

Relevant Features in Steel Structures Teaching in Building Construction by Project-Based Learning

Delgado, Antonio¹; de Justo, Enrique²; Molina, Marta³; Rodríguez-Mayorga, Esperanza⁴

ABSTRACT

New approaches to teaching are moving towards a learning ever more active, practical and closer to professional sector, and have converged in a competence-based education proposed by the European higher education area. Moreover, advances in computer calculations and its applications for structural analysis have brought a revolution in the professional area of structural engineering.

Considering these circumstances, we have designed and implemented an educational program for teaching steel structures based on a Project-based learning (PBL) method.

In this paper (i) we summarize the main features of the educational program, its implementation, results and evaluation; (ii) we analyze the performance of PBL in our context and compare some aspects of traditional teaching and our PBL; and finally (iii) we identify the most important characteristics required by teaching steel structures through the project-based learning method.

Keywords: Project-based learning, Structural engineering education, Architectural engineering, Steel structures.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Estado de la Docencia de Estructuras

En el campo profesional la aparición del ordenador y el desarrollo de aplicaciones informáticas de análisis estructural han producido un cambio drástico en el modo de proyectar estructuras. Sin embargo en la docencia de estructuras el uso del ordenador se ha ido imponiendo muy lentamente durante los últimos 30 años. Brohn [1] afirmaba en 1992: “*Creo que el nuevo paradigma es el creciente y definitivo dominio del uso del ordenador en todas las fases del análisis y el diseño, lo cual demandará un enfoque radicalmente nuevo en la enseñanza de Estructuras*”. Dos décadas después Owens [2] sigue abogando por el cambio y reclama una reducción sustancial de la atención dedicada a

¹ Departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno. Universidad de Sevilla (ESPAÑA). delgadotru@us.es

² Departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno. Universidad de Sevilla (ESPAÑA). ejem@us.es

³ Departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno. Universidad de Sevilla (ESPAÑA). martamolina@us.es (Corresponding author)

⁴ Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Universidad de Sevilla (ESPAÑA). espe@us.es

los métodos manuales y un énfasis en la aplicación práctica y en la verificación de los resultados del análisis por ordenador.

El segundo motor del cambio es el nuevo enfoque de docencia por competencias, germinado en los años noventa, y contemplado en los nuevos planes de estudio en el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES).

Uniendo ambos motivos de cambio, algunos investigadores (e.g. May [3]) proponen que el aprendizaje debe centrarse en las principales tareas que realizarán los graduados en la práctica profesional: diseñar la estructura, modelar la estructura para su análisis, calcular la estructura, verificar los resultados del cálculo, interpretar los resultados y mejorar el diseño a partir de los resultados obtenidos.

Tradicionalmente los mayores esfuerzos se han dedicado a calcular la estructura, que es, precisamente, lo que ahora hace el ordenador. Actualmente el aprendizaje debe dirigirse, de modo práctico, a las demás tareas necesarias para proyectar estructuras. En este sentido, el diseño estructural es el fin primordial del proyecto de estructura; el análisis estructural debe orientarse a validar, modificar y mejorar el diseño.

1.2. Aprendizaje Basado en Proyectos

Bajo la denominación de Aprendizaje basado en proyectos (ABP) existen muchos enfoques con objetivos y características diferentes.

Thomas [4] utiliza cinco criterios para responder a la cuestión “¿Qué debería tener un proyecto para considerarlo como instancia del Aprendizaje basado en proyectos?”: (a) “Los proyectos son el centro del currículo, no son periféricos”; (b) “los proyectos se centran en cuestiones o problemas que ‘dirigen’ a los estudiantes para encontrar (y debatir) los conceptos y principios centrales de la disciplina”; (c) “los proyectos involucran a los estudiantes en una investigación constructiva”; (d) “los proyectos son dirigidos por los estudiantes en un grado significativo”; y (e) “los proyectos son reales, no ejercicios académicos”. Él resume: “Los cinco criterios son centralidad, cuestiones conductoras, investigaciones constructivas, autonomía y realismo”.

