

Aprendizaje basado en proyectos para mejorar la enseñanza en las clases de Estructuras de Hormigón Armado del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Project-based learning to enhance the teaching in the classes about reinforced concrete structures in the degree on industrial technology engineering

Javier Fernando Jiménez Alonso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4592-0375>

Universidad de Sevilla

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Departamento de Mecánica de Medios Continuos y

Teoría de Estructuras

jfjimenez@us.es

DOI: <http://dx.doi.org/10.12795/9788447222865.128>

Pp.: 2245-2265



Resumen

La asignatura *Estructuras de Hormigón Armado* se imparte en el segundo cuatrimestre del tercer curso del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales. La asignatura supone el primer contacto de los alumnos con las estructuras de hormigón armado. Históricamente, los alumnos han mostrado cierta dificultad en el aprendizaje de esta materia debido principalmente a tres motivos: (i) la dificultad de relacionar los contenidos de la misma con los aprendidos en asignaturas precedentes del mismo área de conocimiento; (ii) la complejidad que supone la comprensión del comportamiento estructural de un material heterogéneo; y (iii) la laboriosidad asociada a la aplicación práctica de la normativa vigente que regula el proyecto de este tipo de estructuras. Con el objetivo de facilitar al alumno el aprendizaje de esta materia y vencer las dificultades mencionadas se implementó el siguiente Ciclo de Mejora en el Aula. Dicho ciclo se centra en la reorganización completa de los contenidos de la asignatura estableciendo como hilo conductor el desarrollo de un proyecto real de una estructura de hormigón armado. El objetivo de dicho proyecto es tanto servir de guía al alumno en la interiorización de los contenidos como de generar la motivación e interés necesarios que le ayuden a completar con éxito su experiencia de aprendizaje. Dicho ciclo de mejora de asignatura completa se enmarca en la fase de permanencia del Programa de Formación en Innovación Docente del Profesorado de la Universidad de Sevilla.

Palabras clave: Estructuras de hormigón armado, Grado en ingeniería de tecnologías industriales, docencia universitaria, desarrollo profesional docente, talleres conceptuales.

Abstract

The subject, *Reinforced Concrete Structures*, is taught in the second quarter of the third year of the Degree on the Industrial Technology Engineering. It is supposed that the subject is the first contact of the students with the reinforced concrete structures. Historically, the students have shown some difficulties in learning this subject, mainly due to three reasons: (i) the difficulty in relating these contents to the ones learned in previous subjects of the same knowledge area; (ii) the complexity involved in the understanding of the structural behaviour of a heterogeneous material; and (iii) the diligence associated with the practical application of the current standards that regulate the project of reinforced concrete structures. In order to make easier for the students the learning of this matter and overcome the mentioned difficulties, the following classroom improvement cycle was implemented. This cycle is focused on the complete reorganization of the contents of the subjects establishing as common thread the development of a real project of a reinforced-concrete structure. The objective of this project is both to serve as a guide to the students in the internalization of the contents and to generate the necessary motivation and interest which help them



complete successfully their learning experience. This improvement cycle, for a full-term subject, is framed within the stay phase of the Training and Teaching Innovation Program for the teachers of the University of Seville.

Keywords: Reinforced concrete structures, Degree on industrial technology engineering, university teaching, experimentation in university teaching, conceptual workshops.

Descripción del contexto

En esta experiencia docente se describe un ciclo de mejora en el aula (CIMA) (Delord y otros, 2020) de asignatura completa enmarcado dentro de la fase de permanencia (REFID) del Programa de Formación e Innovación Docente del Profesorado (FIDOP) que desarrollan de forma conjunta el Secretariado de Formación y Evaluación y el Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad de Sevilla.

La asignatura sobre la que se va a aplicar el CIMA se titula *Estructuras de Hormigón Armado* y se imparte en el segundo cuatrimestre del tercer curso del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales.

Se trata de una asignatura de 6 créditos ECTS distribuida en dos sesiones de hora y media en dos días diferentes durante las quince semanas de las que consta el curso académico. Adicionalmente en la asignatura se tenían previsto impartir tres seminarios (talleres conceptuales), tres prácticas informáticas y cinco prácticas de laboratorio.

Estructuras de Hormigón Armado (EHA) es una asignatura optativa del «Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales Mención en Mecánica-Construcción» (Plan de Estudios 2010). Se imparte seguidamente a la asignatura «Elasticidad y Resistencia de Materiales» (primer cuatrimestre del segundo curso) y «Teoría de Estructuras» (primer cuatrimestre del tercer curso) y antecede a la asignatura «Tipología y Proyecto de Estructuras» (primer cuatrimestre del cuarto curso).

Adicionalmente a estas asignaturas el alumno complementará su formación en el campo de las estructuras con las siguientes asignaturas: (i) *Ampliación de elasticidad y resistencia de materiales*; (ii) *Estructuras metálicas*; (iii) *Ampliación de teoría de estructuras*; y (iv) *Métodos Computacionales en Estructuras*.

Un breve recorrido por la trayectoria de un alumno supone que se introduce en las Estructuras sentando las bases del análisis estructural (esfuerzos, tensiones y deformaciones), continua después analizando y dimensionando estructuras de acero y hormigón para terminar profundizando en el conocimiento de las diferentes tipologías estructurales y en métodos avanzados de análisis estructural (Rodríguez-Mayorga, 2019).



Así pues, la asignatura que ocupa este CIMA consiste básicamente en la aplicación, de los principios teóricos adquiridos tanto en *Elasticidad y Resistencia de Materiales* como en *Teoría de Estructuras*, a quizás uno de los materiales más utilizado en la construcción industrial, el hormigón armado.

De especial importancia es que esta asignatura es el único contacto que los alumnos tienen con el dimensionado y análisis de las estructuras de hormigón armado según el actual plan de estudios. De ahí la importancia, de maximizar el aprendizaje del alumnado en esta materia (Rumsey *et al.*, 2010).

La asignatura «Estructuras de Hormigón Armado» es una de las asignaturas del «Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales Mención en Mecánica-Construcción» que presenta mayor dificultad para los estudiantes debido principalmente a tres motivos: (i) la dificultad de relacionar los contenidos de la misma con los aprendidos en asignaturas precedentes del mismo área de conocimiento (Rodríguez-Mayorga, 2019); (ii) la complejidad que supone la comprensión del comportamiento estructural de un material heterogéneo (Baharon *et al.*, 2011); y (iii) la laboriosidad asociada a la aplicación práctica de la normativa vigente que regula el proyecto de este tipo de estructuras (España. Ministerio de la Vivienda, 2011; Fomento, 2008).

De esta manera el principal objetivo de este ciclo de mejora es reorganizar los contenidos de la asignatura para facilitar su comprensión al alumnado, ordenado los diferentes bloques temáticos que la constituyen de acuerdo con un mapa conceptual más lógico y equilibrado. Dicha reorganización va a llevar consigo adicionalmente un cambio en la metodología docente planteada.

