

OPTIMIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA B-LEARNING EN LA DOCENCIA DEL DISEÑO DE MÁQUINAS Y DESARROLLO DE PRODUCTOS MEDIANTE ESTRATEGIAS DE AULA INVERTIDA

Juan Manuel Muñoz-Guijosa ^{1*}, Andrés Díaz Lantada, Enrique Chacón Tanarro, Javier Echávarri Otero, José Luis Muñoz Sanz, Julio Muñoz García, Guillermo Fernández Zapico, Alejandro Abou-Assali, Adrián de Blas Romero, Álvaro Guzmán, María Muruzábal

1: Grupo de Innovación Educativa para la Docencia Innovadora en Máquinas
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Universidad Politécnica de Madrid
e-mail: juanmanuel.munoz.guijosa@upm.es web: www.dim.etsii.upm.es

Resumen. *Se pretende con este proyecto mejorar el aprendizaje del alumno mediante el incremento del tiempo que emplea en la resolución de problemas industriales relacionados con los conocimientos teóricos a aprender. El tiempo dedicado a estas actividades se obtiene traspasando tiempo enseñanza teórica en clase a estudio del alumno fuera de ésta. Para ello, se han elaborado casos de estudio, que los alumnos deben discutir en clase tras una preparación previa fuera de ella. Se ha elaborado además material de apoyo al aprendizaje autónomo del alumno fuera del aula, consistente en guías en video, programas de resolución y problemas adicionales. Para garantizar la implicación del alumno en el proceso, se han elaborado una serie de problemas que deben ser entregados adicionalmente a las colecciones habituales, así como cuestionarios on-line con valor sumativo en la evaluación final, que se realizan en el aula al inicio de cada clase impartida con este sistema.*

Palabras clave: Aprendizaje Experiencial, Aula Invertida-Flipped classroom, Autoaprendizaje-Aprendizaje Autónomo, Elaboración material docente, Evaluación del aprendizaje, Gamificación, Guías de aprendizaje, Lengua inglesa, Método Análisis de Casos, Metodología Aprendizaje Orientado a Proyectos, Metodología Trabajo en Equipo/Grupo, Moodle, Redes sociales, Vídeo educativo.

1. Introducción

En campos de conocimiento como la informática o electrónica, los enormes avances tecnológicos de las últimas décadas han dado lugar a estandarizaciones tanto de buenas prácticas como de componentes y subconjuntos. Dichos elementos tienen además un bajo coste y tamaño, y se fabrican en grandes series. En ingeniería mecánica, en cambio, los componentes tienen tamaños y pesos varios órdenes de magnitud superiores, lo que obliga a la optimización de peso y coste, existiendo además diferentes principios resolutivos para el mismo problema de diseño, cuya selección depende mucho de las características particulares del problema. Todo ello hace más complicado el establecimiento de soluciones estándar. Esto obliga a la búsqueda continua de soluciones creativas para resolver los problemas de diseño. Por ello, además de la adquisición de conocimientos teóricos, en la enseñanza de la ingeniería mecánica es fundamental la garantía del desarrollo de **habilidades** relacionadas con el **procedimiento de resolución de problemas**, como la creatividad, la iniciativa, el aprendizaje independiente, la mejora continua, la garantía de calidad o el trabajo en equipo.

El Grupo de Innovación Educativa en Ingeniería de Máquinas trabaja activamente desde su creación en la mejora de estos aspectos en el aprendizaje de los alumnos de las diferentes titulaciones impartidas en la E.T.S. Ingenieros Industriales. Cabe destacar los esfuerzos realizados en la implementación de asignaturas centradas en el aprendizaje basado en proyectos, cursos SCORM, la mejora de prácticas de laboratorio y la coordinación de objetivos docentes entre asignaturas, en el marco de 12 proyectos de innovación educativa, que han mejorado de forma objetiva el aprendizaje y la motivación de los alumnos, a la vista de las encuestas y otros estudios realizados y publicados en diversos artículos y ponencias en congresos internacionales (por ejemplo, en la International Journal of Engineering Education y el congreso CDIO) [1]-[4].

