

Diseño de actividades de aula invertida con soporte de ejercicios interactivos en el ámbito del cálculo de estructuras

Designing flipped-classroom activities with the support of interactive problems in the field of structural analysis

F. Suárez¹, C. Martínez², S. Jiménez², J. Fernández-Aceituno¹, J.C. Mosquera-Feijóo³
fsuarez@ujaen.es, cmcruz@ujaen.es, sjm00010@red.ujaen.es, jaceitun@ujaen.es, juancarlos.mosquera@upm.es

¹Departamento de Ing. Mecánica y Minera

Universidad de Jaén
Linares (Jaén), España

²Departamento de Informática

Universidad de Jaén
Jaén, España

³Departamento de Mecánica de Medios

Continuos y Teoría de estructuras
Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

Resumen- En este trabajo se presentan algunas experiencias de aula invertida realizadas en el contexto de asignaturas relacionadas con el análisis estructural en grados de Ingeniería Civil y de Ingeniería Mecánica. Las experiencias realizadas persiguen reducir el tiempo de aula dedicado a la mera transmisión de información e incrementar el tiempo dedicado a la resolución de dudas y la puesta en práctica de la teoría a través de problemas. Estas experiencias se han realizado con la ayuda de una web desarrollada en la Universidad de Jaén que permite a los estudiantes trabajar con ejercicios interactivos, comprobando en tiempo real el efecto que determinados cambios en la estructura o en las cargas tienen sobre el comportamiento resistente. Se presentan varios casos, planteando diferentes formas de utilizar la técnica de aula invertida, y se comentan los resultados observados.

Palabras clave: *Aula invertida, aprendizaje mixto, ejercicios interactivos, materias CTIM.*

Abstract- This contribution presents some flipped classroom experiences in courses related to structural analysis in Civil Engineering and Mechanical Engineering degrees. These experiences seek reducing the classroom time devoted to information transmission and increasing the time devoted to solving questions and putting into practice the theory onto practical problems. These experiences have been carried out with the help of a website developed at the University of Jaén that allows students to work with interactive problems, thus checking in real time how several modifications in a structure or in their loads produce different structural behaviours. Several cases are presented, with different approaches to flipped classroom technique, and the observed results are discussed.

Keywords: *Flipped classroom, blended learning, interactive problems, STEM disciplines.*

1. INTRODUCCIÓN

En ciertas titulaciones técnicas, tales como Ingeniería Civil o Ingeniería Mecánica, el estudio de asignaturas relacionadas con el análisis de estructuras resulta de particular relevancia para la formación de los futuros ingenieros. Las asignaturas fundamentales en el ámbito del análisis estructural desarrollan contenidos de la Elasticidad y de la Resistencia de Materiales,

que proporcionan herramientas para analizar el comportamiento resistente en términos de esfuerzos, tensiones y deformaciones del elemento estructural fundamental: la viga.

Actualmente los estudiantes de grado reciben la formación inicial relacionada con la Elasticidad y Resistencia de Materiales en su segundo curso, mientras que en planes antiguos esta formación comenzaba en el tercer curso. Por lo tanto, en planes antiguos los estudiantes se iniciaban en el análisis estructural tras haber recibido una formación sólida en el ámbito de las Matemáticas y la Física, conocimientos básicos tanto para la Elasticidad como para la Resistencia de Materiales. Como consecuencia de los cambios producidos en la universidad española con motivo de su entrada en el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), las titulaciones de este ámbito se redujeron de cinco años (y en algunos casos, seis) a cuatro, lo que ha motivado que los estudiantes comiencen a introducirse en el análisis estructural en el segundo curso, con una formación menos profunda tanto en Matemáticas como en Física con respecto a los planes de estudios anteriores. Estas asignaturas a menudo tienen contenidos elusivos para los estudiantes que pueden dificultar la superación de las mismas y, por tanto, perjudicar de forma notable a sus aprendizajes.

La aplicación de técnicas de aula invertida (*flipped classroom*) (Roehl et al., 2013) busca fomentar el estudio autónomo del alumno para que las sesiones de aula, con la ayuda del profesor, sean más productivas, reduciendo el tiempo de transmisión de información e incrementando el dedicado a la resolución de dudas y problemas. Además, la entrada en el EEES ha propiciado que el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) se haya intensificado en las titulaciones universitarias impartidas en España, generando a través de ellas nuevos recursos docentes y técnicas, entre los que el aula invertida juega un papel destacado (Gallego et al., 2010).

