



Una formación de calidad  
en ingeniería para el futuro

Centro de Convenciones Cartagena de Indias  
15 al 18 de Septiembre de 2015

# EXPLORACIÓN SOBRE LA FORMACIÓN DE CALIDAD EN INGENIERÍA EN TORNO A COMPETENCIAS ASOCIADAS CON LA RACIONALIDAD PRÁCTICA

Luis Arturo Pinzón Salcedo, María Alejandra Torres Cuello, Erika Van den Bergue Patiño

Universidad de los Andes  
Bogotá, Colombia

## Resumen

En la comunidad internacional la formación de calidad implica con frecuencia una educación basada en competencias. Instituciones como ABET han establecido un conjunto de competencias que exigen a los programas de ingeniería para otorgarles su acreditación de calidad. En particular, ABET exige a los programas ocuparse de la competencia "Comprensión de la responsabilidad ética y profesional", competencia que con frecuencia no es abordada rigurosamente por los programas. En este artículo presentamos una investigación que buscaba desarrollar esta competencia en los estudiantes quienes debían enfrentar situaciones en las que requerían escoger o buscar un balance entre eficiencia y elementos éticos. Para promover la reflexión se hizo uso de diversas soluciones a los problemas como el equilibrio de Nash, la solución maximin, etc. El trabajo con los estudiantes ha revelado que ellos enfatizan la racionalidad instrumental en desmedro de la racionalidad práctica, siendo esta última aquella que se ocupa de establecer el "deber ser". Consideramos que esta investigación es particularmente relevante en un contexto como el colombiano en el que los temas éticos reciben un constante cuestionamiento.

**Palabras clave:** calidad; ética; competencias

## Abstract

*In the international community quality education frequently involves competency-based education. Institutions such as ABET have established a set of competencies or outcomes that are required from engineering programs in order to give them an accreditation. In particular, ABET requires the programs to meet the outcome "an understanding of professional and ethical responsibility", outcome that is rarely*

*addressed by engineering programs. In this paper we present a research that aimed at developing this outcome by means of a process in which students had to tackle situations in which they had to reach a balance between efficiency and justice. To promote reflection among students conceptions such as the Nash equilibrium, the maximin solution, and others were tackled and problematized. The students' work reveals that they emphasize instrumental rationality over practical rationality. We consider this research relevant to the Colombian context, a context in which ethics is frequently a problematic issue.*

**Keywords:** *quality; ethics; competences*

## 1. Introducción

Una de las acreditaciones más buscadas que certifican la buena calidad de los programas de ingeniería ha sido la otorgada por la "Accreditation Board for Engineering and Technology" (ABET), organización a la cual están afiliadas las grandes sociedades de ingeniería de los Estados Unidos. Actualmente más de 3,400 programas de ingeniería en 28 países han recibido la acreditación ABET.

Para otorgarles la acreditación, ABET exige a los programas diversos requisitos como el cumplimiento de una serie de "outcomes". Estos hacen referencia a conocimientos, habilidades, comportamientos y actitudes que sirven como evidencia del logro de los objetivos educativos del programa. Los "outcomes", o competencias, identifican lo que los estudiantes de un programa deben saber y estar en capacidad de hacer al momento de su graduación. Entre estas competencias se encuentran algunas como "(a) an ability to apply knowledge of mathematics, science, and engineering" (ABET, 2011, p.3) y "(f) an understanding of professional and ethical responsibility" (ABET, 2011, p.3). Competencias como la (a) constituyen el tipo de competencias que por décadas han desarrollado los programas de ingeniería. En contraste, competencias como la (f) con frecuencia constituyen retos para los programas que no han estado acostumbrados a desarrollarlas. En este artículo describiremos una investigación efectuada dentro del programa de ingeniería industrial de la Universidad de los Andes que buscó desarrollar en los estudiantes la competencia (f), es decir, promover la comprensión de la responsabilidad ética y profesional.

