursos basados en proyectos. La metodología CDIO (concebir, diseñar, observar e implementar) ha sido inspiradora para el diseño de esos proyectos en algunos cursos. El equipo de Ingenieros sin Fronteras Colombia ha logrado implementar dichos cursos sino enriquecer la metodología con las fases de observación y participación. El resultado de ello ha sido un proceso de co-construcción de cursos integrales donde el estudiante se ha enfrentado a problemáticas como gestión de agua y negocios verdes, entre otros. La necesidad de reforzar las competencias señaladas ha permitido que se diseñen laboratorios de trabajo conjunto transversales a los cursos propuestos en diferentes universidades. Este artículo presenta una reflexión asociada a dichas competencias y al trabajo conjunto de la Universidad de los Andes, la Universidad Sergio Arboleda y la organización Distancia Cero. En este artículo se presentarán los cursos y las propuestas que han permitido incluir de una manera consistente las competencias de trabajo en equipo y responsabilidad social. Adicionalmente, se presentará una reflexión desde la perspectiva de profesores, estudiantes y mentores vinculados.

**Palabras clave:** trabajo en equipo; responsabilidad social; formación en ingeniería; laboratorios de co-construcción

## **Abstract**

*Advanced engineering training has been demanding curriculum design based on specific competencies such as teamwork and social responsibility. One way to develop these competencies is to design project-based courses. The CDIO methodology (conceive, design, observe and implement) has been inspiring for the design of those projects in some courses. The team of Ingenieros sin Fronteras Colombia has managed to implement these courses but enrich the methodology with the observation and participation phases. The result of this has been a process of co-construction of comprehensive courses where the student has faced problems such as water management and green business, among others. The need to reinforce the aforementioned skills has allowed the design of joint work laboratories across the proposed courses through several universities. This article presents a reflection associated with these competencies and the joint work of the Universidad de los Andes, Universidad Sergio Arboleda, and the Distancia Cero organization. In this article, the courses and the proposals that have allowed to include in a consistent way the skills of teamwork and social responsibility will be presented. Additionally, a reflection will be presented from the perspective of teachers, students, and related mentors.*

**Keywords:** *teamwork; social responsibility; engineering training; co-construction laboratories*

## **1. Introducción**

La sociedad y la forma en que pensamos la ingeniería han sufrido cambios en los últimos 20 años. Nuestro mundo requiere profesionales con las capacidades para innovar, trabajar juntos, entender situaciones complejas y generar soluciones factibles. Los estudiantes de ingeniería están cada vez más interesados en contribuir al diseño y desarrollo de estas soluciones efectivas para problemas sociales (Beever y Brightman, 2016). Por tanto, es importante que los profesores, investigadores, profesionales y estudiantes (Gómez Puente, van Eijck y Jochems 2014) comprendan cómo las soluciones de ingeniería pueden generar un cambio en la comunidad para el bien público (Weber et al., 2014). El problema sigue siendo que los programas de ingeniería, desde su consolidación después de la Segunda Guerra Mundial, se han enseñado de manera deductiva (Goldberg 2012). Esto ha privilegiado las ciencias dentro de la ingeniería (Goldberg 2008), donde los profesores se acercan primero a la teoría requerida, seguido por problemas típicos de los libros de texto y, finalmente, a veces, aplicaciones del mundo real. Como señala King (2012), esta estructura necesita cambios profundos que permitan una educación en ingeniería centrada en la práctica profesional, la autonomía y el aprendizaje profundo y experiencial.

Dada esta necesidad, surgen las iniciativas de Ingenieros sin Fronteras Colombia (ISF-COL) (Ramírez, Acero y Díaz, 2017) e Ingeniería Humanitaria de la Universidad Sergio Arboleda (Flórez, Duarte y Ángel, 2018), las cuales buscan crear espacios educativos centrados en la ingeniería de impacto y el trabajo con comunidades. Con esto se busca que las soluciones que provienen de un proceso de co-creación entre estudiantes y comunidad sean soluciones técnicamente viables y culturalmente apropiadas. Para lograr que se genere este trabajo conjunto con la comunidad, la metodología implementada en los cursos de ambas universidades poCDIO.

