



Proyecto de innovación educativa ICAI - GeoFotón

Palabras clave: aprendizaje basado en proyectos, competición, resistencia de materiales, Espacio Europeo Educación Superior (EEES).

Key words: project-based-learning, competition, material mechanics, European Higher Education Area (EHEA).



Jesús R. Jiménez Octavio

Ingeniero Industrial del ICAI, Doctor por la Universidad Pontificia Comillas en 2009, profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica del ICAI e investigador del Instituto de Investigación Tecnológica.



Pablo Rosa Casado

Ingeniero Industrial del ICAI, y socio fundador, director de las áreas de Producción y Comercial y responsable de diseño mecánico de GeoFotón.

Resumen:

Existen casi tantas formas de abordar la formación de un ingeniero como profesores, pero no todas las posibilidades llegan a conmovir la vocación del alumno. El hecho de que uno de éstos pueda manifestar que una experiencia educativa no tiene precio, ya merece el esfuerzo de confeccionar el proyecto de innovación docente que se presenta en este artículo.

En colaboración con la empresa GeoFotón, en el marco de la Elasticidad y Resistencia de Materiales del ICAI, se ha llevado a cabo el "I Concurso de Diseño Mecánico" en el curso 2011-2012. Un proyecto competitivo por equipos en el cual los alumnos han desarrollado competencias académicas y profesionales asistidos por universidad y empresa, una suerte de sinergia que se antoja como el presente universitario más prometedor para los años venideros.

Abstract:

There are as many strategies to cover the training of an engineer as teachers, but not all the possibilities come to shake the student's vocation. That one of these students can define a priceless educational experience well worth the effort to make the teaching innovation project presented in this article.

In collaboration with the company GeoFotón, ICAI has carried out the 'I Mechanical Design Competition' during the academic year 2011-2012 as part of the learning in Material Mechanics. Along this project team competition, students have developed academic and professional skills assisted by the university and the company, a kind of synergy that seems like the most promising university present for years to come.

Introducción

Desde hace apenas unas décadas, los principios del estructuralismo pedagógico han marcado las pautas del enfoque actual en el aprendizaje a todos los niveles de la docencia reglada. Así, han proliferado en la enseñanza secundaria y por supuesto también en la universitaria, a pesar de su mayor rigidez, propuestas educativas originales y efectivas orientadas al papel activo y protagonista de los alumnos en su proceso de aprendizaje.

Sin embargo y en honor a la tradición del ICAI, no puede decirse que esta renovación docente impulsada en los últimos años por las directrices del Espacio Europeo de Educación Superior haya supuesto un cambio sustancial en esta escuela centenaria. Más aun, puede decirse que esta tendencia ha venido a reforzar la educación tradicional del ICAI, cuya marca ha sido la enseñanza práctica con rigor en la lección magistral, pero enfocada a la aplicación práctica y reforzada en los laboratorios y talleres, aunque sobre esto muchos otros, más veteranos, podrían escribir largo y tendido.

Quizá por esta forma de entender la ingeniería aprendida en el ICAI y también su enseñanza, hemos emprendido este proyecto docente. Siendo compañeros de promoción y, sobre todo, amigos y fruto de un espíritu emprendedor compartido, hemos decidido colaborar en la enseñanza de los estudiantes de la especialidad mecánica de Ingeniería Industrial, complementando los enfoques de la escuela y la industria en una rica sinergia que ha despertado una enorme satisfacción en los estudiantes y que ha impulsado la redacción de este artículo.

El proyecto educativo

Las vías del aprendizaje son numerosas y tanto su propio estudio como la experimentación de nuevas alternativas han sido generosos en las últimas décadas. No obstante, una clasificación natural y clarificadora de éstas es la que se fundamenta en el rol que desempeña el alumno en su propio aprendizaje. Los métodos

basados en lección magistral y asimilación práctica guiada disponen al alumno al trabajo de la materia de un modo eminentemente receptivo, siguiendo el ritmo marcado por nuevas lecciones y nuevos ejercicios. Sin embargo, los métodos basados en proyectos ([1] y [2]), máxime cuando éstos comportan aspectos creativos, refuerzan el papel activo del alumno y su autonomía en la motivación por aprender las competencias en juego. La opción por unos u otros métodos puede no ser posible para cada materia y grupo de alumnos, siendo tan difícil el acierto pedagógico como imprescindible, en dicha elección, considerar que el alumno en su proceso de aprendizaje ha de ser siempre el centro de todo proyecto educativo.