Si bien las TICs vienen utilizándose de manera amplia desde hace años, el encierro producido durante la pandemia de COVID-19, especialmente en sus primeros meses, ha supuesto un impulso a estas técnicas y al uso de las TICs y una oportunidad para replantear el uso de las plataformas

educativas que se emplean en la Universidad (Mosquera et al., 2021; García-Alberti et al., 2021).

En este trabajo se presenta una web desarrollada en la Universidad de Jaén que permite a los estudiantes de asignaturas con contenidos relacionados con el análisis estructural la experimentación sobre ejercicios interactivos. Estos contenidos son impartidos habitualmente a través de ejercicios en pizarra, que resuelven casos específicos para datos estáticos del problema dado. Por el contrario, estos ejercicios interactivos permiten al usuario comprobar cómo diversos parámetros estructurales y características de los materiales afectan al comportamiento estructural en un caso específico, permitiendo una mejor asimilación de conceptos como la inercia a flexión, el círculo de Mohr o el ensamblaje de la matriz de rigidez en una estructura de barras. Además, la web permite al docente la generación de tantos ejercicios como desee a través de una plantilla, pudiendo así actualizar la colección de ejercicios interactivos en cada curso. Se muestran a continuación dos experiencias de aula invertida empleando la técnica web mencionada. Una de ellas incluye la evaluación del alumnado y, por tanto, con influencia en la calificación final, y otra sin evaluación. Finalmente se presentan los resultados de encuestas realizadas al alumnado y se exponen las conclusiones y algunas reflexiones de cara al trabajo futuro.

2. CONTEXTO Y DESCRIPCIÓN

A. Asignaturas y titulaciones

Las experiencias de aula invertida que se presentan más adelante se han realizado en la asignatura Teoría de Estructuras (2º curso) del grado en Ing. Civil, y en las asignaturas Elasticidad y Resistencia de Materiales (2º curso), Teoría de Estructuras (3º curso) y Elasticidad y Resistencia de Materiales II (3º curso) de la titulación Ingeniería Mecánica. En estas asignaturas se desarrollan contenidos de Elasticidad, de Resistencia de Materiales y de métodos clásicos de cálculo de estructuras.

B. Web WIPACE

La web WIPACE (acrónimo de Web Interactiva Para el Aprendizaje de Cálculo de Estructuras) ha sido creada en la Universidad de Jaén dentro de un proyecto de Innovación Docente enmarcado en el Plan de Innovación y Mejora Docente de dicha universidad. Esta web constituye una herramienta con un doble objetivo:

- Servir como repositorio de ejercicios interactivos que, a medio-largo plazo, constituyan un material adicional para el estudio y aprendizaje autónomos del alumno.
- Proporcionar una herramienta que facilite la creación de nuevos ejercicios, de manera que el profesorado pueda actualizar los ejercicios propuestos cada curso y ampliar el repositorio existente de cursos pasados.

Se ha desarrollado una web con diseño adaptativo, que permite su uso en una gran variedad de dispositivos, mediante el framework de JavaScript proporcionado por Vue.js. Se han utilizado a su vez, las librerías Math.js, Fabric.js y Highcharts, para la resolución de los problemas matemáticos y gráficos. En cuanto a los requisitos de servidor, se ha desarrollado una API REST con Moongose y servidor MongoDB sobre Apache. Esta aplicación se encuentra actualmente activa bajo

dominio de la Universidad de Jaén, y por tanto, permite una navegación protegida mediante certificación de SSL. Este Desarrollo se encuentra disponible en Github bajo el perfil sjm00010/API-TFG. Actualmente la web WIPACE alberga ejercicios con tres aspectos concretos de las asignaturas a las que va dirigida:

1. Resistencia de Materiales: cálculo de vigas isostáticas e hiperestáticas.
2. Elasticidad: círculos de Mohr.
3. Cálculo de estructuras: método matricial de cálculo de estructuras de barras.

La Figura 1 resume las posibilidades que ofrece actualmente la web WIPACE.