Para muchos autores el trabajo en equipo es esencial en el ABP (e.g. Kolmos [5], Ravitz et al. [6]). En esta línea, consideramos que la colaboración debe ser considerada como un sexto criterio.

2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es un estudio evaluativo de la implementación del método de ABP en una asignatura de Estructuras de Acero en la Escuela de Arquitectura de Sevilla. El estudio abarca los cuatro primeros años de implantación del ABP en la asignatura Estructuras 2 (cursos 2009/10 a 2012/13).

La evaluación del programa se realiza mediante un modelo de evaluación basado en el modelo CIPP (Context, Input, Process, Product) de Stufflebeam [7]. La evaluación del contexto (Context) permite

concretar el contexto en el que se va a desarrollar la intervención e identifica las necesidades de la población a la que se dirige el programa; la evaluación del diseño de programa (Input) analiza la adecuación entre los objetivos, las estrategias y la planificación; la evaluación del proceso (Process) analiza la aplicación e implementación del programa; la evaluación de los resultados (Product) compara los resultados obtenidos con los objetivos previstos y proporciona información útil para la toma de decisiones de revisión y mejora.

La obtención y análisis de datos se realiza mediante un enfoque mixto que incluye métodos cualitativos, útiles de cara a explicar la realidad compleja del programa, y métodos cuantitativos, que permiten considerar un rango de datos más representativo y contrastar la percepción de los distintos agentes implicados.

Los instrumentos empleados para la obtención de datos han sido: (i) observación de los evaluadores, (ii) resultados académicos, (iii) encuestas a estudiantes, de respuesta abierta y de respuesta cerrada, y (iv) grupos de discusión de profesores. Los instrumentos (i) y (ii) se han aplicado los cuatro cursos académicos objeto de evaluación. Los otros dos instrumentos se analizan aquí en sus resultados del curso 2012/13, que es el curso de implantación en todos los grupos del nuevo plan de estudios.

Las encuestas a estudiantes se realizaron el último día de clase del curso. 252 estudiantes completaron la encuesta, el 76.1% de la población total. El cuestionario consta de 30 cuestiones de respuesta cerrada con una escala de valoración tipo Likert con cinco niveles de respuesta, y 3 cuestiones de respuesta abierta, sobre puntos fuertes, puntos débiles y propuestas de mejora. Los datos de las respuestas abiertas de las encuestas a los estudiantes y de los grupos de discusión de profesores fueron clasificados en categorías de puntos fuertes y puntos débiles. En el caso de las respuestas de estudiantes se obtuvo la frecuencia de aparición de cada categoría. En los dos grupos de discusión del curso 2012/13 participaron los 9 profesores de la asignatura. El proceso de análisis fue similar al de las encuestas de estudiantes, y además se seleccionaron las categorías en las que se alcanza consenso entre los profesores.

Para la evaluación del programa se ha planteado una evaluación integrada en la propia actividad educativa, con ciclos sucesivos de evaluación y mejora.

3. LA ASIGNATURA ESTRUCTURAS 2 DEL PLAN 2010

3.1. Antecedentes

En el plan de estudios de 1998 de la titulación de Arquitecto en la Universidad de Sevilla, las asignaturas de estructuras tenían una metodología docente tradicional: clases expositivas de teoría, clases prácticas de problemas, y evaluación mediante exámenes.

En el curso 2009-2010 iniciamos una experiencia piloto aplicando ABP en uno de los seis grupos de Estructuras 2, asignatura dedicada a las estructuras de acero. Las razones de esta experiencia fueron la insatisfacción con los resultados académicos deficientes y la cercana implantación del Plan 2010, que debía estar adaptado a las premisas del EEES. Esta experiencia piloto se mantuvo durante tres cursos, hasta la desaparición de esta asignatura en el Plan 1998. La evaluación de esta experiencia facilitó el diseño de la nueva asignatura de Estructuras 2 en el plan 2010.

