



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

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

FORMACIÓN EN INNOVACIÓN PARA INGENIEROS DESDE UN REFERENTE PARA SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA I+D+i

José Fernando López Quintero, Carlos Mauricio Veloza Villamil

Escuela Colombiana de Carreras Industriales
Bogotá, Colombia

Resumen

En este trabajo se presenta una propuesta de formación para la innovación, dirigida hacia los estudiantes de ingeniería de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales - ECCI, que resulta de la combinación de los factores que caracterizan a los casos exitosos de las Muestras Empresariales y los lineamientos y referentes de formación desde los sistemas de gestión de la I+D+i, según las normas NTC 5801 sistemas de gestión para la I+D+i y la norma UNE166002. El desarrollo del trabajo realiza una caracterización desde el modelo o referente del caso exitoso denominado Muestras Empresariales y de acuerdo a este diagnóstico se realiza una propuesta de formación transversal para todos los programas de ingeniería de la Institución. En esta propuesta se describen los componentes formativos que lleven a un mejoramiento de las competencias para el desarrollo y gestión de proyectos de I+D+i aplicados a empresas reales y alineados a las líneas de investigación de cada programa, con el objetivo prioritario de aumentar la pertinencia en las funciones sustantivas.

Palabras clave: innovación; gestión; educación; formación

Abstract

This paper presents a proposal of training for innovation, for the engineering students at Escuela Colombiana de Carreras Industriales ECCI, which results from the combination of the factors that characterize the successful cases of the Business Samples and the guidelines and referents of development from the management system I+D+i according to NTC 5801 and UNE166002 rules. During the development of this work it was made a description from the successful model or referent called Business Samples and also in accordance with this diagnosis it was carried out a transverse proposal for all the engineer programs of the institution. This proposal describes the formative components that lead to an improvement of the competences for the development and managements of I+D+i projects applied to real companies and related to the research lines in each program, with the main purpose of increasing the relevancy in the substantive functions.

Keywords: *innovation; management, education; training*

1. Introducción

En el Conpes 3582 y en otros planes y políticas gubernamentales se define la locomotora de la “innovación”, posicionándola como la locomotora transversal, que ayudará y sostendrá a las demás. A partir de esto, se puede empezar a preguntar o a presumir si aún faltan lineamientos y mecanismos que soporten la infraestructura y la metodología bajo la cual se desarrollarán los procesos de I+D+i al interior de las organizaciones en Colombia?, las organizaciones, son al final las que requieren y reflejan el comportamiento de una dinámica de competitividad y crecimiento, que sumadas reflejan la realidad nacional. De forma complementaria, desde el año 2008 se creó la norma NTC 5801, la cual se define como uno de los primeros referentes prácticos para implementar y consolidar sistemas de gestión para la I+D+i, pero a pesar de su definición desde hace ya 5 años, aún no se han dado lineamientos que promuevan su aplicación a nivel nacional, como un mecanismo adicional que permita tener una base para desarrollar, medir y mejorar la gestión de la I+D+i en Colombia.

En consecuencia, al tener en cuenta estos dos aspectos, es que se requiere ir definiendo muy claramente cuál será o es el papel con el cual las instituciones de educación superior nos comprometeremos en una formación pertinente para soportar dicha locomotora.

La estructura de este trabajo es la siguiente manera: en el capítulo 2, se describen referentes de la importancia de la I+D+i a nivel nacional e internacional, en los cuales se resaltan aspectos que se han tenido en cuenta para la propuesta de formación, seguido, en el capítulo 3, se describen competencias y requisitos puntuales de los referentes en los cuales se soporta la propuesta, en el capítulo 4, se realiza la descripción que desde el referente ha tenido el caso exitoso institucional, haciendo una caracterización del cumplimiento de las características del mismo, en el capítulo 5 se redactan las conclusiones que a la fecha se tienen del caso exitoso y de la propuesta transversal para los programas de ingeniería.

