



Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness

Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global

EFECTIVIDAD DE LA ENSEÑANZA-INSTRUCCIÓN EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN: UN ESTUDIO COMPARATIVO

Guillermo Mejía Aguilar, Tulia Esther Rivera Flórez

Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia

Resumen

El presente estudio reconoce la importancia de evaluar la relación educación-ingeniería en países en vía de desarrollo como Colombia. Dicha evaluación debe empezar con una medición de la efectividad de la enseñanza, basada en el diseño de la instrucción, la estrategia de enseñanza y las competencias adquiridas por parte del discente. El presente estudio empleó la comparación de casos como metodología de investigación y análisis. Así, entre un escenario profesional y un escenario puramente académico, el estudio encontró evidencia estadística, a un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, para afirmar que la enseñanza-instrucción influyó en los estudiantes y capacitados. Adicionalmente, el estudio encontró similitudes entre los dos escenarios, las cuales para los autores, podrían constituir una base que orienten el estudio y análisis tanto de la formación profesional como de las estrategias de enseñanza empleadas en educación en ingeniería.

Palabras claves: educación en ingeniería; educación; evaluación de estrategias de enseñanzas

Abstract

The present study realizes that the relationship education-engineering is a critical development factor in emerging countries such as Colombia. In consequence, the authors state that in order to undertake an improvement strategy based on the relationship between education and engineering, the first step is to assess the effectiveness of the teaching-instruction with regard to the instruction design, teaching strategy, and skills gained by the trainees. This study used a case study research design for comparison and analysis between two instructional environments. Thus, when the study compared an academic and a professional scenarios, the findings showed statistical evidence enough, at a level of significance $\alpha = 0,05$, to claim that the teaching-instruction intervention influenced on the knowledge and skills of the trainees. Also, the findings showed interesting similarities, which according to the authors might give the academy as the

construction industry real insights into the key factors of the engineers' education, as well as, of the teaching strategies in engineering education.

Keywords: *engineering education; education; learning strategies assessment*

1. Introducción

Los proyectos de infraestructura son fundamentales para el desarrollo económico y social de los países, en especial para los países emergentes como Colombia. Esta afirmación se deriva del rol trascendental que organizaciones internacionales le han reconocido a la ingeniería civil en relación con el desarrollo sostenible y el bienestar de la sociedad (ASCE, 2007; NAE, 2005). Bajo este rol, la profesión de ingeniero civil adquiere la gran responsabilidad de encontrar soluciones integrales y efectivas a las necesidades de infraestructura que actualmente requiere el país. En consecuencia, resulta evidente que la relación educación-ingeniería debe brindar a los futuros ingenieros un cuerpo de fundamentos y habilidades básicas para responder a este reto. Tan evidente es esta relación, que la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) ha propuesto una política de educación en ingeniería basada en la universalidad, internacionalización y mejoramiento de la calidad, componentes determinantes e influyentes en el desarrollo mundial del siglo XXI: (UNESCO, 2010).

En Colombia, los últimos gobiernos han pretendido revitalizar la educación con miras a mejorar los índices de crecimiento, desarrollo y bienestar. Las condiciones actuales lo ameritan, ya que el contexto colombiano ha cambiado sustancialmente en materia de reformas económicas (Robinson, 2005). Los gobiernos han entendido que se requiere no solo una infraestructura comparable a la de los países desarrollados, sino también, procesos de formación en ingeniería comparables a los implementados en países del primer mundo (Caro, 2004). Consciente de ello, la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI) y el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES) llaman a favorecer la excelencia y calidad en la enseñanza de la ingeniería, a modernizar la estructura curricular de sus programas, a trabajar por la homologación internacional de estudios, y a mejorar las estrategias de enseñanza (ACOFI, 2006; ACOFI e ICFES, 1996).

