



Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOF 2014

Nuevos escenarios
en la enseñanza de la ingeniería

Cartagena de Indias, 7 al 10 de octubre de 2014
Centro de Convenciones Cartagena de Indias

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO DE TRACCIÓN HUMANA: ESTRATEGIAS PARA POTENCIAR EL APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS

Alejandro Pacheco Sanjuán, Jovanny Pacheco Bolívar

Universidad del Norte
Barranquilla, Colombia

Resumen

En el presente artículo se analiza una experiencia alrededor de un proceso de aprendizaje basado en proyectos (ABP), al igual que la dinámica de trabajo alrededor de un equipo de diseño conformado por estudiantes de ingeniería mecánica, pertenecientes a diferentes asignaturas y niveles de conocimiento, en torno a un proceso colaborativo para lograr diseñar y construir un vehículo de tracción humana (VTH). Dada una necesidad concreta, en la cual se especifican restricciones en cuanto al desempeño, maniobrabilidad, funcionalidad y costo de este tipo de vehículos, el equipo de diseño conformado por ocho estudiantes de ingeniería mecánica, cuatro de mecánica de máquinas y dos de diseño mecánico, debe definir las tareas, organizar las actividades y concretar un cronograma para las mismas. Dentro de la dinámica de trabajo se abordan temas del contenido de cada una de las asignaturas y se propone una discusión alrededor de los conceptos de diseño para el vehículo, su funcionamiento, su confiabilidad y posibles alternativas para la manufactura de componentes y su posterior ensamble. Basado en los resultados obtenidos en las pruebas de desempeño de los vehículos, en la socialización de los conceptos de diseño, y en el análisis de cada uno de sus subsistemas, esta actividad ha permitido integrar el desarrollo de diferentes competencias necesarias para el ejercicio de la ingeniería así como también que los estudiantes afiancen sus conceptos y les asignen un significado basado en su propia experiencia y en las experiencias de sus compañeros de equipo. Dado que esta actividad se desarrolla en semestres consecutivos, el desempeño y los resultados de los estudiantes se ven potenciados por su experiencia previa, pudiendo abordar en el semestre posterior el re-diseño de los subsistemas con una actitud más propositiva y con una ejecución más eficiente de las actividades.

Palabras clave: aprendizaje basado en proyectos; aprendizaje colaborativo; diseño de productos

Abstract

A design experience around the Project Based Learning (PBL) methodology is presented. A group activity for several teams organized with students coming from two different classes, mechanic of machines and mechanical design, with the purpose of designing a Human Powered Vehicle (HPV), is analyzed in light of the PBL methodology. Given a concrete necessity, put in terms of specifications and restrictions of performance, maneuverability, functionality, and cost, and under the guidance of the professors in each class, the design teams are asked to define tasks, activities, and the role for each team member, that have to be achieved to deliver a completely functional prototype of a HPV. Each one of the activities have to run in parallel with the instructional sessions in the semester and follow a previously planned schedule for the project. The project includes sessions devoted to the discussion around the concepts proposed by the curricula for each one of the classes and utilized to introduce synthesis of mechanisms, design methodologies, reliability, and manufacturing processes. Base on the results of the assessment process of each of the intermediate activities, the performance of the final prototype, and the socialization of the several design concepts, the PBL methodology permitted an active discussion around key concepts in mechanics, promoted critical thinking and collaborative work among students. Since the present PBL experience involves students of

two successive semesters, the student's outcomes in the future are potentiated by their previous experience, having the opportunity to implement changes and improvements in next semester project.

Keywords: project based learning; collaborative learning; product design

1. Introducción

Motivar e involucrar a nuestros estudiantes a que participen de forma activa en su proceso de aprendizaje ha sido una tarea compleja y retadora aun para los educadores con más experiencia. Debido a la diversidad de formas en que nuestros estudiantes perciben el mundo (Gardner, 1993), a su acervo cultural, o a las realidades y valores de sus diferentes etnias, es difícil plantear una estrategia única para motivarlos a alcanzar altos estándares en su formación académica y profesional.

