

Aprendizaje en ingeniería basado en proyectos, algunos casos

Por: Mark Steiner, RPI, EEUU; Catalina Ramírez, José Tiberio Hernández, Jaime Plazas, Universidad de los Andes, Colombia

Introducción

A continuación presentamos cuatro casos donde se desarrollan ejemplos de aprendizaje en Ingeniería basados en el desarrollo de Proyectos multidisciplinarios (tres de la Universidad de los Andes en Bogotá-Colombia y uno de la Rensselaer Polytechnic Institute (RPI) en Troy – Estados Unidos). Presentamos los casos basándonos en la metodología CDIO que hemos venido describiendo. Vale la pena anotar que los casos pueden que se basen en algunas o todas las fases de CDIO, pero quisimos presentar cada caso como un ejemplo concreto de lo que un estudiante de ingeniería debiera hacer: concebir, diseñar, implementar y operar una idea creativa.

1. Un marco de investigación CDIO (concebir-diseñar-implementar-operar)- C. Ramírez

La constante preocupación por mejorar la calidad y pertinencia, y de actualizar los programas de ingeniería a la realidad del siglo XXI, ha permitido que se hayan diseñado y puesto en marcha programas de innovación educativa en ingeniería. Es el caso particular de CDIO¹⁴ (Conceive, Design, Implement and Operate). La iniciativa fue propuesta por profesores de ingeniería de 4 universidades en 2 países y se ha extendido a más de 22 universidades en 12 países de varios de los continentes (Gunnarsson, S, 2007). Esta iniciativa responde a una forma integral y pragmática en que los programas de ingeniería se reestructuran en aras de responder a los cambios actuales y a los retos futuros. En principio fue concebida para los programas de ingeniería mecánica, vehicular y electrónica; actualmente sus prácticas se han extendido a

¹⁴ CDIO <http://cdio.org> recuperado 15 de febrero 2008

los programas de ingeniería química, ciencias de materiales y bioingeniería. Con esta iniciativa se establecen estándares, que alineados con la ABET¹⁵, permiten guiar el desempeño en la educación de la ingeniería moderna y los requerimientos mínimos para que el estudiante de ingeniería desarrolle habilidades para enfrentarse con éxito a los nuevos retos de la sociedad. Algunas de las universidades que han realizado importantes contribuciones al respecto son CU de Boulder¹⁶, MIT¹⁷, Chalmers, Caltech, Universidad de Maryland en College Park¹⁸, Universidad de Massachussets en Amherst¹⁹ y la Universidad de Pittsburg²⁰, entre otras.

Se puede decir que son 5 las motivaciones que impulsan iniciativas como la CDIO (Gunnarsson, S, 2007):

- avances científicos y tecnológicos,
- la internalización (la movilidad de los estudiantes y la flexibilidad),
- la necesidad de desarrollar ciertas habilidades y actitudes en los estudiantes de ingeniería,
- las cuestiones de género y
- la necesidad de ampliar la participación gubernamental y las iniciativas políticas.

A continuación se realiza un análisis de 3 de estas tres motivaciones que han sido consideradas para el desarrollo metodológico del espacio de formación de mitad de carrera en la facultad de ingeniería de la Universidad de los Andes en Colombia.

1.1 Avances científicos y tecnológicos

La cercanía entre la industria y los programas de ingeniería son fundamentales para el desarrollo científico y tecnológico de un país. Mientras que para muchos países desarrollados la manufactura y producción se han centralizado en países menos ricos, para países en vía de

¹⁵ ABET <http://www.abet.org> recuperado 15 de febrero 2008.

¹⁶ http://www.cdio.org/cdio_partners.html recuperado 28 julio 2008.

¹⁷ Ídem.

¹⁸ Ídem.

¹⁹ Ídem.

²⁰ Ídem.

desarrollo como Colombia la producción y desarrollo tecnológico se ha centrado en la copia de los avances de otros países. La iniciativa CDIO ofrece la posibilidad de enfrentar a los estudiantes al aprendizaje en términos pragmáticos cercanos al contexto social donde la ingeniería puede agregar valor.

1.2 La internacionalización

Los efectos de la globalización obligan a que el ingeniero tenga la capacidad de adaptarse muy rápidamente a contextos diferentes a los propios. En Europa, por ejemplo, los programas de intercambio de los estudiantes (Erasmus y Socrates) buscan que los próximos profesionales tengan la capacidad de adaptación a diferentes contextos. Algo similar ocurre en USA y Canadá que reciben estudiantes de China y de India. En Colombia, según la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (Acofi), los ingenieros están siendo atraídos por otros países en vía de desarrollo²¹. La flexibilidad que puedan ofrecer los programas CDIO es clave para que la adaptación de los futuros ingenieros sea un motor de cambio y desarrollo en diversas industrias y en diferentes contextos culturales.

