

EL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS. UN CASO PRÁCTICO EN ARQUITECTURA

Antonio Delgado Trujillo
Enrique de Justo Moscardó
Manuel Vázquez Boza
Marta Molina Huelva

Departamento de Estructuras de Edificación. Universidad de Sevilla

Resumen

Las premisas del Espacio Europeo de Educación Superior conducen a cambios importantes en el modelo de enseñanza, que debe asumir un enfoque más práctico, centrado en el estudiante y en el aprendizaje de competencias, en lugar de contenidos. Una metodología docente adecuada en este contexto es el aprendizaje basado en problemas (ABP). Con este método el problema o escenario a solventar es lo primero que se encuentra el estudiante en el proceso de aprendizaje. En el ABP el estudiante debe practicar competencias transversales, tales como la resolución de problemas, el trabajo en equipo y el trabajo autodirigido.

En el departamento de Estructuras de la Escuela de Arquitectura de Sevilla hemos diseñado, puesto en marcha y evaluado un programa docente con ABP para la asignatura de Estructuras 1. Para ello fue necesario un análisis previo de necesidades, que permitió establecer las bases de partida de la nueva asignatura. En este documento se resumen los aspectos principales de esta investigación.

Los resultados de la evaluación realizada como ventajas principales del nuevo enfoque: la relevancia del trabajo en equipo con aprendizaje cooperativo, el aumento en la motivación de los estudiantes y la mejora sustancial de los resultados académicos. Los retos principales a los que ha habido que hacer frente han sido la desorientación inicial del estudiante al enfrentarse al problema y la insuficiente implicación de algunos estudiantes en el trabajo en equipo. Es posible la extrapolación a otras disciplinas, aunque ello requeriría una reestructuración en profundidad de los componentes del programa.

Palabras clave:

aprendizaje basado en problemas, docencia en arquitectura, docencia de estructuras, competencias

1. Introducción

El Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) propugna un modelo de aprendizaje activo cuyo objetivo principal es la adquisición de competencias, que implican conocimientos asociados a la acción. Los perfiles académicos deben estar orientados a la aplicación de conocimientos y a la práctica profesional. Además de las competencias *específicas*, propias de cada materia, los planes de estudio contemplan el aprendizaje de competencias *transversales*, como *trabajo en equipo o resolución de problemas*. Al ser el estudiante el centro del nuevo modelo, se adopta el sistema de créditos ECTS que mide el trabajo del estudiante en lugar del número de horas lectivas impartidas por el profesor.

1.1. La docencia de estructuras

La docencia tradicional en las asignaturas introductorias de Estructuras en las escuelas de Arquitectura e Ingeniería consiste básicamente en un curso de Resistencia de Materiales, con clases teóricas y clases prácticas, en las que se resuelven problemas de cálculo en modelos simplificados de estructuras sencillas. En los exámenes, los estudiantes deben resolver una serie de problemas en un tiempo acotado.

Tal como está planteada, la docencia clásica tiene algunas limitaciones importantes: en primer lugar, la poca relevancia de los ejemplos que son objeto de estudio. En segundo lugar, la concepción del análisis como un fin en sí mismo, sin tener en cuenta sus implicaciones en el proceso global de diseño. Se trata de una disciplina compleja, asociada a niveles muy bajos de rendimiento (Basset et al, 2009).

En el caso de la ETSAS, la asignatura de Estructuras 1 presentaba problemas graves de rendimiento. Con una tasa de rendimiento cercana al 35%, en el plan 98 llegó a ser la asignatura con el rendimiento más bajo de toda la titulación. El alto índice de fracaso académico provocó un aumento gradual del número de estudiantes matriculados, llegando hasta 1398 en el curso 2009-10.

Desde hace tres décadas varios investigadores han analizado y debatido sobre la docencia de estructuras. Los dos factores determinantes en la investigación han sido la aparición y desarrollo de aplicaciones informáticas de análisis estructural y el enfoque por competencias.