El nuevo plan de estudios del grado de Arquitectura en la Universidad de Sevilla [8] es un plan muy innovador, adaptado al EEEES, de cinco cursos de duración más el proyecto fin de carrera. En cada semestre hay 5 asignaturas de 6 créditos europeos. Hay 12 a 14 grupos en cada curso, con unos 25 estudiantes por grupo, sin distinción entre grupos teóricos y subgrupos prácticos. El plan prescribe el empleo de metodologías activas y la evaluación continua de los aprendizajes. Todo ello facilita la docencia por competencias, la transversalidad entre asignaturas y la mejora de los resultados académicos.

Las tres asignaturas de estructuras tienen unos contenidos principales similares al plan anterior, pero ahora con un enfoque por competencias.

3.2. Diseño del programa de la asignatura de Estructuras 2 del plan 2010

Las bases de partida, que ya habíamos probado con éxito en la experiencia piloto, son: (i) un enfoque por competencias; (ii) un método de Aprendizaje basado en proyectos (ABP): la actividad principal del curso es proyectar una estructura de acero, para un edificio real de arquitectura relevante, en varias fases, aplicando el ABP; (iii) el empleo del ordenador para analizar, de modo similar al contexto profesional, y además para aprender; y (iv) una evaluación formativa y sumativa en la que el peso principal es el proyecto; en cada fase del proyecto se mejora la fase anterior.

Los objetivos principales de la asignatura son, por una parte, el aprendizaje de la competencia específica *proyectar estructuras de acero*, y por otra, el desarrollo de las competencias transversales de *trabajo en equipo*, *aprendizaje autodirigido* y *resolución de problemas*. Otro objetivo es conseguir una tasa de rendimiento superior al 80%.

El desarrollo de la competencia *proyectar estructuras de acero* se concreta en una serie de resultados de aprendizaje, que sintetizan lo que los estudiantes deben saber hacer al finalizar el curso (tabla 1).

Tabla 1. Resultados de aprendizaje en cada fase del proyecto. Método ABP. Curso 2012/13

Fase del proyecto	Resultados de aprendizaje
Fase 1 Diseño estructural	a) Diseñar estructuras de acero, adecuadas al proyecto arquitectónico, con determinación de geometría, material (clase de acero), sistema de estabilización horizontal y vínculos, forjados, perfiles y predimensionado.
	(Afianzar los resultados de aprendizaje de la fase anterior)
Fase 2 Análisis estructural 1	b) Realizar un modelo inicial, adecuado a la estructura diseñada, que incluya geometría, material, perfiles y secciones, vínculos, hipótesis simples de acciones permanentes y variables, coeficientes de seguridad y combinaciones de hipótesis. c) Analizar los esfuerzos y deformadas del modelo, mediante hipótesis simples, combinaciones y envolventes. d) Verificar los Estados Límite Últimos de resistencia de secciones. e) Verificar los Estados Límite de Servicio de flecha y desplome.

	(Afianzar los resultados de aprendizaje de la fase anterior)
Fase 3	f) Realizar un modelo completo, adecuado a la estructura diseñada, que incluya los contenidos del modelo inicial, más la acción sísmica, las imperfecciones geométricas, el análisis de la traslacionalidad, y las condiciones de pandeo y pandeo lateral.
Análisis estructural 2	g) Verificar los Estados Límite Últimos de resistencia de barra (fenómenos de pandeo).
	h) Reajustar tanto el diseño de la estructura como el modelo estructural para su mejor adecuación.
	i) Dimensionar uniones frecuentes viga-pilar y pilar-cimentación.

Como puede apreciarse, el ABP ha obligado a una adaptación de la secuencia de aprendizaje habitual en asignaturas de este tipo al proceso de realización de un proyecto de estructuras, modificando el esquema tradicional de contenidos y su ordenación temporal. En la figura 1 se muestran algunos planos del proyecto realizado por uno de los equipos de estudiantes del curso 2012/13.