Si bien es cierto que los llamados a mejorar las estrategias de enseñanza han comenzado a hacer eco en Colombia, pareciera que los modelos de enseñanza no han tenido un cambio sustancialmente significativo durante los últimos lustros (Caro 2004). En Colombia, no hay documentación formal y sistemática sobre índices de influencia basados en la relación educación-ingeniería, como tampoco índices de efectividad de las estrategias de enseñanza aplicadas durante el proceso de formación en ingeniería. Es imperativo saber si los tradicionales métodos, cursos, y programas, satisfacen de manera efectiva las actuales y futuras necesidades de la educación en ingeniería en el país. Es necesario conocer si las actuales estrategias de enseñanza influyen significativamente en el desempeño de los estudiantes, para soportar la necesidad de las reformas curriculares a los programas.

2. Objetivos y metodología

El presente estudio comparó la efectividad de la enseñanza-instrucción relacionada con temas sobre fundamentos de gerencia de proyectos de construcción, bajo dos escenarios distintos. El primer caso estuvo caracterizado por un escenario académico, donde se impartió el curso introductorio a gerencia de

proyectos de construcción a estudiantes de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander, Colombia. El segundo caso estuvo caracterizado por un escenario profesional, donde se capacitó sobre fundamentos de gerencia de proyectos de construcción a ingenieros supervisores de una importante empresa de ingeniería de Los Estados Unidos. El estudio comparó los dos casos bajo tres parámetros: El diseño de la instrucción, las estrategias de enseñanza, y la evaluación de la efectividad de la enseñanza-instrucción.

El presente estudio se ciñó a la metodología de estudio de casos. Los estudios de casos analizan un fenómeno dentro su contexto real y usan métodos de análisis estadístico que aporten evidencias, validen previas investigaciones o sugieran nuevas hipótesis para ser evaluadas a la luz de teorías ampliamente documentadas y aceptadas (Yin, 1994).

3. Descripción de los casos

Caso 1: Consistió en la evaluación del curso introductorio a gerencia de proyectos de construcción, curso que hace parte del programa de estudios de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Colombia. La muestra estuvo conformada por estudiantes oficialmente matriculados en la sede central de la UIS, en la ciudad de Bucaramanga. Para analizar este caso, se hizo una observación durante cuatro semestres consecutivos. El semestre A sirvió de grupo control y los grupos de prueba fueron: semestre B, semestre C, y semestre D. A continuación la Tabla 1 resume la composición de la muestra analizada para el caso 1.

Tabla 1. Participantes del Entorno Académico

	Semestre A		Semestre B		Semestre C		Semestre D	
No de estudiantes matriculados	48		57		63		58	
No de estudiantes evaluados	45	94%	57	100%	58	92%	58	100%
Mujeres	13	27%	15	26%	12	19%	25	43%
Hombres	35	73%	42	74%	51	81%	33	57%
No de cancelaciones	3	6%	0	0%	5	8%	0	0%

Caso 2: Consistió en la evaluación de la capacitación sobre fundamentos de gerencia de proyectos de construcción, impartida a 50 ingenieros supervisores de una importante empresa de ingeniería de Los Estados Unidos. La muestra estuvo conformada por ingenieros quienes se desempeñaban como líderes de procesos de diseño, ingeniería y construcción dentro de la empresa, pero acreditaban una profesión diferente a ingeniería de construcción y gerencia. Los capacitados provenían de diferentes regiones de los Estados Unidos y acreditaban experiencia profesional entre 2 y 28 años. La Tabla 2 resume la composición de la muestra analizada para el caso 2, que servirá de marco de comparación con la muestra del caso 1.

Tabla 2. Participantes del Entorno Profesional

Profesión	Evaluados	Porcentaje	Región	Evaluados	Porcentaje
Ingeniería eléctrica	7	18%	Sur-oriente	3	8%
Instrumentación y control	7	18%	Medio-occidente	7	18%
Instalaciones hidráulicas	3	8%	Central	12	32%
Ingeniería industrial	6	16%	Sur-central	5	13%
Ingeniería mecánica	6	16%	Costa-oriente	9	24%
Ingeniería estructural	9	24%	Sin información	2	5%
Total	38	100%	Total	38	100%

4. Diseño de la instrucción

Caso 1: El curso presentó como propósito: Dar a conocer el marco conceptual, metodologías, herramientas técnicas y teóricas para planear, y controlar proyectos de construcción mediante la gestión del tiempo y el costo. Los objetivos y contenido del curso fueron definidos por temas y subtemas relacionados con cuatro ejes temáticos, como se muestra en la Tabla 3. El curso fue programado para desarrollarse en 16 semanas de clase. Para conocer más detalles del diseño del curso consultar Mejía (2011).