La asignatura EHA se ha impartido a un grupo reducido de 8 alumnos (de un total de 12 matriculados) que han asistido regularmente a clase (bien de forma presencial o bien de forma virtual mediante la conexión existente en la página web de la asignatura).

El CIMA se ha aplicado en el único grupo existente. Dicho grupo ha realizado su actividad docente presencial con turno de mañana (lunes y martes de 10:40 a 12:10). Adicionalmente, las prácticas informáticas, de laboratorio y seminarios (talleres conceptuales) se han impartido los viernes de 10:00 a 12:00. Las clases presenciales se han celebrado en el aula 109 de la Escuela Superior de Ingenieros. Por motivos sanitarios tanto las prácticas de laboratorio como las prácticas informáticas se han realizado de forma virtual, mientras que los seminarios (talleres conceptuales) han tenido lugar en el aula 203 de la mencionada Escuela. Todas las aulas están equipadas con toma de corriente, conexión a internet y mobiliario móvil, facilitando este último el posible trabajo en grupo de los alumnos.



El programa de la asignatura contempla la existencia de: (i) 45 horas presenciales teórico-prácticas; (ii) 2 horas de prácticas informáticas (PI); (iii) 3 horas de seminarios (S/TC); (iv) 10 horas de prácticas de laboratorio (PL); (v) 90 horas no presenciales de trabajo autónomo del estudiante; y (vi) 4 horas presenciales del alumno que serán destinadas a la realización de un examen teórico-práctico. El programa establece como metodología docente las clases expositivas, el desarrollo de trabajos, proyectos, problemas y una sesión en la que se realiza el examen de evaluación.

Diseño previo del CIMA

Modelo Metodológico

De acuerdo con lo expuesto en la sección anterior, el modelo metodológico más cercano a la práctica habitual de la enseñanza de la asignatura se ilustra en la figura 1 (Porlán, 2017).

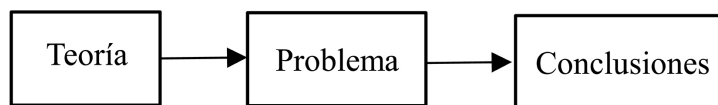


Figura 1. Modelo metodológico habitualmente empleado en la docencia de la asignatura EHA.

De acuerdo con dicho modelo, en primer lugar, se procede a realizar una exposición teórica de uno de los temas en los que se divide el contenido de la asignatura para, posteriormente, aplicar dicha teoría a un problema concreto. El alumno normalmente utiliza cada uno de los problemas de aplicación como base para interiorizar los contenidos. A partir de dicho problema de aplicación se deben obtener unas conclusiones generales que puedan ser aplicadas a otros tipos de problemas semejantes.

La propuesta de este CIMA plantea un modelo metodológico completamente distinto que se apoya en el denominado *Aprendizaje Basado en Proyectos* (Mills, 2002). La figura 2 muestra el esquema de flujo ideal para dicho modelo metodológico.

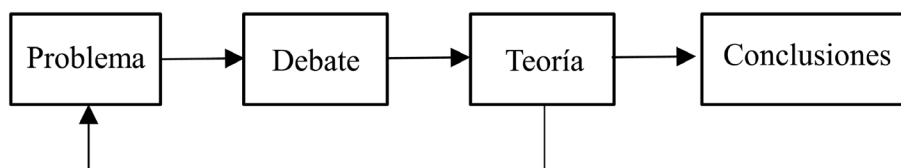


Figura 2. Modelo metodológico ideal propuesto en la docencia de la asignatura EHA.



De acuerdo con dicho modelo, se partirá de un problema inicial (proyecto de curso) y mediante una tormenta de ideas y un posterior debate se planteará que teoría es necesario conocer para resolver el problema. Se presentará la teoría y posteriormente se aplicará dicha teoría a la resolución del problema. En la aplicación de la teoría al problema se mezclarán las actividades realizadas en horario presencial con el no presencial. Los resultados obtenidos se expondrán en clase para obtener de los mismos unas conclusiones generales que permitan aplicar lo aprendido a otros problemas más generales. Se propondrá un proyecto de curso como hilo conductor que vincula los diferentes contenidos de la asignatura. De esta manera el proyecto de curso servirá para generar los problemas correspondientes a los diferentes bloques temáticos que constituyen la asignatura (Ricaurte y Vilorio, 2020). De manera paralela a dicha actividad, y siguiendo un esquema similar, los alumnos desarrollarán un trabajo no presencial consistente en el diseño de una estructura de hormigón armado de diferente tipología (práctica de curso). Para guiar y motivar al alumno en el desarrollo de dicho trabajo se celebrarán tres seminarios o talleres conceptuales (Finkel, 2000).

El modelo metodológico ideal ha podido ser aplicado adecuadamente durante el desarrollo de toda la asignatura. No obstante, se ha observado una división de la clase en tres grupos: (i) un grupo mayoritario, formado por el 63% de los alumnos, que han seguido el modelo con motivación y entusiasmo, y que han obtenido unos resultados positivos y homogéneos; (ii) un segundo grupo formado por el 25% de los alumnos que han manifestado resistencia al cambio y han optado por mantener de forma independiente el modelo metodológico original (tanto la evaluación como la calificación de este grupo de alumnos no ha sido satisfactoria); y (iii) un tercer grupo formado por el 12% restante de alumnos que han tenido problemas en seguir la asignatura por otros motivos externos al desarrollo de la propia actividad formativa. Se ha de notar que el segundo grupo estaba formado mayoritariamente por alumnos que repetían la asignatura. No obstante, dichos alumnos han asistido con asiduidad tanto a las clases presenciales como a los talleres conceptuales adoptando el rol de observador externo (pasivo).

A pesar de los buenos resultados obtenidos, en futuros ciclos de mejora debería analizarse el rendimiento de la metodología propuesta frente a la convencional aplicando la misma de forma paralela a diferentes grupos de alumnos. Por otro lado, la dificultad o influencia que el tamaño de la clase tiene en la evaluación del rendimiento de dichos ciclos de mejora deberían analizarse en detalle en futuras investigaciones.



Principios Didácticos

La organización habitual de las sesiones de la asignatura respondía al esquema exposición teórica del profesor seguida de la resolución de un ejercicio de aplicación de la teoría previamente expuesta. Del análisis de los resultados publicados en experiencias docentes similares (Aparicio and Ruiz-Teran, 2007) se puede desprender que dicha metodología presenta dos grandes dificultades para el aprendizaje de los alumnos: (i) el paso de la teoría a la práctica y (ii) la generalización de las lecciones aprendidas de un caso en estudio concreto a estructuras con diferentes tipologías.