1.3 El desarrollo de habilidades y actitudes en los estudiantes de ingeniería

El nivel de comprensión y aplicación de las ciencias básicas a los proyectos que desarrollan los estudiantes de ingeniería son algunas de las preocupaciones de las facultades a las cuales ellos pertenecen (Gunnarsson, S, 2007). Es necesario generar procesos curriculares donde exista una integración entre estas ciencias básicas y los conocimientos de ingeniería aplicados al desarrollo de proyectos reales. Por supuesto que esto requiere de los esfuerzos mancomunados de todos los niveles escolares (colegio²², pregrado y posgrado). En esa medida la iniciativa CDIO promueve el desarrollo de actividades denominadas “hands-on” que permitan la integración y utilización de las bases científicas de la

²¹ Artículo Tomado de la página www.portafolio.com.co el pasado 11 de Febrero de 2008.

²² Ver las iniciativas STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) para escuela básica y media en EEUU y Europa.

ingeniería en proyectos que generen valor a la sociedad actual. Por supuesto que se pretende que estas habilidades refuercen todo el proceso de aprendizaje del estudiante, para que aprenda a aprender.

2. Concebir – aprendizaje basado en proyectos : el caso de ExpoAndes en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes- C. Ramírez

ExpoAndes es el nombre con el cual se conoce el proyecto de comienzo de carrera de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, el cual contempla la realización de proyectos de ingeniería que involucra los estudiantes de primer semestre, quienes para su realización conforman grupos de trabajo colaborativo y emprenden una labor de investigación para la identificación de problemáticas particulares y posibles soluciones de ingeniería (Gómez, Arias, Gómez, Valderrama, Ramírez, 2003). Es la primera oportunidad que tienen los estudiantes de concebir en equipo proyectos que serán presentados durante el día final del semestre a padres de familia, ingenieros, empresarios, profesores y personas del sector público del país. Durante todo un día se presentan alrededor de 150 proyectos a aproximadamente de 2000 personas visitantes que tienen la oportunidad de interactuar con los estudiantes de las ingenierías que ofrece la Facultad (general, industrial, sistemas y computación, eléctrica y electrónica, civil y ambiental, química).

Los estudiantes de primer semestre de ingeniería conforman equipos de trabajo de no más de 5 estudiantes de su propia carrera. Orientados por los profesores y estudiantes de semestres superiores, conciben una propuesta que desarrollan durante el semestre. Esta propuesta consiste en definir un prototipo de proyecto asociado directamente con su ingeniería. Somos conscientes que aún no tienen todas las herramientas de diseño necesarias. Sin embargo, en ExpoAndes exploran



todas las posibilidades que tiene su carrera para diseñar una propuesta de ingeniería. Durante todo el semestre los estudiantes enriquecen la concepción de su idea, hacen presentaciones escritas y orales a sus profesores, realizan una amplia búsqueda bibliográfica, indagan con ingenieros expertos, entre otras actividades. Al final del semestre presentan públicamente sus proyectos. Esta fase es fundamental porque no sólo enriquecen sus propias ideas al respecto de la carrera, sino que por medio de un proyecto que van realizando durante el semestre desarrollan habilidades y competencias que fortalecerán su proceso de aprendizaje futuro.

Con ExpoAndes se ha buscado desarrollar competencias iniciales alineadas con las características del ingeniero que busca formar la Facultad, es decir:

“Ingenieros capaces de identificar y analizar los problemas de su tiempo, de interpretar necesidades sociales, y responder a ellos con soluciones basadas en comprensión de las ciencias, las matemáticas, la tecnología y la ingeniería. Ingenieros quienes pueden convertirse el líderes y guías de su sociedad en lo relacionado con identificar, apropiar usar y generar tecnologías que puedan contribuir a su desarrollo sustentable. Ingenieros que puedan asumir un rol de liderazgo en la creación e impulsar empresas de base tecnológica cuyas contribuciones apoyen la creación de riqueza.” (Hernández; Caicedo; Duque; Gómez).