2. La formación para la innovación

2.1. La innovación en el país y en el mundo

La visión 2032 y otros documentos de planeación nacional definen políticas claras en las cuales se resalta a la CTel, como eje fundamental del desarrollo nacional y de su competitividad y sostenibilidad (Visión 2032, Conpes 3582; PND 2010-2014). El plan nacional de desarrollo 2010-2014, conceptualiza a la innovación tomando como referente el concepto de crecimiento inteligente de la estrategia Europea al 2020 (Cortés, 2011), en los modelos propuestos por estos planes, la educación se convierte en un habilitador del sistema y los movilizados son las alianzas reales y concretas de Empresa-Universidad-Estado.

Desde el punto de vista formativo, el Ministerio de Educación Nacional-MEN decretó el año 2009 como el año de la educación para la innovación y la competitividad, buscando un diálogo sobre las competencias para enfrentar estos retos (MEN, 2009), sumado a esto, están los nuevos lineamientos entregados por el Consejo Nacional de Acreditación-CNA (2013), como el nivel estratégico del factor de investigación, la visibilidad internacional y el desarrollo de proyectos reales con el sector empresarial.

De forma complementaria, el Icfes con el apoyo de ACOFI, han venido perfeccionando el sistema de evaluación de las competencias para los programas de ingeniería a nivel nacional; es de aquí, de donde se referencian aspectos como: i. El perfil del ingeniero ante los nuevos retos de la sociedad del conocimiento, ii. El mantenimiento y evolución del carácter transformador y evolutivo de la ingeniería en la sociedad, iii. El énfasis formativo que debe darse a la I+D+i, como política y mecanismo de solución de problemáticas y de mejoramiento de la calidad de vida (ICFES-ACOFI, 2011).

Existen otros referentes mundiales, en Alemania por Leger and Swaminathan (2007), en su paper acerca de “las teorías de innovación: Relevancia e implicaciones para la innovación en los países”, desde Corea, en la cual se definieron políticas como: la iniciativa de investigación creativa:1997, la ley de ciencia de innovación de tecnología:1997 y el Plan para la innovación tecnológica y científica:1997-2002, soportadas todas con un “Mejoramiento de las habilidades individuales para la resolución de problemas”, en la India, se resaltó a la innovación como aspecto estratégico en el desarrollo de la fuerza de trabajo, para que las organizaciones se mantengan competitivas (Russell, 2008).

Además, Sarry et Al, en el 2009, aplicaron estudios en 116 organizaciones, donde los gerentes confirmaron la necesidad urgente para incrementar la formación en innovación como factor crítico de la competitividad de sus organizaciones y profundizaron en aspectos como recursos, riesgos, experiencia, tiempo, e infraestructura. El año pasado en la 7ma conferencia internacional sobre educación y ciencias computacionales, se propuso la necesidad de cambiar los enfoques de formación para estudiantes de ingeniería, promulgando cambios en los fines de formación, los sistemas curriculares, los sistemas experimentales y los sistemas de práctica e innovación para poder mejorar las habilidades de los estudiantes en las prácticas reales de innovación (Li et Al, Chu and Al, 2012; Wang and Sun, 2012).

Estos son lineamientos y requisitos para comprometernos con una transformación en la formación para la I+D+i en la ECCI.

2.2. Los requisitos para la formación en I+D+i

Lo importante enseñar a gestionar en I+D+i. Dentro de las estrategias para el fortalecimiento de los sectores claves y más específicamente en el sector de las TIC, se especifican entre otros aspectos, los siguientes perfiles y requisitos: i. Incrementar la gestión de I+D+i; ii. La necesidad de subsistemas de vigilancia tecnológica y la inteligencia competitiva; iii. Lograr la formación de profesionales con certificaciones técnicas; iv. Que dichos profesionales incrementen su perfil como investigadores e innovadores (MEN, 2009; ICFES and ACOFI, 2011); v. Uno de los perfiles de formación que se requieren de forma específica es la de profesionales que hagan Gestión por procesos, y la Gestión de portafolios, programas y proyectos, según referentes como los de PMI, comenta Cortes (2011).