Con el objetivo de superar dichas dificultades y al amparo de las nuevas tendencias educativas (De Justo y Delgado, 2015), se plantea la reorganización completa de la asignatura en base a los siguientes principios didácticos (Rodríguez-Mayorga, 2019):

- Se pretende fomentar la *creatividad de los estudiantes*, aumentando de este modo el interés de estos en la asignatura. Se pretende que los alumnos diseñen sus propios detalles constructivos para dar solución a problemas estructurales convencionales y que sean capaces de aplicar la teoría descrita para poder simular numéricamente su comportamiento.
- Se pretende favorecer el *aprendizaje autónomo* del estudiante en la medida de lo posible, estableciendo unos hitos temporales y de contenido al trabajo no presencial, para que de esta manera el estudiante asimile el contenido de las clases teóricas mediante su aplicación a diferentes problemas prácticos.
- Se pretende que el alumno *trabaje en grupo*. En una disciplina como la que nos ocupa, saber trabajar en grupo supone saber integrarse en un equipo de trabajo cualquiera, con la ventaja que ello supone para la incorporación al mundo laboral.
- Se pretende establecer una vía de *retroalimentación (feedback)* del profesor a través de cuestionarios y de la observación directa en clase (diario del profesor). De esta forma, el profesor puede conocer lo que el alumno ha entendido de lo que el profesor ha expuesto, pudiéndose hacer una idea de los mapas mentales realmente interiorizados por los alumnos, y pudiendo individualizar de este modo cada experiencia de aprendizaje.
- Se pretende *fomentar la actividad de los alumnos* en clase, que dejen de ser meros espectadores, de forma que se permita a los mismo aprender haciendo, no solo viendo lo que hace otra persona (tradicionalmente el docente). Por tanto, debe haber un esquema temporal indiscutible en el que el alumno primero observe y luego repita de forma consciente.



Descripción del Diseño

La metodología, seguida en el desarrollo de este CIMA, partirá de la reorganización completa de los contenidos recogidos en el programa de la asignatura, y su articulación en base a un proyecto real de un edificio industrial (López-Querol *et al.*, 2015). Dicho programa se puede organizar en tres bloques temáticos: (i) diseño de vigas y losas; (ii) diseño de soportes; y (iii) diseño de cimentaciones y elementos singulares. La inmersión del alumno en los diferentes bloques no será directa, sino que las dificultades que plantea el proyecto serán la fuente de la emanen la motivación y curiosidad que los alumnos necesitan para explorar dicha área de conocimiento. En paralelo, y al objeto de valorar el mapa mental que los alumnos están construyendo de la asignatura, se organizará la parte no presencial de la misma, esto es, una práctica de curso que los alumnos deben desarrollar tanto en los seminarios (Finkel, 2000) como durante el horario no presencial (Rodríguez-Mayorga *et al.*, 2018). Dicha práctica de curso consistirá en la realización del proyecto de una estructura de hormigón armado con una tipología distinta a la desarrollada en el proyecto de curso. De esta forma, el alumno tendrá que adaptar y extrapolar los resultados obtenidos a otro caso en estudio. En esta actividad se mantendrá el mismo modelo metodológico que en las clases presenciales. No obstante, se debe señalar que adicionalmente a los seminarios ha sido necesario realizar numerosas tutorías individuales y en grupo para guiar al alumnado en el desarrollo de la práctica.

Mapa de contenidos

La reorganización de los contenidos se ha realizado tomando como base el mapa conceptual del proceso natural de diseño de una estructura de hormigón armado. Dicho mapa conceptual se presenta en la figura 3.

Dicho mapa conceptual refleja los diferentes contenidos y actividades de la asignatura. Los contenidos pueden ser organizados en tres grupos (Porlán, 2017): (i) conceptuales; (ii) procedimentales y (iii) actitudinales según se muestra en la figura 3. Adicionalmente, se han incluido una serie de actividades que los alumnos deberán desarrollar para interiorizar los contenidos descritos. Dicho mapa conceptual puede reorganizarse cronológicamente, resultando la programación que refleja la tabla 1.



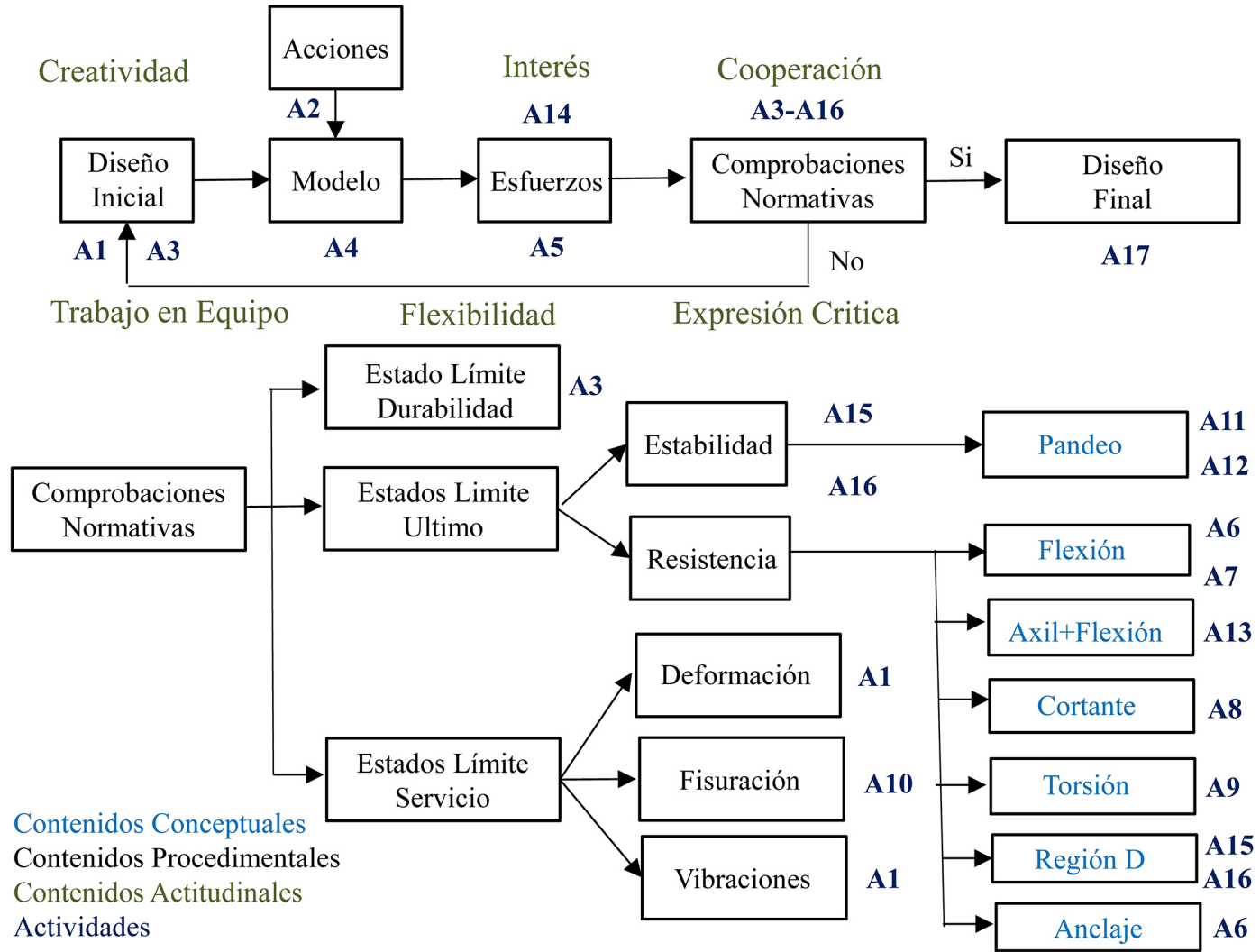


Figura 3. Mapa conceptual de la asignatura EHA.