Tabla 3. Contenido y Programa del Curso

Eje temático	Tema	Taller
Planeación en los Proyectos	Contexto del Análisis Estratégico en Construcción	
	Planeación de Proyectos	Taller No. 1 Decisiones.
El Tiempo en los Proyectos	El tiempo en los proyectos	
	Programación de tiempos	Taller No. 2 Estructura Desagregada de Trabajo
	Cantidades de obra Gestión de recursos Control de tiempos	Taller No 3 Cantidades de obra
Costo en los Proyectos	El costo en los proyectos	Taller No 4 Nivelación de recursos
	Costos directos	
	Costos indirectos	Taller No 5 Contabilidad.
	Software de apoyo en costos Control de costos	Taller No 6 Software de presupuesto
Decisiones en los Proyectos	Integración costo-tiempo	Taller No 7 Mano obra y equipos
	Incertidumbre -Riesgo	Taller opcional control de costos

Caso 2: Un panel de expertos definió los objetivos, contenido y estrategia de capacitación. El panel, conformado por gerentes y ejecutivos de diferentes disciplinas de ingeniería, con una amplia experiencia y conocimiento sobre gerencia de construcción, determinó el siguiente propósito de la capacitación: Impartir los conceptos fundamentales sobre el desarrollo y construcción de proyectos, las buenas prácticas de gestión de proyectos con que cuenta la industria, y mejorar las habilidades de los ingenieros capacitados. Los objetivos y contenidos de la capacitación fueron definidos por temas claves relacionados con tres módulos temáticos: Planeación, Construcción y Cierre de proyectos. El curso fue programado para desarrollarse en 4 meses, con tres sesiones intensivas de instrucción presencial (ver Tabla 4). Para conocer más detalles de la capacitación, consultar Grau et al. (2011).

Tabla 4. Contenido por Módulo de la Capacitación

Planeación	Construcción	Cierre de proyectos
Motivación	Motivación	Motivación
Definición de Objetivos	Gerencia de la Construcción	Apertura de Proyectos
Fase de Factibilidad	Gerencia del Riesgo	Cierre de Proyectos
Fase Conceptual	Gerencia del Cambio	Gerencia de Equipos de Trabajo
Definición del Alcance	Constructabilidad	Liderazgo y Desarrollo
Contratos	Control de Diseño	
Definición de Roles y Funciones	Estructura Desglosada de Trabajo	
	Gerencia de Costos	
	Gerencia de Tiempos	
	Análisis de Varianzas	
	Gerencia de Recursos	
	Gerencia de Información	

5. Estrategias de enseñanza

Caso 1: La estrategia de enseñanza para el presente caso fue la utilización de talleres diseñados bajo un enfoque de solución de problemas, donde se requiere resolver situaciones propias del campo profesional aplicando el conocimiento adquirido. Los talleres fueron programados como lo muestra la Tabla 3. Los talleres sirvieron como complemento y apoyo al desarrollo del proyecto semestral y como estrategia de entrenamiento e integración del conocimiento. Las habilidades genéricas a desarrollar con los talleres fueron: a) el uso de elementos teóricos del área en la solución de problemas reales, b) el planteamiento de soluciones coherentes y bien fundamentadas, c) la presentación clara de informes, orales y escritos, usando el lenguaje técnico adecuado d) el uso de herramientas de informática, y e) el reconocimiento de la necesidad del autoaprendizaje y formación permanentemente. Las habilidades específicas a desarrollar fueron: a) la aplicación del conocimientos de ingeniería civil, b) el empleo de conceptos económicos y financieros para la toma de decisiones, c) el uso de herramientas de computación en la solución de problemas, d) la simulación de procesos constructivos, y e) y la administración de recursos humanos. Para conocer más detalles del diseño de las estrategias del curso, consultar Mejía et al. (2013).