Se propone el uso de esta metodología de participación activa dado que se basa en la observación, concepción, diseño, implementación y operación de una propuesta realizada contando con la participación transversal de la comunidad en todo el proceso (Arias, Ramírez, Duarte, Flórez, & Sanabria, 2016). Además, la metodología poCDIO permite la integración entre la docencia, la investigación y la interacción entre la universidad y la comunidad. Tanto ISF Colombia como Ingeniería Humanitaria han diseñado espacios de aprendizaje donde el trabajo de los estudiantes de ingeniería se vuelven relevantes al interactuar directamente con las comunidades vulnerables (Acero, Payán, Ramírez & Flórez, 2017). Finalmente, con esta metodología se busca que los proyectos que se desarrollan en los cursos se basen en objetivos de investigación aplicada que los estudiantes, profesores, profesionales y voluntarios deben comprender, desarrollar y compartir.

Por tanto, este artículo muestra la aplicación de la metodología poCDIO en los programas académicos de ingeniería industrial de dos universidades colombianas y su integración a través de una herramienta denominada clúster de innovación regional. El artículo se compone de los siguientes capítulos: primero, se presenta el diseño general de los cursos de proyecto intermedio de la Universidad de los Andes y la opción de grado en ingeniería humanitaria de la Universidad. Luego, se presenta el modelo de integración de los proyectos de ingeniería de estos dos cursos bajo a través del clúster de innovación regional. Finalmente, se muestran los resultados de la implementación de este modelo y consejos para la aplicación en otros contextos.

## **2. Cursos basados en el modelo de ISF Colombia**

### **2.1 Curso Proyecto Intermedio**

El curso Proyecto Intermedio se viene desarrollando en los diferentes programas de ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes. El curso tiene la finalidad de reunir profesores y estudiantes para la difusión de conocimiento, el intercambio cultural y la discusión en torno al papel de la ingeniería como promotor de desarrollo de las comunidades, particularmente las más vulnerables. Con este fin, el curso cuenta con dos espacios: un componente teórico, donde por medio de conferencias magistrales, lecturas, y un componente práctico, se desarrollan talleres y discusiones en clase y los estudiantes aprenden herramientas de ingeniería aplicadas al contexto de las comunidades. Para evaluar este aprendizaje, los estudiantes conforman equipos de trabajo, observan a la comunidad para identificar una problemática, diseñan una solución de ingeniería sostenible teniendo en cuenta las restricciones y variables relevantes, diseñan la solución y proponen un esquema de implementación. Se ha buscado que al terminar el curso el estudiante esté en la capacidad de reconocer el aporte de la ingeniería en el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades vulnerables y aplique conocimientos en Ciencia y Tecnología en proyectos que atiendan problemáticas de comunidades vulnerables.

Las temáticas que se han abordado son situaciones concretas que han ido desde la gestión ambiental hasta el desarrollo de emprendimiento. El curso se ha visto enriquecido gracias a las mentorías y discusiones con miembros de otras Universidades como la Sergio Arboleda. Además, los estudiantes del curso exponen proyectos de innovación que desarrollan durante el semestre académico como parte de las actividades de su curso de aprendizaje activo. Los proyectos de La

Muestra reflejan la aplicación de conceptos sólidos de las ciencias y fundamentos de ingeniería en una resolución más estructurada de los problemas.

## 2.2 Curso Opción de Grado en Ingeniería Humanitaria

Ingeniería Humanitaria de la Universidad Sergio Arboleda busca crear conocimiento conjunto a través de metodologías participativas que vinculen los saberes empíricos y ancestrales con las teorías científicas y desarrollos tecnológicos. De esta forma, pretende que la comunidad académica interiorice habilidades estratégicas, tales como: escuchar, observar y entender activamente el contexto para identificar las condiciones estructurales y contextuales propias del sistema o región. Para ello, Ingeniería Humanitaria tiene cuatro cursos, tres de los cuales hacen parte de la electiva profesional en Ingeniería Humanitaria del programa de ingeniería industrial y uno es un curso que pueden tomar como electiva de profundización. Además, se creó la opción de grado en ingeniería humanitaria, la cual se basa en la metodología poCDIO.