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

Tabla 1. Programación temporal (cronológica) de los contenidos

Semana	Contenidos Conceptuales y Procedimentales de EHA
1	Introducción/Presentación de la Asignatura → Actividades A1-A2. Predimensionamiento y Modelado de EHA. Presentación Proyecto de Curso. Presentación Práctica de Curso.
2	Características del Material (Resistencia y Deformación) → Actividad A3. Bases de Cálculo. Durabilidad.
3	EHA a Flexión. Armado de Vigas a Flexión → Actividad A4. 1º PI: Modelo Proyecto de Curso y Análisis de Resultados ante Peso Propio.
4	EHA a Cortante. Armado de Vigas a Cortante → Actividad A5. 2º PI: Aplicación de Cargas (Hipótesis Simples) y Combinación de Cargas (Envolventes).
5	EHA a Torsión. Armado de Vigas a Torsión → Actividad A6.
6	Diseño de Forjados I (Unidireccionales) → Actividades A7-A9. Autorización de Uso.
7	ELS: Fisuración, Deformación y Vibraciones → Actividades A1-A10. 1º S/TC: Diseño de las Vigas de la Estructura.
8	Diseño de Forjados II (Bidireccionales y Losas). Comprobación de Punzonamiento. 1º PL: Rotura de Viga de Hormigón Armado a Flexión (Dominio 2).
9	Estructuras de Hormigón Armado a Flexión-Compuesta → Actividades A11-A13. Diseño de Estructuras de Hormigón Armado frente a Acciones Horizontales. Pandeo de Estructuras de Hormigón Armado. 2º PL: Rotura de Viga de Hormigón Armado a Flexión (Dominio 4).
10	Análisis Estructural y Redistribución de Esfuerzos → Actividades A11-A14. 2º S/TC: Diseño de los Soportes de la Estructura.
11	Análisis de regiones D. Cargas Puntuales y Ménsulas Cortas. 3º PL: Rotura de Viga de Hormigón Armado a Cortante.
12	Diseño de Cimentaciones Directas (Zapatasy Losas) → Actividad A15. 3º PI Dimensionamiento de elementos de hormigón armado.
13	Diseño de Cimentaciones Profundas (Encepados de Pilotes) → Actividad A16.
14	Diseño de Estructuras de Sostenimiento/Contención (Muros) → Actividad A16-A17. 3º S/TC Diseño de Cimentación de la Estructura.
15	Presentación de Prácticas de Curso.

Al objeto de solucionar los problemas mencionados (dificultad del alumnado de aplicar la teoría a la práctica y de generalizar su implementación en diferentes tipos de problemas), los contenidos del curso se han articulado en torno al desarrollo de dos proyectos reales de construcción industrial (Burke, 2011): (i) el proyecto del curso (desarrollado por el docente); y (ii) la práctica del curso (desarrollada por los alumnos).



El proyecto de curso servirá de hilo conductor durante las clases presenciales (teóricas y prácticas informáticas) mientras que la práctica de curso será la base de los seminarios (talleres conceptuales) de la asignatura. Todas las actividades del curso (tabla 2) tratarán sobre el diseño y dimensionamiento de los diferentes elementos estructurales en los que se pueden descomponer ambas construcciones industriales. La tipología estructural de ambas construcciones será totalmente distinta al objeto de permitir al alumnado la generalización de los conceptos aprendidos a problemas estructurales de diferente naturaleza. La práctica de curso será desarrollada por los alumnos en horario no presencial sobre el que deberán replicar las diferentes actividades del curso de manera autónoma. De esta forma, a lo largo de la asignatura, se diseñarán y calcularán dos proyectos de estructuras diferentes.

Tabla 2. Relación de actividades a desarrollar

Actividad	Descripción de la Actividad
A1	Diseño de la estructura de la práctica de curso (trabajo en grupo) y predimensionado de la misma.
A2	Determinación de las acciones sobre la estructura en hipótesis simples frente a todo tipo de cargas permanentes y variables.
A3	Determinación de todos los materiales que intervienen en la estructura de la práctica de curso.
A4	Elaboración del modelo de cálculo mediante métodos informáticos de la estructura de la práctica de curso.
A5	Aplicación de cargas (hipótesis simples), combinación de cargas y envolventes de esfuerzos de la práctica de curso.
A6	Armado longitudinal a flexión de las vigas de la estructura de la práctica de curso.
A7	Diseño del forjado del proyecto del curso.
A8	Armado transversal a cortante de las vigas de la estructura de la práctica de curso.
A9	Armado a torsión de las vigas de la estructura de la práctica de curso.
A10	Comprobación a fisuración de las vigas de la estructura de la práctica de curso.
A11	Análisis del comportamiento frente a cargas horizontales de la estructura de la práctica de curso.
A12	Análisis del comportamiento a pandeo de la estructura de la práctica de curso.
A13	Armado longitudinal y transversal de los soportes de la estructura de la práctica de curso.
A14	Análisis de la redistribución de esfuerzos en el comportamiento de las vigas de la estructura de la práctica de curso.
A15	Diseño de las zapatas de la estructura de la práctica de curso.
A16	Diseño de los encepados de pilotes de la estructura de la práctica de curso.
A17	Presentación de la práctica de curso y resumen de lecciones aprendidas.



Para el desarrollo de la práctica del curso, los alumnos se reunirán en grupos de 2 a 3 alumnos y desarrollarán, principalmente en horario no presencial, el proyecto de una estructura sencilla de hormigón armado. Para el desarrollo de dicho proyecto solo se establecerán, por parte del docente, unos requisitos generales y un cuestionario con una serie de preguntas que ayuden al alumno en la toma de decisión para la selección de los diferentes elementos que constituyen la estructura a proyectar. Los alumnos contarán con la orientación del docente durante la celebración de los tres seminarios (talleres conceptuales) y durante el horario de tutorías. Durante los seminarios el docente observará y facilitará el trabajo a los alumnos. Las cuestiones que resulten de interés general serán discutidas y comentadas por el conjunto de la clase. Los seminarios serán de obligatoria asistencia para la consideración del alumno como «aprobado por curso».