Caso 2: La capacitación se impartió en tres sesiones intensivas, las cuales correspondieron a cada módulo clave (ver Tabla 4). Los capacitados contaron con material escrito, memorias digitales, copias de procedimientos, políticas y buenas practicas adoptadas por la industria. La capacitación se impartió de manera interactiva, con un estilo tradicional de enseñanza, pero con la inclusión de metodologías de solución de problemas, análisis de casos y sesiones de discusión abierta. Para consolidar el aprendizaje se asignaron talleres en clase y extra clase, con lo que se pretendió reforzar los conceptos enseñados y desarrollar habilidades básicas en los asistentes. Para esto, los talleres fueron desarrollados por grupos de ingenieros con diferentes perfiles, para así incentivar las habilidades comunicativas y de trabajo con equipos multidisciplinarios. Para conocer más detalles del diseño de las estrategias de la capacitación, consultar Grau et al. (2011).

6. Evaluación de la efectividad de la enseñanza-instrucción

Caso 1: La efectividad de la enseñanza fue evaluada a nivel general del curso, midiendo el efecto que se obtuvo de la enseñanza-instrucción sobre el nivel de conocimiento y habilidades de los estudiantes. El nivel de conocimiento se evaluó por medio de exámenes escritos, y las habilidades a través del proyecto semestral y los talleres.

En la implementación del curso se controlaron aquellos factores externos que pudieran incidir en los resultados de la evaluación como son: el contenido, la estrategia de enseñanza (en este caso talleres), las condiciones de las aulas de clase, el profesor, el sistema de calificación, el horario y la intensidad semestral de cada curso. Con respecto al control de pre-conocimientos de los estudiantes que tomaron el curso, se decidió hacer tres mediciones sucesivas (semestres B, C, y D) para ser comparadas con una observación referencia o control (semestre A).

Tabla 5. Resumen Estadístico de Resultados del Curso

	Semestre A	Semestre B	Semestre C	Semestre D
No estudiantes evaluados	45	57	58	58
Media	3,22	3,66	3,83	3,66
Error estándar de la media	0,0896	0,0692	0,0833	0,0576

Desviación Estándar	0,6007	0,5224	0,6343	0,4388
Coefficiente de Variación	18,68	14,27	16,55	11,99
Mínimo	1,80	2,25	2,45	2,95
Máximo	4,70	4,60	4,79	4,50

Los resultados generales de la evaluación de cada semestre son mostrados en la Tabla 5. El sistema de calificación se basó en una escala numérica de 0 a 5, donde 0 es la mínima calificación, 5 la máxima, y 3 es la calificación mínima necesaria para aprobar. Un test de ANOVA comprobó que hay una diferencia estadísticamente significativa ($F(3, 214) = 11,14, p < 0,001$) en las calificaciones de los semestres evaluados. La prueba de Levene de homogeneidad de varianzas no resultó significativa a un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, confirmando el supuesto de varianzas iguales. El método Tukey de comparaciones múltiples mostró que hay una mejora estadísticamente significativa de la nota final (ver Gráfico 1). La magnitud del efecto de la intervención fue estimada usando el coeficiente omega (ω^2) según Cohen (1988). El valor de $\omega^2 = 0,122$ sugiere la presencia de un leve efecto como resultado de la actividad enseñanza.

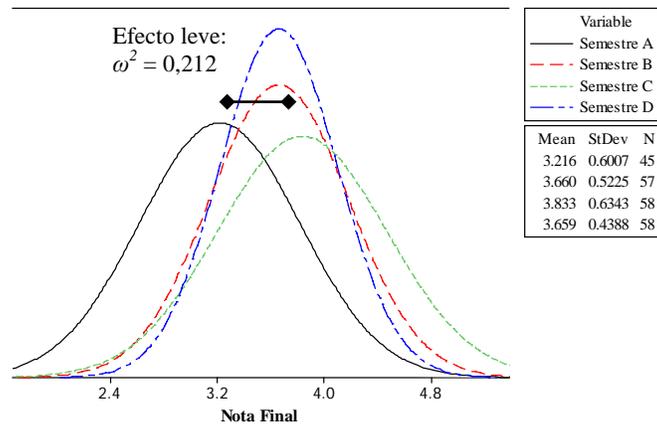


Gráfico 1. Tamaño de Efecto de la Actividad de Enseñanza.