Basados en lo anterior, se han definido las competencias que se esperaba que los estudiantes desarrollaran mientras conciben su proyecto de primer semestre: Proceso de Aprendizaje Autónomo, Trabajo en Equipo, Innovación, Enfoque desde la Ingeniería, Emprendimiento y Motivación. A continuación se describen estas categorías:

- *Proceso de Aprendizaje:* Mientras desarrollan el proyecto, se considera el impacto que tienen sobre el aprendizaje los recursos con los que cuenta actualmente el estudiante para desarrollar su proyecto (bibliografía, sesiones de clase, preparación de los profesores, recursos tecnológicos, asesorías de ingenieros, entre otros). Por medio de las presentaciones escritas y orales se busca observar de qué manera influyen sobre el aprendizaje dos tópicos esenciales: la forma como el

estudiante se enfrenta a la identificación de la idea de proyecto que desea realizar y el significado de enfrentarse a presentar su proyecto en una muestra abierta a estudiantes, profesores, ingenieros, empresarios y ciudadanos en general.

- *Trabajo en equipo:* se busca analizar el valor agregado de realizar en equipo un proyecto de ingeniería. Cuando hacen las presentaciones, se tienen en cuenta aspectos como el desenvolvimiento personal en medio de un equipo de trabajo. Adicionalmente, se tiene en cuenta la contribución de ExpoAndes en el desarrollo de habilidades de expresión oral, de expresión escrita, de comunicación efectiva y uso y aplicación de conceptos teóricos vistos durante el primer semestre.
- *Innovación:* Se motiva al estudiante a tener una actitud innovadora mientras realiza su proyecto. Se observa qué tan innovadora es la solución que ofrece el proyecto realizado y a que tan innovador es el proceso mismo de aprendizaje durante el desarrollo de ExpoAndes.
- *Enfoque de Ingeniería:* Se busca identificar el aporte teórico asociado con las herramientas de ingeniería a las cuales un estudiante de primer semestre se enfrenta. En esa medida se observa el aporte del profesor de ingeniería, la percepción acerca del uso de herramientas de cada disciplina para desarrollar el proyecto, para expresarse, para comunicar una idea, para escribir un informe técnico, para trabajar en grupo con otros estudiantes de ingeniería, para el diseño de una solución de ingeniería, para la identificación de problemas y el correspondiente diseño de la solución.
- *Emprendimiento:* Se busca observar cómo una actividad como ExpoAndes, que incluye factores de ingeniería, de trabajo en equipo y de innovación contribuye con una primera aproximación de la actitud de proactividad en un estudiante que empieza su formación en la Facultad.
- *Motivación:* Se evalúan factores asociados a la disposición que el estudiante tiene para realizar un proyecto de este nivel en primer semestre. Adicionalmente, se busca observar las implicaciones que proyectos de este estilo tienen en la satisfacción de estudiar ingeniería.

Con lo anterior se busca indagar la importancia que otorga el estudiante a la realización de estos proyectos y a la necesidad de realizar un proyecto similar en el futuro inmediato de su formación.

Con ExpoAndes se pretende propiciar un espacio de aprendizaje en primer semestre que motive a los estudiantes a concebir y diseñar proyectos de ingeniería en el futuro de su carrera.

3. Diseñar - aprendizaje basado en proyectos: el caso del proyecto de innovación con TI en Ingeniería de Sistemas y Computación e Ingeniería Industrial- C Ramírez y J T Hernández

El Proyecto de Mitad de Carrera (PMC) de Ingeniería de Sistemas y Computación ha buscado darle continuidad al ambiente generado en el proyecto de primer semestre (PS). Con el PMC se pretende aumentar la capacidad de participación en la definición y puesta en marcha de proyectos de ingeniería de interés real realizados en grupo, buscando de esta manera una contribución innovadora de las TICs para un nicho de mercado empresarial, gubernamental o académico. Se ha estructurado este espacio en dos ciclos que se desarrollan durante dos semestres (PMC1 y PMC2). Se pretende que los grupos formulen proyectos con características de innovación y sostenibilidad y realicen cuatro ciclos de desarrollo de los mismos con acompañamiento de profesores y empresarios. Con esta experiencia se ha buscado la definición de proyectos de innovación mediante el refuerzo de los procesos de aprendizaje autónomo, el desarrollo de capacidades en la conformación y organización de equipos de trabajo, la materialización de ideas en proyectos concretos y estructurados, el desarrollo de procesos de construcción de conocimiento que permanezcan en el tiempo y la exposición nacional de los resultados. Esta experiencia busca reforzar aprendizaje no tradicional donde los estudiantes encuentran un valor real de los conocimientos que han adquirido hasta el momento potenciado con la experiencia de empresarios. Esta aproximación de aprendizaje activo se ha venido formalizando en Ingeniería de Sistemas y Computación desde hace cerca de siete años cuando se iniciaron los ciclos de Seminario de Grupos de Interés. En el último año y medio se ha venido consolidando un grupo de empresarios del sector que, de manera estable, han acompañado este proceso y contribuye a la consolidación del mismo.