Tanto el proyecto como la práctica de curso deberán cumplir los siguientes requisitos: (i) *estructura de ingeniería industrial sencilla*; (ii) *la modelización de la estructura debe ser fácilmente resoluble mediante cálculos «a mano» o recurriendo a algún software especializado*; (iii) *luces intermedias de manera que pueda ser resuelto con diferentes tipologías*; y (iv) *adaptable a diferentes tipos de cimentación en función de las características resistentes del terreno*.

Aplicación del CIMA

Relato resumido de sesiones

La aplicación del CIMA ha seguido en gran medida la distribución cronológica de contenidos y actividades descrita en el apartado anterior. Durante prácticamente todo el curso las clases consistieron en plantear un problema en base a uno de los elementos de la práctica de curso. En la figura 4 se muestra un esquema de la práctica de curso a desarrollar. A partir de dicho problema se plantean varias preguntas que son discutidas en clase por los alumnos y de ahí se establece la teoría necesaria para resolver el problema. Dicha teoría es presentada por el docente y, a continuación, dependiendo de la complejidad del concepto, bien el propio docente realiza la implementación práctica de la teoría sobre el problema original o bien son los alumnos los encargados de realizar dicha implantación. En este segundo caso, los resultados obtenidos por los alumnos son puestos en común para supervisión del docente. Finalmente, se realiza un debate final para intentar extraer conclusiones generales sobre el tema al objeto de poder aplicar las lecciones aprendidas a otro tipo de problemas (Bain y Barberá, 2007). La evaluación de las lecciones aprendidas se realiza



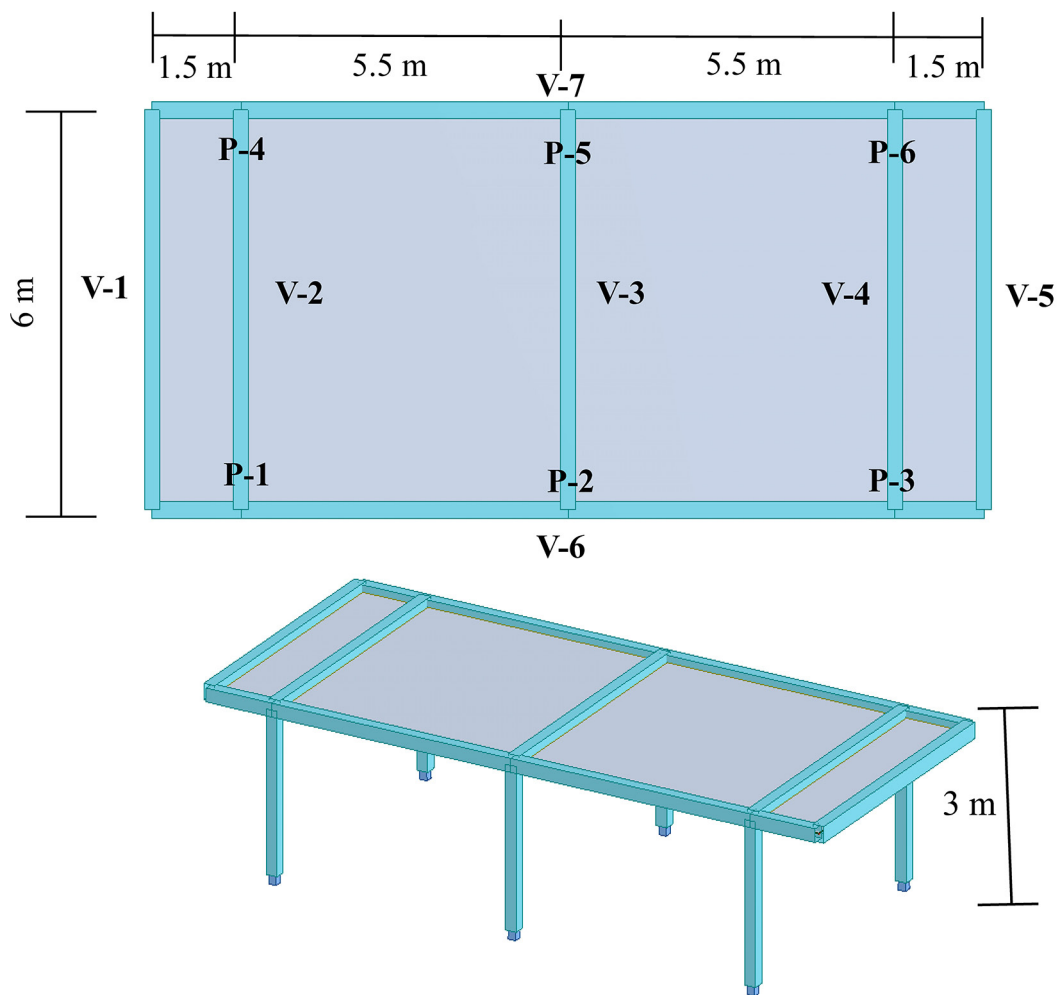


Figura 4. Esquema representativo de la estructura desarrollada en el proyecto de curso.

posteriormente mediante el desarrollo por parte de los alumnos de una práctica de curso. De forma paralela se han realizado de forma puntual y telemática tres prácticas informáticas y tres prácticas de laboratorio.

A pesar de la buena acogida general de la nueva metodología docente, quizás motivado por el tamaño del grupo (número de alumnos matriculados), han aparecido ciertas limitaciones temporales que han impedido impartir por completo todos los contenidos de la misma. En dicho sentido, respecto al diseño original se han realizado las siguientes modificaciones: (i) solo se ha analizado un tipo de forjado (unidireccional); (ii) las actividades 15 y 16 se han unificado, dándose la libertad al alumno de diseñar el tipo de cimentación que considerase más adecuado para unas condiciones geotécnicas dadas; y (iii) el tema sobre el diseño de las estructuras de contención y sostenimiento se ha reducido temporalmente, transformándose su impartición en una clase expositiva convencional. El resto de las



actividades se han realizado tal como estaban previstas en el cronograma. No obstante, los alumnos han sugerido, como una posible propuesta para futuros ciclos de mejora, la simplificación de algunos de los contenidos del curso.

De especial importancia, dentro de este CIMA, han sido los tres seminarios (talleres conceptuales) que se han celebrado a lo largo de la asignatura. Cada uno de dichos talleres está relacionado con los tres bloques temáticos en los que se puede dividir el contenido de la misma y la propia práctica de curso sobre la que se apoyan. En relación con la práctica de curso, dado el reducido número de alumnos, se redujo el número de alumnos por práctica a 1 o 2 miembros. No obstante, durante la celebración de los seminarios y tutorías complementarias la clase ha funcionado como un solo grupo activo de unos 6 alumnos. Dada la importancia que han tendido estos talleres conceptuales (Rodríguez-Mayorga *et al.*, 2018) en el buen funcionamiento de esta experiencia docente se detallan las actividades desarrolladas en cada uno de ellos.