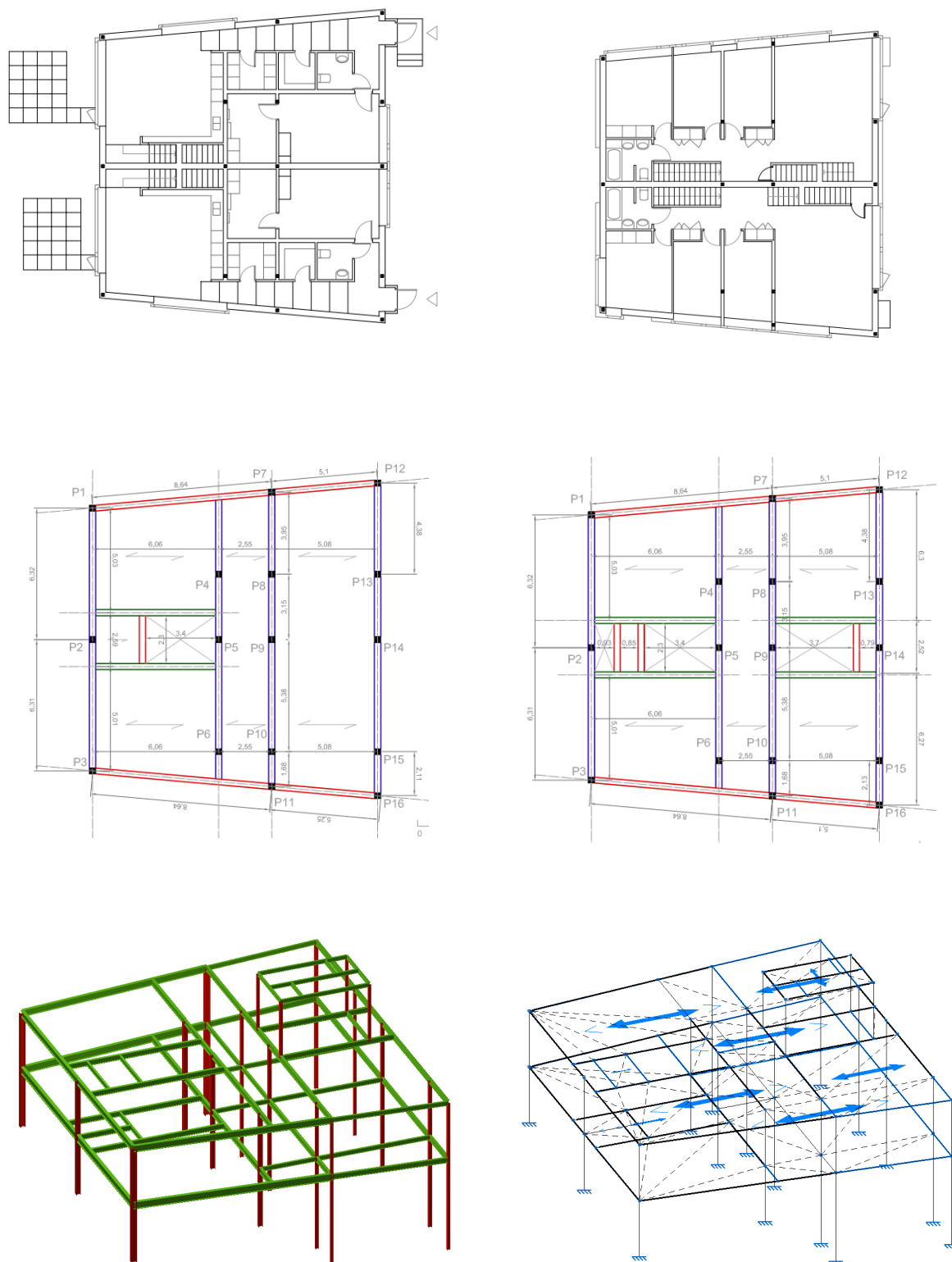
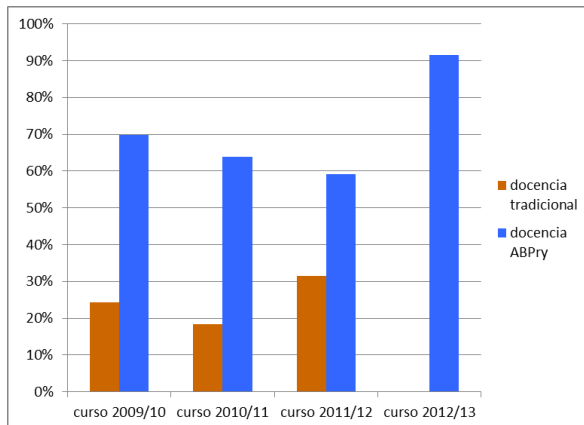