La enseñanza basada en proyectos (o basada en problemas) se ha propuesto como una estrategia para lograr que el estudiante adquiera una serie de habilidades y conocimientos necesarios para desempeñarse en una sociedad cada vez más dinámica y que surge paralela con el ideario del nuevo siglo (Bottoms y Webb, 1998).

Siendo lejana a la memorización mecánica de datos o definiciones, la metodología ABP empieza a construir un significado de los nuevos conceptos y contenidos a partir de las fortalezas y experiencia individuales. Esta permite a los estudiantes explorar sus propios intereses en el marco que proporciona el currículo de la disciplina que ha escogido como parte de su proyecto de vida (Markhan, *et al.*, 2003).

La naturaleza del ABP es global e incorpora principios en los que se proponen trabajos que: (i) tengan una complejidad adecuada para el nivel de los estudiantes, (ii) que sean resueltos por equipos multidisciplinarios, y (iii) que promuevan el aprendizaje colaborativo. En la práctica dentro de esta metodología los participantes planean, implementan y evalúan proyectos en situaciones reales en diferentes campos de acción de la vida profesional (Maldonado, 2008). Experiencias previas de la metodología han sido documentadas en diferentes estados de la formación del estudiante (educación primaria y secundaria) (Abramson, *et al.*, 1995; Brewster y Fager, 2000). En la educación superior, concretamente en el área de ingenierías, el ABP se perfila como una de las estrategias importantes para incrementar el grado apropiación que los estudiantes tienen de los conceptos considerados como fundamentales en diferentes asignaturas del currículo.

Esta metodología se encuentra implícita como herramienta dentro de los requerimientos para la acreditación de los programas de ingeniería propuestos por el Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET). En un proyecto de final de carrera, i.e., Cap Stone Design, los estudiantes están expuestos a una situación/problema real de diseño el cual debe ser resuelto de manera colaborativa por equipos de estudiantes (ABET, 2014). La metodología ha sido implementada en diversos escenarios de diferentes áreas de ingeniería (Hansman, 2009; Summerfield, 2002), en los cuales, independiente del campo de estudio, se han podido identificar posturas similares en los estudiante frente a la metodología en cuestión. Inicialmente el estudiante puede que tome una actitud relajada en la que piense que puede obtener resultados significativos aun sin una metodología de análisis adecuada; en el caso concreto de diseño mecánico, el estudiante debe hacer un análisis completo de la necesidad, de los requerimientos del sistema a diseñar, pesar en importancia estos requerimientos, debe subdividir el sistema en partes, identificar la función de cada una de estas partes, y listar las posibles alternativas que pueden existir para cumplir con dichas funciones. Diferentes combinaciones de subsistemas generan diferentes soluciones al problema, las cuales deben ser valoradas de acuerdo con los requerimientos iniciales del diseño.

La carencia inicial de una metodología de análisis se puede presentar en casos en que: (i) los estudiantes no han adquirido aun una buena capacidad de pensamiento abstracto, (ii) si sus herramientas teóricas no están contextualizadas, (iii) o si sus habilidades en el manejo de herramientas de hardware/software no les permite utilizarlas de manera adecuada en una situación concreta fuera de los problemas tipo texto. Dada la dinámica de la actividad misma, el estudiante pronto se da cuenta que debe aumentar su estudio independiente para llenar esos vacíos y plantear una estrategia correcta para abordar el problema. El hecho de tener actividades intermedias en las cuales el estudiante se vea comprometido a mostrar sus resultados preliminares ayuda al profesor guía (facilitador) en el proceso de evaluación y a comprometer parte del tiempo del estudiante en actividades fuera de clase relacionadas con el avance del proyecto. Pronto se hace evidente que la actividad planteada no es un proyecto de clase, sino una actividad que reta las capacidades del estudiante y que potencia el desarrollo de su pensamiento crítico (Mergendoller, 2014).

