

# PRÁCTICAS DOCENTES QUE PROMUEVEN EL APRENDIZAJE ACTIVO EN INGENIERÍA CIVIL

Silvia Caro Spinel\*, Juan Carlos Reyes Ortiz\*\*

## RESUMEN

*Las condiciones sociales, políticas y económicas del nuevo siglo muestran que el perfil del ingeniero actual es muy distinto al del ingeniero de hace varias décadas. En este sentido, numerosos estudios han demostrado que las metodologías de clase en las que se promueve que el estudiante sea el constructor de su propio aprendizaje (aprendizaje activo) son más eficientes en el la formación de las actitudes y habilidades que el ingeniero requerirá en su vida profesional. Este artículo presenta la experiencia realizada en los últimos dos años al interior de algunos cursos del departamento de Ingeniería Civil, en los cuales se han implementado actividades que promueven el aprendizaje activo. Los resultados confirman la eficiencia de estos métodos y sugieren la necesidad de reflexionar sobre una reestructuración curricular integral del programa, que contribuya a la formación de los ingenieros que la sociedad necesita.*

## 1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

La globalización socioeconómica, la rapidez con que se desarrolla nueva tecnología, los nuevos esquemas de estructuras corporativas, la proliferación de la información en nuevos y más eficientes medios y la necesidad de garantizar un desarrollo sostenible con el mínimo impacto al medio ambiente, hacen que el perfil del ingeniero de este nuevo siglo sea diferente al del ingeniero de las décadas de los 90 y anteriores (Rugarcía *et al*; 2000).

En este sentido, la educación universitaria tiene el compromiso de cambiar y adecuarse a las

nuevas realidades del mundo. La formación en ingeniería debe propender por profesionales que: 1) comprenden la responsabilidad social de sus actos; 2) se comportan bajo altos preceptos éticos; 3) son comprometidos, autónomos y confiables; 4) tienen las habilidades necesarias para usar, transformar y crear tecnología; 5) pueden trabajar exitosamente en equipos; 5) tienen la capacidad de actualizarse y aprender en el largo plazo; 6) saben comunicarse eficientemente; y 6) tienen habilidades de negociación y de toma de decisiones, entre otras características (Buckeridge, 2000; Nguyen, 1998; ABET; 2002).

---

\* Profesor Instructor, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.  
e-mail: scaro@uniandes.edu.co.

\*\* Profesor Instructor, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.  
e-mail: jureyes@uniandes.edu.co.

Numerosos autores afirman que aunque los esquemas tradicionales de educación no contribuyen a la formación eficiente de estas actitudes y habilidades, éstos siguen siendo característicos de los programas de ingeniería en el mundo (Rugarcía *et al*, 2000, Caro, 2003). Por ejemplo, los resultados de un estudio sobre la efectividad de los mecanismos tradicionales de educación al interior de los laboratorios del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Los Andes, muestran que estos esquemas tienen importantes deficiencias y que deben ser reevaluados (Caro *et al*, 2002). Esta situación ha conducido a que las principales instituciones universitarias del mundo estén realizando actividades como:

- Formación de centros de investigación en docencia en ingeniería.
- Desarrollo de esquemas para promover la formación docente y el acompañamiento continuo a los profesores universitarios.
- Reestructuración de los programas curriculares tradicionales (conexión entre las ciencias básicas y las aplicadas, mejor formación en ciencias sociales y mayor flexibilidad).
- Reflexión institucional sobre la efectividad de las metodologías de enseñanza tradicionales e implementación de nuevas metodologías.

## 2. APRENDIZAJE ACTIVO

Los métodos de enseñanza que promueven el aprendizaje activo se enmarcan dentro de la filosofía constructivista (Brent, 1996; Perkins, 1991; Von Glaserfeld, 1998). Esta filosofía, que parte del hecho de que cada persona aprende de forma distinta (teorías cognitivas del aprendizaje), establece con claridad el papel de los actores involucrados en el proceso educativo. En el constructivismo, los estudiantes son el eje y los protagonistas del proceso, y son quienes deciden cuándo y cómo aprender, mientras que el profesor es sólo un guía que orienta, motiva y retroalimenta a los estudiantes.