Figura 1. Proyecto realizado por uno de los equipos de estudiantes en el curso 2012/13 para la Nora house, Danderyd, Suecia, 2005 (arquitectos: Tham y Videgård Hansson). Plantas arquitectónicas, plantas de la estructura diseñada, vista extruida y vista de alambre en la aplicación NM3D de CYPE, utilizada para el análisis estructural

4. RESULTADOS

De entre todos los resultados obtenidos, se muestran a continuación los principales para la obtención de conclusiones relevantes.

La figura 2 muestra los valores medios de la tasa de asistencia a clase (estudiantes que asisten a clase / estudiantes matriculados), y la figura 3 recoge la tasa de rendimiento (estudiantes aptos /



estudiantes matriculados).

Figura 2. Tasa de asistencia a clase

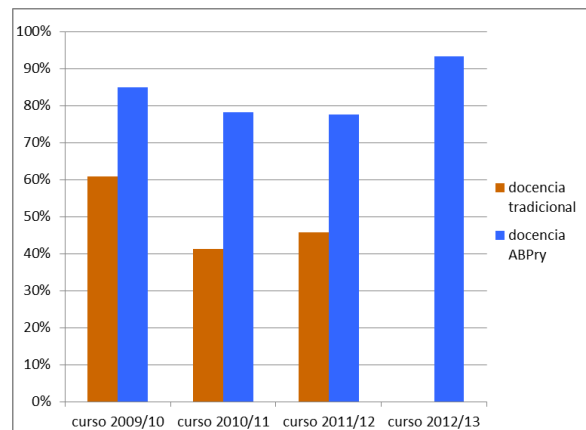
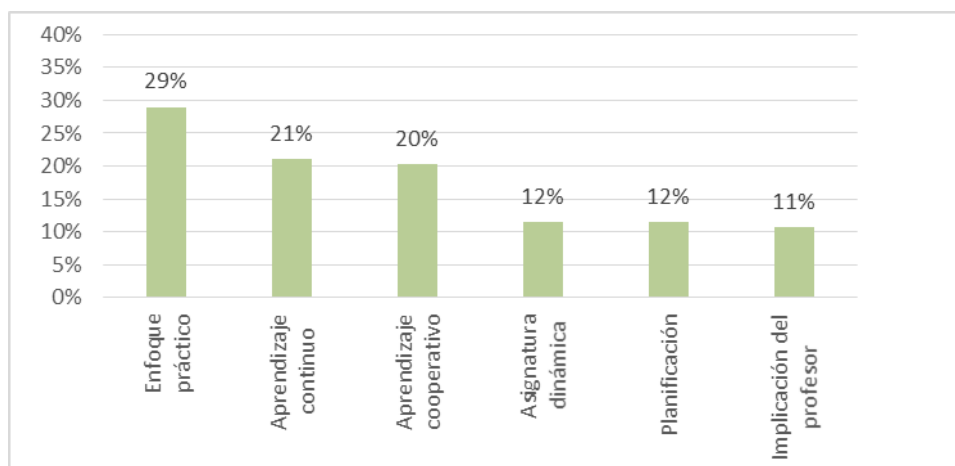


Figura 3. Tasa de rendimiento

Las figuras 4 y 5 muestran las categorías de puntos fuertes y de puntos débiles que presentan mayor



frecuencia en las encuestas de respuesta abierta a los estudiantes en el curso 2012/13.

