



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

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

LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA BASADA EN PROYECTOS A TRAVÉS DE LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS REALES DE LAS EMPRESAS

Luis Marcos Castellanos González

**Universidad Tecnológica de Bolívar
Cartagena de Indias, Colombia**

Resumen

En esta presentación se muestra cómo se puede lograr la formación centrada en el aprendizaje del estudiante mediante la metodología PBL (Project-Based Learning). Se presentan los resultados de su aplicación en las disciplinas Materiales de Ingeniería y Corrosión en el 2012 para las carreras de Ingeniería en la Universidad Tecnológica de Bolívar.

Como distintivo e innovador se destaca que los proyectos están dirigidos a la solución de problemas reales afines a estas disciplinas, desconocidos y encontrados en el entorno empresarial, enfocados además a la formación y evaluación de las competencias establecidas en cada curso. Se muestra a través de ejemplos concretos cómo se logra el trabajo interdisciplinario en equipos y cómo se cultiva el espíritu innovador y la creatividad en los estudiantes.

En ambas disciplinas se abordan problemas de fallas e integridad estructural, con más del 35 % del tiempo presencial de los alumnos en las empresas o en los laboratorios. Los resultados de los proyectos son defendidos en un fórum del grupo con la presencia de ingenieros de las empresas. Los reportes finales se hacen en forma de informes técnicos o artículos científicos.

Resultados en la motivación y la formación integral de los alumnos

Los estudiantes se sienten útiles, protagonistas en la solución de los problemas de ingeniería, trabajando en grupos bajo la lógica científica, motivados y comprometidos. La formación y evaluación por competencias se convierte en algo consustancial al desarrollo del proceso. Se aprovechan las capacidades de laboratorios bajo la modalidad de "Laboratorio abierto" y las empresas se convierten en talleres para la creatividad y la innovación.

Resultados medibles obtenidos en el 2012

Se desarrollan 72 proyectos de cursos en la asignatura Materiales de Ingeniería y Corrosión, vinculados a 28 empresas, dirigidos por tres profesores (dos de ellos catedráticos). Los estudiantes del curso de Corrosión

hacen un levantamiento del estado de la corrosión en 12 empresas. Son presentados 8 ponencias en la Jornada Científica de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. Se desarrollan 32 reportes internos en forma de artículos científicos por los estudiantes y se cuenta con un semillero de 10 estudiantes en investigación.

Palabras clave: formación; competencias y proyectos

Abstract

In this paper I will discuss how to achieve student-centered education through the PBL (Project-Based Learning) methodology. The results were obtained through two engineering courses in the year 2012 at “Universidad Tecnológica de Bolívar”: Materials Science Engineering and Corrosion Engineering.

The project selection criteria were: to solve unknown actual problems related to each discipline, to acquire such problems from the local industries, and to develop and evaluate each courses competencies. It is shown through concrete examples how to achieve interdisciplinary work in teams and how to cultivate the spirit of innovation and creativity in students.

In both courses the addressed problems subjects are premature failures and structural integrity. Course time (35%) is split between field/laboratory based activities and classes. The projects results and solutions are presented in a forum attended by engineers, guests and submit as scientific reports at the end of the semester.

Results on student motivation and comprehensive education

Students feel useful, important in the engineering problems solutions, proud to be part of scientific teams, motivated and engaged with the results. The competencies training and evaluation becomes a collateral result of the process. Maximizes the use of laboratories facilities and equipments by Open-Lab settings. Companies become creativity and innovation workshops.

Measurable results for 2012

In 2012, 72 course projects are done in the Materials Science Engineering course are developed, with 28 companies directed by 3 professors.

The students from the Corrosion Engineering course did a study on 12 manufacturing companies to estimate their corrosion problems.

At the end of the academic year, 8 dissertations and 32 scientific papers were presented by the students at the Mechanical and Mechatronic Engineering Conference of the Engineering School at UTB. And 10 of them became part of the research groups of the University.