En el presente trabajo se describe una experiencia de diseño de un vehículo de tracción humana (VTH) en la cual se implementa la metodología de ABP para dar solución, mediante conceptos nuevos de los diferentes subsistemas que lo componen, a diferentes requerimientos de desempeño y comodidad para el usuario. El proyecto se plantea como un trabajo conjunto entre estudiantes pertenecientes a dos asignaturas del currículo del programa de ingeniería mecánica, mecánica de máquinas y diseño mecánico. En la segunda sección del trabajo se describen las diferentes etapas que deben ser desarrolladas dentro de este tipo de experiencias de aprendizaje, la importancia de cada uno de ellas, haciendo especial énfasis en los procesos de assessment y evaluación. La tercera sección presenta una descripción detallada de la experiencia, iniciando desde el planteamiento de las preguntas esenciales alrededor de las cuales se desarrolla el proyecto, la descripción de todas las actividades intermedias programadas para facilitar el aprendizaje de los conceptos y habilidades necesarios para dar una solución a la problemática planteada, y el desarrollo de las rubricas utilizadas en el proceso de evolución (assessment) de cada una de estas actividades. Seguidamente se presentan los datos que muestran el desempeño de los estudiantes y los resultados del proceso de assessment. En la sección 5 se hace una reflexión sobre los pros/contras en cada una de las actividades y se analizan los resultados de la experiencia basados en la estadística de permanencia/éxito entre los estudiantes involucrados en la experiencia. Finalmente se derivan algunas conclusiones de la metodología ABP propuesta como una estrategia para potenciar las habilidades creativas, de trabajo colaborativo y de pensamiento crítico de los estudiantes de ingeniería mecánica que toman parte de en una experiencia de diseño y construcción de un sistema complejo.

2. El método de enseñanza basada en proyectos

El aprendizaje basado en proyectos (ABP) es una metodología que propone un problema o plantea una pregunta que todos los estudiantes participantes en un proceso de enseñanza/aprendizaje deben estar capacitados para resolver (Markhan, *et al.*, 2003). Esta pregunta debe tener raíces en los objetivos del programa y contribuir a la comprensión de nuevos conceptos, el desarrollo de nuevas destrezas, y la potencialización de habilidades para la comunicación. El método ABP propone a los estudiantes participar en una serie de experiencias concretas durante su desarrollo con el objetivo de llegar a concretar una posible solución a una Pregunta Esencial (PE). ABP le permite al estudiante desarrollar una investigación alrededor de temas y situaciones presentes en problemas identificados en la vida real además de promover el desarrollo de actividades cognitivas abstractas durante la exploración de situaciones complejas que no tienen una respuesta única o directa. En el caso concreto de una actividad de diseño, se plantea al estudiante una problemática o necesidad la cual debe ser satisfecha mediante la conceptualización y construcción de un sistema o conjunto de sistemas mecánicos que permitan satisfacer dicha necesidad. La tabla 1. Muestra un resumen de las etapas del proceso.

Tabla 1. Pasos en el modelo ABP.

| | | | |
|----------------------|---|-----------------------|--|
| Planificación | <ul style="list-style-type: none"> - Contextualización. - Identificación del problema o asunto. - Definición y propuesta de solución. | Comprobación | <ul style="list-style-type: none"> - Examen de los conocimientos adquiridos. - Utilidad de los mismos para el problema. - Errores cometidos en el proceso. |
| Análisis | <ul style="list-style-type: none"> - Partes del problema. - Consecuencias del problema. - Componentes de la solución. - Ejemplos y casos semejantes | Revisión final | <ul style="list-style-type: none"> - Verificación de la solución propuesta. - Evaluación de aciertos. - Evaluación de errores. - Autoevaluación del proceso. - Transferencia. |
| Articulación | <ul style="list-style-type: none"> - Ensamblaje de los componentes de solución. - Examen de su compatibilidad. - Articulación alternativa. | | |