En términos generales, hay tres preceptos comunes en los esquemas que fomentan el aprendizaje activo:

- El trabajo en grupo maximiza el aprendizaje de los estudiantes.
- Un estudiante que se encuentra activo en las clases, que participa, observa y construye cosas con sus propias manos, alcanza niveles de comprensión más profundos y duraderos que un estudiante que mantiene una actitud pasiva.
- La comprensión y el aprendizaje están muy relacionados con las conexiones que el estudiante es capaz de establecer con su propia realidad.

Con respecto al primer punto, Johnson *et al* (1988) afirman que el trabajo en pequeños grupos permite que los estudiantes trabajen juntos para maximizar su propio aprendizaje y el de cada uno de los demás. La teoría del “aprendizaje comunitario” argumenta que las ideas discutidas en el grupo enriquecen la comprensión y promueven un aprendizaje efectivo (Brent G, 1996). De la misma manera, los preceptos del “aprendizaje colaborativo” y del “aprendizaje cooperativo” (Felder, 1994; Johnson & Jhonson, 1987) hacen énfasis en la importancia del grupo como núcleo de trabajo, por ser un mecanismo eficaz dentro del proceso de formación de conocimiento, actitudes y valores.

La manera de promover el aprendizaje activo en los estudiantes es variada y se puede considerar como un sistema que envuelve cinco elementos principales: 1) objetivos de aprendizaje claramente establecidos; 2) metodologías de enseñanza de clase acordes con los objetivos; 3) mecanismos de apoyo o ayuda en el salón de clase; 4) sistemas de evaluación consistentes; y 5) mecanismos de apoyo fuera del salón de clase (e.g. tecnologías de información). Sólo a través de una combinación armónica de estos elementos se puede garantizar que los estudiantes se conviertan en responsables de su propio aprendizaje, ayudados por una labor oportuna y eficiente del profesor.

No cabe duda que la implementación de nuevas metodologías de enseñanza es un proceso que consume tiempo y esfuerzo. Sin embargo, los que se han aventurado en esta experiencia afirman que los beneficios de su uso son incomparables (Duque & Gauthier, 2003). Las experiencias realizadas en el Departamento de Ingeniería Civil que se exponen en este artículo así lo confirman.

### 3. IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS METODOLOGÍAS

En el Departamento se han diseñado actividades para fomentar ambientes de aprendizaje más eficiente en algunos cursos como: Introducción a la Ingeniería Civil, Seminario en Ingeniería Civil, Mecánica de Sólidos 1, Mecánica de Sólidos 2, Análisis de Estructuras, Ingeniería de Pavimentos y Estructuras Metálicas (electiva) del programa de pregrado de Ingeniería Civil. Este diseño se basa en los siguientes principios:

- En las clases se deben analizar y discutir experiencias relacionadas con el tema (e.g. casos de desastres), comportamientos observados, opiniones de expertos, noticias de interés regional o nacional, etc. Esta información debe ser presentada de una manera interesante, ya sea mediante proyección de fotografías y videos o mediante la visita a lugares donde el estudiante tenga contacto con la realidad.
- El debate y la controversia deben ser la base de discusión al interior de la clase.
- El uso de herramientas de informática es un instrumento valioso para consolidar conceptos.
- El salón de clase se debe convertir en un laboratorio. Las prácticas realizadas en el laboratorio formal deben ser llevadas a la clase mediante videos o fotografías, y, cuando sea posible, mediante la realización de experimentos con modelos a escala equivalentes y con el diseño y construcción de prototipos.

- Los ejemplos de clase se deben enmarcar en problemas abiertos y complejos, más semejantes a la realidad que los problemas cerrados de los textos universitarios.

A continuación se presentan consideraciones sobre el diseño de las actividades y la experiencia obtenida con los modelos físicos a escala.

#### 3.1 Diseño de los cursos

Gran parte del éxito de este tipo de experiencias radica en un buen diseño de los cursos. Un diseño exitoso es aquel en el cual no sólo se resumen los temas que se van a trabajar durante el semestre, sino en el que se incluye:

- Objetivos de aprendizaje del curso.
- Actividades diseñadas para cumplir con estos objetivos.
- Un sistema integral de evaluación.

Con respecto al sistema de evaluación, éste debe ser capaz de evaluar conocimiento, conceptos, habilidades y formación de actitudes y valores (Christensen, 2002). En este sistema la prioridad es proporcionar retroalimentación oportuna a los estudiantes, por encima de otorgar una calificación cuantitativa a las actividades. Los estudiantes deben conocer con exactitud los mecanismos por medio de los cuales van a ser evaluados antes de la realización de las actividades.