En particular, durante el año y medio pasado se ha logrado constituir un equipo de profesores y empresarios que han logrado trabajar con 20 equipos/semestre, 4 de los cuales han ganado un concurso patrocinado por la Facultad que les ha permitido hacer uso de recursos para avanzar en sus prototipos. Han recibido la asesoría permanente de los profesores y el soporte técnico de los empresarios, espacios en los laboratorios para desarrollar sus prototipos y recursos para los insumos necesarios.

Hasta el momento la mayoría de los estudiantes son de género masculino (95%), con edades de 20 años (35%), 21 años (28%) y 22 (12%) años en su mayoría. En el primer ciclo (primer semestre del tercer año) un 40% de los estudiantes están realizando doble programa: el 71% ingeniería de sistemas y computación con ingeniería eléctrica, el 23% ingeniería de sistemas y computación con ingeniería industrial; en el segundo ciclo (segundo semestre del tercer año) el 36% de los estudiantes están realizando doble programa: el 34% con administración, el 22% con ingeniería industrial, el 22% con ingeniería electrónica.

En ese mismo sentido y dado que los proyectos son en si mismos asociados a diferentes disciplinas se requiere el seguimiento y trabajo en equipo de profesores de diferentes áreas. Hasta el momento se han vinculado profesores de ingeniería de sistemas y computación, ingeniería industrial, diseño y expertos en temas de innovación y legalización de patentes. Cada semestre participan al menos 2 profesores de por lo menos dos Departamentos de Ingeniería.

Finalmente, el "ingrediente" fundamental en medio de este trabajo en equipo lo constituyen los empresarios que asesoran los proyectos. Se ha buscado generar alianzas con los empresarios y no con las empresas. Es importante que todas las competencias que se busca desarrollar en los estudiantes sean visualizadas en los empresarios que participan en este proceso: las dificultades y potencialidades del trabajo en equipo, la capacidad de observar y planear proyectos para el futuro, la efectividad de una buena comunicación, la proactividad y persistencia, entre otras. Es por ello que no ha sido interés en el diseño y puesta en marcha de este espacio que se realice una alianza entre los estudiantes-profesores y los empresarios interesados; en otras palabras, no se busca

que los proyectos que se realicen solucionen una problemática definida en una empresa en particular. Hasta el momento se ha contado con la activa participación de 10 empresarios colombianos líderes en empresas de tecnología de información tales como Inalambria, Fiserv, HP, entre otros. En el último año han pasado por este espacio de formación cerca de 200 estudiantes de ingeniería (40 proyectos). Se ha promovido que los proyectos estén asociados con áreas temáticas como Management Information Systems, Electronic Commerce, High-performance computing, Grid Computing, Mobile Technologies and services en contextos como Computer assisted Training, Business to Business applications, Simulation, Decision Support Systems Collaborative virtual environment.

Los proyectos ganadores de los 3 concursos que se han realizado hasta ahora se encuentran actualmente desarrollando el prototipo propuesto y fortaleciendo técnicamente el proyecto. Para ello se están desarrollando actividades como (i) promover que los estudiantes tomen asignaturas pertinentes para generar una propuesta más robusta y ii) reuniones sistemáticas con la junta directiva de empresarios y profesores. El paso siguiente consiste en que estos mismos grupos se enfrenten a concursos nacionales e internacionales donde ellos mismos tengan la capacidad de observar que tan avanzados están en el proceso de innovar y trabajar efectivamente en grupo.

Para el Diseño del proyecto se tienen en cuenta 4 fases pilares.

3.1 Formulación del proyecto

En esta fase se pretende que los estudiantes (1) Identifiquen oportunidades de innovación; (2) Identifiquen potencialidades en el mercado nacional e internacional; (3) Identifiquen debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas en diferentes campos de la ciencia y tecnología.

3.2 Primera presentación del proyecto: afiche

En esta fase se busca que los estudiantes elaboren y presenten a través de un afiche el valor agregado de su idea. Esta presentación se realiza ante el equipo académico y el equipo empresarial. Los dos objetivos de

esta actividad son: (1) recibir retroalimentación general por parte de los asistentes y (2) ser “seleccionados” por los empresarios para recibir asesoría focalizada.