1.1.1. El ordenador en la docencia de estructuras

Ya en 1992 Brohn afirmaba: “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”. Unos años más tarde, May et al (2003) observaban que los egresados trabajarán con el ordenador para analizar estructuras, y si en la universidad no aprenden lo relevante para esta tarea, el resultado será como “conducir un Ferrari sin carnet: una más que probable catástrofe”.

En el mismo sentido, tras un extenso estudio sobre la situación, la Institución de Ingenieros Estructurales (IstructE, 2009) indicaba que se le dedica demasiado tiempo a enseñarles cómo realizar cálculos y muy poco a modelar una estructura y evaluar su comportamiento; hace falta un cambio fundamental en la práctica docente, para enseñar a los estudiantes a pensar, en lugar de enseñarles a llevar a cabo procedimientos de cálculo.

1.1.2. *El enfoque por competencias en la docencia de estructuras*

La competencia específica principal es proyectar estructuras. Para ello el estudiante debe aprender a:

1. Diseñar la Estructura
2. Modelar la Estructura para su análisis
3. Calcular la estructura
4. Verificar e interpretar los resultados del cálculo
5. Mejorar el diseño a partir de los resultados obtenidos en el análisis

El paso 3, al que se le ha dedicado tradicionalmente casi todo el esfuerzo, es el que hoy realizan las aplicaciones informáticas. Por tanto la docencia debe centrarse en los demás pasos. Para ello es preciso desarrollar “una comprensión cualitativa del comportamiento estructural, respaldada por la teoría y basada en la experiencia y la experimentación” (Black y Duff, 1994).

Existe una creencia muy arraigada de que sólo a través de la realización de cálculos manuales se desarrolla la comprensión del comportamiento del sistema. Esta suposición no está respaldada por la evidencia ni por la lógica (MacLeod, 2007). En general casi todos los autores son partidarios de reducir drásticamente la dedicación al cálculo manual y darle un enfoque más eficiente, orientado a la comprensión de conceptos y principios básicos (Nethercot, 2000; IstructE, 2009).

1.2. *El aprendizaje basado en problemas (ABP)*

Según Barrows y Tamblyn (1980, p. 1), el aprendizaje basado en problemas es “un método en el que el aprendizaje se produce durante el trabajo de comprensión y resolución de un problema. El problema es lo primero que se encuentran los estudiantes en el proceso de aprendizaje, y servirá como punto de partida para la adquisición e integración de nuevos conocimientos.”

Para ser efectivo, el entorno de aprendizaje del ABP debe diseñarse según unos principios (Savery y Duffy 1995; Schmidt et al. 2009), derivados de la teoría constructivista:

1. El problema es la base de partida, y dirige todo el proceso de aprendizaje.
2. El nuevo conocimiento se construye a partir del conocimiento previo de los estudiantes.
3. Los estudiantes dirigen su propio aprendizaje.
4. Los estudiantes deben colaborar para resolver el problema.

5. El método se centra en los procesos de adquisición del conocimiento, y no solo en el resultado de esos procesos.
6. La solución del problema va seguida de un proceso de análisis y reflexión sobre el aprendizaje (tanto del proceso como de los conocimientos adquiridos).
7. El aprendizaje tiene lugar bajo la guía de un tutor/facilitador

Desde su aparición en la Universidad de MacMaster a finales de los sesenta, el aprendizaje basado en problemas ha tenido un desarrollo exponencial. En el campo de la arquitectura y la ingeniería, con una larga tradición en el uso de problemas, el ABP es mal comprendido con frecuencia, lo que lleva a subestimar sus posibilidades como herramienta de aprendizaje de competencias (Savin-Baden 2000).

En la literatura existen varios casos de aplicación del ABP en la disciplina de estructuras, si bien se trata de implementaciones parciales dentro de asignaturas con un esquema tradicional, o bien que afectan a un número muy reducido de estudiantes. El precedente más importante fue desarrollado en la Escuela de Arquitectura de Newcastle (Banerjee, 1994). Sin embargo, debido a las dificultades iniciales para integrar la docencia de estructuras en un planteamiento multidisciplinar, el modelo evolucionó hacia un ABP centrado en la aplicación e integración del conocimiento, mientras que la adquisición del conocimiento se realiza en asignaturas de estructuras independientes con un enfoque docente tradicional.