2.3. Referentes mundiales de la propuesta

Los referentes conceptuales y aplicados que se han tenido en cuenta, están los siguientes:

El modelo de enlaces de Cadena de Kline. La definición de la cadena de Kline en el año 1986, por Kline y Rosenberg (Leger and Swaminathan, 2007), incluyó aspectos en la formación para la innovación, tales como: i. Trabajo por actividades en un sistema que no tiene progresión lineal; ii. Manejo o gestión de la incertidumbre y el riesgo; iii. Y el análisis de las características de los entornos y de las organizaciones.

Manuales de Oslo (2005) y Frascati (2002). Desde este referente se resaltan aspectos como: i. La importancia de definir claramente los tipos de productos y actividades que realmente reflejen la pertinencia del sistema institucional de I+D+i; ii. La necesidad de establecer un sistema de productividad en I+D+i asociado a referentes nacionales e internacionales.

El modelo OCDI - Concebir-Diseñar-Implementar-Operar, aplicado a un caso en Colombia en la Universidad de los Andes (Ramírez and Hernández, 2012), que es un modelo definido en 4 universidades lideradas por el MIT y que lleva consigo un modelo por procesos en el que el estudiante Observa la realidad, con base en ella concibe una propuesta de solución, y, luego diseña e implementa un prototipo; finalmente observa y evalúa sistemáticamente la operación de dicho prototipo.

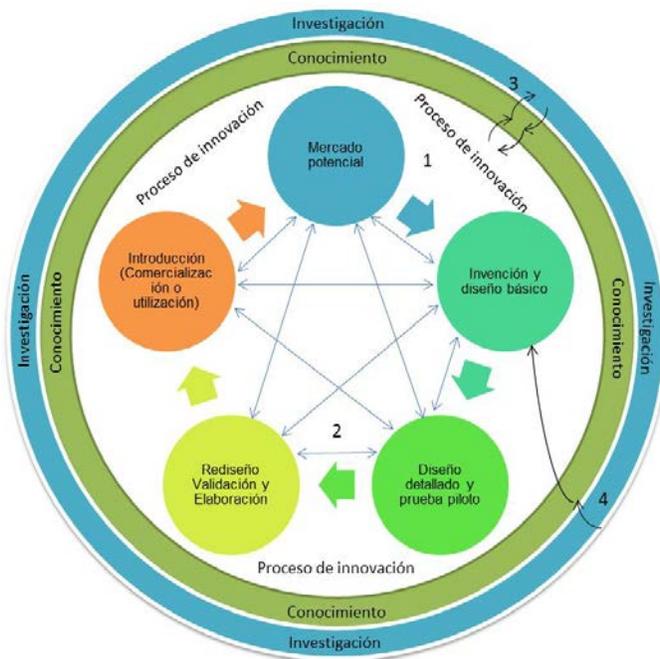
3. La Gestión de la I+D+i: Lo importante de un proceso sistemático para su enseñanza

Esta propuesta se caracteriza por definir un modelo por procesos para la formación en I+D+i:

3.1. Proceso de I+D+i y sus características

El proceso de I+D+i que se asume como propuesta para la formación, parte del modelo de la norma NTC 5801 y UNE166002 y que se basan en la propuesta de la cadena de Kline (Shavinina, 2003), visualizado en la siguiente figura:

Dentro de las particularidades que hacen único y que caracterizan a este proceso están:



- El proceso debe ser alimentado continuamente con datos, información y conocimiento existente.
- La definición y el soporte sobre actividades estratégicas de vigilancia tecnológica y de su aporte a la inteligencia competitiva.
- El reconocimiento y tratamiento, por parte de todos los involucrados, del concepto de riesgo e incertidumbre en los procesos de I+D+i.
- El proceso se soporta en las personas.
- La permanente relación y realimentación en todas las fases, con el cliente y/o usuario de los entregables.
- El entendimiento de cuando se activa la innovación de forma separada de las actividades de I+D o viceversa.
- El establecimiento de sistemas o mecanismos para la protección del conocimiento generado.