3.3 Segunda presentación del proyecto: afiche y prototipo

En esta fase se busca que los estudiantes hayan consolidado su idea y que demuestren que han trabajado en equipo para la elaboración de un prototipo. Esta presentación se realiza ante el equipo académico y el equipo empresarial. En este punto debe estar redefinido el proyecto en términos de descripción detallada, mercado objetivo, necesidad que buscan resolver, análisis de sostenibilidad técnica.

3.4 Tercera presentación del proyecto: muestra pública UniAndes

En esta fase se busca que los estudiantes se enfrenten a una presentación pública de su proyecto en una feria de ingeniería que se realiza en la Universidad de los Andes. A esta feria se invitan estudiantes, profesores, investigadores, empresarios, líderes del sector público, etc. En esta feria se realiza una evaluación de todos los proyectos por medio de una encuesta que se realiza al público asistente.

3.5 Cuarta presentación: concurso de selección

En esta fase se busca que los grupos de estudiantes que consideren que su proyecto a logrado alcanzar un nivel aceptable en términos de innovación, se presenten a un concurso de selección de los mejores trabajos. En esta selección participan los empresarios y el profesor coordinador del proyecto.

En este punto del proceso, el proyecto debe mostrar solidez en su formulación, su carácter innovador y su proyección al futuro, con avances claramente materializados en un prototipo. Se busca así identificar y fortalecer los grupos/proyectos que tengan condiciones para consolidarse. A los ganadores se les asigna un apoyo suplementario (en recursos financieros para poner en marcha el proyecto y asesoría) que como PREMIO le acordaría la organización del proyecto “Innovación con TI”.

4. Implementar – aprendizaje basado en problemas: el caso del proyecto de innovación comunitaria en Ingeniería Ambiental e Ingeniería Industrial- C Ramírez y J Plazas

Conscientes de que para generar impacto positivo real en las comunidades vulnerables tenemos que unir experiencias y esfuerzos de diferentes disciplinas en ingeniería, nos hemos reunido profesionales y estudiantes de tres áreas de la ingeniería para diagnosticar y proponer alternativas de solución viables en las zonas donde se presentan problemas relacionados con el componente social[1].

En ese sentido se integra el conocimiento y la experiencia de profesores y estudiantes de ingeniería para desarrollar activamente un proyecto de intervención en comunidades con falencias en la calidad del servicio de distribución de agua potable. Se conformó un grupo de 15 personas que desarrollan el proyecto de innovación en ingeniería en el contexto de seis fases de ingeniería: Observar, Concebir, Diseñar, Evaluar, Implementar y Operar.

En búsqueda de alentar el compromiso social de los próximos ingenieros, la Universidad de los Andes y la Corporación Universitaria el Minuto de Dios lideran un proyecto de trabajo comunitario en el ámbito de la ingeniería denominado PIC- Proyecto de Innovación Comunitaria. Inspirados en la organización internacional de Ingenieros sin Fronteras (EWB-ISF), un grupo de profesores y estudiantes de ingeniería industrial, civil y ambiental, buscan intervenir positivamente en comunidades vulnerables de Colombia donde no existen las mejores condiciones de agua potable. Para iniciar este proyecto de intervención social en ingeniería se ha identificado una zona a 150 km de Bogotá donde las condiciones de agua potable no son las más adecuadas. En esta zona se vienen desarrollando diagnósticos y pruebas técnicas que ha permitido al grupo diseñar una solución pertinente apoyada en tecnología existente relacionada con los filtros de arena lentos, para mejorar las condiciones de agua potable de la zona. A continuación se realizará una descripción de la metodología de trabajo y de los planes futuros en otras zonas vulnerables de Colombia.

El grupo de estudiantes de Proyecto Innovación Comunitaria - PIC de ingeniería de las dos universidades observan la vulnerabilidad de las

diferentes comunidades con problemas de agua potable en el país. En esta etapa realizan una aproximación a la problemática determinada mediante la indagación con los posibles afectados, intercambio de ideas con expertos e investigadores, exploración de conocimientos. Una vez realizada esta observación preliminar, los estudiantes conciben la formulación, contextualización y una posible solución a la realidad observada; esta concepción requiere de un fuerte énfasis el desarrollo de ejercicios de creatividad e innovación que permita que la tecnología propuesta es adecuada para la comunidad intervenida. Después de por lo menos una fase de evaluación se pasa a la fase de diseño preliminar del prototipo y una propuesta de implementación de la tecnología para mejorar las condiciones del agua de la comunidad. Posteriormente se intensifica la asesoría de los profesores y la profundización en el desarrollo de la problemática, en esa medida se realiza el diseño con mayor precisión del prototipo a implementar, se genera mayor precisión en la implementación y se pone a operar. Durante todo el proceso la eficiencia del prototipo de filtro es evaluada semanalmente por medio de pruebas de laboratorio.