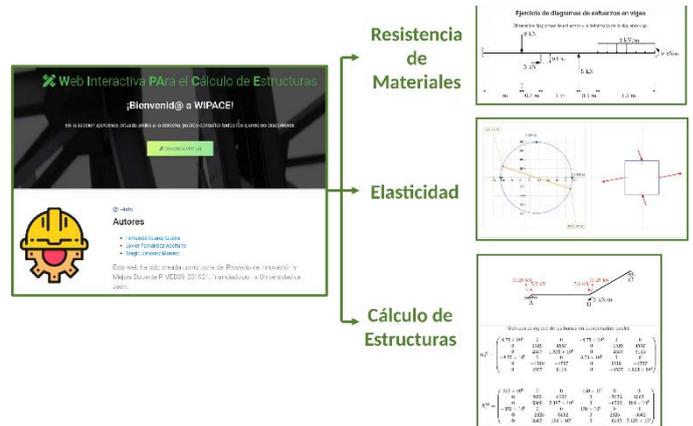


Figura 1. Tipos de actividades que pueden realizarse actualmente con la web WIPACE.

C. Experiencias de aula invertida

Durante el curso 2021-2022 se realizaron varias experiencias de aula invertida empleando la web WIPACE en las asignaturas mencionadas anteriormente, con el fin de comprobar el funcionamiento y adecuación de los ejercicios interactivos y corregir algunos aspectos de diseño. A continuación se describen únicamente experiencias y resultados correspondientes a la asignatura Elasticidad y Resistencia de Materiales II, del tercer curso del grado en Ingeniería Mecánica, impartida en el primer cuatrimestre del curso 2022-23, en el que se han podido realizar de manera más estructurada estas experiencias de aula invertida. Se describen dos experiencias realizadas con apoyo de los ejercicios interactivos de la web WIPACE. La primera no incluye actividades de evaluación para el alumnado, mientras que la segunda incluye una actividad de evaluación que forma parte de la nota final de la asignatura.

En el caso de la primera de las experiencias realizadas, el esquema de la actividad puede resumirse en tres pasos, tal y como describe la Figura 2:

1. Explicación en el aula de los aspectos teórico-prácticos a trabajar en la actividad y presentación del enunciado del problema a resolver en la actividad de aula invertida con cuestiones asociadas al mismo.
2. Trabajo autónomo del alumno en el que, apoyado con un ejercicio interactivo de la web WIPACE, intenta resolver el ejercicio propuesto y dar respuesta a las cuestiones planteadas.

- Resolución en el aula del ejercicio propuesto y puesta en común de resultados en un debate guiado por el profesor.

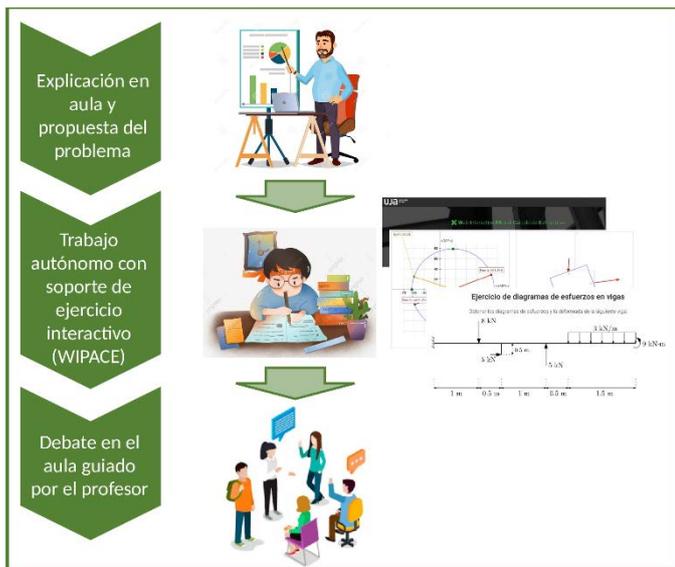


Figura 2. Esquema general de las actividades de aula invertida desarrolladas con la web WIPACE.

El primer ejercicio propuesto plantea la resolución de una viga, mostrada en la Figura 3, para unos valores de los parámetros determinados y plantea, además de la resolución de la viga, una serie de cuestiones relacionadas con la forma en que el comportamiento estructural se ve afectado al variar algunos de los parámetros del problema, por ejemplo analizando las leyes de esfuerzos o las flechas y giros experimentados por la viga en ciertos puntos.