Así, las preguntas que como docentes hemos de plantearnos en una escuela de referencia como es el ICAI han de ir encaminadas a definir qué tipo de persona estamos educando además de, en lo concerniente al ámbito estrictamente académico, qué tipo de ingeniero queremos para el mundo laboral y, por ende, qué conocimientos y habilidades debe adquirir en su proceso formativo. Por tanto, la asimilación de los contenidos docentes

de una determinada materia, su aplicación en el ámbito industrial e incluso el despertar de la vocación ingenieril son factores determinantes para el éxito educativo. De esta forma son los contenidos teórico-prácticos los que han de orbitar en torno al alumno y no al revés, actualizando y modificando en el marco docente parte de los primeros, así como la forma de transmitirlos atendiendo a su naturaleza contingente.

Desde esta perspectiva y con la pretensión de aplicar en la enseñanza tradicional de elasticidad y resistencia de materiales los métodos de aprendizaje basados en proyectos, se plantea por vez primera en el presente curso 2011-2012 para los alumnos de 4º de Ingeniería Industrial de especialidad mecánica, un proyecto por equipos en estrecha colaboración con una empresa. Concretamente en el marco de la asignatura de "Ampliación de Elasticidad y Resistencia de Materiales" y adjudicándole a dicho proyecto un 40% de la evaluación del curso, esta acción se presentó a los alumnos en la primera semana del semestre (Foto 1).

La planificación de la asignatura se vertebró en torno al propio proyecto, adaptando en la medida de lo posible las sesiones teóricas y prácticas

Foto 1. Presentación inicial de Pablo Rosa sobre el proyecto competitivo



Foto 2. Presentación final de trabajos en el 'I Concurso de Diseño Mecánico'



–tanto de cálculo numérico por elementos finitos como experimentales en el laboratorio de extensometría– a las necesidades y requerimientos exigidos en el desarrollo del proyecto. De esta forma, durante todo el semestre la formación del aula debía ser el complemento necesario a la formación que cada equipo de trabajo demandaba, así como una ventana abierta a nuevas técnicas y posibilidades de cálculo a su disposición.

El proyecto se articuló como una competición entre 6 equipos compuestos por entre 12 y 15 estudiantes, los cuales debían organizarse y planificar el trabajo para abordar los objetivos propuestos. El seguimiento de

cada grupo, además de a través de los hitos programados, debía ser continuo, estrecho pero flexible y compartido por el profesor y el empresario, lo cual debía reportar al alumno las perspectivas que han de coexistir en el ingeniero. Formalmente, entre los hitos del proyecto se distinguían unos iniciales y orientativos y unos finales y con calificación, combinando en todos ellos una parte pública, que pudiera servir al resto de estudiantes de aprendizaje, y otra parte privada que sirviera de tutoría académica-empresarial, pero preservando la confidencialidad de las propuestas de cada equipo en la competición. Es preciso destacar, como un evento de especial

relevancia, la presentación final de los trabajos en el Aula Pérez del Pulgar del ICAI como acto de clausura de la competición (Foto 2), para proclamar tras una difícil deliberación el equipo ganador del "I Concurso de Diseño Mecánico" y proceder a la entrega de premios por la empresa GeoFotón.

Así, las calificaciones del proyecto para cada alumno debían ser también mixtas, combinando lo derivado de cada uno de los hitos y especialmente la valoración del informe último y la presentación pública final. Esta evaluación se llevaría a cabo no sólo por parte del profesor de la asignatura sino también por parte de un tribunal académico,

Tabla 1. Planificación de hitos de seguimiento y evaluación del proyecto competitivo