Caso 2: La efectividad de la capacitación fue evaluada a nivel general, midiendo el efecto que produjo sobre el nivel de conocimiento y las habilidades de los ingenieros capacitados. El nivel de conocimiento se evaluó por medio de una autoevaluación, con valoración previa y posterior a la instrucción. Los ítems evaluados y analizados para efectos de comparación, fueron aquellos que tuvieron una relación directa entre los casos, sobre los temas enseñados.

Tabla 6. Resumen Estadístico de Resultados de la Capacitación

	Pre intervención	Post intervención
No capacitados evaluados	37	37
Media	2,18	3,91
Error estándar de la media	0,0950	0,0667
Desviación Estándar	0,5046	0,4057
Coefficiente de Variación	23,15	10,38
Mínimo	0,54	2,95
Máximo	2,75	4,64

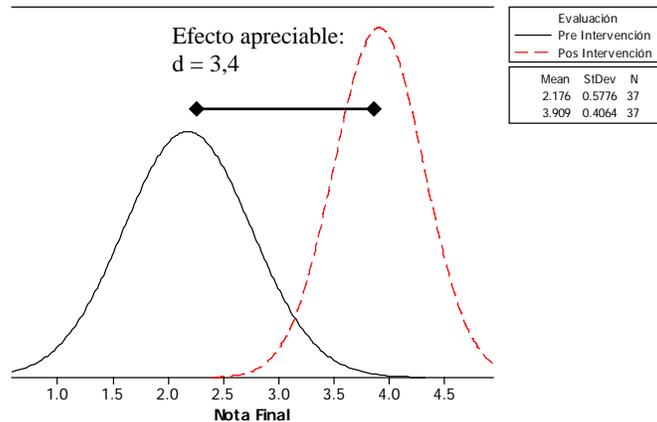


Gráfico 2. Tamaño de Efecto de la Actividad de Enseñanza

Los resultados generales de la evaluación de la capacitación son mostrados en Tabla 6. El sistema de evaluación se basó en una escala numérica de evaluación *Likert scale*, que comprendió los niveles de 1 a 5, donde 1 es la mínima calificación y 5 la máxima. La calificación se calculó como promedio de los ítems evaluados por alumno. Pruebas gráficas no mostraron desviaciones importantes al supuesto de normalidad en la distribución de las calificaciones; el test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (valor $p=0,200$) no contradice dicha apreciación. Usando las calificaciones previas y posteriores a la capacitación, se implementó una prueba *t* para muestras relacionadas; la prueba concluye que hay un mejoramiento estadísticamente significativo debido a la capacitación ($t(36) = 20,89$, $p < 0,001$) entre la calificación obtenida después de la instrucción y la calificación antes de la instrucción (ver Gráfico 2). La magnitud del efecto de la intervención fue estimada usando el coeficiente *d* según Cohen (1988). El valor de $d = 3,4$ evidencia un efecto considerable como resultado de la actividad enseñanza.

7. Conclusiones y recomendaciones

Contrario a lo que se esperaría, el estudio comparativo reveló que a pesar de la absoluta independencia entre los contextos observados, existen similitudes en el diseño de los cursos, las estrategias de enseñanza y las evaluaciones empleadas. Estas semejanzas han llamado la atención de los autores, quienes consideran que a pesar de las limitaciones para hacer las comparaciones estadísticas entre los escenarios, los resultados aquí encontrados permiten, a la academia y a la industria de la construcción, reflexionar sobre los procesos de formación y las estrategias de enseñanza que se requieren en ingeniería.

El estudio encontró que los diseños de los cursos de enseñanza-instrucción se basaron en un estudio formal de requerimientos, cuyos resultados comulgan con las tendencias internacionales de la educación en ingeniería de la construcción. En el caso 1, por ejemplo, el resultado mostró un contenido estructurado en temas fundamentales que resultaron afines, en una alta proporción, al resultado del diseño del caso 2.