2. Objetivos

Ante las circunstancias descritas anteriormente, varios profesores del Departamento de Estructuras desde el año 2008 decidimos efectuar una investigación sobre el diseño, implementación y evaluación de programas de asignaturas de estructuras adaptados al nuevo contexto (De Justo & Delgado, 2014; De Justo et al., 2014, Delgado et al., 2015).

En este documento se describen las características y los resultados principales de esta investigación para el caso de la asignatura Estructuras 1.

3. Metodología

3.1. *Diseño del programa*

3.1.1. *Bases*

Hemos realizado una modificación sustancial de la asignatura Estructuras 1, con estas bases: (i) los contenidos están centrados en el aprendizaje inicial de la competencia del proyecto de estructuras, (ii) enfoque práctico con problemas reales, (iii) uso del ordenador con aplicaciones profesionales y a la vez como herramienta de aprendizaje, (iv) relevancia del diseño estructural, en contraposición a los antiguos programas dirigidos casi exclusivamente hacia el cálculo estructural, y (v) empleo del ABP como metodología adecuada a las bases anteriores.

3.1.2. Resultados de aprendizaje

Los resultados de aprendizaje se adaptan al aprendizaje inicial de la competencia del proyecto de estructuras. Se han ido modificando ligeramente, y en el curso 2016/17 son:

1. Identificar el sistema estructural de un edificio, distinguiendo sus elementos, material y funcionamiento.
2. Elaborar un modelo de la estructura, incluyendo las acciones, e identificar sus limitaciones
3. Determinar el comportamiento de una barra, en términos de esfuerzos, tensiones y deformaciones, aplicando los principios básicos que rigen el comportamiento estructural.
4. Aplicar el método de los estados límite a la comprobación y al dimensionado de barras con distintos casos de enlaces y solicitaciones.
5. Diseñar una estructura de barras para un edificio simple, adecuada al proyecto arquitectónico, con elección del sistema estructural, geometría, material y vínculos.
6. Analizar la estructura de barras de un edificio simple por ordenador, estableciendo un modelo, y verificando e interpretando los resultados.

3.1.3. Metodología: el ABP

Para aplicar la metodología ABP se han seguido los siete principios enunciados anteriormente. El curso se ha dividido en tres módulos. En cada módulo la actividad principal es un problema que se afronta en grupos de 3 o 4 estudiantes. En las sesiones tutoriales (una por semana, de dos horas de duración) los estudiantes trabajan en su grupo, discuten, razonan y contraponen ideas, activan el conocimiento previo, formulan objetivos de aprendizaje y trazan un plan de trabajo. En el tiempo no presencial durante la semana, de modo individual, los estudiantes trabajan los objetivos de aprendizaje mediante la búsqueda, selección, síntesis y elaboración de la información. De vuelta a la sesión tutorial ponen en común el aprendizaje

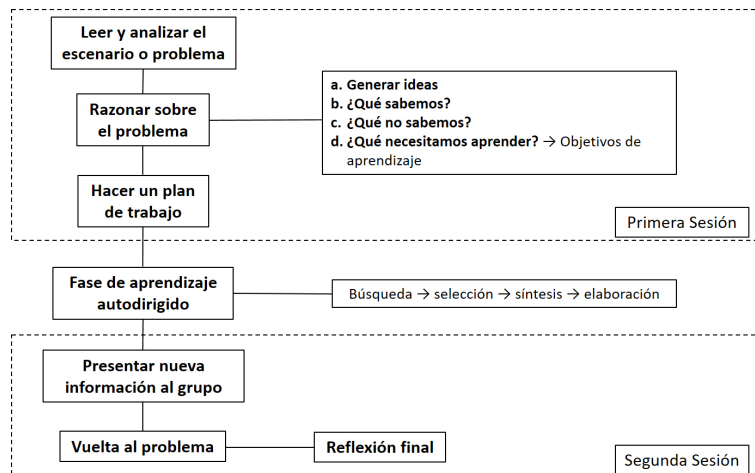


Figura 1. Proceso del ABP en la asignatura Estructuras 1

alcanzado, lo aplican a avanzar en la resolución del problema e inician de nuevo el proceso con el estado actual del problema. Al terminar el problema los estudiantes realizan una reflexión final, tanto sobre el aprendizaje obtenido como sobre el proceso seguido. La figura 1 detalla este proceso.