Uno de los métodos utilizados para diseñar los cursos consiste en la elaboración y empleo de mapas conceptuales. Estos mapas, que pueden ser empleados en distintas formas, permiten definir las actividades del curso y medir el grado de comprensión de los estudiantes (Caro,

Tabla 1. Algunas de las actividades diseñadas en el curso de Introducción a la Ingeniería Civil.

Actividad	Tipo de trabajo	Objetivos de aprendizaje
Parciales	Individual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de análisis crítico.</li> <li>• Comprensión de conceptos básicos de la ingeniería civil.</li> <li>• Habilidades para el desarrollo de estrategias de solución de problemas abiertos.</li> <li>• Comprensión de la responsabilidad social que tiene el ejercicio de la profesión (desarrollo de actitudes).</li> </ul>
Ensayos	Individual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades de comunicación escrita eficiente.</li> <li>• Desarrollo de análisis crítico.</li> <li>• Conexiones entre la teoría y la realidad cercana.</li> <li>• Habilidades para llevar a cabo investigaciones.</li> </ul>
Mapas conceptuales	Individual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexiones entre los diferentes temas.</li> <li>• Conexiones entre los temas y del curso y la realidad cercana.</li> <li>• Refuerzo de los conceptos que han sido vistos en clase o estudiados individualmente.</li> </ul>
Debates	Individual / grupo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades de argumentación, negociación, trabajo en grupo, comunicación oral eficiente.</li> <li>• Habilidades para buscar información en distintos medios y usarla apropiadamente.</li> </ul>
Tareas	Individual / grupo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilidades para trabajar en grupo o en forma individual.</li> <li>• Conexiones entre la vida cotidiana y la ingeniería civil.</li> <li>• Comprensión de la responsabilidad social que tiene el ejercicio de la profesión (desarrollo de actitudes).</li> <li>• Refuerzo de los conceptos que han sido vistos en clase o estudiados individualmente.</li> <li>• Acercamiento a la vida universitaria y a sus posibilidades.</li> </ul>
Visita de Invitados Especiales	Discusión abierta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexiones entre la teoría y la realidad de la ingeniería civil.</li> <li>• Comprensión de los campos de aplicación de la ingeniería civil y las posibilidades de desarrollo de los egresados.</li> <li>• Comprensión de la responsabilidad social que tiene el ejercicio de la profesión (desarrollo de actitudes).</li> </ul>

2003). La Tabla 1 muestra algunas de las actividades que se realizan actualmente en el curso Introducción a la Ingeniería Civil, acompañadas de sus objetivos de aprendizaje. Esta tabla es un producto parcial del diseño de la materia y es entregada a los estudiantes como parte del programa del curso en la primera semana de clases.

### 3.2 Diseño y construcción de modelos físicos a escala

En el área de mecánica de materiales y estructuras, la elaboración de modelos a escala reducida es fundamental para comprender el comportamiento de estructuras reales. Estos mo-

delos son construidos con materiales económicos, fáciles de adquirir y fáciles de manipular; tales como icopor, balsa, espuma, espuma compacta (foam), pasta comestible y pitillos.

Con el fin de identificar las propiedades mecánicas de los materiales (resistencia máxima y módulo de elasticidad), los estudiantes realizan ensayos de tensión (Figura 1) y, simultáneamente, van construyendo la curva esfuerzo-deformación del material. Esto les permite vivenciar el significado del comportamiento mecánico de los materiales.

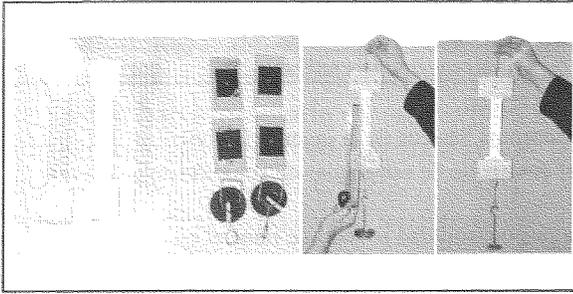


Figura 1. Ensayo en clase de probetas de materiales.

En la Figura 2 se presentan pórticos y vigas contruidos con icopor. Este material semeja el comportamiento a tensión del concreto, de la misma manera como el balso simula el comportamiento de la madera.