Seminario/Taller Conceptual I (Semana 7). En este primer seminario se pretende que los alumnos sean capaces de interiorizar y generalizar los conocimientos presentados en el primer bloque de la asignatura *Diseño de Vigas y Losas*. Se inicia el seminario cumplimentando el primer cuestionario de evaluación de la asignatura. Durante el seminario, los alumnos trabajaron en su práctica de curso, adaptando las actividades (A1-A6 y A8-A9) a su caso concreto. Se realizó un debate en grupo sobre las principales dificultades encontradas. En este punto el docente orientó a los alumnos en la resolución de dichas dificultades actuando como un tutor flotante que guía a los alumnos en la resolución de los problemas planteados. Los alumnos comienzan a implementar en su práctica de curso las modificaciones necesarias, concluyendo el desarrollo de esta actividad durante el horario no presencial.

Seminario/Taller Conceptual II (Semana 10). En este segundo seminario se pretende que los alumnos sean capaces de interiorizar y generalizar los conocimientos presentados en el segundo bloque de la asignatura *Diseño de Soportes*. Se inicia el seminario cumplimentando el segundo cuestionario de evaluación de la asignatura. Durante el seminario, los alumnos trabajaron en su práctica de curso, adaptando las actividades (A11-A14) a su caso concreto. El resto del seminario siguió un esquema idéntico al seminario I. Un pequeño grupo de alumnos (dos) comunica que solo van a asistir a los seminarios de forma pasiva, ya que les parecen interesante los temas tratados pero que prefieren no desarrollar la práctica de curso de la asignatura.

Seminario/Taller Conceptual III (Semana 14). En este último seminario se intentan afianzar y generalizar los conceptos presentados en el tercer



bloque de la asignatura *Diseño de Cimentaciones y Elementos Singulares*. Se inicia el seminario cumplimentando el tercer cuestionario de evaluación de la asignatura. Durante el seminario, los alumnos trabajaron en su práctica de curso, adaptando las actividades (A15-A16) a su caso concreto. El resto del seminario siguió un esquema idéntico al de los anteriores no produciéndose incidencias adicionales.

Se debe señalar, que además de los tres seminarios mencionados, ha sido necesario concertar tutorías cada semana, tanto de forma individual como colectiva, para guiar y asesorar a los alumnos en el desarrollo de la práctica de curso. El uso de ambas herramientas docentes ha sido clave tanto para el correcto desarrollo de la asignatura como para reconstruir los mapas mentales que originalmente tenían los alumnos de los contenidos de la misma.

Evaluación del aprendizaje de los estudiantes

La evaluación del aprendizaje de los estudiantes se ha realizado de forma progresiva. Con dicho propósito se han utilizado dos herramientas: (i) *cuestionarios* y (ii) *práctica de curso (portafolio)*. Al efecto tanto de la reorganización de la asignatura como de la evaluación del aprendizaje de los alumnos, el contenido de esta se ha dividido en tres bloques temáticos: (i) diseño de vigas y losas; (ii) diseño de soportes y (iii) diseño de cimentaciones y elementos singulares. Los cuestionarios se han elaborado en función de dichos bloques temáticos. Cada cuestionario estaba formado por quince preguntas. En el cuestionario inicial que pretendía ofrecer una visión global del conocimiento previo de los alumnos, cinco preguntas se han dedicado a cada bloque. Dicho cuestionario fue cumplimentado por los alumnos el primer día de clase. Los tres cuestionarios restantes se han pasado al comienzo de cada uno de los seminarios. Dichos cuestionarios estaban centrados respectivamente en cada uno de los bloques temáticos.

Al objeto de cuantificar la información obtenida de los cuestionarios se han elaborado unas escaleras de aprendizaje (Van Vorst, 2018). De esta manera, se han comparado los resultados del cuestionario inicial con los correspondientes a los cuestionarios cumplimentados durante los seminarios. Se han establecido los siguientes escalones de aprendizaje que reflejan el nivel de competencia del alumnado en función a la puntuación obtenida (número de preguntas acertadas): (i) *básico* (0-3); (ii) *medio* (4-7); (iii) *avanzado* (8-11); y (iv) *experto* (12-15). Se presenta en la figura 5 un análisis comparativo del estado original y la evolución temporal del nivel de competencia alcanzado por los estudiantes a lo largo del curso a través de su posición en la escalera de aprendizaje considerada (Porlán, 2017).



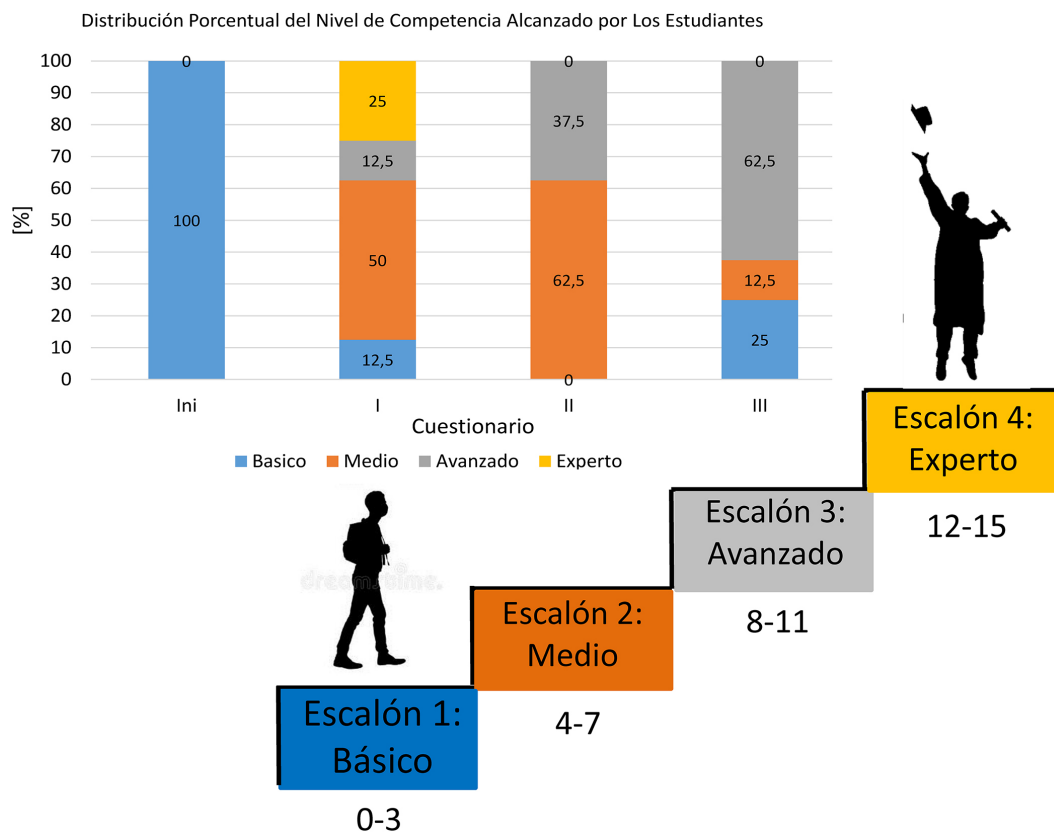


Figura 5. Escaleras de aprendizaje para la evaluación del ciclo de mejora.