3.1.4. *Actividades*

En el formato del curso 2016/17 la asignatura se organiza en tres módulos con un problema en cada módulo: (1) análisis de tipos estructurales, (2) dimensionado de vigas a flexión en madera o acero, y (3) diseño y análisis de una estructura. Además en cada módulo los estudiantes realizan actividades complementarias para clarificar los conceptos y procedimientos. Con estos tres módulos se cubren los resultados de aprendizaje previstos. La figura 2 contiene el enunciado del problema 3 en uno de los cursos.

3.1.5. *Evaluación del aprendizaje*

La evaluación del aprendizaje de los estudiantes es una evaluación continua con función formativa y sumativa. El 80 % de la evaluación son los problemas de ABP. El otro 20% corresponde a dos controles individuales sobre el aprendizaje adquirido durante el proceso de los problemas, con el objeto de incentivar la motivación desde el inicio de cada módulo.

3.2. *Evaluación del programa*

3.2.1. *Diseño de la evaluación del programa*

Esta investigación plantea un estudio evaluativo con enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo). Para definir las componentes de la evaluación nos basamos en el modelo de Tejada et al. (2007), que facilita la identificación de dificultades y la toma de decisiones de mejora.

Las fuentes de información han sido los estudiantes y profesores, y además expertos multidisciplinares ajenos a la asignatura.

Las técnicas e instrumentos cualitativos han sido grupos de discusión, entrevistas y cuestionarios de respuesta abierta; y los cuantitativos han sido cuestionarios con escalas de valoración y los resultados académicos.

3.2.2. *Toma de datos y participantes*

La evaluación más completa se realizó el curso 2011/12. En el curso anterior se realizó una evaluación piloto y en cursos posteriores se han realizado evaluaciones parciales, sobre los aspectos identificados como más relevantes. En el curso 2011/12 la aplicación de este programa y su evaluación alcanzó a 12 grupos, con 23 a 31 estudiantes por grupo, y un total de 324 estudiantes. En los demás cursos el número de estudiantes siempre ha sido superior a 300. El número de profesores ha estado comprendido entre 7 y 9.

Los estudiantes no tenían experiencias previas con el método ABP, y muy poca práctica con el trabajo en equipo.

4. Resultados

4.1. Ejemplos de trabajos de estudiantes

Las figuras 3 y 4 contienen extractos de trabajos de grupos de estudiantes del curso 2015/16: esquema resultante del proceso de reflexión final de problema 2 (figura 3) y proyecto de estructura (diseño y análisis) de problema 3 (figura 4).

ESTRUCTURAS 1 – PROBLEMA 3 – Proyecto de estructura

FASE 1 – DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

En este problema vas a proyectar la estructura de una vivienda, a elegir entre las siguientes. Todas son obra del arquitecto portugués Eduardo Souto de Moura, premio Pritzker 2011, que experimenta en sus viviendas con la relación interior-exterior. Cuando el lugar es atractivo la vivienda se abre a él (casa en Cascais), en caso contrario, Souto construye el espacio exterior como patio de la vivienda (casas en Matosinhos y Maia 2).



Casas en MatosinhosCasa en CascaisCasa en Maia 2

Ya sabes que una estrategia habitual para resolver actividades complejas es dividir las en partes más sencillas. Se adjunta un mapa conceptual que contiene una propuesta en este sentido. De las dos grandes partes que se proponen, diseño y análisis, ahora deberás centrarte en el diseño de la estructura (fase 1). En el trabajo profesional el diseño estructural se suele realizar a la vez que el diseño arquitectónico del edificio, pero en este caso diseñarás una estructura para un edificio construido.