La opción de grado en Ingeniería Humanitaria está estructurada bajo la metodología de aprendizaje basado en retos, donde el reto se define como una necesidad real de una comunidad en situación de vulnerabilidad económica, social o ambiental. Situación de vulnerabilidad enmarca aquellas dificultades de suplir las necesidades básicas, la carencia de redes familiares, afectivas o la desigualdad social, así como la afectación por alteraciones medioambientales o la dificultad de desarrollar estrategias de adaptación climática por sus propios medios. El enfoque de trabajo demanda la dedicación de tiempo del estudiante, con miras a co-crear una solución que responda efectivamente al reto, dejando como entregables finales, el diseño y la apropiación de herramientas que garanticen el mantenimiento de la solución o de los avances.

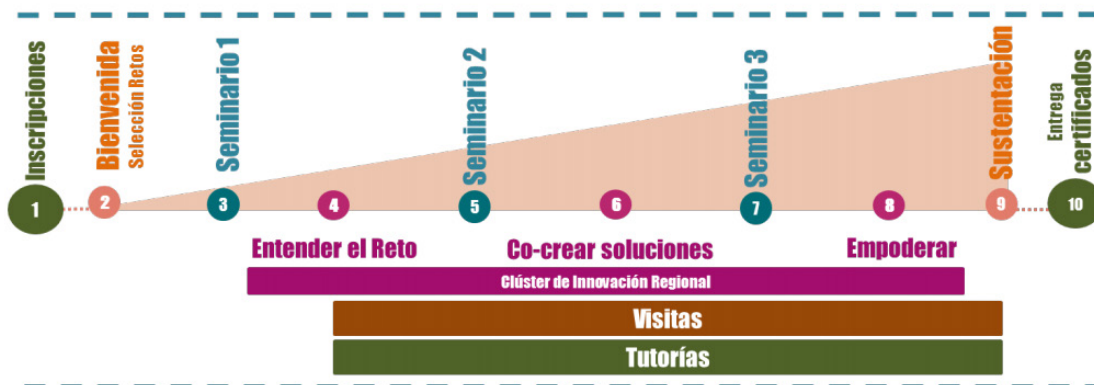


Figura 1: Metodología de la opción de grado en ingeniería humanitaria

## 3. Modelo: Clúster de Innovación Regional

El Clúster de Innovación Regional es una comunidad de organizaciones de educación superior, organizaciones sin ánimo de lucro y profesionales con el objetivo de 1). Brindar a los estudiantes de cualquier disciplina una experiencia que les permita reconocer el valor y el potencial de articular su quehacer profesional con el trabajo comunitario y de impacto. 2). Fortalecer el rol de las organizaciones sin ánimo de lucro como agentes de cambio económico, social y ambiental a nivel

local. 3). Comunicar y documentar la colaboración entre los actores como una forma efectiva de generar impacto positivo a nivel local.

Los enfoques pedagógicos para alcanzar dichos objetivos son la Co-creación y el Aprendizaje Basado en Retos (ABR). La Co-creación, entendida como un proceso equitativo de intercambio de experiencias, saberes y conocimientos entre postulador y estudiantes, que tiene en cuenta el alcance acordado entre ambas partes.

El Aprendizaje Basado en Retos es un enfoque pedagógico que involucra activamente al estudiante en una situación problemática real, relevante y de vinculación con el entorno, la cual implica la definición de un reto y la implementación de una solución (EduTrends, 2016). Desde el Clúster se procura no hablar de “solución” sino de entregable, partiendo de la comprensión de una situación compleja en la que se realiza un aporte con alcances y condiciones concretas.