Hito	Semana	Carácter	Evalúa	Calificación	Concurso
Presentación organización	3	Público	Profesor	0 %	
Presentación seguimiento	7	Privado	Profesor	0 %	
			Empresa	0 %	
Presentación preliminar	14	Privado	Profesor	25 %	
Informe final	15	Público	Equipos	10 %	
Presentación final	16	Público	Tribunal ICAI	15 %	50 %
			Tribunal GeoFotón	15 %	50 %
Juicio global			Profesor	15 %	
			Alumno	20 %	

por un tribunal de empresa, por la valoración cruzada de los distintos equipos y por una calificación anónima de cada alumno a sus propios compañeros de equipo. A su vez, los tribunales mencionados fueron los encargados de dictaminar, además, el equipo ganador de la competición al concluir las presentaciones finales de los trabajos. Realmente la planificación de los hitos del proyecto, así como la evaluación del mismo, ha de ser suficientemente trenzada para favorecer el desarrollo y la evaluación según distintos enfoques durante el periodo de trabajo, tal como puede apreciarse en la Tabla 1.

A las competencias meramente técnicas y propias de la asignatura en la que se enmarca el proyecto abordado, los alumnos tuvieron que desarrollar a la vista de lo ya expuesto: capacidad de organización y trabajo en equipo, creatividad e ingenio en pos de la originalidad de una propuesta en la competición, habilidades de comunicación oral, escrita e incluso no verbal en la sesión final del concurso para transmitir a un auditorio lo esencial del trabajo propio, capacidad de crítica y autocrítica, etc.

Dimensión técnica del proyecto

Los objetivos iniciales del proyecto y punto de partida para los estudiantes eran dos, diferentes en forma y fondo pero complementarios: el diseño libre de una marquesina cuya cubierta pudiera albergar paneles solares y el rediseño del estacionamiento de bicicletas eléctricas Bike-In, propiedad de GeoFotón.

El objeto del proyecto competitivo era el diseño óptimo, desde el punto de vista del coste teórico de fabricación, de dos productos estructurales de la empresa GeoFotón destinados al estacionamiento y alimentación autónoma de bicicletas eléctricas.

El primer elemento, de nombre registrado Bike-In, (Foto 3) consta de una estructura sencilla compuesta de una base de chapa conformada en acero anclada al suelo mediante seis tornillos; dos columnas prismáticas de acero unidas a la base por su parte inferior mediante cuatro tornillos; y un dispositivo electro-mecánico integrado en la parte superior de ambas columnas que, si bien no sería objeto de estudio, habría de ser respetado en dimensiones y localización. Para el rediseño de este elemento se dejó un modelo

CAD tridimensional a disposición de los alumnos, así como un prototipo real en el Laboratorio de Materiales para los ensayos que cada equipo considerase oportunos.

El segundo elemento era una marquesina para albergar un número razonable de estacionamientos Bike-In, entre 6 y 12, proveyéndoles además de alimentación eléctrica en caso de que las bicicletas estacionadas precisaran de recarga mediante la instalación de unas placas solares en la cubierta de la propia marquesina. En la guía del proyecto se les proporcionó a los alumnos una marquesina tipo sin otra pretensión que la de ofrecer una idea inicial de referencia, siendo completamente libre el diseño estructural de este elemento.

Los objetivos del proyecto, tanto en lo referente al Bike-In como a la marquesina, están íntimamente relacionados con el diseño óptimo de estructuras para soportar determinados estados de carga crítica, empleando los mínimos recursos o al menos los de menor coste. Así, se habría de atender al dimensionamiento, la configuración y la topología de ambos elementos como aquellos estadios del proceso de optimización factibles.

Para los elementos estructurales descritos habría de proponerse un diseño mejorado justificando las decisiones adoptadas mediante el cálculo teórico de elementos sencillos, el análisis experimental, si procediera, del diseño de partida, y el modelado numérico mediante el programa de elementos finitos ANSYS. No obstante, para la fase inicial de diseño se podrían emplear otras herramientas de modelado 3D de alto nivel si se considerase necesario.

Algunos objetivos del diseño óptimo, de forma específica, podrían ser: el dimensionamiento del espesor de los elementos estructurales, la forma y geometría de éstos, la elección de los materiales empleados, el dimensionamiento de las uniones, la disposición de los tornillos en dichas uniones, etc.