Figura 4. Principales **puntos fuertes** indicados por los estudiantes (curso 2012/13)

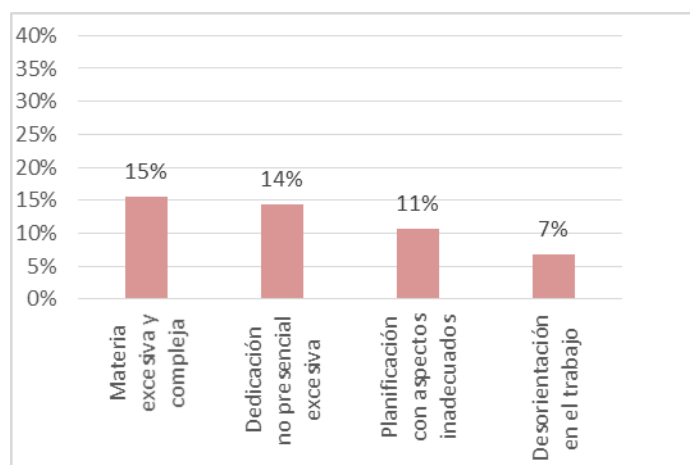


Figura 5. Principales puntos débiles indicados por los estudiantes (curso 2012/13)

La tabla 2 contiene las categorías de aspectos positivos y negativos en los que se alcanzó consenso en los grupos de discusión de profesores del curso 2012/13.

Tabla 2. Principales fortalezas y debilidades con consenso entre los profesores (curso 2012/13)

Aspectos positivos	Aspectos negativos
Método de Aprendizaje basado en proyectos	Contenidos excesivos en relación al tiempo disponible
Aprendizaje y evaluación continuos	Excesiva cantidad de trabajo en el proyecto en relación al tiempo disponible
Ordenador para aprender	
Motivación del estudiante	
Asistencia a clase	

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

5.1. Funcionamiento del ABP en nuestro contexto: bases, fortalezas y eficacia

Esta investigación nos ha permitido aproximarnos a la comprensión del funcionamiento complejo del ABP. Hay numerosos conceptos en varios niveles diferentes, que establecen relaciones de interdependencia. Entre estos conceptos destacan las características básicas de implantación del ABP, las consecuencias que se producen, y finalmente el grado de calidad de los resultados en relación a los objetivos perseguidos.

Bases

El nuevo enfoque por competencias en la docencia de estructuras de acero nos ha llevado a realizar múltiples cambios respecto a la docencia tradicional. Los principales cambios introducidos son tres: el uso del ordenador, el proyecto de estructura de acero y el método ABP.

El uso del **ordenador** como herramienta para analizar estructuras, pero sobre todo para aprender a proyectar estructuras, ha quedado validado en nuestra investigación. En palabras de nuestros

estudiantes, uno de los puntos fuertes del nuevo enfoque es *“El trabajo en CYPE, la capacidad de ida y venida en el proyecto, de facilidad de análisis”*. En este sentido, Cowan [9] afirma que:

“Mucho de lo que los alumnos aprenden y hacen, en la actualidad es obsoleto, porque es lo que ya hacen las máquinas, y lo hacen mejor que los humanos. En el futuro, los estudiantes deberán trabajar en un nivel cognitivo más elevado, no en métodos y tareas rutinarias que puede hacer el ordenador”.

La actividad principal es la realización de un **proyecto de estructura de acero**, en coherencia con la competencia específica de la asignatura. Tal como indica Biggs [10], establecemos alineamiento constructivo entre los objetivos de la materia, las actividades de los estudiantes, y el sistema de evaluación: los estudiantes aprenden a proyectar estructuras realizando proyectos de estructuras, y esto es lo que se evalúa.

En nuestro método de ABP el proyecto de estructura es el generador del aprendizaje, y no una aplicación práctica de los conocimientos aprendidos previamente.

Fortalezas

El uso del ordenador y el proyecto de estructura nos conducen a un **enfoque más práctico y real**. Este enfoque práctico es uno de los aspectos positivos más resaltado por nuestros estudiantes: *“Trabajar sobre un proyecto acerca más a la realidad y ayuda a entender mejor los conceptos teóricos”, “El aprendizaje realizado hace que realmente se afiancen los conceptos y sobre todo sepan aplicarse y aprender a realizar diseño y cálculo de estructuras”*.