Del análisis de los resultados de dicha escalera se pueden obtener las siguientes conclusiones: (i) *el conocimiento inicial que todos los alumnos tenían de los contenidos de la asignatura era básico*; (ii) *tras las siete primeras semanas de clase la mayor parte de los alumnos habían evolucionado favorablemente en la escalera de aprendizaje (más del 87% había alcanzado un nivel de competencia medio)*; (iii) *tras el primer cuestionario se observa que la velocidad de aprendizaje del grupo es bastante homogénea ya que aproximadamente el 62% de los alumnos se encuentran en un escalón de aprendizaje intermedio (entre medio y avanzado)*; (iv) *tras el segundo cuestionario (semana 10) se comprueba el afianzamiento de este grupo de alumnos en el nivel medio*; y (v) *finalmente, como es reflejado por los resultados del tercer cuestionario (semana 14), dicho grupo de alumnos es capaz de alcanzar el siguiente nivel (avanzado)*.

El análisis de los resultados de las escaleras de conocimiento también refleja el nivel de resistencia que ha tenido el alumnado frente a la nueva metodología docente (el 25% que tras la aplicación del ciclo han preferido abordar la asignatura de forma convencional y el 12,5% de alumnos que



aun queriendo engancharse al ritmo de la clase no han sido capaces de hacerlo debido a motivos externos al desarrollo de la asignatura). La mitad de los alumnos que han preferido la evaluación convencional habían cursado la asignatura anteriormente.

Adicionalmente del análisis de la práctica de curso, que puede constituir el portafolio de las actividades desarrolladas por los alumnos a lo largo del curso, se pueden obtener resultados similares. Dichos resultados muestran la existencia de un amplio grupo de alumnos que han obtenido una evaluación muy favorable de las competencias alcanzadas (De Justo y Delgado, 2015) al cursar la asignatura bajo la metodología propuesta.

Finalmente, se ha de señalar que los resultados obtenidos en la evaluación han tenido idéntico reflejo en la calificación. De esta forma todos los alumnos que han adquirido un nivel avanzado de competencias en la última escalera de aprendizaje han superado satisfactoriamente la asignatura. Este hecho ha motivado que alguno de los alumnos reticentes al nuevo modelo metodológico haya superado su resistencia y tenga la intención de sumarse a dicha metodología en el próximo curso.

Evaluación del CIMA

Para la evaluación del ciclo de mejora se han utilizado dos fuentes diferentes: (i) *la retroalimentación continua entre los alumnos y el docente*, y (ii) *un cuestionario*. Dado el reducido de alumnos matriculados en la asignatura desde el principio de curso se ha establecido un clima muy adecuado de trabajo en la clase, en el que los alumnos han manifestado de manera fluida y continua sus impresiones sobre los contenidos tratados y en qué aspectos de los mismos era necesario profundizar, ya sea por su propio interés o por la complejidad de los conceptos tratados. Adicionalmente a esta retroalimentación, se pasó a los alumnos un cuestionario donde se evaluaba de forma separada al docente y la organización de la asignatura. Para la evaluación de cada opción se formularon 10 preguntas escalando las respuestas del 1 (mínima competencia) al 5 (máxima competencia). Tanto la evaluación del docente como de la asignatura fue muy positiva con un valor medio por encima de 4,5. Adicionalmente, los alumnos han realizado algunas observaciones para mejorar o modificar la organización de la asignatura en futuros cursos. Dichas sugerencias pueden resumirse en: (i) *la simplificación de los contenidos de algunos de los bloques temáticos*; (ii) *la redacción de material de apoyo adicional*; (iii) *la reducción de la dificultad de la práctica de curso*; y (iv) *la modificación del orden cronológico de alguna de las actividades desarrolladas*. En dicho sentido aproximadamente el 88% de los alumnos han manifestado que la práctica de curso les ha requerido mucha dedicación,



pero paradójicamente solo el 25% de los alumnos encuestados han expresado que han dedicado a la asignatura más de 90 horas de trabajo no presencial.

A pesar de la buena acogida, por parte de los estudiantes, de la metodología docente presentada, los resultados obtenidos no deben tomarse como absolutos, ya que no es posible compararlos con experiencias anteriores. No existen datos ni de la evaluación del docente ni de la docencia de esta asignatura impartida con una metodología distinta debido a que esta experiencia docente constituye la primera vez que el docente imparte clase tanto en la asignatura como en la titulación. Se plantea como desarrollo futuro realizar un análisis comparativo de la valoración tanto de la evaluación del docente como de la organización de la asignatura considerado tanto una metodología convencional como la propuesta metodológica presentada en este trabajo (Bain y Barberá, 2007).

Cuestiones a mantener y cambios a introducir para un futuro Ciclo de Mejora

De los resultados indicados anteriormente se pueden extraer las siguientes conclusiones relacionadas con el mantenimiento o cambios a introducir en futuros ciclos de mejora. De esta manera, como aspectos a mantener, y que pueden ser aplicados de forma genérica a asignaturas de diferentes ramas de ingeniería, se presentan:

- El uso del aprendizaje basado en proyectos junto con el empleo de talleres conceptuales se presenta como una metodología adecuada para la docencia de las asignaturas de esta área de conocimiento.
- Los mapas conceptuales de las asignaturas de las titulaciones pertenecientes a las ramas de ingeniería pueden ser generados a partir de los contenidos procedimentales asociados al diseño general del objeto o elemento que se esté considerando.
- La diversificación de actividades motiva y ayuda al alumnado en el proceso de aprendizaje.
- El aprendizaje basado en proyectos permite clarificar y simplificar la forma en que se relaciona la teoría y la práctica en asignatura del área de ingeniería.

No obstante, los siguientes aspectos deben ser modificados o mejorados en futuros ciclos de mejora.

- *Reorganizar y simplificar algunos de los contenidos conceptuales* que por limitaciones temporales no han podido ser desarrollados en la medida en que estaban previstos (diferentes tipos de forjados y estructuras de sostenimiento en este caso).



- *Reducir el número de actividades* al objeto de evitar que el alumno se encuentre sobrepasado por la carga docente.
- *Ajustar mejor el alcance de la práctica de curso* para que todos los alumnos puedan desarrollarla con una dedicación que ellos mismos consideren aceptable.
- *Dotar a los alumnos de mayor número de fuentes* con material de apoyo auxiliar para consulta.
- *Modificar la forma de elaborar el cuestionario, con preguntas abiertas*, para intentar conocer el nivel de madurez alcanzado por el alumnado y averiguar el mapa mental que los mismos han elaborado de la asignatura.
- *Dar un mayor peso al portafolio de actividades* realizadas por el alumno como medio de evaluación del nivel de competencia adquirido.