Se ha propuesto una multiplicidad de programas educativos que contribuyen al desarrollo de las competencias éticas de los individuos (Villegas de Posada, 2002). Los programas tradicionales tienden a enfatizar la transmisión directa de reglas y comportamientos "adecuados" (Ellrod, 1992), de manera que las reglas morales deben aprenderse de manera heterónoma, constituyendo imperativos independientes de la voluntad y la razón. Se enseña "qué" pensar, y no "cómo" pensar. Se asume un individuo estático, incapaz de un desarrollo moral (Villegas de Posada, 2002). Esta forma tradicional de educación sobre lo ético ha perdido relevancia por fallas en su efectividad y su deseabilidad.

La investigación aquí descrita exploró la posibilidad de desarrollar la capacidad de razonamiento ético en torno a un concepto central de la ingeniería como es el concepto de eficiencia, y dentro del desarrollo mismo de los contenidos de un curso de ingeniería industrial. De otra parte esta investigación explora la relación entre el concepto de eficiencia y el de justicia. Este último concepto es particularmente relevante pues diversas investigaciones han mostrado el gran impacto que en la operación industrial puede tener el desarrollo de procesos que sean percibidos por los empleados como justos (Kim & Mauborgne, 1997, 1998). La percepción de procesos justos influencia profundamente comportamientos y actitudes que resultan críticos para obtener un alto desempeño en las organizaciones. Casos estudiados en empresas como Elco, Volkswagen y Siemens, ilustran el gran poder que las percepciones de justicia pueden tener en las operaciones industriales (ver Kim & Mauborgne, 1997).

Para exponer la investigación a la que aquí se ha hecho referencia, presentaremos primero una discusión de conceptos que resultan importantes para poder comprenderla a cabalidad.

## 2. Marco teórico

*Eficiencia en Ingeniería y Frontera Eficiente de Pareto.* En la práctica de la ingeniería usualmente se buscan soluciones y diseños eficientes, es decir, soluciones que nos permitan obtener el máximo de resultados posibles con el mínimo uso de recursos.

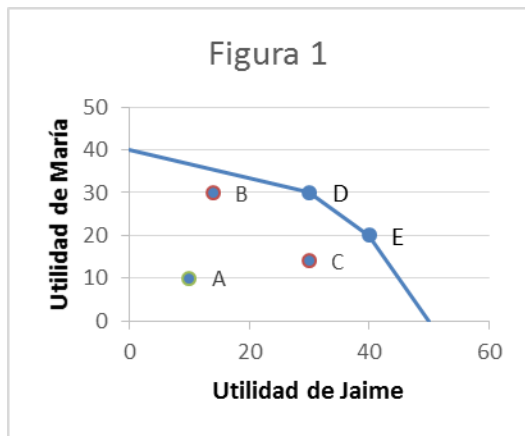


Figura 1. Frontera eficiente de Pareto

En juegos de carácter interactivo en los cuales hay al menos dos jugadores, hablamos también del concepto de frontera eficiente de Pareto. Supongamos que dos individuos, María y Jaime, se encuentran intentando llegar a un acuerdo. Ellos contemplan diversas opciones que le generan a cada uno utilidades diferentes. Por ejemplo, la opción A (ver Figura 1) implica una utilidad pequeña para los dos. Otros resultados factibles han sido representados por el área bajo la curva de la Figura 1. En ella hay una frontera hacia el noroeste que se denomina frontera eficiente u óptima de Pareto. Moviéndose sólo sobre la frontera, no es posible mejorar la utilidad de una de las partes sin empeorar simultáneamente la utilidad de la otra. Desde la perspectiva de la eficiencia no es posible escoger entre puntos como D y E que están sobre la frontera.

Para hacer esta escogencia podemos recurrir a las denominadas curvas de indiferencia. Una curva de indiferencia representa aquí, el lugar geométrico de todas las combinaciones de utilidad posibles entre las dos partes que proporcionan un mismo bienestar social. Si observamos la Figura 2 vemos que ahora el punto D está en una

mejor curva de indiferencia que el punto E, y por tanto es mejor desde un punto de vista social.