Ilustración 1 Proceso de la I+D+i según NTC 5801

Y en este proceso se especifican los distintos caminos en los cuales se puede desarrollar la

I+D+i, estos caminos están interrelacionados y no son mutuamente excluyentes (NTC5801) y son:

1. Mercado potencial → Generación de ideas → Evaluación de ideas → Alimentación de la base de ideas → Generación del proyecto de I+D+i → Diseño básico → Diseño detallado → Pruebas piloto → Rediseñar o Generación de Pruebas → Introducción.
2. Recirculaciones entre las fases principales.
3. Relación entre la innovación y la investigación.

4. Proyectos de I+D+i que resultan de la investigación → Etapa de invención o diseño básico.
5. Recirculación de la I+D+i hacia la investigación.

3.2. Contexto de la I+D+i

Las actividades, proyectos y planes de I+D+i, en una organización, deben tener en cuenta los aspectos internos y externos de la organización que las desarrolla. Y estos entornos deben incluir respectivamente:

Tabla 1 Componentes del entorno de un sistema de I+D+i según NTC 5801 - UNE166002

Entorno Interno	Entorno externo
Direccionamiento estratégico: Política y tipificación del tipo de I+D+i a desarrollar.	Sociedad: Actores que influyen
Investigación y desarrollo: Antecedentes y cultura	Mercado: Necesidades y tendencias.
Recursos financieros: Internos suficientes y apoyo externo.	Medio ambiente: Impacto en el ambiente.
Cadena proveedor-cliente-usuario: Realimentación permanente	Regulaciones: Influencia directa.
Información y comunicación: Espacios y procedimientos.	Competidores: Bechmarking y relaciones beneficiosas.
Relaciones organizacionales: Participación integral, competencias, formación y motivación.	Instituciones públicas y privadas: de apoyo y fomento.

3.3. Los requisitos de Gestión de proyectos desde la norma NTC5802 y desde PMI

Los sistemas de gestión de la I+D+i, para hacerlos realidad basan su funcionamiento y operación en los proyectos, por esto, es importante profundizar en una propuesta que formalice la formación en los estudiantes y que mejore los conceptos, las habilidades y el conocimiento sobre técnicas y herramientas para el desarrollo de los mismos. Estos dos referentes se complementan en la definición de características y requisitos como son: i. La formalización y profundidad de la definición de problemas y alcances, desde necesidades reales. Esto se conceptualiza desde el grado de innovación que debe cumplir un proyecto, ii. La conformación y el trabajo en equipo, iii. La documentación de los entregables y los mecanismos de protección de los mismos cuando se genera valor en las organizaciones involucradas, iv. La profundización de forma práctica en sistemas de gestión de la incertidumbre y el riesgo asociado.

4. Caso aplicado: Base para una propuesta transversal para ingeniería

4.1. Documentación: Muestra interdisciplinar de investigación aplicada en ingeniería

Un caso exitoso sobre el cual se referencia este nuevo modelo de formación, es el caso de la Muestra Multidisciplinar de Ingeniería aplicada, esta iniciativa que surge del programa de ingeniería industrial, ha sido documentada como una Experiencia Significativa al interior de la institución y en dicha estructuración se tiene:

- a) **Conceptualización:** Ha sido concebida con el fin de promover la aplicación de investigación y creatividad en los contextos empresariales actuales y futuros de los profesionales ECCEI, por lo que se presentan proyectos, algunos en fase primaria de concepción, con el objetivo de construir un espacio de diálogo crítico y reflexivo.
- b) **Antecedentes y primeros pasos.** En la cual se especifican las primeras actividades y contactos que se hicieron con el sector empresarial desde el año 2008 y el avance o evolución que se ha logrado año a año.
- c) **Declaración del problema:** En esta parte documental se especifican los aspectos como: El problema que soluciona, a quien afecta, el impacto que se logra y la solución que ha brindado.