Principios Didácticos argumentados que han guiado la experiencia presente y que deben permanecer en el futuro

Finalmente, los siguientes principios didácticos aplicados en este ciclo de mejora se mantendrán tanto en futuras aplicaciones de esta experiencia docente como en otras asignaturas donde el autor imparte docencia: (i) *fomentar la creatividad* de los estudiantes; (ii) favorecer el *aprendizaje autónomo*; (iii) el beneficio del *trabajo en grupo*; (iv) el establecimiento de *vías directas de comunicación entre el docente y los estudiantes*; y (v) fomentar el *comportamiento activo de los estudiantes* en clase.

Conclusiones

En esta experiencia docente se ha realizado una reorganización completa de los contenidos de una asignatura que históricamente ha sido calificada como «difícil» por los estudiantes debido a su complejidad y extensión. La forma habitual de organizar los contenidos de esta asignatura es dividir los mismos en dos partes «teoría» y «práctica» y evaluar a los alumnos mediante un examen final siguiendo la misma pauta. Dicha metodología presentaba dos grandes limitaciones que difícilmente eran superadas por la mayoría de los alumnos: (i) la capacidad de relacionar correctamente la teoría con la práctica, y (ii) la capacidad de los alumnos de extrapolar las lecciones aprendidas a otros problemas con características similares. Al objeto de superar estas limitaciones se han reorganizado los contenidos de la asignatura estableciendo un hilo conductor, el desarrollo de un proyecto real de una estructura de hormigón armado, que por una parte ayude a vincular las diferentes partes de la materia y por otra que motive a los alumnos durante su proceso de aprendizaje.



Adicionalmente, se ha realizado por parte de los alumnos el desarrollo no presencial de una práctica de curso, consistente en el diseño y cálculo de una estructura de hormigón armado de tipología distinta a la desarrollada en el proyecto de curso. Mediante la celebración de tres talleres conceptuales (seminarios) se ha guiado y asesorado al alumnado en la consecución de dicho trabajo.

Al objeto de evaluar el aprendizaje del alumnado durante el desarrollo de la asignatura se ha realizado su evaluación mediante el empleo de cuestionarios (uno inicial y tres adicionales en cada uno de los seminarios) y la observación continua del profesor (diario). Los resultados obtenidos han sido en general muy satisfactorios ya que un gran porcentaje de los alumnos han mostrado una evolución muy positiva sobre el curso. Adicionalmente, se ha detectado cierta resistencia inicial al cambio, especialmente en los alumnos que repetían la asignatura. Dicha resistencia se ha ido venciendo progresivamente debido a los buenos resultados obtenidos por el grupo mayoritario de alumnos que se han adaptado con facilidad a la nueva metodología docente.

Finalmente, las evaluaciones por parte del alumnado a la asignatura (mediante el correspondiente cuestionario) han sido muy positivas, expresando los alumnos de forma general su aprobación tanto por la nueva metodología aplicada como por los contenidos adquiridos durante el desarrollo de esta. No obstante, algunos aspectos del ciclo de mejora pueden ser depurados a partir de las sugerencias aportadas por los estudiantes. Dichas sugerencias se pueden agrupar en cuatro: (i) simplificación de los contenidos de algunos de los bloques temáticos; (ii) redacción de material de apoyo adicional; (iii) reducir la dificultad de la práctica de curso; y (iv) modificar brevemente el orden cronológico de alguna de las actividades desarrolladas. Dichas sugerencias serán consideradas para el desarrollo de futuros ciclos de mejora.

Referencias bibliográficas

- Aparicio, A. C. y Ruiz-Terán, A. M. (2007). Tradition and Innovation in Teaching Structural Design in Civil Engineering. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 133(4): 340-349.
- Bain, K. (2007). *Lo que hacen los mejores profesores de universidad*. Valencia: Publicacions de la Universitat de València.
- Baharoma, S., Hamida, R. y Hamzaha, N. (2011). *Development of a Problem Based Learning in Concrete Technology Laboratory Work*. UKM Teaching and Learning Congress 2011.
- Burke, A. (2011). Group work: How to use groups effectively. *The Journal of Effective Teaching*, 11(2): 87-95.
- De Justo, E. y Delgado, A. (2015). Change to Competence-Based Education in Structural Engineering. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 141(3): 05014005-1-8.



- Delord, G., Hamed, S., Porlán, R. y De Alba, N. (2020). Los Ciclos de Mejora en el Aula. En N. De Alba y R. Porlán (Coord.), *Docentes universitarios. Una formación centrada en la práctica* (pp. 127-162). Madrid: Morata.
- España. Ministerio de la Vivienda. (2011). *Código Técnico de la Edificación*. Retrieved from codigotecnico.org.
- Finkel, D. L. (2000). *Teaching with your mouth shut*. Boynton: Cook Publishers.
- Fomento, M. D. (2008). *Instrucción de Hormigón Estructural EHE*.
- López-Querol, S., Sánchez-Cambronero, S., Rivas, A. y Garmendia, M. (2015). Improving Civil Engineering Education: Transportation Geotechnics Taught through Project-Based Learning Methodologies. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 141(1): 04014007-1-7.
- Mills, J. (2002). *A Case Study of Project-Based Learning in Structural Engineering*. Proceedings of the 2002 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition.
- Porlán, R. (2017). *Enseñanza Universitaria. Cómo mejorarla*. Madrid: Morata.
- Ricaurte, M. y Vitoria, A. (2020). Project-based learning as a strategy for multi-level training applied to undergraduate engineering students. *Education for Chemical Engineers*, 33: 102-111.
- Rodríguez-Mayorga, E. (2019). Estructuras II (Grado en Edificación): aprender de la práctica. En R. Porlán y E. Navarro (Coord.), *Ciclos de Mejora en el Aula año 2019. Experiencias de Innovación Docente*. Sevilla: Editorial de la Universidad de Sevilla.
- Rodríguez-Mayorga, E., Jiménez-Alonso, J. F., Pachón-García, P., Cámara, M. y Compán, V. (2018). Conceptual workshops for the learning of architectural structures. En L. Gómez-Chova, A. López-Martínez y I. Candel-Torres (Eds.), *ICERI2018 Proceedings*. IATED Academy. <https://doi.org/978-84-09-05948-5>.
- Rumsey, N., Russell, J. y Tarhini, K. (2010). Innovative approach to teaching undergraduate reinforced concrete design. *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, T1C-1-T1C-5. 10.1109/FIE.2010.5673651.
- Van Vorst, H. (2018). Structuring learning processes by ladders of learning: results from an implementation study. *Chemistry Education Research and Practice*, 19: 1081-1095.