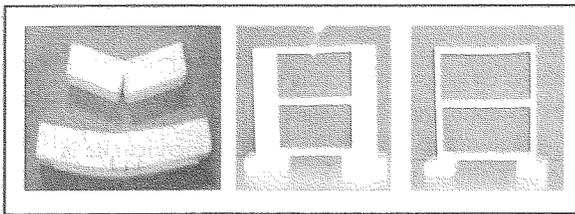


Figura 2. Viga (con refuerzo de espuma compacta y sin refuerzo) y pórticos en icopor.

Las actividades realizadas con estos materiales tienen como objetivo primordial determinar condiciones especiales de ruptura o deformación. Los problemas se pueden abordar con preguntas como:

- ¿Por dónde se romperá en flexión la viga de la Figura 3 si la carga continúa aumentando?
- ¿En qué zonas de la viga de la Figura 3 se debe colocar refuerzo para garantizar una mayor carga? ¿Cuánta carga  $P$  resistirá la viga reforzada?

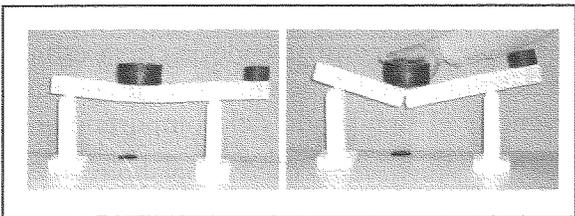


Figura 3. Viga en icopor que va a ser fallada en clase.

- ¿Cuál es la distancia a los puntos de in-flexión para el pórtico de la Figura 4?. Con este dato, ¿cuál es el diagrama de momento aproximado del pórtico?
- ¿Cuál es el módulo de elasticidad del balso utilizando una viga simplemente apoyada?. Con este dato, ¿cuál es el desplazamiento máximo del pórtico de la Figura 4?

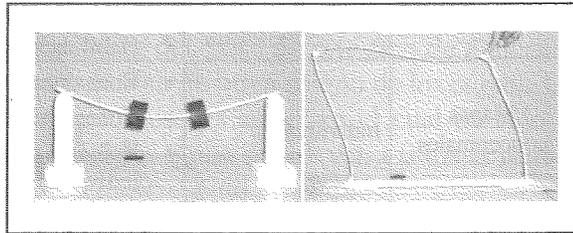


Figura 4. Pórtico en balso.

La Figura 5 muestra una viga de espuma (con y sin refuerzo) sometida a carga axial, momento flector y momento torsor. Los estudiantes deben medir el desplazamiento que ocurre ante la aplicación de una carga, con el fin calcular la deformación.

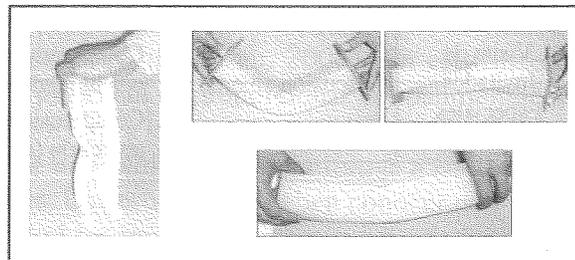


Figura 5. Viga en espuma sometida a diferentes condiciones de carga.

Por otra parte, los estudiantes de los cursos de Mecánica de Sólidos I y Análisis de Estructuras concursan en grupos con puentes elaborados en pasta comestible o pitillos. Se prefieren estos materiales por su forma geométrica y su baja resistencia. El objetivo del concurso es que los estudiantes diseñen y construyan el puente que tenga la mayor relación [resistencia / peso propio]. En clase, las estructuras son cargadas hasta la falla mientras se observan y analizan los mecanismos de ruptura (Figura 6).