3. Experiencia de aprendizaje alrededor del diseño de un vehículo de tracción humana

Al inicio del proyecto conjunto entre las asignaturas mecánica de máquinas y diseño mecánico se presenta a los estudiantes de cada uno de los cursos un documento donde se establecen los objetivos de la actividad, se demarcan una serie de restricciones para el diseño del VTH, además de algunos lineamientos generales relacionados con normas de seguridad. Las restricciones al diseño se encuentran guiadas por los lineamientos de la competencia internacional ASME-HPVC (ASME-HPVC, 2012). Algunas de las restricciones para el VTH hacen referencia a sus dimensiones, peso,

costo, y el no uso de elementos que puedan almacenar algún tipo de energía aparte de la proporcionada por el usuario. Los lineamientos también establecen el cumplimiento de normas de seguridad necesarias que deben tenerse en cuenta en el diseño del VTH y para el usuario mismo. En este documento inicial se establecen adicionalmente las actividades intermedias (instancias de evaluación) distribuidas en un periodo de 16 semanas, sus ponderaciones dentro del proceso de evaluación general de la actividad, además de los criterios con sus correspondientes rubricas. Este esquema de trabajo viene aplicándose de manera continua por parte de los autores durante los últimos cuatro semestres, en los cuales se ha seguido como proyecto bandera al interior del departamento de ingeniería mecánica. La pregunta/situación esencial del proyecto es la siguiente:

"Diseñar y construir un vehículo impulsado por tracción humana con la capacidad de ascender por pendientes pronunciadas y con un sistema de suspensión que permita maniobrar de forma segura sin perder estabilidad. El vehículo debe ser seguro, de fácil manejo, y tener un mínimo requerimiento de potencia, empleando sistemas de transmisión mecánica novedosos."

De forma general se plantean cuatro instancias para la evaluación y medición del avance hacia la solución de la pregunta/situación esencial:

-Informe de avance: un reporte entregado por cada equipo (alrededor de la semana 8). En este reporte el equipo presenta la lista de requerimientos, la lista de subsistemas que componen el VTH, las lista de alternativas para cada uno de ellos, presentan el proceso de selección del diseño que desarrollarán, cálculos básicos para asegurar que su elección sea técnicamente viable y la presentación de un cronograma.

-Informe final: reporte completo de las actividades realizadas durante el semestre (semana 14), incluyendo evidencias de la construcción del VTH y pruebas con las estadísticas que muestren el desempeño del vehículo. En este informe el equipo presenta el dimensionamiento de los elementos componen el VTH teniendo en cuenta cargas estáticas y dinámicas (fatiga e impacto), y planos de fabricación.

-Presentación: una presentación oral que cada equipo realizada para un auditorio compuesto por los profesores de ambas asignaturas, profesores invitados, y público interesado (Semana 15).

-Prueba de desempeño: los vehículos se someten a una serie de pruebas (Semana 16), las cuales están establecidas en el documento inicial. Esta prueba es una competencia, y por lo tanto, hay un ganador que recibe la mayor calificación en función de su desempeño.

Cada una de las instancias de evaluación tiene como objetivo potenciar el desarrollo de diferentes habilidades en los estudiantes. Las rubricas se deben diseñar para establecer criterios y niveles de cumplimiento en cada una de las instancia intermedias. En el presente análisis la evaluación global de la actividad se hizo mediante la aplicaron de las rúbricas para las siguientes habilidades, todas enmarcadas dentro de los lineamientos de ABET:

- Aplicar conocimientos de matemáticas, ciencia e ingeniería.
- Diseñar un sistema, componente o proceso para satisfacer necesidades dadas dentro de restricciones reales tales como aquellas de tipo económico, ambiental, social, políticas, éticas, de salud y seguridad, de manufactura y de sostenibilidad.
- Comunicarse efectivamente.
- Comprometerse con el aprendizaje continuo.
- Aplicar técnicas, destrezas y herramientas ingenieriles modernas necesarias para la práctica de la ingeniería.