En cualquier caso, dado que la creatividad y la originalidad de las propuestas serían criterios valorables, la variabilidad de posibles objetivos podría ser tan vasta que abordarlos todos en

Foto 3. Exposición del Bike-In en el "I Concurso de Diseño Mecánico"



Foto 4. Entrega de suscripciones a la AJE Madrid



profundidad no resultaría factible. Por tanto, se valoraría especialmente que las soluciones propuestas fuesen realistas, es decir, originales pero analizadas desde los marcos teórico-clásico, numérico-computacional y experimental con la escrupulosidad que a un ingeniero industrial se le supone, dejando aquellos objetivos trabajados más superficialmente o no abordados como indicaciones para futuros desarrollos del producto.

Dimensión empresarial del proyecto

En ocasiones parece confundirse la enseñanza aplicada y más cercana al mundo laboral con una minusvaloración de los contenidos teóricos y fundamentales de las materias educativas. Realmente en la industria esos contenidos son necesarios y muchos de ellos imprescindibles, pero igualmente valiosa es la capacidad del ingeniero para discernir cuándo se han de aplicar unos u otros métodos para trabajar en equipo, para defender sus propuestas, etc.

El joven ingeniero aglutina, después de una formación intensiva de varios años, una gran cantidad de conocimientos que en muchas ocasiones percibe como inconexos. Es en los primeros años de su carrera profesional cuando comienza a ensamblarlos, lo cual es fruto de la necesidad de buscar soluciones

a problemas reales empleando los recursos que atesora. Así, no es sino la dimensión creativa del pensamiento la que en su propio ejercicio va tejiendo la urdimbre del ingeniero en el sentido más etimológico.

En este proyecto competitivo, el papel de GeoFotón es precisamente ayudar a los diferentes equipos a descender a la realidad del ámbito empresarial. Quizá por la mayor sensibilidad a ciertos aspectos de quien en el día a día está en la industria, o quizá porque las palabras de quien está poniendo en el mercado el mismo producto cobran indudablemente un mayor peso para los alumnos, la conexión con éstos se antoja indispensable por su complementariedad a la formación académica.

El nivel de acabado de una idea, la ponderación de diferentes alternativas, la visión global de un producto o la presentación profesional de una propuesta son los rasgos del ingeniero que más difícilmente asimila con el estudio pero que, con un proyecto competitivo, puede integrar mejor en su aprendizaje. Además, otros aspectos esenciales como la ética profesional y el trabajo colaborativo y multidisciplinar son lo que una empresa como GeoFotón puede poner en valor entre los alumnos por su trayectoria. Concretamente, el bagaje de esta compañía en particular por su espíritu

empresarial; su confianza en un mercado atractivo, nuevo y limpio como el de la movilidad sostenible con bicicletas eléctricas y también su vocación de pequeña empresa para grandes retos son atributos por los que hasta los premios del "I Concurso de Diseño Mecánico" estuvieron en consonancia con su perfil. De hecho, GeoFotón entregó como premio a todos y cada uno de los alumnos una suscripción de 3 meses a la Asociación de Jóvenes Emprendedores de Madrid (Foto 4) y un recorrido en bicicleta eléctrica por el parque del Retiro de Madrid.

En definitiva, desde el punto de vista empresarial, son estas iniciativas docentes coadyuvantes de la formación teórica las que ponen en valor ciertos planes formativos. No necesariamente son las prácticas en empresas o la formación puramente práctica lo que adapta mejor al estudiante al mundo laboral, especialmente si esto deja de ser un refuerzo o un complemento a la formación básica fundamental para sustituirla.

La percepción del protagonista: el alumno

Indudablemente, además de las inevitables calificaciones académicas (antes de publicar las cuales se redactó el presente artículo), la calidad del aprendizaje y su aplicabilidad en el mundo laboral son factores determinantes en la percepción del alumno. Asimismo, el hecho particular de que los alumnos de este curso 2011-2012 sean, además de protagonistas, pioneros en esta experiencia confiere un valor añadido a su punto de vista de cara al futuro (Foto 5).