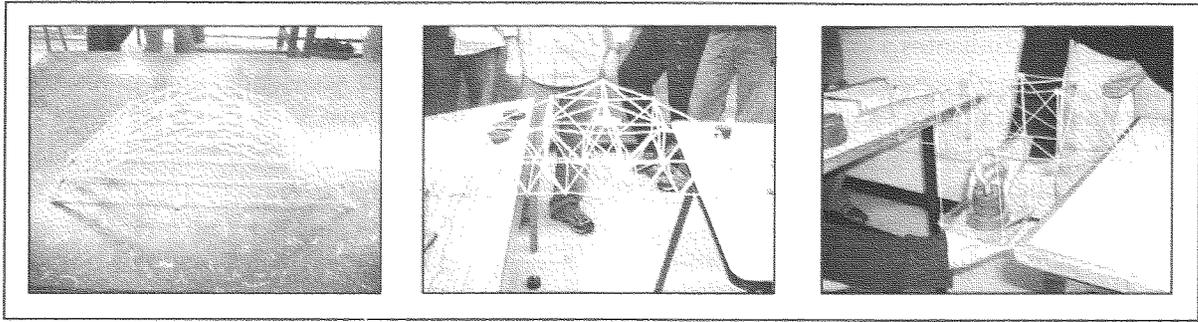


Figura 6. Puentes en pasta y pitillos realizados por los estudiantes.

### 3.3 Otras experiencias

Además de los modelos físicos a escala, las nuevas actividades en los cursos incluyen el manejo de software académico y especializado, proyectos en grupos con componentes de trabajo en campo, visitas a obras, discusión con expertos y concursos en equipos para medir el nivel de comprensión de los conceptos estudiados. En el caso específico del manejo de software, los estudiantes encuentran en esta actividad una herramienta eficiente para observar, cuestionar y comprender fenómenos más complejos que los analizados en los modelos a escala. Además, el software les permite a los estudiantes tener la posibilidad de analizar la sensibilidad de cada una de las variables involucradas en un problema específico, con el fin de consolidar los conceptos sobre el comportamiento de materiales.

El éxito de la implementación de estas actividades depende principalmente de:

- Diseñar cuidadosamente cada actividad. Las actividades deben tener objetivos, metodologías de ejecución y sistemas de evaluación claros y consistentes (Tabla 1). En estas experiencias, la improvisación es garantía del fracaso parcial o total de la actividad.
- Las actividades deben ser viables, en términos de la duración y de los equipos empleados.
- Encontrar un balance adecuado entre las diferentes actividades.
- Responsabilizar a los estudiantes de la ejecución de las actividades.
- Retroalimentar cada experiencia a través de una discusión abierta entre los estudiantes, con la participación medida y oportuna de los profesores.

### 4. RESULTADOS

En términos generales, los resultados de estas experiencias han sido excepcionales. La percepción general de los estudiantes, consignada en las encuestas realizadas en la mitad y en el final del semestre (Facultad de Ingeniería; 2001, 2002), constata su satisfacción. Adicionalmente, los profesores han observado que al emplear este tipo de metodologías:

- La motivación de los estudiantes aumenta. La asistencia a clase es permanentemente alta a lo largo del semestre (más del 85%) y los resultados de las actividades demuestran un interés constante por parte de los estudiantes.
- Los estudiantes realizan mayor cantidad de preguntas durante las clases. Estas preguntas demuestran reflexiones profundas y un alto nivel de análisis crítico.
- Los estudiantes se familiarizan con el trabajo en grupo, tanto al interior de las clases como fuera de ellas.
- Las conexiones que los estudiantes son capaces de realizar entre los diferentes temas, con otros cursos y con su propia realidad, aumentan.

Esto se constata en los mapas conceptuales realizados por los estudiantes a lo largo del semestre.

Naturalmente, también se han detectado dificultades a lo largo de este proceso, dentro de las cuales cabe mencionar:

- El tiempo que el profesor necesita dedicarle a los cursos es muy superior al que requieren los cursos tradicionales. En particular, se necesita una gran cantidad de tiempo en la planeación y diseño de cada actividad. Así mismo, el proceso de evaluación exige más tiempo que los métodos tradicionales, ya que es necesario diseñar nuevos esquemas de calificación (criterios de calificación) y garantizar una retroalimentación oportuna de cada una de las actividades.
- En algunas oportunidades, los estudiantes no comprenden el objetivo de las actividades y les cuesta dificultad adaptarse a los nuevos esquemas. Al respecto, Christensen (2002) resalta la importancia de explicarles la justificación y los objetivos de cada actividad. Además, el profesor debe ser un receptor permanente de los comentarios y percepciones de los estudiantes.
- Se ha detectado una gran dificultad en el diseño de indicadores que permitan medir la formación de actitudes y valores en los estudiantes.
- Algunas actividades consumen una gran cantidad del tiempo disponible para las clases. Esta situación ha permitido reflexionar sobre la relación que existe entre los contenidos del curso (que se deben cumplir de acuerdo con los lineamientos del departamento) y la profundidad de la comprensión que deben alcanzar los estudiantes. Normalmente, se sacrifica contenido por aprendizaje en profundidad, sin que esto perjudique la formación de los estudiantes.