4. Resultados obtenidos del proceso de evaluación

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el periodo agosto-diciembre de 2013 del proyecto presentado a los estudiantes. Como se describe en la sección 3 existen diferentes rúbricas para evaluar cada uno de los aspectos en las instancias de evaluación. En las tabla 2 se muestran las componentes de habilidades 5 para una muestra representativa del curso. Adicionalmente en la figura 1 se aprecia una evolución en los conceptos de diseño presentados por los estudiantes, quienes en las recientes ediciones dotan a sus vehículos con sistemas alternativos de propulsión y suspensión, lo que implica una mayor rigurosidad en el diseño.

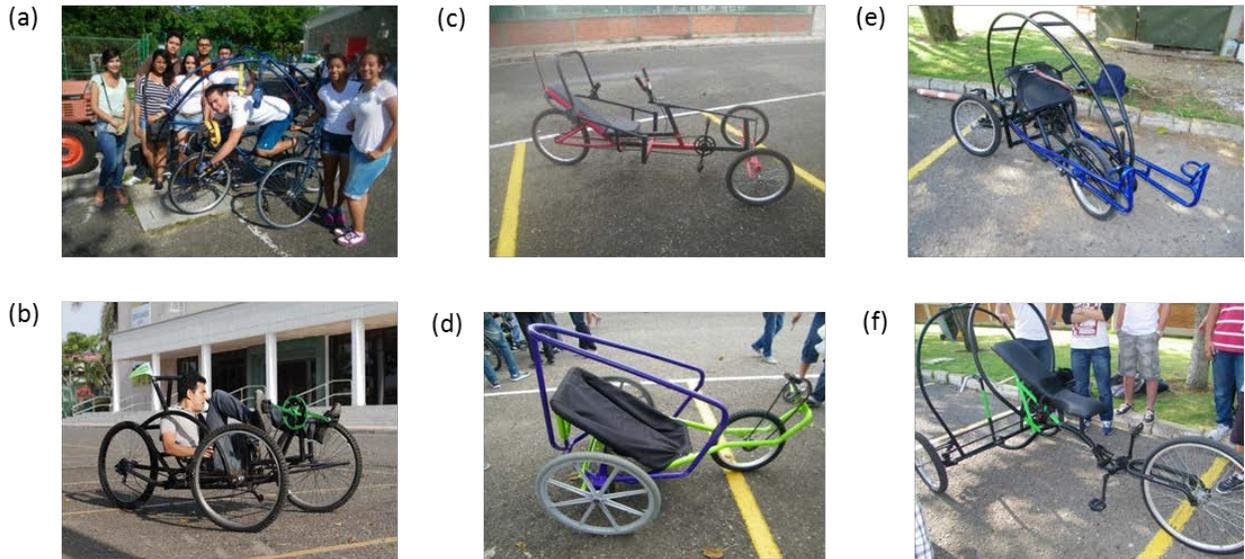


Figura 1. Mejores conceptos de diseño presentados por los estudiantes en los semestres 2013-10 (a),(b); 2013-30 (c), (d); 2014-10 (e),(f).

5. Conclusiones y reflexiones sobre proceso de aprendizaje

Basado en el desempeño de los estudiantes en cada una de las etapas intermedias de evaluación y en la evaluación final de tres semestres consecutivos en los que la misma actividad fue planteada como proyecto, se puede observar en términos generales un nivel de permanencia elevado de los estudiantes en la asignatura lo cual muestra una motivación especial hacia las actividades intermedias propuestas (comparar columnas 3 y 4 en la tabla 3). De igual forma se puede observar que a medida que se avanza en la actividad los prototipos en los proyectos más recientes muestran un mayor nivel de detalle y conceptos de diseño más innovadores (ver Fig. 1). Es evidente que los espacios que abre el proyecto motivan a los estudiantes a tomar riesgos mayores al proponer sistemas para el VTH con una complejidad creciente. El proceso de análisis utilizado por cada uno de los equipos es cada vez más riguroso en tanto que los estudiantes muestran una mayor apropiación y destreza en el manejo de las herramientas CAD/CAE disponibles acompañado con una integración más efectiva con los conceptos teóricos propuestos durante la instrucción. Es evidente que el conocimiento adquirido por los equipos de semestres anteriores ha nutrido de manera importante la experiencia de los estudiantes que apenas se enfrentan al proyecto. El hecho de exponer a los estudiantes a un reto en el cual se busca no solo poner en práctica los conceptos teóricos propios de su disciplina si no también la construcción de un prototipo funcional, los ayuda a contrastar las predicciones realizadas en sus cálculos con los resultados obtenidos una vez se utiliza un determinado proceso de fabricación. La motivación que el proyecto ha generado en los participantes ha sido tal que varios de los equipos han llegado a mostrar sus diseños en las competencias regionales y nacionales de vehículos de tracción humana. La última participación del equipo VTH Uninorte trajo como resultado un segundo puesto en diseño en la competencia nacional de 2013.