Se busca que el prototipo desarrollado por los estudiantes sea el resultado de un análisis sistemático donde se hace a profundidad: i) el alcance del proyecto (definición de la situación problemática, propósito de la innovación, Claridad en la definición del Mercado Objetivo, definición del contexto de aplicación, especificaciones de los requerimientos del usuario; ii) Integración de conocimientos adquiridos en la carrera; iii) Trabajo en equipo; iv) Innovación.

El objetivo de la aplicación de esta metodología consiste en que el grupo que participa en PIC contribuya a la mejora en la calidad de agua de consumo diario en una zona rural del país por medio de soluciones tecnológicamente sostenibles para las comunidades. Con el aprendizaje de esta primera aplicación se reformulara y mejorará el proyecto para poder ser replicado en otras zonas del país con una alta problemática de agua potable.

Con esta información pretendemos realizar la propuesta de intervención mediante una estructura organizacional viable. Para ello se utilizará el Modelo de Sistema Viable [6]. Por medio de esta herramienta cibernética

se puede concebir el diseño de una estructura organizacional que permita replicar estos procesos de intervención en comunidades marginales. En el caso de estas comunidades, un sistema viable es concebido como un sistema de actividades humanas que producen resultados aceptables para el entorno en que opera. El Modelo consta de 5 subsistemas que no pueden ser aislados unos de otros[6] : Sistema 1 o *función de implementación*, Sistema 2 o *función de coordinación*, Sistema 3 o *sistema de control*, Sistema 4 o *función de inteligencia-planeación* y sistema 5 o *función de política*. Para definir el modelo se debe diseñar la estructura de la organización teniendo en cuenta: la definición de la identidad de la organización, el diseño de modelos estructurales para que la organización opere, *la identificación de los diferentes subsistemas* y la identificación de las *actividades de apoyo* (Espejo, 1999).

5. Operar - project based learning: multidisciplinary experience. Preparing young engineers to enter today's workforce using real world multidisciplinary design experiences- M Steiner

The engineering profession is at a crossroads. The world is becoming increasingly more complex and connected, the advance of science is accelerating, and socio-technical problems are abundant. Engineering has always been viewed as a problem-solving profession, but today's problems require us to take a fresh look at how we solve problems in the context of this new world. As educators we must ask ourselves whether we are truly meeting the needs of today's young people to become engineers. Are we showing students what it really means to be an engineer? Are we inspiring them with the potential benefits they offer to the world? Are our young engineers prepared to successfully integrate knowledge from diverse areas of the sciences, mathematics, arts and humanities, and social sciences, to solve the complex problems that the world is facing?

Engineering is an increasingly difficult profession to define. We broadly consider ourselves problem solvers. We are responsible for many of the technological marvels that people use everyday, yet many people do not understand or appreciate the engineering profession. In fact, even prospective engineering students are often at a loss when asked about what engineers do. Earlier, during their secondary education,

they may have been enthused by what technology has to offer, but upon entering a university to study and ultimately learn how to practice engineering they are often unsure of what it means to be an engineer. Engineering curricula at many universities place a heavy emphasis on the introduction of a “fundamental body of knowledge” during the first years of study. This has not changed in decades. Unfortunately, by the time students are ready to graduate, many are not yet ready to actually practice engineering. In the past, the assumption was that the analytical skills practiced in solving well-defined physics and math problems would provide a basis for application at their place of employment where they are charged with solving open-ended and often ill-defined problems.

Organizations today that employ engineers are faced with complex business issues that require quick response from technical professionals who understand and value multidisciplinary perspectives. The learning curve for entry-level engineers is getting steeper. Engineering graduates are being asked to “hit the ground running” and to be adaptive to an ever-changing world. Not only must our young engineers be technically competent, but they must also have teamwork and communication skills that allow them to effectively work with others who may not have a technical background. They must be able to effectively integrate knowledge and information from diverse technical and non-technical areas. They must exhibit leadership skills with confidence, and command respect from other working professionals. They must have the sensitivity, integrity, and ethical understanding to appropriately put the work they do and the solutions they come up with into a broader social context.