*El Principio de la Diferencia.* Rawls (1973), en su teoría de la justicia, propuso dos principios que nos proporcionan un nuevo criterio que permite escoger racionalmente entre puntos que están sobre la frontera eficiente de Pareto. El segundo de estos principios, o principio de la diferencia, establece que las mejores expectativas para aquellos que ocupan mejores posiciones se suponen justas si y solo si ellas forman parte de un esquema que mejora las expectativas de los miembros de la sociedad que experimentan una mayor desventaja. La idea intuitiva es que el orden social no permita que los que están en una mejor situación mejoren aún más, a menos que esto genere una ventaja a los menos favorecidos. De acuerdo con este principio pueden trazarse curvas de indiferencia como las que aparecen en la Figura 3. Cada curva de indiferencia se compone de dos líneas rectas, una vertical y otra horizontal que en la figura se intersectan sobre la línea punteada. Obsérvese que estas curvas de indiferencia asumen que sin importar qué tanto mejoramos la situación de un individuo, no hay ganancia mientras el otro individuo no obtenga también una ganancia.

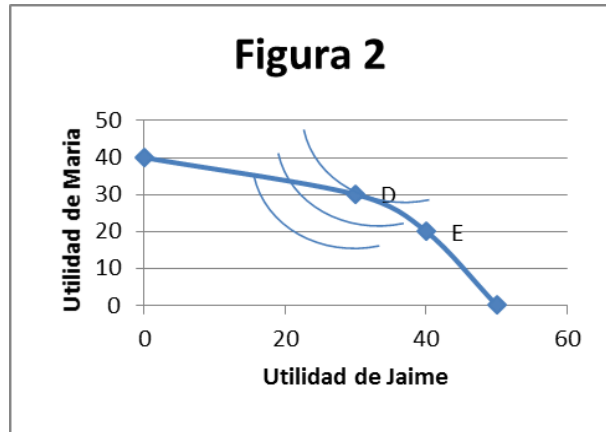


Figura 2. Frontera eficiente y curvas de indiferencia

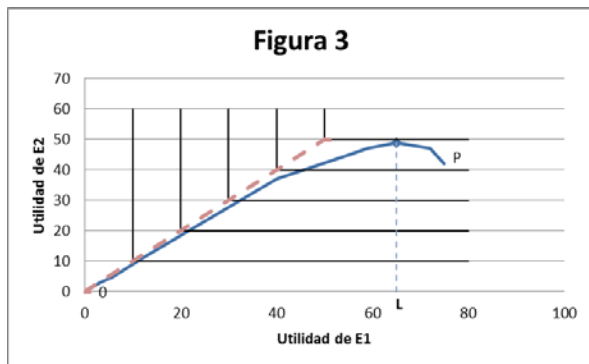


Figura 3. Principio de la diferencia.

económicamente mejor que E2. Un punto sobre esta curva representa la utilidad de E2 en relación con la de E1. Por supuesto, el principio de la diferencia propuesto se satisface solo cuando la curva OP es tangente a la más alta curva de indiferencia que puede tocar. En la Figura 3 esto sucede en el punto L.

La Figura 3 también incluye una "curva de contribución" OP. El punto O representa aquel estado inicial en el cual todos los bienes sociales primarios tienen una distribución igualitaria. Asumiremos que entre dos individuos E1 y E2, E1 siempre está

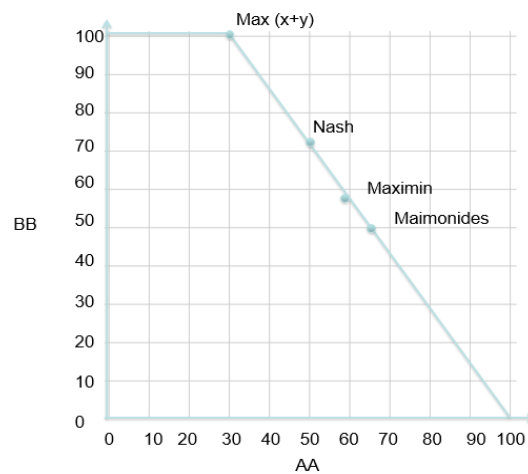


Figura 4. Gráfica que sintetiza soluciones asociadas a eficiencia y justicia.