Keywords: training; competences and projects

1. Introducción

Dentro de las modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de competencias se destacan dos muy utilizadas en las ingenierías, que son: el *Aprendizaje Basado en Problemas*, dirigida a desarrollar

aprendizajes activos a través de la resolución de problemas y el *Aprendizaje orientado a Proyectos*, estos dirigidos a la realización de un proyecto para la resolución de un problema, aplicando habilidades y conocimientos adquiridos. En este último el aprendizaje está orientado a la acción, no se trata sólo de aprender “acerca” de algo (como ocurre en el aprendizaje basado en problemas), sino en “hacer” algo y su alcance es superior, De Miguel, M., *et al.* (2006). Es muy común el uso de las siglas PBL, tanto para una como para la otra metodología, provenientes del inglés de las siglas Problem-Based Learning y Project-Based Learning.

En el Método de Aprendizaje Basado en Proyectos, está diseñado para que los estudiantes lleven a cabo la realización de un proyecto en un tiempo determinado para resolver un problema o abordar una tarea mediante la planificación, diseño y realización de una serie de actividades, y todo ello a partir del desarrollo y aplicación de aprendizajes adquiridos y del uso efectivo de recursos.

Para realizar un proyecto se necesita integrar el aprendizaje de varias áreas y materias, superando, así, un aprendizaje fragmentado. Consecuentemente, deben entenderse los proyectos como componentes centrales y no periféricos al currículo. A través de su realización los estudiantes descubren y aprenden conceptos y principios propios de su especialización.

En los últimos cinco años un grupo de profesores de la UTB ha evolucionado en el desarrollo esta metodología de forma particular e innovadora para la formación y evaluación por competencias en las disciplinas de las carreras de Ingeniería, sustentada en la concepción de los Métodos Activos de Enseñanza y en específico en el Aprendizaje Basado en Problemas y el aprendizaje basado en proyectos, referidos en Tabón, S. (2010). En los trabajos publicados por el autor de este informe, Castellanos, L.M., *et al.* (2011) se describen detalladamente los aspectos esenciales de cómo se integran las formas organizativas, la metodología de formación y el sistema de evaluación centrados en el aprendizaje de los estudiantes basado en el desarrollo de competencias profesionales en la UTB bajo la metodología PBL.

La particularidad y esencia del método aplicado en la UTB radica en estructurar y desarrollar los cursos basados en la formación y evaluación por competencias, incluyendo un proyecto de investigación (proyecto de curso) dirigido a estudiar y proponer soluciones a problemas reales afines a las disciplinas, desconocidos y descubiertos por los alumnos en visitas dirigidas a las empresas. Los problemas reales son convertidos en problemas docentes, resueltos durante el semestre y defendidos en un fórum del aula, acompañado de un reporte científico en forma de artículo o de informe técnico el que se entrega a las empresas fuentes del problema.

Esta experiencia metodológica se inició en la asignatura Materiales de Ingeniería en el 2009 como iniciativa de un profesor. Ya en el 2012 y el 2013 se ha logrado cierta consolidación del método con la incorporación de otras disciplinas y profesores, incluyendo a los catedráticos.

La revisión de los reportes a nivel mundial, Miguel, M., *et al.* (2006), sobre el avance de la formación bajo este cambio de paradigma, centrado no en la enseñanza del profesor sino en el aprendizaje del alumno por competencias, en la Educación Superior muestra un alto grado de insatisfacción. No basta con decir que el profesor entiende que debe haber un cambio de rol a la hora de planificar su docencia, Alcober, J., *et al.* (2003). No basta con que los profesores formulen los planes de curso declarando las competencias a desarrollar. El reto al profesorado está en interiorizar el cambio de paradigma como una transición de pensamiento, de su ideología y de la acción en función de apropiarse de alternativas metodológicas que permitan formar las competencias del profesional y evaluar su evolución con retroalimentación.

Esta presentación se muestra como la renovación metodológica de la enseñanza universitaria es posible mediante la metodología PLB. Con esta experiencia se intenta resaltar cómo se logra una integración interdisciplinaria entre profesores y estudiantes de diferentes disciplinas y niveles, incluyendo la participación activa de egresados en función del desarrollo de proyectos dirigidos a solución de los problemas reales. A título de ejemplo se muestra cómo se aplica el método y los logros en las disciplinas Materiales de Ingeniería y Corrosión en el 2012.

Esta metodología conlleva a una transformación en el sistema de evaluación basado en el control de las competencias genéricas y específicas de cada alumno, con un carácter objetivo, focalizado, ameno y profundo. Se introduce el estilo del examen individual “a libro abierto” resolviendo problemas o situaciones similares a los que se presentan en la industria.