El Clúster se desarrolla dentro de los espacios educativos ya existentes como el curso Proyecto Intermedio y la opción de grado en Ingeniería Humanitaria. Para esto se llevan a cabo una serie de actividades para disponer un escenario propicio en el que estudiantes, postuladores (organizaciones sin ánimo de lucro), docentes y mentores puedan llevar a cabo una experiencia pedagógica integral:

Fase 1. Diseño del portafolio de retos de co-creación: El “reto” es una pregunta que comunica una necesidad u oportunidad relevante para los postuladores, que a su vez es de potencial interés para los estudiantes e integra de forma efectiva el alcance y la disciplina del espacio educativo. A partir del portafolio, docentes y/o estudiantes de los espacios académicos participantes, seleccionan el reto a abordar durante el semestre y se organizan en equipos de trabajo.

Fase 2. La activación del Clúster: se da cuando se pone en contacto cada equipo de estudiantes con el respectivo postulador. El medio de contacto depende de la tecnología que el postulador use de forma habitual en su cotidianidad (los más usuales son celular, correo electrónico y WhatsApp).

Fase 3. La Co-creación: inicia con el abordaje del reto, que es la ventana que “enmarca” la exploración del equipo durante cuatro meses. A partir de la experiencia, el Clúster ha dividido la co-creación en tres etapas: *Entender el reto*, *Idear y prototipar*, y *cerrar el ciclo*, donde en este último se hace entrega a los postuladores de los entregables acordados y construidos conjuntamente, vislumbrando escenarios cercanos y estrategias de apropiación.

Con el objetivo de apoyar a los docentes, el Clúster desarrolla una serie de estrategias que son facilitadas por la organización Distancia Cero y que buscan apoyar la transición de los equipos. Dentro de estas estrategias se encuentran: la realización de 3 encuentros inter-universitarios con el objetivo de intercambiar aprendizajes y conocimientos, poner a disposición de los equipos un grupo de mentores profesionales que pueda guiarlos en diferentes áreas de conocimientos y hacer un seguimiento constante en la identificación temprana de dificultades. Es importante recordar que este ejercicio se da en el marco de espacios educativos que bajo el liderazgo docente cuentan ya con una estructura metodológica y de apoyo hacia el proceso.

#### 4. Resultados de la implementación

Uno de los pilares de los espacios académicos mencionados anteriormente es la co-creación. Aplicar este principio no es un proceso sencillo, principalmente porque su éxito depende de construir en corto tiempo la capacidad de comunicación entre personas que suelen no conocerse y tienen contextos de vida distintos entre sí. El Clúster de Innovación Regional invita tanto a postuladores como estudiantes a romper paradigmas, esquemas y a alinear intereses en el contexto de recursos y tiempo limitados.

A partir de la implementación de dinámicas como el Clúster de Innovación Regional se lleva a los participantes a reconocer realidades y conocimientos fuera de la academia, permitiéndoles establecer relaciones horizontales entre los estudiantes y personas de contextos locales que postulan una pregunta para ser abordada a lo largo de 4 meses. En los 6 semestres que se ha venido implementando la dinámica del Clúster los comentarios más representativos de los estudiantes y las comunidades participantes son acerca de los atributos que más valoran como el relacionamiento con nuevas personas de otros contextos, conocer nuevas visiones y perspectivas y establecer nuevos vínculos. Algunos de los comentarios recopilados se muestran a continuación:

*“Conocer nuevas personas, abarcar más experiencia tanto a nivel profesional como personal, una experiencia única”.* Estudiante participante del Clúster de Innovación Regional primer semestre del 2019.

*“Lo más valioso de la experiencia es poder conciliar acuerdos entre personas con diferentes intereses y el intercambio de conocimientos que se da en el proceso”.* Postulador comunitario participante del Clúster de Innovación Regional primer semestre del 2019.