Nuestro método está intrínsecamente unido al alcance de las competencias transversales: **aprendizaje de resolución de problemas, aprendizaje autodirigido, y aprendizaje cooperativo**. Nuestros estudiantes resaltan como aspectos positivos: *“Realizar el proyecto de forma autónoma”, “más libertad y mejor aprendizaje”, “Aprender a resolver dificultades que se nos presentan en la estructura por nosotros mismos”*.

De estos tres objetivos, el mejor valorado por los estudiantes es el **aprendizaje cooperativo**: *“aprender con tus compañeros, aprender de tus compañeros”, “poder comparar con otros compañeros las dudas y aprender de todos”, “El trabajo en grupo te ayuda a enfrentarte mejor ante los conceptos y problemas difíciles”*. La interdependencia positiva como una de las bases del aprendizaje cooperativo (Johnson et al. [11]) ha quedado patente en nuestra investigación.

Nuestro ABP se organiza con sesiones tutoriales semanales en clase y trabajo no presencial individual durante la semana. Este proceso incentiva la organización y planificación del estudio y trabajo de los estudiantes de modo constante. Por ello, el **aprendizaje y evaluación continuos** es otro de los puntos fuertes más valorados por los estudiantes: *“Este método es mucho más instructivo, ya que lo trabajas durante todo el año, en vez de estudiar dos días antes del examen que realmente ahí no se aprende nada”, “Aprendizaje continuo, día a día. Se anclan mejor los conceptos”*.

Con nuestro método la **motivación del estudiante** se incrementa apreciablemente. Esto se muestra con claridad en la satisfacción del estudiante respecto al proceso y resultados de su aprendizaje. Para nosotros la motivación no es un fin, sino un medio para alcanzar los objetivos de la materia. Nuestros estudiantes afirman: *“Estás conectado al curso con intensidad y motivación desde el principio”, “La*

metodología ABP me parece muy buena, motiva a no dejar la asignatura y a esforzarse desde el primer momento”.

Todas las mejoras anteriores producen una asistencia a clase muy elevada, claramente superior que en la docencia tradicional (figura 2).

Eficacia

Finalmente, se alcanzan en grado muy alto los objetivos principales y los resultados de aprendizaje previstos. Así lo indican los **resultados de eficacia objetiva** (tasa de rendimiento) mucho más elevados con el nuevo método que en la docencia tradicional (figura 3). La mejor comprensión del comportamiento estructural, de modo activo, práctico y continuo, conduce a un **aprendizaje más profundo**. Uno de nuestros estudiantes indica: *“Realizar un proyecto de estructura hace que te involucres más y entiendas realmente las cosas, además surgen problemas que nos surgirán en el futuro, al contrario que haciendo ejercicios/problemas preparados”.*

5.2. Debilidades del ABP en nuestro contexto y propuestas de mejora

Profesores y estudiantes indican **extensión y complejidad excesivas de la materia**. En palabras de los estudiantes: *“La gran cantidad de conceptos puede causar que no se aprendan todos los puntos”, “Dificultad al aplicar la teoría a la práctica porque la teoría es compleja”.*

En la docencia tradicional también está presente esta dificultad, y es una de las razones de la escasa asistencia a clase y de los bajos resultados académicos, mucho peores que con el ABP (figuras 2 y 3).

Con el ABP los estudiantes están motivados, y no abandonan ante esta dificultad, pero muchos necesitan una **dedicación no presencial excesiva**. En las encuestas del curso 2012/13 el 38,5% de los estudiantes señalan que han dedicado más de 6 horas no presenciales semanales, que es lo que corresponde a esta asignatura según sus créditos europeos.

Estos puntos problemáticos han sido reseñados en varias investigaciones sobre ABP: es difícil cubrir todos los contenidos del temario (Van Barneveld & Strobel [12]) y el estudiante puede necesitar una dedicación excesiva (Fernandes et al. [13]).

Para solucionar estas dificultades proponemos varios mecanismos.

En primer lugar, hemos ido **disminuyendo los contenidos tradicionales**, desde el primer año de implantación de la experiencia piloto; debemos seguir explorando este camino. La reducción de los contenidos es un problema que va perdiendo importancia en la evolución de la docencia universitaria, a medida que progresa el aprendizaje de las competencias transversales adecuadas. En nuestro caso el aprendizaje autodirigido y el aprendizaje de resolución de problemas preparan al estudiante para su etapa postuniversitaria, a su “long life learn”.