2. Desarrollo

Esencia de la metodología del aprendizaje basado en proyectos (Project-Based Learning), PBL aplicada a la solución de problemas reales en la UTB

Los estudiantes cuentan con una guía general detallada que les permite, una vez tengan en problema, formular y estructura el proyecto que desarrollan en un semestre. El problema específico de cada proyecto de curso es real y responde a una necesidad no resuelta descubierta por lo estudiantes en una empresa, creándose así el compromiso del estudiante con las personas de contacto de la empresa, se detalla en Castellanos, L.M., *et al.* (2010).

A medida que los integrantes de un equipo de trabajo se adentran en la solución del problema investigado se sienten en un papel protagónico, en “sus funciones como ingeniero”. Cada problema es diferente y desconocido cuya solución entraña un reto para el trabajo interdisciplinario bajo la lógica de la investigación científica bajo la dirección del docente. El profesor debe encontrar y asignar un tutor desde la empresa, preferiblemente un egresado de una ingeniería afín; Además debe ser capaz de lograr la integración interdisciplinaria

Las etapas del proyecto de curso bajo la metodología PBL en la UTB

Dada la diversidad y la particularidad de cada problema se trabaja en un esquema flexible en función de cada caso, siempre bajo una guía y focalizados en el desarrollo de las competencias y su evaluación. En este caso se proponen cuatro etapas, Castellanos, L.M., *et al.* (2010).

Etapa 1: La sensibilización, la motivación de los estudiantes y la búsqueda de los problemas reales por ellos, esta dura aproximadamente dos semanas. Los estudiantes reciben la guía del proyecto, se les muestran los resultados de proyectos anteriores (logros y errores), se presentan y comparten las competencias básicas, genéricas y específicas a desarrollar y se interioriza el reto con un buen estado motivacional. Se comparte el sistema de evaluación.

Etapa 2. La selección, aprobación de los problemas reales y su conversión en problemas docentes estructurado en tareas en función de las competencias que se pretenden desarrollar. Formación de equipos de trabajo y formulación del proyecto de investigación (proyecto de curso). Se define en qué casos requieren del apoyo interdisciplinario.

Etapa 3: Desarrollo del proyecto de investigación con una alta componente experimental en el laboratorio (Disciplina Materiales de Ingeniería) y/o en las empresas (Disciplina Corrosión). Los casos reales de estudios son retomados en las diferentes formas de enseñanza y temas del curso para activar el aprendizaje. Dada la necesidad de cada proyecto, a estos se le incorporan nuevos integrantes, que pueden ser estudiantes que están en niveles superiores (del semillero de investigación) o de otras disciplinas, como por ejemplo, Diseño Mecánico. De igual modo el profesor compromete a otros profesores y egresados en función del desarrollo del proyecto.

Etapa 4: Entrega de reportes científicos, presentaciones con la defensa pública en un fórum de aula. Todos los resultados son revisados por los profesores quienes hacen recomendaciones antes de la discusión final y adquieren las evidencias para evaluar por competencias.

Algunos detalles esenciales de las etapas 3 y 4 de esta experiencia metodológica

En la etapa 3, mediante el trabajo en grupo los alumnos hacen búsquedas de información, usando las TIC, (estado del arte, normas, catálogos, trabajos precedentes, etc.), estructuran su proyecto de curso como un proyecto de investigación científica según la guía (proponen el título, hacen el planteamiento del problema, objetivos, etc.) desarrollan nuevas visitas a las empresas de origen del problema, familiarizándose con el trabajo de los tecnólogos e ingenieros y profundizando en la información requerida sobre el problema real. Se desarrolla el proyecto aplicando en los diferentes momentos del curso los métodos activos de enseñanza: *La exposición problémica*, *el método de investigación científica*, la conversación heurística y la búsqueda parcial, en función de la formación y evaluación de las competencias.

La etapa 4 y final, es de consolidación de los resultados de proyecto por cada sub grupo, con la confección de informes técnicos y/o artículos científicos, presentación pública y discusión de resultados en el fórum del aula bajo la presencia de profesores e invitados del sector empresarial. Además se hacen los entregables exigidos para la evaluación final. Los resultados más significativos se presentan en las empresas origen del problema y constituye una bonificación en la evaluación final de los estudiantes.