Por otro lado, el Clúster de Innovación Regional es una iniciativa que busca fortalecer los espacios educativos vinculados, por esta razón, está diseñado para que aporte al desarrollo de **competencias educativas** como objetivos de aprendizaje, logrando que los estudiantes apliquen sus conocimientos, habilidades y destrezas durante el desarrollo de los retos propuestos. Dentro del marco de las competencias ABET, se han identificado como principales competencias el “Reconocer requisitos y compromisos éticos”, “Aplicar conocimientos propios de la carrera en contextos sociales, económicos y ambientales”, “Fortalecer el trabajo colaborativo y multidisciplinario”, y “Generar capacidades de comunicación efectiva”. Al finalizar cada semestre se evalúa, a través de una encuesta de percepción, si los estudiantes durante la experiencia sienten que se ven involucrados activamente en espacios donde tengan que abordar situaciones relacionadas con las competencias nombradas anteriormente. Los resultados obtenidos para los 137 estudiantes que han contestado el instrumento, desde el segundo semestre del 2017 hasta hoy, arroja un 89% de validación por parte de los estudiantes de que efectivamente estas competencias se desarrollan en el Clúster de Innovación Regional y el 80% de los participantes consideran que trabajar con actores de contextos diferentes es una experiencia necesaria para el crecimiento personal y profesional.

Desde el lanzamiento del Clúster de Innovación Regional en agosto del 2017, el Clúster ha contado con la participación de 9 espacios educativos pertenecientes a la Universidad de los Andes, la

Universidad Sergio Arboleda, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Cundinamarca seccional Ubaté, que abarcan la participación hasta el momento de más de 280 estudiantes y 16 docentes de diversos programas universitarios. Gracias al Clúster, desde mediados del 2016 hasta la actualidad se han logrado movilizar en promedio más de 22.800 horas de proyectos universitarios hacia escenarios de co-creación comunitaria, abordando 59 retos en diferentes municipios de Cundinamarca, Meta, Boyacá y Amazonas, siendo la principal zona de interacción Bogotá y 6 municipios de Cundinamarca.

## **5. Conclusiones y trabajo futuro**

Tanto la Co-creación como el ABR fortalecen las habilidades profesionales mediante la participación activa de los estudiantes y demás actores del Clúster en el marco del aprendizaje vivencial, fortaleciendo la comunicación asertiva, la empatía, la adaptabilidad y el trabajo en equipo. En cuanto a las dinámicas pedagógicas desarrolladas en los Cursos Proyecto Intermedio y la Opción de Grado de Ingeniería Humanitaria se tornan más abiertas y flexibles, irrumpiendo la convencionalidad del aula de clase, en donde el rol del docente es un orientador del proceso y los estudiantes tienen un rol más activo y participativo en el proceso de co-creación. A nivel metodológico cabe resaltar que la pregunta del reto y el proceso de "entendimiento de reto", cómo uno de los eje fundamental del modelo de Aprendizaje Basado en Retos, hace que se establezcan diálogos y reflexiones en torno a una situación particular que entrelaza saberes y conocimientos de ambas partes y que los entregables que compilan los resultados del proceso junto a sus estrategias de apropiación, sean más acertados y pertinentes con el contexto local de estudiantes y postuladores.

A pesar de los buenos resultados y experiencias obtenidas, estos modelos pedagógicos están en constante seguimiento y evaluación para propiciar el mejoramiento continuo de las mismas. Con el objetivo de lograr unos entregables con mayor apropiación, se proyecta para este nuevo semestre la inclusión de pre-requisitos para participar de los encuentros inter-universitarios que lleven a los estudiantes a preparar los espacios de co-creación con antelación. En cuanto a la fase de activación de los retos, se propone que se exija que los estudiantes y postuladores logren realizar la conexión a más tardar la segunda semana del semestre, ya que en previas versiones, está conexión ha tomado más tiempo, reduciendo el espacio de trabajo colaborativo para ideación y cierre de ciclo. Finalmente, se propone buscar un mayor alcance de espacios universitarios y disciplinas en la metodología, ya que el ejercicio de co-creación y de Aprendizaje Basado en Retos se ven mucho más enriquecidas a medida que crece la diversidad de los puntos de vista, experiencias y áreas de conocimientos.