- d) **Declaración de la experiencia:** En esta sección se han documentando: El Cliente y/o usuarios, los beneficios que han tenido, descripción de los involucraos u otras partes interesadas con sus respectivas responsabilidades y ambiente de los usuarios.
- e) **Descripción del producto como experiencia significativa:** En la descripción del producto están definidos: la perspectiva como producto, los supuestos y dependencias que se han tenido para su implementación y desarrollo, necesidades y características, alternativas y otros requerimientos.

4.2. Cumplimiento de características según el referente.

De acuerdo a la caracterización de la muestra como experiencia significativa en la documentación asociada, se ha verificado el cumplimiento de las características y fases del proceso de I+D+i, según las características del proceso en la norma NTC5801:

Tabla 2 Características de las muestras interdisciplinarias ante el referente NTC5801

No	Característica / Fase	Cumplimiento
1	Uso continuo de información, conocimiento y datos.	Sí. Documentación desde el problema afrontado.
2	Vigilancia y prospectiva	Sí. Desde el entorno o problema afrontado.
3	Inteligencia competitiva	No. Se tiene como fase de mejoramiento.
4	La gestión del riesgo y de la incertidumbre	No. Por estar focalizado en un sólo periodo académico.
5	Estructura multidisciplinar	Sí. Integración práctica de 3 áreas de conocimiento complementarias.
6	Duración dilatada y casos no siempre exitosos.	Sí. Los proyectos son evaluados tanto en su cumplimiento como en sus lecciones aprendidas.
7	Separación y exclusión de las 3 actividades	Sí. Se focaliza normalmente en los conceptos de desarrollo e innovación.

5. Propuesta de formación transversal para ingeniería. Diseño

Las políticas generales que sustentan esta propuesta son:

1. Todo proyecto, integrador o como opción de grado, deberá estar focalizado a una realidad (social, económica, empresarial, etc).
2. Se propenderá por la definición de los proyectos desde las líneas y temáticas de investigación del programa respectivo, con el objetivo de colocar y generar una identidad institucional para la I+D+i y poder medir su pertinencia.
3. Propender porque los proyectos se lleven a su Introducción (Utilización, comercialización y emprendimiento), cerrar el ciclo del proceso, descrito como fase número 5.
4. Se diseñará un modelo de formación por procesos.
5. Se buscará un fortalecimiento integral de las áreas de conocimiento que soportan el desarrollo de los proyectos: tiempo, costos, calidad, personal, adquisiciones, protección y explotación de resultados, riesgos, entre otras.

En términos prácticos, se transforma la asignatura de “Metodología de Investigación” por un conjunto de asignaturas que se integrarán de manera secuencial y articulada de la siguiente forma:

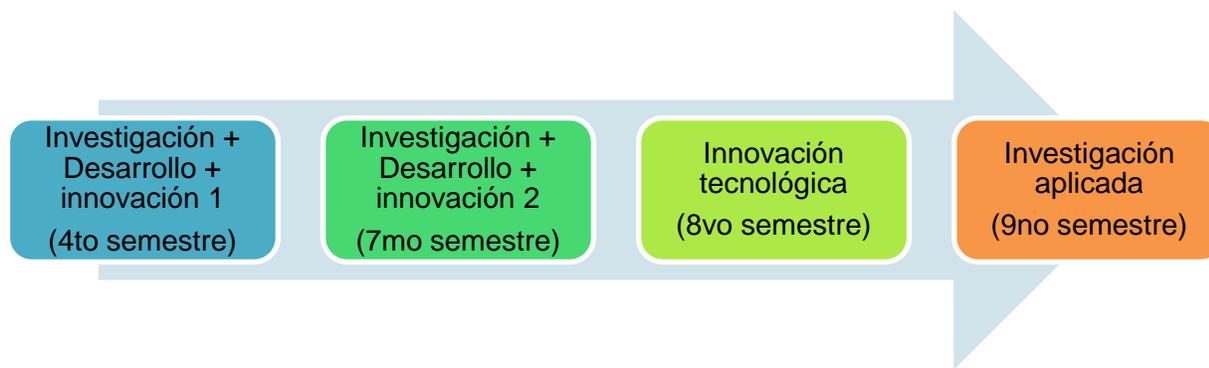


Ilustración 2 Diseño por procesos de asignaturas para la formación en I+D+i en la ECCI

En términos generales estas asignaturas se desarrollarán a través de la siguiente estructura de contenidos:

Tabla 3 Estructura de contenidos asignaturas para formación en I+D+i en la ECCI

No.	Asignatura	Contenidos Generales
1	Investigación + Desarrollo + innovación 1 (4to semestre)	Análisis de entornos. Definición de problemas. Generación de ideas y soluciones. Mecanismos de evaluación y selección de soluciones. Diseño básico. (Prototipo de soluciones).
2	Investigación + Desarrollo + innovación 2 (7mo semestre)	Diseño detallado Pruebas piloto Procesos rediseño validación y elaboración
3	Innovación tecnológica (8vo semestre)	Vigilancia tecnológica Inteligencia competitiva
4	Investigación aplicada (9no semestre)	Gestión de proyectos de I+D+i. Según normas de sistemas de gestión. NTC5801 y NTC5802. UNE166002.

Esta propuesta lleva unos objetivos finales que se reflejarán de manera práctica en el perfil profesional y ocupacional de nuestros estudiantes de ingeniería y estos son: 1. Gestor de I+D+i; 2. Investigador con enfoque de gestión de proyectos; 3. Auditor de actividades, proyectos y sistemas de I+D+i. 4. Gestor y/o director de proyectos y/o de oficinas de gestión de proyectos.

6. Conclusiones

Lo importante de este proyecto, es que ya se tomó la decisión y se tiene un convencimiento inicial por parte de la institución de su necesidad y de la pertinencia del mismo. Es de allí, que este proyecto no está pensando de manera individual, hace parte de un eje del plan de desarrollo institucional 2012-2016 que incluye estrategias de mejoramiento de la calidad y del incremento de la pertinencia, por lo tanto, es igual de importante su articulación para su diseño e implementación, entre las tres funciones sustantivas de la educación superior en la institución.

Los casos exitosos generados desde el año 2008, han incrementado sustancialmente varios aspectos como son: a. Reconocimiento por parte del sector empresarial, de la pertinencia en la formación de los

profesionales de ingeniería de la institución, b. Motivación de los estudiantes hacia el desarrollo de proyectos de I+D+i y del reconocimiento de su importancia para desarrollar un perfil profesional más idóneo hacia las necesidades del sector real, c. Incremento y evolución de las actividades periodo a periodo, que se han visualizado en la introducción y mejoramiento de mecanismos como pares evaluadores, documentación detallada, nuevas formas de evaluación, incremento de factores de evaluación, d. Perfeccionamiento del concepto de “Proyecto integrador”, que ha permitido a la vez, i. dar significancia hacia los estudiantes y docentes, de la estructura curricular de los semestres 5to, 6to y 7mo del programa de ingeniería industrial y ii. Establecer un mecanismo de una actualización curricular mucho más dinámico.

El modelo cumplirá su recorrido total, a través del rediseño de los sistemas de evaluación internos, con el desarrollo de instrumentos acordes con los diseños de evaluación propuestos en los últimos años por el Icfes. Por estas ventajas y teniendo en cuenta los referentes anteriores, esperamos compartir en los próximos años, el modelo exitoso que hoy estamos empezando a masificar en todos los programas de ingeniería de la ECCI.