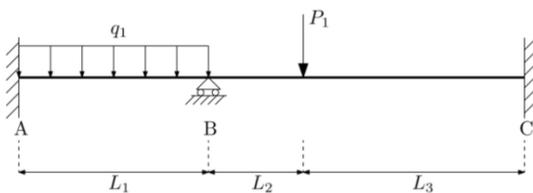


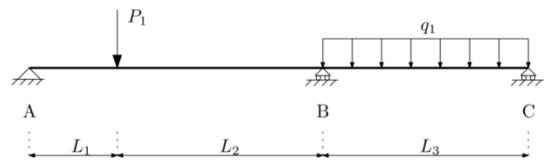
Figura 3. Problema propuesto en la primera de las experiencias de aula invertida realizadas.

Los estudiantes, con la ayuda del ejercicio interactivo facilitado, pueden experimentar con la variación de parámetros de forma sencilla, sin necesidad de recalculer el ejercicio varias veces, y meditar sobre los aspectos propuestos en las cuestiones planteadas. Una vez de vuelta en el aula, el profesor inicia un debate en el que los estudiantes ponen en común sus reflexiones sobre el problema planteado. El profesor guía el debate, orienta algunas respuestas si no son correctas y añade información o explicaciones adicionales si es necesario.

La segunda de las experiencias de aula invertida incluye además un ejercicio a resolver en el aula con datos de partida particularizados para cada estudiante, que sí constituirá un elemento evaluable y, por tanto, con repercusión en la nota final de la asignatura. El ejercicio evaluable constituye una variación del planteado en la actividad de aula invertida, de modo que el trabajo previo sobre el ejercicio propuesto en ésta facilita la resolución del ejercicio a resolver en el aula; este aspecto es conocido por los alumnos desde el principio, con el

fin de motivarles e incentivar la realización del trabajo autónomo. Tras realizar el ejercicio, los estudiantes pueden acceder a su resolución mediante un ejercicio interactivo a través del teléfono móvil o tableta. La Figura 4 muestra un ejemplo de dos ejercicios planteados en esta segunda experiencia de aula invertida, siendo el 4a) el propuesto para trabajo autónomo y el 4b) el propuesto como ejercicio evaluable a realizar en el aula.

a)



b)

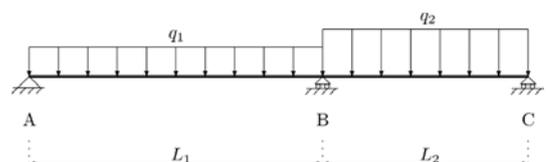


Figura 4. Problemas propuestos en la segunda experiencia de aula invertida: a) ejercicio a realizar en casa como trabajo autónomo; b) ejercicio evaluable a realizar en el aula.

3. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos con las experiencias de aula invertida realizadas. Por un lado, se muestra la respuesta del alumnado, obtenida a través de una encuesta realizada al final del cuatrimestre y, por otro, se describen las impresiones y conclusiones extraídas por el docente de cara a futuros cursos.

A. Opinión del alumnado

Al finalizar el cuatrimestre, el profesor realizó una encuesta para conocer la valoración de los estudiantes, en un grupo con 21 estudiantes, participando 9 de ellos. En esta encuesta se explora la percepción del alumno sobre la usabilidad de la web WIPACE, y sobre la utilidad de las experiencias de aula invertida realizadas, tanto en relación al trabajo autónomo realizado fuera del aula como en relación al debate final. Asimismo, la encuesta incluye un espacio para que el estudiante, de manera anónima, añada los comentarios que considere oportuno.

En la Tabla 1 se muestran los resultados, en escala Likert (de 1, muy en desacuerdo, a 5, muy de acuerdo) de los siguientes ítems:

- Los ejercicios interactivos han sido fáciles de utilizar.
- Las actividades propuestas han facilitado el aprendizaje de los aspectos que en ellos se trabajan.
- He utilizado activamente los ejercicios interactivos cuando se han propuesto actividades relacionadas con ellos.
- Considero que la puesta en común y el debate realizado en el aula tras el trabajo autónomo realizado en casa con apoyo del ejercicio interactivo ha sido útil.
- Considero que el uso de los ejercicios interactivos me ha ayudado a entender mejor la asignatura.

Tabla 1. Resultados de la encuesta sobre los ejercicios de aula invertida realizados.