Con nuestro método se aprende menos cantidad de contenidos, pero el aprendizaje es más práctico y profundo. Nuestros estudiantes indican: *“Es una asignatura con un contenido muy complicado, pero el proyecto ayuda a comprender mejor los conceptos”, “Gracias a la metodología docente utilizada por el*

profesor, las clases han sido mucho más dinámicas, participativas y hemos aprendido conceptos importantes en el diseño estructural que no se nos olvidarán”.

En segundo lugar se introducen y potencian **actividades complementarias** al proyecto. Su objetivo es clarificar los conceptos principales y facilitar las tareas más complejas del proyecto. Son actividades breves con el ordenador (aplicaciones de análisis estructural) sobre aspectos parciales, y también actividades para aplicar estrategias adecuadas de verificación e interpretación.

Por último, proponemos **mejorar la guía del profesor**. En nuestro contexto, hemos funcionado con un modelo de tutor flotante, que en la sesión tutorial va rotando entre los diversos equipos de estudiantes. Esto complejiza el rol de tutor del profesor, ya de por sí difícil en el ABP (Hmelo-Silver [14]). Debemos ampliar la formación del profesor para ejercer de facilitador del aprendizaje en vez de transmisor de conocimientos.

AGRADECIMIENTOS

A todos los estudiantes y profesores de la asignatura en los cursos objeto de esta investigación, por las facilidades prestadas para su realización. A la Universidad de Sevilla, por su apoyo a esta investigación a través de los planes propios de docencia.

REFERENCIAS

- [1] Brohn, D. M. (1992). A new paradigm for structural engineering. *The Structural Engineer*, 70(13), 239-242.
- [2] Owens, G. (2011). Transforming undergraduate structural engineering education in the 21st century. *The Structural Engineer*, 89(2), 18-20.
- [3] May, I. M. (2009). The teaching of structural analysis. *2009 Annual Academics Conference: Structural Engineering Education in the 21st Century. The Institution of Structural Engineers*, London.
- [4] Thomas, J. W. (2000). A review of research on project-based learning.
- [5] Kolmos, A. (2009). Problem-based and project-based learning. In *University science and mathematics education in transition* (pp. 261-280). Springer US.
- [6] Ravitz, J., Hixson, N., English, M., & Mergendoller, J. (2012, April). Using project based learning to teach 21st century skills: Findings from a statewide initiative. In *American Educational Research Association Conference, Vancouver, Canada* (Vol. 16).
- [7] Stufflebeam, D. L. (2003). The CIPP model for evaluation. In *International handbook of educational evaluation* (pp. 31-62). Springer Netherlands.
- [8] ETSAS (2010). Plan de estudios del Título Oficial de Graduado/a en Arquitectura de la Universidad de Sevilla. <http://www.etsa.us.es/estudios/plan-de-estudios-2010>
- [9] Cowan, J. (2006). *On becoming an innovative university teacher* (2nd ed.). New York: Society for Research into Higher education & Open University Press.
- [10] Biggs, J. (1999). *Teaching for Quality Learning at University*. Open University Press, Buckingham.

- [11] Johson, D. W., Johson, R. T., & Smith, K. A. (2006). *Active learning: Cooperation in the college classroom* (3rd ed.). Edina: Interaction Book Company.
- [12] Van Barneveld, A., & Strobel, J. (2009). Problem-based learning: Effectiveness, drivers, and implementation challenges. En X. Du, E. De Graaff & A. Kolmos (Eds.), *Research on PBL practice in engineering education* (pp. 35-44). Rotterdam: Sense Publishers.
- [13] Fernandes, S., Flores, M., & Lima, R. (2009). Using the CIPP model to evaluate the impact of project-led education: A case study of engineering education in Portugal. En X. Du, E. De Graaff & A. Kolmos (Eds.), *Research on PBL practice in engineering education* (pp. 45-56). Sense Publishers.
- [14] Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235-266.