7. Referencias

Artículos de revistas

- Chu, H et Al (2012). Exploration and practice of contest-oriented innovation training for engineering undergraduates. 2012 7th International Conference on Computer Science and Education, ICCSE 2012; Melbourne-Australia; 14 July. Edit. Elsevier B.V.
- Léger, A and Sushmita, S. (2007). Innovation Theories: Relevance and Implications for Developing Country Innovation. ISSN print edition 1433-0210 - ISSN electronic edition 1619-4535. German Institute for Economic Research.
- Li, H. et Al, (2012) . Research and practice of innovation talents training mode of network engineering. Li, H.; College of Computer Science and Technology, Hubei University of Technology, Wuhan, China; Copyright 2012 Elsevier B.V.
- Ramírez, C and Hernández, T. (2012). Un modelo de formación para la innovación en ingeniería. ACIS. Revista de sistemas Edición. No. 12.
- Russell, R (2008). Training for innovation in India: Cultural considerations and strategic Implications. Performance Improvement Quarterly; Volume 21, Issue 2, Pages: 37–48. Wiley InterScience.
- Sarry, K et Al (2012). Entrepreneur training for creativity and innovation. Journal of European Industrial Training Vol. 34 No. 3, 2010 pp. 270-288. Emerald Group Publishing Limited.

Libros

- ICONTEC (2008). Norma Técnica Colombiana NTC5801: Gestión de la Investigación, el Desarrollo y la Innovación (I+D+i) – Requisitos del sistema de gestión para la I+D+i. Bogotá, D.C.
- ICONTEC (2008). Norma Técnica Colombiana NTC5801: Gestión de la Investigación, el Desarrollo y la Innovación (I+D+i) – Requisitos de un proyecto de I+D+i. Bogotá, D.C.
- OCDE (2002). Frascati Manual 2002: Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development. 6th edition. OCDE Publication service. Pág. 5, 18.
- OCDE and EUROSTAT (2005). Oslo Manual 2002: Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación. 3era edición. Traducción española: - Grupo Tragsa (2006).
- PMI. (2008). Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía de PMBOK). 4ta edición. ISBN: 978-1-933890-72-2. Publicado por: Project Management Institute, Inc.

- Shavinina, L. (2003). The International handbook on innovation. Pergamon & Elsevier Science Ltd. Pág. 716.

Fuentes electrónicas

- ICFES and ACOFI (2011). Orientaciones para el examen de Estado de calidad de la educación superior SABER PRO (ECAES): Prueba de competencias comunes del área de ingeniería. ISBN de la versión electrónica: 978-958-11-0567-0.
- Ministerio de Educación Nacional (2009, enero). Revolución educativa al tablero.
- Consultado el 14 de abril de 2013 en:
- http://www.mineducacion.gov.co/1621/propertyvalues-39241_tablero_pdf.pdf
- Cortes, G. (2011). Innovación como locomotora del desarrollo y del fortalecimiento de las TIC. Dos pilares del PND 2010-2014. ACIS. Conferencias 2011.
- Carrillo, J. (2013). La locomotora de la innovación. Portafolio. Bogotá, D.C. Consultado el 15 de abril de 2013 en: <http://www.portafolio.co/columnistas/la-locomotora-la-innovacion>.

Sobre los autores

- **José Fernando López Quintero:** Ingeniero de Sistemas (U. Distrital), Máster en ingeniería de Sistemas y Computación (U. de los Andes), Máster en la Sociedad de la Información y el Conocimiento, Doctorando en Ingeniería Informática (U. de Oviedo), Vicerrector de Investigación. lopez.jose@ecc.edu.co
- **Carlos Mauricio Veloza Villamil:** Ingeniero Mecánico (U. Nacional), Candidato a Magister en Dirección y Administración de Empresas (U. Pedagógica y Tecnológica de Colombia), Decano Facultad de Ingeniería y Director de Currículo. cvelozav@ecc.edu.co, decanatura.ingenieria@ecc.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)