## **6. Bibliografía**

- Acero, A., Payan, L., Ramirez, C., & Florez, M. P. (2017). Active Learning and Action Research Outside Classroom: Engineering with Social Impact. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2965030>



- 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>
- Beever, J, and O Brightman. 2016. A Principlist Approach for Thinking about the Social Impacts of Engineering. *123rd ASEE Annual Conference and Exposition 2016–June*. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84983372370&partnerID=40&md5=4c850a7e16beb9704e5f6d341afbb9fa>.
- Flórez, M.P., Duarte, D., & Ángel, L.A. (2018). Ingeniería Humanitaria: una propuesta para articular la educación en ingeniería con los problemas sociales. Morales, J.C. & Rodríguez, S.A. (Eds.). *Las TIC, la innovación en el aula y sus impactos en la educación superior*. Editorial Universidad Sergio Arboleda. Bogotá D.C.
- Goldberg, David E. 2008. "Bury the Cold War Curriculum." *ASEE Prism* 17 (8): 21.
- ———. 2012. "A Moribund Profession?" *Communities Education*, 16.
- 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.
- Memorias del Clúster de Innovación Regional [en línea]. Bogotá, (Colombia).[2017-I a 2019-II]. Disponible en internet: <https://www.retos.co/publicaciones>. ISSN: 2590-4639.
- Ramírez, M.C., Acero, A. & Díaz, J.H. (2017). Las fronteras de la ingeniería industrial: educación con impacto social. Bertieri, J.R.(Ed). *Ingeniería Industrial en la construcción de la paz*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, D.C.
- Ramírez, M. S., & García Peñalvo, F. (2018). Co-creación e Innovación Abierta: Revisión sistemática de literatura. *Comunicar*, 26.
- Reporte EduTrends, Aprendizaje Basado en Retos [en línea]. Monterrey, Nuevo León, (México): Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. [2016]. Disponible en internet: <https://observatorio.tec.mx/edutrendsabr> , no.1. ISSN:978-607-501-419-7.
- Weber, Nicole R, Johannes Strobel, Melissa A Dyehouse, Constance Harris, Ray David, Jun Fang, and Inez Hua. 2014. First-Year Students' Environmental Awareness and Understanding of Environmental Sustainability through a Life Cycle Assessment Module. *Journal of Engineering Education* 103 (1): 154–81. doi:10.1002/jee.20032.

## Sobre los autores

- **María Catalina Ramírez Cajiao:** Ingeniera Industrial, Magister en Ingeniería Industrial, Doctora de Ingeniería Gestionale del Politécnico di Milano. Profesor Asociado. [mariaram@uniandes.edu.co](mailto:mariaram@uniandes.edu.co).
- **Andrés Esteban Acero:** Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial, candidato a doctor en Ingeniería de la Universidad de los Andes. Profesor Asistente de la Universidad Sergio Arboleda. [andres.acerol@usa.edu.co](mailto:andres.acerol@usa.edu.co).



- **Camilo Andrés Navarro:** Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial, estudiante del doctorado en Ingeniería de la Universidad de los Andes. Profesor Asistente de la Universidad Sergio Arboleda. [camilo.navarro@usa.edu.co](mailto:camilo.navarro@usa.edu.co).
- **David Osorio:** Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial, Profesor de Cátedra y Líder de Estrategia Institucional Universidad de los Andes. Co fundador de la organización Distancia Cero S.A.S. [dl.osorio974@gmail.com](mailto:dl.osorio974@gmail.com)
- **Diana Carolina González Barahona:** Diseñadora Industrial de la Universidad Nacional de Colombia. Co-fundadora de la organización Distancia Cero S.A.S. Docente de Cátedra de la Universidad Sergio Arboleda. [diana.gonzalez02@correo.usa.edu.co](mailto:diana.gonzalez02@correo.usa.edu.co)
- **Diana María Duarte Gómez:** Ingeniera Industrial y magíster con énfasis en dirección y gestión organizacional de la Universidad de los Andes. Co-fundadora de la organización Distancia Cero S.A.S. [dianamariaduarte90@gmail.com](mailto:dianamariaduarte90@gmail.com)

---

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)