Tabla 2. Aplicar técnicas, destrezas y herramientas ingenieriles modernas necesarias para la práctica de la ingeniería. Período Académico Agosto-Diciembre 2013

| Descripción de aspectos a evaluar | Niveles de desempeño | | | | |
|---|---|---|---|---|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Un ingeniero debe demostrar habilidad en la aplicación de técnicas y herramientas en las siguientes áreas: (i) fundamentos en ciencias básicas, (ii) fundamentos en ingeniería y aplicaciones, (iii) probabilidad y estadística, (iv) herramientas computacionales y algoritmia, y (v) teorías de diseño en sistemas térmicos y mecánicos | El estudiante no utiliza y no reconoce la utilidad de técnicas que le permiten desarrollar de manera más eficiente cálculos propios del ejercicio de la ingeniería. El estudiante sabe que existen herramientas para la solución eficiente de problemas de ingeniería, sabe cómo encontrar información sobre las mismas pero no sabe cómo aplicarlas. | El estudiante conoce sobre la existencia de técnicas y herramientas, conoce el procedimiento para su aplicación pero no muestra destreza en el uso de las mismas como tampoco identifica cuál de ellas es la más adecuada para una situación en particular. | El estudiante conoce y utiliza técnicas y herramientas modernas dando soluciones aceptables a problemas en ingeniería | El estudiante conoce y aplica eficientemente técnicas modernas en ingeniería y proporciona soluciones óptimas a problemas prácticos | Adicionalmente a conocer y utilizar las técnicas y herramientas de uso en ingeniería, el estudiante propone nuevas combinaciones de las mismas y variantes en sus procedimientos para la solución eficiente de problemas prácticos |

| Grupo | Calificación cuantitativa | Resultados |
|---------|---------------------------|--|
| Grupo 1 | 4 | El análisis del estado de tensiones en el sistema es adecuado. El grupo utilizó herramientas CAD/CAE para realizar un proceso en el que dependiendo del criterio de falla estático/fatiga la geometría de cada uno de los componentes fue ajustada para cumplir restricciones de diseño. Se pueden hacer mejoras sustanciales con un análisis dinámico mucho más real aprovechando las herramientas y software disponibles. |
| Grupo 2 | 4 | El análisis de la cinemática de los mecanismos en el sistema es el adecuado. El análisis de las tensiones bajo carga estática es el adecuado pero el análisis del comportamiento del sistema a cargas dinámicas es deficiente. No hacen uso de herramientas computacionales para precisar la variación de las fuerzas en el tiempo. No se hace un análisis adecuado para el diseño de los componentes a potenciales fallas por fatiga. |
| Grupo 3 | 3 | El análisis de la cinemática de los mecanismos en el sistema es el adecuado. El análisis de las tensiones bajo carga estática es el adecuado pero el análisis del comportamiento del sistema a cargas dinámicas es deficiente. No se hace un análisis adecuado para el diseño de los componentes a potenciales fallas por fatiga. |
| Grupo 4 | 4 | Los estudiantes utilizaron herramientas CAD para hallar las propiedades geométricas de cada uno de los elementos del sistema. El análisis de la potencia requerida para el sistema fue obtenido de forma simplificada y reportado utilizando herramientas gráficas. Esfuerzos y deformaciones fueron calculados directamente con las ecuaciones para sólidos deformables pero no se utilizaron todas las herramientas disponibles. |