En el evento de grupo se destacan los logros de los estudiantes y se estimulan a la continuidad para que integren grupos de investigación científica estudiantil, se propone que algunos resultados se lleven a otros eventos de Facultad u otros a nivel regional o nacional. Se señala qué trabajos pueden ser continuados como trabajos de grado.

En esta etapa final, se le señalan a los alumnos cuales son las competencias que aún deben superar (en la expresión oral y escrita, en el nivel de participación dentro del grupo, en el dominio del idioma inglés, en la calidad de los resultados presentados, etc.), lo que constituye una retroalimentación para los alumnos. En esta etapa el profesor obtiene las evidencias necesarias para ofrecer una valoración final del desarrollo individual de las competencias.

A continuación se ilustran casos de proyectos desarrollados para ilustrar como se logra la interdisciplinariedad y cómo se cultiva la creatividad y la innovación en los estudiantes.

Un proyecto del 2012. Estudio de las causas de las fallas prematuras de las espuelas y los eslabones de las cadenas de los hornos de temple de la empresa Tubocaribe, (problema real).

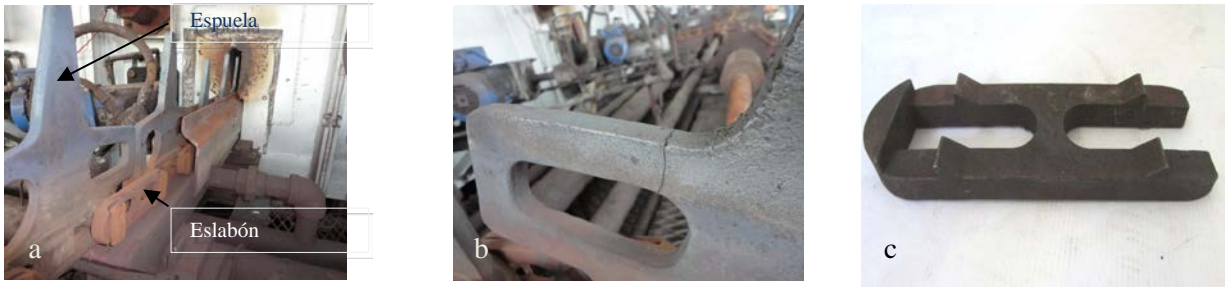


Figura 1- Partes de las cadenas para mover los tubos en el horno; a) Muestra las espuelas y los eslabones, b) Imagen de fractura en el hombro de una espuela, c) Eslabón fracturado.

Este en un caso existen dos tipos de piezas o partes que se fracturan, las espuelas y los eslabones, debido al trabajo a altas temperaturas. Por otro lado, hay serios problemas de corrosión a altas temperaturas y puede que también existan errores de diseño. La pregunta es ¿Cómo estructurar el proyecto o los proyectos interdisciplinarios asociados a este caso real?

En la disciplina Materiales de Ingeniería, se desarrollan dos proyectos dirigidos al estudio de los materiales, uno con el eslabón y el otro con la espuela, determinándose posibles causas de fallas relacionadas con la selección del material y se ofrecen alternativas de materiales para incrementar la vida útil; *Desde la disciplina Corrosión*, se desarrolla un proyecto por dos estudiantes quienes identifican el tipo de corrosión, sus causas y proponen alternativas de solución a la corrosión; *Desde la disciplina Diseño Mecánico*, se vinculan dos estudiantes del Club de Diseño dirigidos por otro profesor, quienes hacen un estudio de los estados tensionales aplicando la Mecánica de la fractura y el Método de Análisis por Elementos Finitos para descubrir errores de diseño y proponer soluciones; *Desde la disciplina expresión gráfica*, se vinculan dos alumnos de primer año de la carrera quienes hacen sus plantillas y dibujan las piezas para la formación de sus competencias bajo la dirección de un tercer profesor y *desde la empresa*, un egresado de Ingeniería Mecatrónica, en este caso, quien trabaja en Tubocaribe es el tutor de todos los proyectos relacionados con el problema real.