Sponsored real world multidisciplinary design projects provide an opportunity for addressing many of the issues faced with preparing our young engineers for the 21st century. Potential projects encompass important contemporary issues such as technology innovation and entrepreneurship, manufacturing productivity and quality, environmental conservation and alternative energy, and aids for people who are physically and/or mentally challenged. Sponsors identify projects that are important to them, but not on their critical path. Some of the best projects involve problems that may be more speculative and

risky from a business standpoint and for which the sponsor may have tried and failed to find a solution in the past. Problems that benefit from fresh, creative, “out-of-the-box” thinking are a good fit. Meanwhile, as part of the learning experience, student teams are expected to properly scope the level of effort and seriously consider the resources and time they have available to successfully accomplish a more focused set of team proposed project objectives. In addition to defining an important problem, sponsors provide a significant grant as well as their direct participation with the students, faculty, and staff who work to provide design solutions.

The complicated challenge for instructors and sponsors becomes calibrating the high expectations and idealistic aspirations of students with a realistic set of objectives and plans. A multidisciplinary team of faculty works together with sponsor mentors to help students develop a clear understanding of design objectives, constraints, and risks. Faculty members who work with students on sponsored projects typically have prior experience actually working as engineers. As a first pre-course assignment students submit an introductory memo and resume expressing their interest in working on a project along with their qualifications. They are typically quite anxious to have a real world engineering design experience to help them prepare for the workforce. Many students will favor projects that have social impacts or deal with familiar subject areas for which they have had some prior exposure. They will naturally prefer design problems with few constraints and would rather approach design from a “clean sheet” perspective. It may be difficult to motivate students to work on projects that involve the application of existing technology to complex systems for which they may have had little or no prior background or exposure. And, it can be difficult to keep students motivated on projects for which the best approach to design is to use off-the-shelf hardware and time tested methods.

As a multidisciplinary team, faculty members will offer differing perspectives and approaches on how to solve problems and advise students. Each of us has different teaching styles and experience, and there is often a fine line between “telling-teaching” and allowing time for students to “discover-fail-succeed”. Similar to the famous story

about the blind men and the elephant, each faculty member brings different perspectives and approaches for helping students solve problems. This sometimes creates some consternation and/or amusement on the part of students seeking help, so we must explain to them that “this is real world”, and they can expect such differing viewpoints when seeking advice from consultants, experts, and stakeholders about problems they will face in the real world. In fact, such diversified perspectives, while sometimes frustrating for students and faculty alike, is an integral part of teaching students about the importance of carefully defining requirements and broadly considering alternative solution paths when solving complex problems.

During the early stages of a project, students are instructed to broadly and thoroughly explore the background to a problem, perform competitive benchmarks, and research prior art. Students are encouraged to make frequent and direct contact with sponsor mentors and to develop a productive working relationship. Ultimately, a major part of their grade will depend upon their working relationship with their sponsor mentor(s). Project success often appears to be directly correlated with this vital relationship. To cultivate teamwork, students partake in interactive group exercises that teach about customer requirements definition, engineering specifications, project planning, concept generation and selection, risk assessment, problem decomposition, engineering analysis, design for manufacture, prototype development, experimental methods, and testing. Faculty members take on multiple roles of coach, consultant, referee, advisor, manager, and ultimate assessor. The use of traditional lecture is minimal. Impromptu and informal presentations by or to students are a more frequent occurrence.

The multidisciplinary aspects of a project present themselves as a natural occurrence of the design process. Most, if not all, real design projects are inherently multidisciplinary. Working with sponsors, faculty will configure teams based upon the expected disciplinary content in a project. Faculty are interested in having students exercise and tie together or integrate knowledge from earlier coursework in their particular disciplinary specialty as well as from general engineering or the basic sciences and mathematics. It is not our interest to make electrical

engineers do mechanical engineering, or industrial engineers become materials engineers, etc. Instead, each student is expected to participate in a design project that is suitable and appropriate for his or her background and area of interest. Meanwhile, we are also interested in exposing students to different thinking patterns and making them more receptive to alternative problem solving approaches. We want each student to actively participate, so each student is expected to develop an appreciation and in-depth awareness of all the critical technical aspects of their project and be able to provide impromptu project status reports at any time.

While at the beginning stages of a project all team members will work to develop a common set of team objectives and plans, after a project moves into the concept development stage, role definition becomes more clearly defined. For example, electrical engineers will work on control circuits or signal processing, mechanical engineers will work on machine design, heat transfer, or fluids dynamics, industrial engineers will work on manufacturing systems integration or workspace planning, and materials engineers will provide consultation on material properties and selection, or work on the application and/or processing of new advanced materials. It is best to allow teams to be “self-directed” and to allow leadership and team organization to emerge naturally. This approach instills project ownership and initiative on the part of the students. For a well-orchestrated team, the dynamic interplay between students becomes an exciting and gratifying performance for faculty and sponsor to observe. For dysfunctional teams, faculty and sponsor intervention, when properly administered in a timely fashion, can help save a team, if the students are willing to listen and accept help.