La división en fragmentos facilita la tarea pero tiene inconvenientes ¿Las partes se pueden realizar simultáneamente? ¿O bien requieren una secuencia determinada (pasos), de modo que para realizar el siguiente es preciso tener finalizado el anterior? ¿Y en qué orden? ¿Debemos elegir primero un sistema estructural definido y después el material de la estructura, o al revés? ¿Empezamos eligiendo el tipo de forjado o lo hacemos al final? ¿Cómo planteamos la geometría o esquema estructural? ¿Primero elementos verticales (muros o pilares) o empezamos por los horizontales (vigas y forjados)? En todo caso, se hace necesario ir hacia adelante y atrás, tomar decisiones y posteriormente replantearlas y modificarlas.

Para simplificar el diseño y el análisis posterior, te proponemos un sistema estructural de forjados unidireccionales y pórticos, con barras de acero. En las viviendas con varias plantas te centrarás exclusivamente en la planta superior, de modo que tu estructura tenga una sola planta.

Fases del proyecto

Para facilitar la tarea global del proyecto y el proceso de aprendizaje se proponen las siguientes fases:

- Fase 1. Diseño inicial de la estructura.
- Fase 2. Análisis del forjado y mejora del diseño.
- Fase 3. Análisis de la estructura en 2D o 3D y mejora del diseño.

La rúbrica de cada fase del proyecto te puede orientar en tu trabajo. El informe de entrega de cada fase contendrá todo lo necesario para ser evaluado mediante su rúbrica.

Figura 2. Enunciado del problema 3 en curso 2015/16

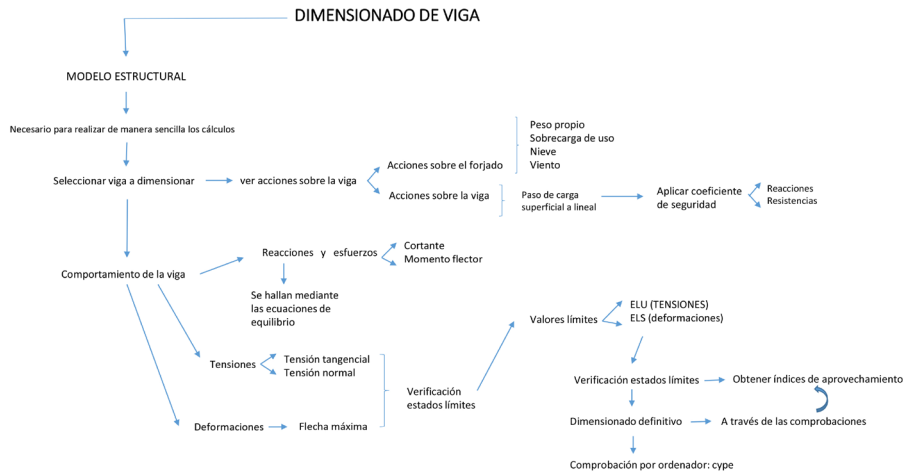


Figura 3. Esquema de dimensionado de una viga, realizado por un grupo de estudiantes en el paso final de reflexión en el proceso de ABP, en problema 2 del curso 2015/16