Resumiendo el caso. Relacionado con este problema real se desarrollan cuatro sub proyectos de curso; dos en Materiales de Ingeniería, uno en Corrosión y uno en Expresión Gráfica. Se vinculan cuatro profesores de cuatro disciplinas diferentes, un egresado y diez estudiantes de pregrado. Con este trabajo interdisciplinario se demostró: que hay corrosión por carburación a altas temperaturas, que hay errores en el diseño mecánico y que existen materiales mejores que deben ser valorados como una opción. El egresado y la empresa reciben los informes técnicos. Lo más importante de todo es el grado de desarrollo formación integral de los estudiantes en el tercer nivel de asimilación del conocimiento, “El saber hacer”

Cultivando la creatividad e la innovación mediante metodología PBL en la UTB

Cada proyecto es un reto para el aprendizaje de los estudiantes, más allá del propósito de cada curso. En el siguiente caso se evidencia cómo tres alumnos del curso de Materiales de Ingeniería, con el apoyo de un estudiante del área de Diseño Mecánico logran ofrecer una solución creativa e innovadora para la empresa CABOT. La solución para esta falla fue un implante intercambiable en el actuador de aluminio de acero tratado, manteniendo la ligereza requerida. Este resultado podría constituir una patente de innovación, revolucionando la manera de fabricar y reparar un producto que falla de forma crítica en equipos muy costosos.



Figura 2. a) Falla en la zona estriada del actuador; b) Caracterización del aluminio por los estudiantes y c) Interesante solución innovadora y creativa, implante en el actuador

El método de aprendizaje basado en proyectos y la evaluación del desarrollo de las competencias. El examen “a libro abierto”

Es muy común encontrar que los planes de curso tengan declaradas las competencias básicas, genéricas y específicas a desarrollar, pero es poco común que los profesores desarrollen las estrategias de planificación del curso en función de obtener las evidencias del desarrollo de las competencias comprometidas en el aprendizaje de los alumnos. Suele ocurrir que el docente sigue pensando en la evaluación como el último aspecto del proceso, como propiedad de él al margen del alumno. El criterio de evaluación del avance de una competencia es muy subjetivo.

El nuevo paradigma focalizado en el aprendizaje por competencias del alumno implica necesariamente un papel activo y responsable por parte de éste y diluye la distinción entre lo que podemos considerar actividad de aprendizaje y actividad de evaluación. La evaluación constituye una actividad imbricada en el propio aprendizaje. El profesor no es el único actor de la evaluación sino un copropietario cogestor de la misma según De Miguel, M., *et al.* (2006).

En este nuevo enfoque de aprendizaje por proyectos en la UTB desde la primera clase, se comparte con los alumnos la guía para el desarrollo del proyecto, se declaran las competencias a desarrollar, lo que se detalla en Castellanos, L.M., *et al.* (2011). Se ofrecen las orientaciones precisas sobre el sistema de evaluación, que incluye el cómo y en qué momentos se van a evaluar cada una de las competencias declaradas y compartidas.

En este caso no se renuncia a la evaluación escrita, sino que estas están dirigidas esencialmente a la evaluación de las competencias, con mayor incidencia en las específicas; por ejemplo, la competencia esencial declarada en la disciplina Materiales de Ingeniería es “Saber seleccionar el material y los mecanismos de fortalecimiento según las condiciones de trabajo y los requerimientos tecnológicos dados para una pieza, teniendo en cuenta la calidad, la economía y el impacto medio ambiental”, en correspondencia con Sánchez, G. 2006).

¿Cómo se evalúa esta competencia en un examen escrito?

En la etapa final del curso los alumnos ya están entrenados y deben mostrar el dominio de la competencia antes expuesta, normalmente se aplican exámenes donde el profesor presenta necesidades reales de selección de materiales (casos reales típicos) como los que enfrenta un ingeniero en la producción. Se da la información sobre las propiedades requeridas del producto a fabricar y un listado de posibles materiales que oferta el mercado. Los alumnos desarrollan el examen a “libro abierto” con toda la información necesaria,

libros, atlas, handbook, etc., conectados a internet. Se hace de la misma manera que un ingeniero en la industria en la propuesta de alternativas de selección de materiales y sus tratamientos para cada caso. Cada alumno tiene un problema diferente en su examen y debe justificar sus respuestas. Esta es una evidencia escrita del grado de desarrollo de cada alumno en la competencia específica principal de la asignatura. De igual modo se evalúan las demás competencias a lo largo del curso, regularmente dirigidas al tercer nivel de asimilación del conocimiento “el saber hacer”,

3. Conclusiones

Se ha mostrado en este trabajo cómo mediante la metodología PBL aplicada desde la dimensión curricular en Ingeniería y basada en la solución de problemas reales del entorno bajo el enfoque de formación por competencias, se puede contribuir al cambio de paradigma en la formación centrada en el aprendizaje del estudiante. Se ha demostrado, a través de ejemplos concretos, cómo se puede lograr un trabajo interdisciplinario significativo y cómo se puede cultivar el espíritu de creatividad e innovación de los estudiantes.