Finalmente, es importante aclarar que las experiencias consignadas en este artículo son sólo algunas de las que se están llevando a cabo dentro del Departamento. En los últimos años, otros profesores han comenzado a trabajar ar-

duamente en la modificación de los métodos tradicionales, a través de la implementación parcial o total de actividades que promueven el aprendizaje activo.

## 5. CONCLUSIONES

- La modificación de los métodos tradicionales de enseñanza no es un proceso inmediato. El cambio es continuo y requiere una reflexión de las concepciones pedagógicas sobre el conocimiento, la enseñanza y la educación que tiene cada profesor.
- Los resultados de las experiencias llevadas a cabo en el Departamento demuestran que la participación activa de los estudiantes es fundamental para cumplir con los objetivos de aprendizaje de un curso.
- Los profesores que tomen la decisión de modificar sus métodos tradicionales de enseñanza, deben ser conscientes que no existe una metodología (e.g. PBL, hands-on) o una herramienta (e.g. multimedia) que sea exitosa en todos los casos. Cada profesor debe ser capaz de diseñar y adoptar el método que mejor se ajuste a sus condiciones particulares. Después de ser testigo de las ventajas de estos cambios (las cuales posiblemente no se obtengan en el primer intento), sabrá que todo su esfuerzo valió la pena.
- El apoyo institucional es fundamental para que este tipo de experiencias perduren, prosperen y se multipliquen.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Accreditation Board for Engineering and Technology (2003), "Criteria for accrediting engineering programs during the 2003-2004 accreditation Cycle". Recuperado de <http://www.abet.org>.

Brent, G, (1996). "Constructivist learning environments: case studies in instructional design", *Educational Technology Publications*.

Buckeridge, J, (2000) "A Y2K Imperative: the Globalisation of Engineering Education", *Global Journal of Engineering Education*, Vol.4, No.1, pp. 19-24.

Caro, S (2003). "Uso de Mapas Conceptuales para el Diseño de Proyectos Aplicados". Poster expuesto dentro del marco de la Feria del Aprendizaje. Universidad de Los Andes, Bogotá.

Caro, S; Herrera, C; Cruz, J.A; Hajdes P. (2002) "Concepciones pedagógicas en los laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad de Los Andes". Trabajo final del curso "herramientas para una docencia efectiva en ingeniería". Decanatura de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Bogotá.

Caro, S. (2003). "The paradigm of civil engineering education within the colombian context". Proceedings International Conference on Engineering Education, ICEE2003. Valencia, España.

Duque, M., Gauthier, A. (2003). "Active learning environments for automatic control courses". Proceedings International Conference on Engineering Education, ICEE2003. Valencia, España.

Christensen, H (2003). "Results of the Workshop on Student Assessment". Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Bogotá.

Facultad de Ingeniería (2001, 2002, 2003). Resultados de encuestas a estudiantes de pregrado. Universidad de Los Andes, Bogotá.

Felder, R, M; Brent, R,(1994) "Cooperative Learning in Technical Courses: procedures, pitfalls and payoffs", ERIC Document Reproduction Service Report ED 377038, supported by National Science Foundation.

Gibbs, G. "What training of university teachers might be able to achieve". Centre of Higher Education Practice, Open University, UK, 2002.

Johnson, D.W, Johnson, R.T (1989). Cooperation and competition: theory and research. Edina, MN: Interaction Book Company.

Johnson, D.W, Johnson, R.T; Holubec, E.J. (1988). Cooperation in the classroom (rev. ed). Edina, MN: Interaction Book Company.

National Research Council (2000). "How people learn: brain, mind, experience and school", National Academy Press.

Nguyen, D. Q. (1998) "The essential skills and attributes of an engineering: a comparative study of academics, industry personnel and engineering students", *Global Journal of Engineering Education*, Vol.2, No.1, 1998, pp. 65-75.

Perkins, D, N, (1991) "Technology meets constructivism: Do they make a marriage?" *Educational Technology*, Vol. 3, No.5, pp. 18-22.

Von Glaserfeld, E. (1998) "Questions and answers about radical constructivism". In *The practice of constructivism in science education* (pp. 23-38) Hillsdale, NJ.