Pablo Puerta, coordinador del grupo finalista D2, expresa con estas palabras su percepción:

"He de decir que es la primera vez que afrontábamos una experiencia de estas características. Sinceramente, la incertidumbre nos gobernaba al comienzo del curso. A día de hoy, sólo podemos sacar conclusiones positivas de todo lo que hemos aprendido. Hemos afrontado como ingenieros una situación real, la optimización y el desarrollo de un producto que compite por ser el mejor en el mercado. Como vivencia, me ha

parecido interesante ver los problemas que se encuentra un emprendedor como Pablo en su día a día, situaciones a las que tendremos que hacer frente en no mucho tiempo. Además de todos los conocimientos técnicos de la asignatura que hemos consolidado, creo que uno de los puntos más positivos que todos hemos sacado es el trabajo en equipo. La organización de grupos de personas, el saberse responsable frente a tus compañeros de una serie de competencias concretas, me parece un complemento indispensable en nuestra formación como ingenieros.

En mi opinión, este tipo de oportunidades completan esa formación integral que recibimos en el ICAI y marcan la diferencia frente a titulaciones de otras universidades. Por esta razón, creo que de cara al futuro se debe optar por este tipo de iniciativas de colaboración de alumnos y empresa, que hacen posible una interacción muy positiva y enriquecedora para ambos.

Somos conscientes de la dificultad de sacar adelante un proyecto de aprendizaje de esta índole. Por esta razón, quiero agradecer en nombre de mi equipo a todas las personas que han hecho posible este trabajo, en especial, a Pablo, por su dedicación, su tiempo, sus consejos y, en definitiva, por habernos otorgado la posibilidad de enfrentarnos con un problema real, sobre un producto que compite en el mercado real”.

En esta misma línea se manifiesta también el equipo ganador D3 (ver Foto 6) en palabras de José Daniel Escobar:

“Se nos habló al llegar a 4º de que la asignatura de “Ampliación de Elasticidad y Resistencia de Materiales” era una de las menos complicadas del itinerario y la sorpresa llegó prácticamente el primer día, cuando se nos presentaron unas normas de evaluación radicalmente distintas a las que estábamos acostumbrados. La teoría, base de la asignatura y continuación de Resistencia de Materiales, contaría menos de la mitad de la nota total del curso. La parte que más ponderaba sería práctica, aunando laboratorio y un proyecto.

Un proyecto, pensamos que sería simplemente un “trabajo” como los que ya estábamos acostumbrados hasta entonces, pero más largo. Estábamos tremendamente equivocados.

Hasta entonces, todos los trabajos no individuales habían sido trabajos en grupo: 3-4 personas nos juntábamos después del laboratorio y realizábamos un informe del mismo. Nadie era ‘vital’ o tenía responsabilidades concretas, sencillamente avanzábamos pesadamente sobre las preguntas de los protocolos aportando cada uno sus ideas.

Cuando se nos asignó el grupo de trabajo y empezamos a pensar el “cómo”, nos dimos cuenta de que algo era distinto.

Por un lado estaba el propio objetivo del proyecto, mejorar un diseño funcional de una empresa real de ingeniería. Si queríamos ganar o al menos tener un papel decente en la competición tendríamos que ofrecer un producto serio, estudiado y bien documentado. Era un trabajo ingente comparado con nuestras anteriores tareas. Para poder realizarlo bien necesitábamos además una base teórica importante, así como dominio en el uso de software de MEF.

Por otra parte, nos enfrentamos al hecho de tener que coordinar un grupo de 12 personas, muy superior en número a cualquier otro grupo de trabajo en el que jamás hubiésemos participado. El reparto de tareas, la comunicación entre miembros, la búsqueda de la eficiencia en el trabajo entre todos... eran aspectos totalmente desconocidos para nosotros.

El primer obstáculo, los conocimientos técnicos, fue en grandísima medida suplido gracias a las sesiones de laboratorio, que nos permitieron ver plasmados en la realidad los modelos matemáticos, en ocasiones extremadamente complejos y poco intuitivos, que veíamos en la teoría de clase. Por otra parte, aprendimos el uso de un software de cálculo por MEF tan potente y versátil como ANSYS en sesiones quizá breves pero necesarias para poder ejecutar cálculos en piezas complejas.