*Justicia, Toma de Decisiones y Teoría de Juegos.* De otra parte, dado que el experimento se realizó en un curso en el cual los estudiantes deben enfrentar decisiones con múltiples agentes que requieren seleccionar decisiones dentro del campo de la teoría de juegos, el desarrollo de la competencia de responsabilidad ética también se llevó al terreno de esta disciplina. En este caso los estudiantes enfrentaban una situación en la cual debían escoger la que en su concepto era la mejor solución entre varias que incluían la maximización de la suma de ganancias individuales, la solución de Nash, la solución maximin y la solución de Maimónides. Los estudiantes sabían que estas soluciones han sido propuestas por personas prestigiosas, algunos ganadores del Premio Nóbel como Robert Aumann y John Nash, y que ninguna de ellas resulta mejor en todo sentido que las otras. Adicionalmente en el momento de elegir ellos eran conscientes que estas soluciones implicaban un balance diferente entre eficiencia y justicia. La Figura 4 forma parte de un ejercicio que fue dado a los estudiantes, asociado a la competencia (f) de ABET, y que implicó el desarrollo de un detallado trabajo individual y grupal. En ella, para el problema planteado, se aprecian varias de las posibilidades de solución ya mencionadas.

### 3. Material y herramientas

La participación de los estudiantes en la investigación descrita en este documento se dio en tres momentos del curso. Al comienzo del curso los estudiantes recibieron una encuesta en la cual se planteaban cinco problemas básicos frente a los que los estudiantes debían tomar decisiones justificadas. Los problemas presentaban la información en diversas formas (a veces en representaciones gráficas y a veces en tablas), implicaban diferentes niveles de complejidad (en ocasiones asumían dos agentes y en otras tres), planteaban diferentes contextos (por ejemplo, proponían diferentes niveles de riqueza de los agentes previos a los problemas), y daban la oportunidad de escoger entre diversos criterios de solución (por ejemplo, el principio de la diferencia, la maximización de la suma de utilidades, etc.).

Esta misma encuesta fue entregada de nuevo a los estudiantes faltando tres semanas para terminar el curso, por lo cual el contenido habitual de la disciplina cubierta por el curso pudo haber influido en sus respuestas. Asimismo, se planteó una reflexión individual sobre las preguntas, además de una reflexión grupal. Durante la última semana del curso los estudiantes se involucraron en un tercer ejercicio que aprovechaba la reflexión anterior, pero que además añadía temas particulares de la teoría de juegos, temas que primero se abordaban individualmente y luego en grupo bajo la guía de la teoría sistémica crítica que propiciaba una reflexión crítica grupal sobre los temas de justicia y eficiencia (ver Ulrich, 1982). En este último ejercicio los estudiantes exploraban soluciones que construían con base en el equilibrio de Nash, la solución maximin, la solución de Maimónides propuesta por el Premio Nóbel Aumann, y otras que se contrastaban con soluciones basadas en criterios como la maximización de la suma de ganancias y otras guiadas por principios sobre los cuales los estudiantes ya habían mostrado sus preferencias en las primeras encuestas.

## 4. Resultados

Dada la extensión del presente documento, se realizará una síntesis de los resultados obtenidos en los cuestionarios y las discusiones realizadas a lo largo del curso por medio de la utilización de una serie de conceptos expuestos a continuación.