Tabla 3. Estadísticas del desempeño de los estudiantes de diseño mecánico para tres semestres consecutivos.

| Semestre | No estudiantes al inicio | No estudiantes después de retiros | No estudiantes aprobados | Nivel de cumplimiento / 5 |
|----------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 2013-10 | 35 | 32 | 30 | Promedio = 4.2, Min = 3.8, Max = 4.8 |
| 2013-30 | 22 | 22 | 18 | Promedio = 3.9, Min = 3.2, Max = 4.3 |
| 2014-10 | 33 | 33 | 19 | Promedio = 3.9, Min = 3.0, Max = 5.0 |

6. Referencias

- Abramson, S., Robinson, R., & Ankenman, K. (1995). Project work with diverse students: Adapting curriculum based on the Reggio Emilia approach. *Childhood Education*, 71(4), 197–202.
- ASME Human Power Vehicle Challenge (2012). Consultado el 2 de agosto 2012 en: [https://www.asme.org/events/competitions/human-powered-vehicle-challenge-\(hpvc\)](https://www.asme.org/events/competitions/human-powered-vehicle-challenge-(hpvc)).
- Bottoms, G., & Webb, L.D. (1998). Connecting the curriculum to “real life.” *Breaking Ranks: Making it happen*. Reston, VA: National Association of Secondary School Principals. (ERIC Document Reproduction Service No. ED434413)
- Brewster, C., & Fager, J. (2000). Increasing student engagement and motivation: From time-on-task to homework. Portland, OR: Northwest Regional Educational Laboratory. Consultado el 20 abril de 2014 en: <http://www.nwrel.org/request/oct00/index.html>
- Criteria for Accrediting Engineering Programs (2014- 2015). Consultado el 20 abril de 2014 en: <http://www.abet.org/accreditation-criteria-policies-documents/> (mayo 2014).
- Gardner, H. (1993). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*, Basic Books, ISBN-10: 0465024335.
- Hansman, J. (2009). *Flight Vehicle and Aircraft Systems Engineering: CDIO Knowledge Library*, Cambridge, MA: CDIO Global Initiative, www.cdio.org.
- Maldonado, M. (2008). Aprendizaje basado en proyectos colaborativos. Una experiencia en educación superior. *Laurus*, Vol. 14, Núm. 28, septiembre-noviembre, pp. 158-180 Universidad Pedagógica Experimental Libertador Venezuela. Disponible en: <http://web.archive.org/web/http://redalyc.uaemex.mx/pdf/761/76111716009.pdf>
- Markhan T., Larmer J., Ravitz J. (2003). *Project-Based Learning (2nd edition): A guide to standards focused project-based learning for middle and high school teachers*. Buck Institute for Education, Navato, California.
- Mergendoller, J (2014). Teaching critical Thinking skills through project based learning: Does Project Based Learning Teach Critical Thinking? Consultado el 20 abril de 2014 en: <http://www.p21.org/news-events/p21blog/1097-teaching-critical-thinking-skills-through-project-based-learning> (mayo 2014).
- Summerfield, S. (2002). Problem based learning approach to analytical and applied chemistry. *University Chemical Education*. Consultado el 20 abril de 2014 en: http://www.academia.edu/186896/PBL_Approach_to_Analytical_Chemistry (mayo 2014).

Sobre los autores

- **Alejandro Pacheco Sanjuán:** Ingeniero Mecánico, Máster en ingeniería mecánica, Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Virginia Polytechnic Institute and State University. Profesor asistente. apacheco@uninorte.edu.co
- **Jovanny Pacheco Bolívar:** Ingeniero Mecánico, Máster en ingeniería mecánica, Doctor en Ingeniería Mecánica, Instituto Politécnico de Monterrey. Profesor asistente. jpacheco@uninorte.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2014 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)