Foto 5. Intervenciones de los alumnos en el “I Concurso de Diseño Mecánico”



Foto 6. Equipo ganador del “I Concurso de Diseño Mecánico”



Una vez íbamos adquiriendo los conocimientos y avanzábamos en el proyecto, nos topamos con el obstáculo más grande, la gestión del grupo humano como equipo de trabajo. Organizar a personas que no están acostumbradas a ser organizadas en tareas específicas para un grupo, organizados a su vez por aquéllos que no están acostumbrados a gestionar, resultó una experiencia muy complicada pero tremendamente útil. Personalmente, creo que lo que más nos ha aportado este proyecto es que ahora puedo decir sin temor a equivocarme que saldré de la universidad habiendo hecho un proyecto en equipo, cosa que muchísimos ingenieros de anteriores promociones u otras universidades no han tenido la suerte de hacer.

Aunque hayan sido sólo 4 meses, muchas de las situaciones organizativas, problemas de trato, gestión, etc. que nos han acontecido, no volverán a ocurrir en un futuro laboral. Esta experiencia para mí, no tiene precio.

Al margen de lo aprendido en la asignatura, que es mucho dada la concentración de temario añadido al enorme trabajo que supone el proyecto, lo que hemos adquirido es muchísimo más importante, y es el contacto con una realidad que dentro de muy poco nos será absolutamente cercana: cumplir objetivos en un margen dado, de la manera más eficiente posible, contando y muchas veces gestionando un grupo humano donde cada individuo posee cualidades y defectos únicos que hay que saber emplear.

Esta capacidad de gestión y resolución de problemas marca profundamente nuestra profesión como ingenieros, y es la gran aportación que ha dado la asignatura y, en concreto, el proyecto a nuestra formación”.

Conclusiones

Cuando la satisfacción de todos los integrantes de un proyecto educativo es lo más reseñable a la finalización del mismo, entonces su carácter innovador adquiere tintes de consolidación. El esfuerzo, la dedicación y los excelentes resultados por parte de los alumnos, y la realización como docentes de los coordinadores, son realmente, tal como se desprende de las líneas de este artículo, los valores que merecen ser destacados con mayor énfasis tras esta experiencia.

La inmersión del alumno en el proceso de diseño y cálculo de un producto real y la competitividad inherente al planteamiento del proyecto han sido aspectos muy valorados por los alumnos por la motivación que han supuesto. No obstante, es esa motivación la que pedagógicamente ha demostrado a la postre ser clave para haber alcanzado y superado las expectativas docentes planteadas inicialmente.

Finalmente merece la pena mencionar el nivel de competitividad creado entre los alumnos por el carácter honesto y beneficioso de éste. Si bien todos los equipos salvaguardaron la confidencialidad de sus diseños, dejando

alguna sorpresa para la presentación final, ha existido una relación colaborativa muy favorable para el aprendizaje entre los miembros de los distintos equipos que estaban implicados en cálculos similares.

Agradecimientos

Como coordinadores de este proyecto educativo las acciones a emprender han sido muchas por su carácter innovador: Así que en la toma de decisiones y puesta en marcha de éstas hemos de agradecer a Fernando Pérez, Juan Carlos del Real, Alberto Carnicero y Cristina Sánchez su trabajo y opiniones, siempre valiosas, y a Álvaro Cuerva y Óscar López sus consejos y experiencias previas en estas prácticas docentes.

Asimismo, parte esencial del proyecto ha sido disponer en los laboratorios del ICAI del puesto de estacionamiento y recarga para bicicletas eléctricas Bike-In. Por lo cual hay que agradecer a los socios de Geofotón el haber cedido durante estos meses algo tan valioso para la empresa como su producto de mayor impacto actualmente en el mercado.

Sin embargo, nuestro mayor agradecimiento ha de ser, además de para José Daniel Escobar y Pablo Puerta por su motivador testimonio, para todos los alumnos que han participado en esta experiencia, por su confianza y por su paciencia, especialmente en las primeras semanas del curso cuando sentían que la evaluación de su trabajo e incluso la coordinación del mismo les eran tan inciertas. Gracias por haber respaldado con un trabajo tan brillante y un diálogo tan fructífero a lo largo de todo el curso nuestras ilusiones; no dudéis que de esta experiencia hemos aprendido tanto como vosotros. ■

Bibliografía

- [1] Knoll, M. (1997). The project method: its origin and international development. *Journal of Industrial Teacher Education* 34 (3), 59-80.
- [2] Boss, S., & Krauss, J. (2007). Reinventing project-based learning: Your field guide to real-world projects in the digital age. Eugene, OR: International Society for Technology in Education.