*Representación.* En el cuestionario resuelto por los estudiantes al inicio y al final del curso, se presentaron cinco preguntas apoyadas en dos tipos de herramientas: tablas y gráficas. Se observó una tendencia a elegir respuestas eficientes cuando la forma de representación de las opciones fue una gráfica; en contraste, cuando la forma de representación fue una tabla, un porcentaje mayor de estudiantes se distanció de las respuestas eficientes. Estas diferencias evidencian la influencia de la forma de representación en el criterio de elección. Aquí se puede afirmar que está operando el sesgo cognitivo denominado sesgo de enmarcamiento (“framing effect”) por el cual la forma cómo se presenta una información influye en las decisiones que se toman (Kahneman, 2011). En otras palabras, las decisiones de carácter ético se ven afectadas por un sesgo cognitivo.

*Intuicionismo.* De acuerdo con el análisis de los resultados, se observaron dos tipos de comportamientos importantes. El primero fue la preferencia por resultados eficientes. En esta tendencia pudieron haber influido los temas del curso en que se efectuó el experimento, además de la formación previa que tenían los participantes por ser estudiantes de ingeniería. El segundo comportamiento que se evidenció fue el surgimiento del concepto de justicia como criterio de elección para las opciones. En este sentido, los estudiantes, de una manera espontánea, involucraron la responsabilidad ética para tomar decisiones.

Cabe resaltar el surgimiento del criterio de justicia, no sólo porque no se indujo a los estudiantes a pensar en él, sino porque se observó que buena parte de sus argumentos giraron en torno a encontrar balances entre eficiencia y justicia. Además, muchos estudiantes modificaron sus criterios para realizar sus elecciones ante diferentes preguntas. Por ejemplo, involucraron sus propios intereses, su contexto personal o su entrenamiento previo en ingeniería. En este sentido, se encontró que los participantes emplearon la intuición como forma principal de elección, por sobre otras formas de razonamiento más elaboradas u objetivas. Se encontró que cuando la complejidad del ejercicio aumentaba, también lo hacía la búsqueda de balances intuitivos y el distanciamiento de soluciones eficientes y más acordes a principios lógicos (Rawls, 1973).

*Necesidad, equidad e igualdad.* Estos tres conceptos de justicia distributiva pueden guiar la conducta de los individuos (Deutsch, 1975). El concepto de necesidad indica una forma de distribución proporcional a las necesidades individuales. La equidad se refiere a la distribución de bienes, servicios o valores intangibles proporcionales al mérito de cada individuo. La igualdad denota una distribución en la que cada persona tiene derecho a la misma cantidad.

En los ejercicios hechos con los estudiantes, los tres conceptos señalados por Deutsch no se introdujeron para no sesgar sus respuestas. Sin embargo, en varias de éstas se encontraron preferencias por algunos de estos tres conceptos. Las preferencias tuvieron relación con tener o no en cuenta el contexto de los ejercicios, entendiendo en este caso el contexto como el nivel de riqueza asociado a cada uno de los individuos involucrados en cada situación. De esta manera, cuando los estudiantes enfatizaron el contexto, cobró en ellos una mayor importancia el criterio de necesidad pues prefirieron opciones que le brindaban la máxima ganancia al individuo con un menor nivel de riqueza.

Con relación al concepto de equidad, varios de los problemas planteados no proporcionaban la información necesaria para poder guiarse por este concepto. Sin embargo, algunos estudiantes que tenían la tendencia a usar el criterio de equidad crearon información ficticia para poder usarlo. En otras palabras, hicieron supuestos infundados debido a su preferencia por un concepto particular de justicia. Esto llevó a preferencias marcadas que no estaban claramente justificadas frente a algunas preguntas. De otra parte, algunos estudiantes optaron por el concepto de igualdad, y esta preferencia fue más marcada cuando las preguntas incluyeron formas de representación gráfica. Los comportamientos mencionados anteriormente demuestran una limitación en la capacidad de argumentación racional de los estudiantes sobre nociones éticas.