Many factors contribute to team success. These include many of the same “best practices” that are often cited for high performing product and process development teams in business and industry. Ultimate assessment is culminated in the form of a final team oral presentation, project demonstration, and written technical report that is delivered to the sponsor. The project demonstration is crucial to making it real! Concepts and analytical evaluations alone are not enough. Teams are required to show a proof of concept in the form of a physical model, working prototype, or testable artifact. After participating on sponsored

projects, students will inevitably express a new awareness of the complexity associated with a real-world problem. Depending upon project dynamics, different students will learn different things on different projects. Learning points often expressed and documented by students in their final semester memos include:

1. Improved teamwork, leadership, and communication skills
2. Understanding of how the design process really works
3. Development of an appreciation for the importance of “attention to detail”
4. Understanding of the role of test and measurement in design
5. Application of analytical knowledge and skills from prior coursework
6. Understanding about a new and different technical or non-technical area
7. Exposure to the business aspects of engineering

Multidisciplinary design experiences offer a customized form of learning for students. Students are exposed to and develop a new awareness for a broad array of subject areas. At the same time, they also become deeply immersed in the application of specific knowledge content. Since there is little formally delivered content, students are forced to engage in a more active style of learning. The experience serves to exercise phases of the learning process often missed in more traditional courses and thus serves to cement prior learning. It is clear that challenging real-world design experiences help students integrate knowledge. There is a growing consensus that such experiences should be used throughout the engineering curriculum starting in the first year.

6. Conclusiones generales

Con este capítulo esperamos haber dado a conocer 4 experiencias académicas en ingeniería mediante las cuales, en diferentes momentos de la carrera, los estudiantes desarrollan proyectos. Por medio de la concepción y diseño de estos proyectos hemos logrado definir espacios de aprendizaje donde los estudiantes desarrollen competencias de trabajo en equipo, comunicación oral y escrita, refuercen sus áreas temáticas y aprendan el valor que tiene el hecho de trabajar no solo con estudiantes y profesores, sino con empresarios-ingenieros.

Con estos procesos de aprendizaje hemos buscado además que, mediante el diseño del proyecto, los estudiantes fortalezcan su actitud de emprendedores y de innovadores. Finalmente se espera que los proyectos sean llevados hasta una fase aceptable de implementación; pero sin duda lo más importante es que logremos desarrollar una actitud innovadora que les permita estar en constante disposición a aprender a aprender, a aprender haciendo y a aprender de otros.

7. Referencias

- ABET, "Criteria for accrediting engineering programs", <http://www.abet.org>, Retrieve on February 15 (2008).
- Aldana, E. Reyes, A. (2004). Disolver problemas: Criterio para la formular proyectos sociales.
- Beer, Stafford (1985). Diagnosing the system for organizations.
- CDIO. <http://cdio.org>. Retrieve on February 15 (2008).
- Falcao, H. Fontes, J (1999). ¿En quién se pone el foco? Identificando "stakeholders" para la formulación de la misión organizacional. Revista del CLAD Reforma y Democracia, 15.
- Hernández, José Tiberio; Ramírez, María Catalina. Innovation and Teamwork Training in Undergraduate Engineering Education. The fair and the contest: milestones of innovation. Octavo Workshop ALE Active Learning Engineering 9-11 de Junio del 2008- Bogotá Colombia.
- Ramírez, María Catalina; Jiménez, Nestor; Hernández, José Tiberio. Teamwork and innovation competencies: A first semester engineering students hands-on course. International Conference on Engineering Education – ICEE 2007- Coimbra Portugal.
- Ramírez Catalina; Hernández, José Tiberio;. Teamwork and innovation competences: a first-semester engineering students' hands-on course. SEFI 2008 2-5 Julio – Aalborg-Dinamarca.
- Ramírez, María Catalina; Jiménez, Nestor; Hernández, José Tiberio. ExpoAndes: la experiencia de desarrollo de competencias de trabajo en equipo para generar aprendizaje en primer semestre de ingeniería. ALAS 2007 Julio- Ibagué - Colombia.
- S. Gunnarson "Outlook". In: CRAWLEY, Edward, et al, Rethinking Engineering Education, Springer US, 241-256, 2007.