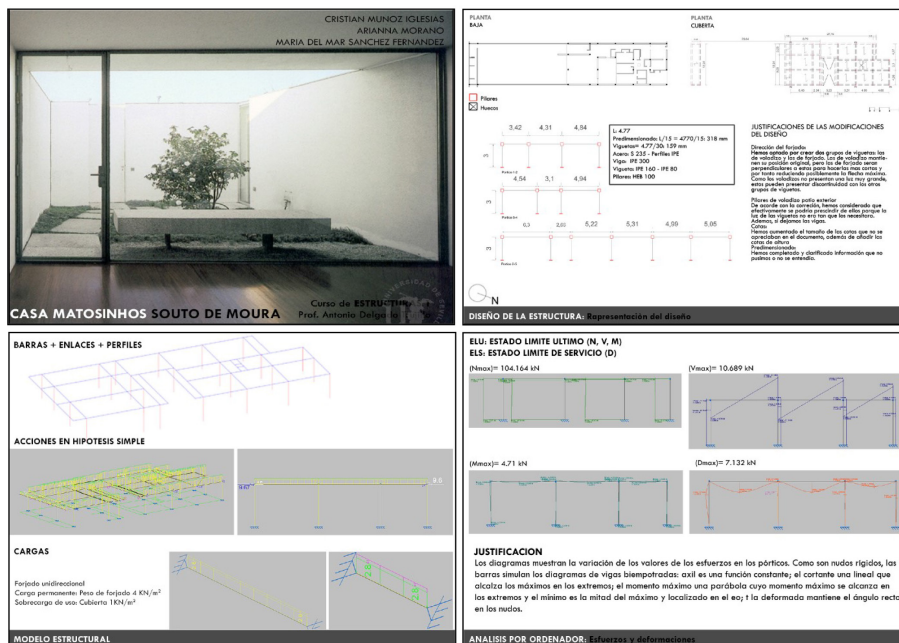


Figura 4. Extracto de trabajo de un grupo de estudiantes para el problema 3 en curso 2015/16. Diseño y análisis de una estructura de acero para una casa en Matosinhos, arq. Eduardo Souto de Moura

4.2. *Resultados académicos*

Los resultados académicos son altamente positivos. La tasa de rendimiento alcanza el 84.6%, mucho más elevada que con el método tradicional en el plan 98, donde la media de los últimos cursos del plan fue de 35.5%.

4.3. *Asistencia a clase*

La tasa de asistencia a clase es del 84.0%, muy por encima del 25.4% de los últimos cursos del plan 98.

4.4. *Dedicación no presencial*

Según la encuesta los estudiantes dedican una media de 4.54 h semanales al estudio y trabajo no presencial, ligeramente por debajo de las 6 h previstas según los créditos ECTS de la asignatura.

4.5. *Principales fortalezas*

Trabajo en equipo con aprendizaje cooperativo

El trabajo en equipo con aprendizaje cooperativo es el punto fuerte del programa con mayor incidencia en la evaluación (uno de cada tres estudiantes lo señala en las cuestiones de respuesta abierta). Las principales ventajas del trabajo en equipo apuntan al principio de interdependencia positiva, uno de las bases del aprendizaje cooperativo: los estudiantes aprenden unos de otros y adquieren responsabilidad con el grupo, que les exige asistir a clase y llevar la asignatura al día. Además, el trabajo en equipo influye positivamente en la motivación: el ambiente en la clase mejora, los estudiantes se implican para trabajar por el triunfo común del grupo.

Enfoque práctico

El enfoque práctico de la asignatura también ha sido destacado como aspecto positivo. El trabajo con problemas reales, en un contexto arquitectónico, aumenta por una parte la motivación, y por otra tiene efectos beneficiosos sobre la calidad y persistencia del aprendizaje.

Motivación y satisfacción de los estudiantes

La satisfacción de los estudiantes con el curso es de 3.86 (escala de 1 a 5) según la encuesta. Los estudiantes insatisfechos (valores menores que 3 en la escala) son muy pocos: 6.1%.

En la encuesta de respuesta abierta los estudiantes indican con frecuencia que la asignatura es dinámica e interesante, lo que influye en su alta motivación.

Aprendizaje y evaluación continuos

La aplicación realizada del ABP requiere un trabajo constante, con sesiones tutoriales en clase y trabajo individual durante la semana. El profesor, en su rol de facilitador, proporciona retorno semanalmente sobre su proceso de aprendizaje. En las encuestas realizadas, tanto los profesores como los estudiantes resaltan el interés del trabajo, aprendizaje y evaluación continuos.