En general, cuando los estudiantes se enfrentan a la toma de decisiones éticas, ellos deben escoger primero los límites o fronteras del sistema que involucra su decisión. Esa decisión sobre los límites implica la selección de uno o varios criterios. Por tanto, la selección de los límites o fronteras del sistema a considerar es en sí misma una decisión ética y con frecuencia los estudiantes no advierten esto.

*Consecuencialismo.* Esta corriente abarca un conjunto de tendencias éticas orientadas netamente a los resultados e implica que una acción no es evaluada por las intenciones del actor, ni por las normas o leyes en las que se basa la acción, sino por las consecuencias de la acción en sí misma (Sen & Williams, 2013). En contraste, las corrientes éticas deontológicas hacen énfasis en el estudio de los fundamentos del deber y las normas morales. Esta última puede entenderse como el conjunto ordenado de deberes y obligaciones morales que tienen los profesionales de una determinada disciplina (González, 2014).

Los cuestionarios que formaron parte de la investigación, permitieron revelar preferencias consecuencialistas. Por ejemplo, se presentó una tendencia marcada frente a varias preguntas al preferir aquella opción de respuesta que implica maximizar la suma de las ganancias de las dos partes. Es importante resaltar que la forma de representación de las opciones tuvo un impacto en la frecuencia de selección de este tipo de respuestas. Cuando el estudiante se vio enfrentado a preguntas que incluían gráficas, la frecuencia de selección de respuestas de carácter consecuencialista tendió a verse superada por aquellas asociadas a los conceptos de equidad e igualdad, como se explicó previamente. En cambio, frente a preguntas que omitían las gráficas, un porcentaje mayor de estudiantes tendió a seleccionar la respuesta que

maximizaba la suma en las utilidades por lo que no puede afirmarse que los estudiantes tengan este criterio de maximización claramente definido. En la tendencia a preferir la opción de maximizar la sumatoria de utilidades pudo observarse dos sesgos. Primero, un sesgo que emana de la heurística de disponibilidad que ocasiona que los estudiantes prefieran opciones que son más fáciles de calcular o que estén asociadas a opciones que son más fáciles de evocar, en contraste con aquellas que son más difíciles de calcular o evocar (Kahneman, 2011). En segundo lugar, en la selección de opciones por parte de los estudiantes opera también el sesgo social denominado "efecto halo" (Thorndike, 1920), por el cual se tiende a preferir respuestas no por el valor que tienen en sí mismas sino por su asociación con nombres de personas famosas que les otorgan prestigio.

Con relación a las competencias ABET, el consecuencialismo en el que se basa la mayoría de las decisiones de los estudiantes enfocado principalmente en el consecuencialismo se contrapone con el objetivo de lograr una comprensión de la ética profesional en la medida en que en general el estudiante no tiende a pensar en las limitaciones en recursos y métodos requeridos para alcanzar un objetivo, sino en el objetivo mismo. Es decir, en el caso específico del presente ejercicio la maximización de la utilidad conjunta constituye el fin último mientras que la repartición entre las partes constituye el medio.

## 5. Discusión

La racionalidad práctica es poco desarrollada en la mayoría de las carreras de ingeniería lo que se evidencia en los anteriores resultados y en un nivel de mejora en la competencia "Comprensión de la responsabilidad ética y profesional" que podría incrementarse aún más. Los estudiantes reducen con frecuencia la racionalidad práctica a la instrumental creando así una ilusión objetivista pues una racionalidad instrumental no crítica de sus implicaciones normativas no es más que una aparente racionalidad.

El ejercicio permite dar un vistazo a la formación heterónoma de los estudiantes no sólo en aspectos prácticos relacionados con el campo de acción sino también en las construcciones éticas que conducen la forma de actuar. De esta manera se puede reconocer que ante un cambio en la complejidad de las situaciones a las que los estudiantes se ven enfrentados, estos tienen la tendencia a recurrir a su intuición ya que carecen de herramientas que conduzcan su actuar de forma distinta o basada en una racionalidad más clara. Asimismo observamos la influencia de sesgos cognitivos sobre el desarrollo de la responsabilidad ética de los estudiantes, sesgos que podrían contrarrestarse con mayores niveles de reflexión.