Dentro de los principales logros de esta alternativa metodológica están:

1. Una formación más integral en función de las competencias profesionales esperadas del egresado de Ingeniería.
2. Una alta motivación por el estudio y la búsqueda de información. El estudiante aprende por necesidad de forma autónoma
3. Se satisface una necesidad social, lo cual fortalece los valores y compromiso del estudiante con el entorno.
4. Una fuerte interrelación entre las componentes Docente, Investigativa y Laboral a través del desarrollo de proyectos de curso dirigidos a la solución de problema reales.
5. Un acercamiento de los estudiantes a su función profesional, jugando un rol protagónico en la solución de los problemas de ingeniería como los que enfrentará una vez graduado.
6. Desarrollo de capacidades para el trabajo de investigación científica en equipos multidisciplinarios y el desarrollo de proyectos con independencia y creatividad.
7. Mejoras significativas en la expresión oral y escrita de los estudiantes, incluyendo una segunda lengua.
8. Fortalecimiento del trabajo interdisciplinario en función de la solución de tareas vinculadas a los problemas abordados, con la participación de otros docentes y egresados.

Resultados medibles obtenidos en el 2012 mediante la metodología PBL

En los últimos cuatro años se han desarrollado más de 350 proyectos bajo la metodología PBL en más de 30 empresas con estudiantes de Ingeniería de la UTB en las disciplinas Materiales de Ingeniería, Corrosión, Tratamientos Térmicos y Procesos de Manufactura.

En el 2012 se desarrollaron 72 proyectos de cursos en la asignatura Materiales de Ingeniería y Corrosión, vinculados a 28 empresas, dirigidos por tres profesores (dos de ellos catedráticos). Los estudiantes del curso de Corrosión, en segundo semestre, hicieron un levantamiento del estado de la corrosión en 12 empresas importantes de la región. Se presentan 8 ponencias en la Jornada Científica de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. Se desarrollan 32 reportes en forma de artículos científicos por los estudiantes. Se cuenta con un semillero de 10 estudiantes trabajando en proyectos de investigación y servicios vinculados a la línea de Materiales y Procesos. A través de los proyectos se obtiene una diversidad de aleaciones

especiales y sin costo alguno para enriquecer el aprendizaje experimental, las que difícilmente una universidad podría adquirir mediante procesos de compra. Se logra mantener el laboratorio de Caracterización de Materiales en condición de “laboratorio abierto” para que los alumnos puedan desarrollar sus trabajos experimentales en tiempos extras.

4. Referencias

- Alcober, J., *et al.* (2003). Evaluación de la implantación del Aprendizaje Basado en Proyectos en la EPSC (2001-2003). (EPSC) Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012626/40149-3444.pdf>.
- Castellanos, L.M., *et al.* (2011). Cómo formar y evaluar las competencias a través de los Proyectos Formativos en las disciplinas de las Carreras de Ingeniería. Latin American and Caribbean Journal of Engineering Education (LACJEE). Vol 5, No 2 (2011. ISSN: 1935-0295.
- Castellanos, L.M., *et al.* (2010). Una alternativa metodológica Innovadora para formar y evaluar competencias a través de proyectos de curso en las carreras de Ingeniería. Colombia. Revista Educación en Ingeniería. ISSN: 1900-8620 *ed. V10 fasc.1* p.66 – 74, 2010.
- De Miguel, M., *et al.* (2006). Modalidades de Enseñanza Centradas en el Desarrollo de Competencias. Orientaciones para promover el cambio metodológico en el EEES. Ediciones Universidad de Oviedo. España., pp. 197.
- Sánchez, G. (2006). “Estudio de competencias, instrumento para facultades de Ingeniería. “Caracterización Profesional de Ocho Especialidades de la Ingeniería - Competencias y Funciones de los Profesionales Recién Egresados”. Consultado en mayo del 2008.
- Tabón, S. (2010). Formación integral y competencias, pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación. Tercera edición, Bogotá, Ecoe., pp.328.

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)