	Media (sobre 5)	Desv. estándar
(1)	4.89	0.33
(2)	5.00	0.00
(3)	4.00	0.87
(4)	4.89	0.33
(5)	4.67	0.50

Los resultados muestran que el diseño de los ejercicios interactivos permite usar la web cómodamente desde diversos dispositivos (PC, móvil o tablet). En relación a la utilidad de los ejercicios interactivos como medio para facilitar el aprendizaje, cabe destacar el resultado de la segunda pregunta, donde todos los estudiantes han marcado la máxima puntuación. El resultado obtenido en la cuarta pregunta permite afirmar que los estudiantes consideran útil el debate final de los ejercicios realizados.

Los comentarios anónimos de los estudiantes fueron positivos, destacando que refuerzan las actividades de teoría y práctica que se realizan habitualmente en este tipo de asignaturas. Algunos comentarios proponían ampliar los ejercicios interactivos a otras partes de la asignatura, como el cálculo de propiedades mecánicas en secciones transversales, tales como los momentos de inercia, o el análisis de tensiones sobre secciones transversales sometidas a flexión compuesta.

B. Percepción del docente

Las experiencias de aula invertida realizadas permitieron introducir una actividad diferente a las llevadas a cabo habitualmente en la asignatura, que consisten fundamentalmente en la impartición de teoría y la resolución de ejercicios en pizarra. No obstante, cuando la actividad no tiene asociada una tarea evaluable con incidencia en la calificación de la asignatura, se percibió baja implicación de los estudiantes en el trabajo autónomo a realizar fuera del aula. Durante este tipo de experiencias únicamente en torno al 25% de los estudiantes demostraron haber trabajado el ejercicio tal y como se esperaba de ellos, mientras que otros únicamente se limitaron a utilizar de forma ocasional el ejercicio interactivo, sin reflexionar sobre las cuestiones planteadas. En cualquier caso, el debate final realizado tras el trabajo autónomo resultó interesante para todo el alumnado, especialmente para aquellos que habían trabajado el ejercicio en casa, que contribuyeron activamente al mismo y aclararon algunos conceptos guiados por el profesor. Cabe destacar que el debate, aunque en menor medida, también resultó útil para aquellos estudiantes que no habían trabajado el ejercicio en casa, pues les ayudó a reflexionar sobre los aspectos más importantes y llegar a las conclusiones más relevantes del mismo.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se han presentado dos experiencias de aula invertida realizadas en el ámbito del análisis estructural con dos enfoques diferenciados: una actividad sin evaluación y otra con evaluación y que, por tanto, influye en la calificación de la asignatura. Ambas experiencias han sido realizadas con ayuda de ejercicios interactivos implementados en una web

desarrollada en la Universidad de Jaén. Las principales conclusiones de este trabajo son las siguientes:

- El alumnado percibe el uso de los ejercicios interactivos de forma positiva, considerando que facilitan su aprendizaje.
- Las actividades de aula invertida guían correctamente el estudio autónomo del alumno, aunque cuando ésta no tiene evaluación asociada a la calificación final de la asignatura, no supone una motivación
- El debate final de cada actividad, sea ésta con o sin evaluación, resulta eficaz, pues incluso los estudiantes que no han trabajado autónomamente el ejercicio, se ven beneficiados con él.

En el futuro se espera ampliar la experiencia mostrada aquí con el fin de comprobar la eficacia de estas experiencias de aula invertida en otras asignaturas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la financiación facilitada para la realización de este trabajo por la Universidad de Jaén a través de los proyectos de innovación docente PIMED06_201921 y PIMED01_202224.

REFERENCIAS

- Roehl, A., Reddy, S. L., & Shannon, G. J. (2013). The flipped classroom: An opportunity to engage millennial students through active learning strategies. *Journal of Family & Consumer Sciences*, 105(2), 44-49.
- Gallego, M.J., Gámiz, V., & Gutiérrez, E. (2010): El futuro docente ante las competencias en el uso de las tecnologías de la información y comunicación para enseñar. *EduTec. Revista electrónica de tecnología educativa*, 34, 1-18. Recuperado de <http://www.edutec.es/revista/index.php/edutec-e/article/view/418>
- Mosquera Feijóo, J. C., Suárez, F., Chiyón, I., & Alberti, M. G. (2021). Some web-based experiences from flipped classroom techniques in AEC modules during the COVID-19 lockdown. *Education Sciences*, 11(5), 211.
- García-Alberti, M., Suárez, F., Chiyón, I., & Mosquera Feijóo, J. C. (2021). Challenges and experiences of online evaluation in courses of civil engineering during the lockdown learning due to the COVID-19 pandemic. *Education Sciences*, 11(2), 59.