La evaluación del ejercicio usado en el experimento revela cómo se puede lograr un desarrollo de la racionalidad práctica a través de un proceso no dogmático, sino crítico, reflexivo y dialógico entre los estudiantes que se espera afecte no solo sus decisiones sino también aquellas competencias relacionadas con las actitudes del estudiante (competencias del saber-actuar).



## 6. Referencias

### Artículos de revista

- Deutsch, M. 1975. "Equity, Equality, and Need: What determines which value will be used as the basis for distributive justice?" *Journal of Social Issues*, 31, 137-149.
- Kim, W.C. & Mauborgne, R. 1997. Fair Process: Managing in the Knowledge Economy. *Harvard Business Review*, 75, pp.65-75.
- Kim, W.C. & Mauborgne, R. 1998. Procedural Justice, Strategic Decision Making, and the Knowledge Economy. *Strategic Management Journal*, 19, 323-338.
- Sen, A & Williams, B. (1982). *Utilitarianism and beyond*. Cambridge University Press. 25-29.
- Thorndike, E. 1920. "A constant error in psychological ratings". *Journal of Applied Psychology*, 4 (1), 25-29.

### Libros

- Ellrod, F. 1992. Contemporary philosophies of moral education. En McLean, G. & Ellrod, F. (eds.), *Philosophical foundations of moral education and character development*. Washington: The Council of Research in Values and Philosophy, 2 ed., pp.9-42.
- Kahneman, D. 2011. *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux, New York.
- Oser, F. & Althof, W. 1992. *Moralische Selbstbestimmung*. Stuttgart: Klett-Cota.
- Pollard, S., Kurtines, W., Carlo, G., Dancs, M. & Mayock, E. 1991. Moral education from the perspective of psychological theory. En Kurtines, W. & Gewirtz, J. (eds.), *Handbook of moral development and behavior*. Hillsdale, Nueva Jersey, v.3, pp.289-333.
- Rawls, J. 1973. *A Theory of Justice*. Oxford University Press, Oxford.
- Ulrich, W. 1983. *Critical Heuristics of Social Planning*. Wiley, Haupt Bern.
- Villegas de Posada, Cristina. 2002. *Educación para el Desarrollo Moral*. Alfaomega Grupo Editor, Bogotá.

### Fuentes electrónicas

- ABET. 2011. *Criteria for Accrediting Engineering Programs*. ABET, Baltimore. Recuperado el 11 de junio de 2015. <http://www.abet.org>
- Galles, G. 2008. *Misunderstanding Efficiency*. Recuperado el 10 de junio de 2015, <http://fee.org/freeman/detail/misunderstanding-efficiency>.
- González-Vallés Saco, G. 2014. Recuperado el 10 de junio de 2015. <http://www.deontologia.org/>

### Sobre los autores

- **Luis Arturo Pinzón Salcedo:** Ingeniero Industrial, Master en Tecnología Avanzada, Doctor en Ciencias y Sistemas Administrativos de la Universidad de Hull. Profesor

Asociado Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de los Andes.  
Correo electrónico: [lpinzon@uniandes.edu.co](mailto:lpinzon@uniandes.edu.co)

- **María Alejandra Torres Cuello:** Ingeniera Industrial, Master en Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes. Asistente Graduada. Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de los Andes. Correo electrónico: [ma.torres133@uniandes.edu.co](mailto:ma.torres133@uniandes.edu.co)
- **Erika Van den Berghe Patiño:** Ingeniera de Sistemas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Asistente de Investigación. Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de los Andes. Correo electrónico: [e.van10@uniandes.edu.co](mailto:e.van10@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 © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)