El estudio también encontró que los estudiantes y capacitados prefieren metodologías de enseñanza que van acorde con las recomendaciones dadas por ACOFI (ACOFI, 2006; ACOFI e ICFES, 1996). Estas preferencias se orientaron por metodologías que promueven el autoaprendizaje, donde se combine la teoría con la práctica, se involucren temas actualizados de construcción y gerencia, se orienten con un enfoque basado

en situaciones reales, e involucren el uso de herramientas computacionales. Se encontró que la estrategia que más se ajusta a estas condiciones es el uso de talleres en clase.

Finalmente, el estudio encontró que actualmente hay una oportunidad significativa para transferir los conceptos fundamentales de gerencia de proyectos de construcción, tanto en un escenario académico como en un escenario profesional. Un impacto positivo de la actividad de enseñanza-instrucción fue determinada estadísticamente en cada escenario evaluado. En consecuencia, hay grandes posibilidades de lograr una mayor efectividad en la actividad de la enseñanza cuando se cumplen con los procesos de diseño de contenido como los mostrados en estos dos casos y la adopción de estrategias de enseñanza como los talleres basados en la resolución de problemas reales, empleados en estos dos casos.

8. Referencias

- American Society of Civil Engineers (ASCE) (2007) "The vision for civil engineering in 2025: based on the Summit on the Future of Civil Engineering 2025, June 21-22, 2006." Reston, Va.: American Society of Civil Engineers.
- Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI) (2006). "Educación en ingeniería frente a los Acuerdos de Libre Comercio." *Revista de Ingeniería.* No 24 Bogotá junio 2006: ACOFI.
- Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería e Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ACOFI-ICFES) (1996) *Actualización y modernización del currículo en Ingeniería Civil: documento final.* Bogotá. ACOFI.
- Caro, S. (2004) "The Paradigm of Civil Engineering Education within the Colombian Context". International Network for Engineering Education and Research (IINNER) Engineering Education and research - 2004: a chronicle of worldwide Innovations. Chapter 2; pp. 7-17.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Grau, D., Back, W. E., Mejía, G and Morris, R. (2011) Impact of a Construction-Engineering Educational Intervention on the Expertise and Work Practice of Non-Construction Engineers. *ASCE Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice.* ISSN 1052-3928 (print); ISSN 1943-5541 (online); [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000088](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000088)
- Mejía, G., Grau, D., Acevedo, S., and Rivera, T. (2013). "Evaluación, Diseño, e Influencia de Estrategias de Instrucción-Aprendizaje en el Desempeño Académico de los Estudiantes de Ingeniería Civil en la Universidad Industrial de Santander, Colombia." *Accepted for Publication for the Special Edition "Engineering in the Americas" at the ASCE Journal of Construction Engineering and Management.*
- Mejía, G. (2011). *Mejoramiento y Evaluación del Plan Didáctico del Curso de Construcción - Programa de Ingeniería Civil Universidad Industrial de Santander.* Tesis para optar título de especialista en docencia universitaria. UIS 2011
- National Academy of Engineering (NAE) (2005) "Educating the Engineer of 2020 Adapting Engineering Education to the New Century." National Academy Press, Washington, D. C.
- Robinson, J. A. (2005) *A Normal Latin American Country? A Perspective on Colombian Development.* Harvard University Department of Government, CERP, CIAR, and NBER. Consultado el 3 de mayo de 2013 en

<http://scholar.harvard.edu/jrobinson/files/jr_normalcountry.pdf>

- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) (2010). "Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development. UNESCO International Engineering Report." Consultado el 3 de mayo de 2013 en <<http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001897/189753e.pdf>>
- Yin, R., (1994). Case study research: Design and methods. 2nd ed. Beverly Hills: Sage Publishing.

Sobre los autores

- **Guillermo Mejía Aguilar**, Ingeniero Civil, Máster en Ingeniería Civil, Doctor en Ingeniería Civil. Profesor asistente guillermo.mejia.aguilar@gmail.com
- **Tulia Esther Rivera Flórez**, Licenciada en Matemáticas, Magister en Estadística. Profesora asistente trivera@uis.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)