4.6. Principales debilidades

Desorientación inicial

La desorientación inicial al enfrentarse a los problemas sin haber recibido clases previamente ha sido señalada como punto débil por los estudiantes en las respuestas abiertas al cuestionario y en los grupos de discusión. Se sienten perdidos, y tienen dificultades para activar el conocimiento previo y para identificar objetivos de aprendizaje adecuados al problema. Todo ello implica pérdidas de tiempo, desmotivación y lagunas en el proceso de aprendizaje.

Insuficiente implicación

Otra de las dificultades detectadas es la insuficiente implicación de algunos estudiantes en las tareas del grupo. Este punto débil incide negativamente en la motivación de los estudiantes más implicados y es una de las causas principales de objeción a la metodología por parte de algunos de los profesores. Sin embargo el número de estudiantes que no se implican es una minoría: este problema afecta aproximadamente a un 20% de los equipos.

5. Discusión y Conclusiones

5.1. Funcionamiento del ABP, relación entre las bases y las fortalezas

El enfoque por competencias en la docencia de estructuras y el uso del ordenador nos han llevado al proyecto de estructuras como base del aprendizaje y al método ABP. Con estas bases los principios del ABP son determinantes, y en la evaluación realizada varios de estos principios han destacado como importantes puntos fuertes, entre los que el principal ha sido el trabajo en equipo con aprendizaje cooperativo. Estas bases han condicionado un enfoque más práctico y real, y un aprendizaje y evaluación continuos, que también han sido destacados como fortalezas.

En este contexto el estudiante se siente motivado para su aprendizaje y satisfecho con el método, y a su vez esto aumenta fuertemente la asistencia a clase, los buenos resultados académicos y el aprendizaje profundo.

Como vemos, se establecen relaciones complejas en el funcionamiento del programa.

5.2. Causas de las debilidades y propuestas de mejora

Las dos debilidades principales detectadas, desorientación inicial e implicación

desigual en el trabajo en equipo, son producidas en parte por una insuficiente guía del profesor. En los grupos de discusión algunos profesores mencionan la dificultad para supervisar el proceso de cada grupo, con el modelo de tutor flotante, en que el tutor rota de grupo a grupo. En el diseño inicial del ABP, mantenido en muchas disciplinas, el tutor permanece fijo con el grupo durante la sesión tutorial. Algunos autores han reseñado la complicación adicional del tutor flotante para actuar adecuadamente como facilitador (Hmelo-Silver, 2004). El modelo de tutor flotante y la insuficiente implicación de algunos estudiantes provoca deficiencias en la evaluación del aprendizaje individual. Algunos estudiantes y profesores sugieren que, en ocasiones, las calificaciones tienen desajustes con el nivel de aprendizaje.

Las propuestas de mejora se basan en dirigir más atención al proceso y al rol del profesor como facilitador. En este sentido, se incorporan estrategias tales como (1) mejorar el diseño de los problemas, incluyendo más pistas para activar el conocimiento previo (figura 2), (2) proporcionar mapas o esquemas para ayudar a la visión global del problema, y (3) mejorar la formación del profesor para actuar como facilitador.

5.3. Conclusiones

(1) *El ABP es un método adecuado para la docencia de estructuras.* La aplicación del método ha permitido cumplir los objetivos del programa y ha proporcionado grandes fortalezas.

(2) *El ABP es un método difícil de aplicar.* En la literatura sobre ABP abundan conclusiones en este sentido. Este método supone un cambio radical respecto a otros métodos, y la adaptación de profesores y estudiantes es lenta y dificultosa. Para Bouhuijs (2011), uno de los mayores expertos en ABP, una de las dificultades radica en el error de concebir el ABP como una mera técnica docente y olvidar que se trata, en realidad, de un enfoque educativo. Para este autor la introducción del ABP significa proceder a cambios curriculares y ello entraña tensiones y cargas que, si se ignoran, conducen al fracaso de la experiencia. En nuestro caso, hemos planteado primero el cambio en las bases del curriculum y esto nos ha llevado al ABP. Por ello hemos conseguido el éxito en la experiencia en la docencia de la asignatura de Estructuras 1. Aún así la complejidad de implantación ha provocado algunas dificultades, de las que hemos concluido que se corresponden con deficiencias en la aplicación de los principios del ABP.

(3) *Es necesario un buen alineamiento entre los componentes del programa.* Para Biggs (1999) debe existir un alineamiento constructivo entre los objetivos del curso, las actividades de enseñanza-aprendizaje y las tareas de evaluación. Este alineamiento debe extenderse a todas las partes de cada componente. Cuando algún elemento no tiene suficiente alineamiento, surgen dificultades que pueden desestabilizar el programa y disminuir la calidad de la docencia. En nuestro caso ha existido, en general, un buen alineamiento desde el inicio y esto ha influido en las fortalezas encontradas. Sin embargo ha habido algunas discordancias, en relación a los principios del ABP, relacionadas con una necesidad de mayor atención al proceso y al difícil rol del profesor como facilitador.

Referencias

- Banerjee, H. K. (1994). Handling of a specialist subject in an integrated problem based learning programme. En S. E. Chen, R. Cowdroy, A. Kingsland & M. Ostwald (Eds.), *Reflections on problem-based learning* (pp. 219-235). Sydney, Australia: Australian Problem Based Learning Network.
- Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M. (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education*. New York: Springer Publishing Company.
- Basset, L., Guardiola, A., & Serrano, B. (2009). Más de 30 años de cálculo de Estructuras en la ETS de Arquitectura de Valencia. *IV Congreso de Arquitectos de España, Valencia*.
- Biggs, J. B. (1999). *Teaching for quality learning at university : what the student does*. Buckingham: Open University Press.
- Black, R. G., & Duff, S. (1994). "A model for teaching structures: Finite element analysis in macarchitectural education." *Journal of Architectural Education*, 48(1), 38-55.
- Bouhuijs, P. A. (2011). Implementing Problem Based Learning: Why is it so hard?. *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 9(1), 17-24.
- Brohn, D. M. (1992). A new paradigm for structural engineering. *The Structural Engineer*, 70(13), 239-242.
- Delgado, A., Justo, E., Molina Huelva, M., & Rodríguez-Mayorga, E. (2015). Relevant features in steel structures teaching in building construction by project-based learning. *3rd International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering*.
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235-266.
- IStructE. (2009). Conclusiones de la conferencia anual de la Institución de Ingenieros Estructurales. Londres. The Institution of Structural Engineers.
- Justo, E., & Delgado, A. (2014). Change to Competence-Based Education in Structural Engineering. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 141(3), 05014005.
- Justo, E., Delgado, A., Vázquez-Boza, M., & Bascón, M. C. (2014). La Docencia de Estructuras por Competencias Mediante ABP. In *I Seminario Iberoamericano de Innovación Docente de la Universidad Pablo de Olavide*.
- MacLeod, I. (2007). Structural engineering competence in the computer era. *The Structural Engineer*, 85(3)
- May, I. M., Wood, R. D., Beer, G., & Johnson, D. (2003). The future of structural analysis teaching. *Structural Engineer*.
- Nethercot, D. A. (2000). On the teaching of structural engineering. *Proc. Conf. on Civil and Structural Engineering Education in the 21 St. Century*, Southampton Univ. (77) pp. 157-168.
- Savery, J. R., & Duffy, T. M. (1995). Problem based learning: An instructional model and its constructivist framework. *Educational Technology*, 35, 31-38.
- Savin-Baden, M. (2000). *Problem-based learning in higher education: Untold stories*. London: Society for Research into Higher Education.
- Schmidt, H. G., Henk, T., Wilco, W. T. W., & Wijnen, W. H. (2009). Constructivist, problem-based learning does work: A meta-analysis of curricular comparisons involving a single medical school. *Educational Psychologist*, 44(4), 227-249.
- Tejada, J., Giménez, V., Navío, A. et al. (2007). *Formación de formadores. Tomo I. Escenario aula*. Madrid: Paraninfo.