2. Desarrollo de la ponencia

En la experiencia docente de los profesores miembros del GIE en asignaturas centradas en el aprendizaje basado en proyectos, como "Ingenia - Proyecto de Máquinas" o "Bioingenia" del Máster en Ingeniería Industrial (05AZ), impartidas a alumnos que en su mayoría proceden del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, se ha detectado que **los alumnos, si bien disponen de unos conocimientos teóricos profundos sobre diseño de máquinas y elementos de máquinas, adquiridos en las asignaturas de grado impartidas por el GIE, tienen algunas carencias en cuanto a la aplicación de dichos conocimientos a problemas reales de diseño de ingeniería mecánica**, como los siguientes:

- Selección de motores y otros elementos electromecánicos.
- Selección de materiales.
- Búsqueda de soluciones de acoplamiento mecánico entre componentes.
- Estimación de estados tensionales complejos, como los que se dan en conexiones, transiciones, etc.
- Combinación de diferentes campos energéticos.
- Aplicación de criterios dinámicos, de vida útil, de fabricación, ergonomía o seguridad en el diseño.
- Visión de la máquina o el producto como conjunto, para aplicación de estrategias de transporte, almacenaje, mantenimiento, operación, o reciclaje.

Con el objetivo de mitigar esta debilidad, pensamos que una alternativa de mejora con gran impacto potencial en el aprendizaje sería **Intensificar las actividades de aprendizaje basado en casos de aplicación de los conocimientos teóricos, sin aumentar el número de créditos de las asignaturas en las que dichos conocimientos se imparten, y sin reducir el grado de adquisición de dichos conocimientos teóricos**. Para ello, se propone establecer una **experiencia piloto basada en el diseño e implementación de actividades de aula invertida** en las siguientes asignaturas, impartidas por el GIE:

- Teoría de Máquinas y Mecanismos (55001032, Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, 6º semestre, 4,5 ECTS, aproximadamente 500 alumnos).
- Diseño de Máquinas (55000403, Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, 7º semestre, 6 créditos, aproximadamente 120 alumnos).

- Diseño de Máquinas II (55000409, Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, 8º semestre, 6 créditos, aproximadamente 20 alumnos).
- Cálculo de Máquinas (53001203, Máster en Ingeniería Industrial, 3º semestre, 3 créditos, aproximadamente 80 alumnos).
- Vibraciones (53001252, Máster en Ingeniería Industrial, 3º semestre, 4,5 créditos, aproximadamente 20 alumnos).

Consistente en la **adaptación de algunos de los recursos existentes** para el aprendizaje de algunos contenidos teóricos (entre un 20% y un 30% del total de la asignatura), de modo que sea posible su aprendizaje fuera del aula, así como la **generación de nuevos recursos de apoyo** para dicho aprendizaje autónomo, y para la **evaluación** de éste, de modo que el trabajo en el aula pueda estar más centrado en el aprendizaje de estrategias de aplicación de la teoría. Para ello se diseñan **casos de estudio**, que den lugar a discusiones en el aula sobre diferentes alternativas de solución a esos problemas de aplicación. De este modo, se permite llevar a cabo muy variadas actividades de enseñanza-aprendizaje (aprendizaje autónomo, acción tutorial, trabajo en equipo, trabajo por proyectos, discusión argumentada, técnica de la pregunta, autoevaluación, etc.), como se muestra en la Figura 1.

Los recursos y materiales docentes generados gracias a la ejecución del proyecto se relacionan a continuación:

1. En cuanto a **recursos docentes para el trabajo de los alumnos en el aula**; elaboración de los siguientes **casos de estudio**, así como de las **guías de ejecución del caso en clase para el profesor**:
 - a. “Diseño de embalaje para asegurar la integridad de los contenidos” para el tema “Dinámica. Vibraciones en sistemas de un grado de libertad” de la asignatura “Teoría de Máquinas y Mecanismos”.
 - b. “Problema dinámico en estación de esquí” para el tema “Dinámica. Vibraciones en sistemas de un grado de libertad” de la asignatura “Teoría de Máquinas y Mecanismos”.
 - c. “Lubricación de levas” para el tema “Lubricación y lubricantes” de la asignatura “Diseño de Máquinas I”
 - d. “Análisis por elementos finitos de árbol” para los temas “La elección del material en la construcción de máquinas” y “Uniones árbol-cubo” de la asignatura “Diseño de Máquinas I”.
 - e. “Fallo en reductora John Deere” para el tema “Engranajes sinfín-corona” de la asignatura “Diseño de Máquinas II”.
 - f. “Cálculo y diseño de resorte ferroviario” para el tema “Resortes” de la asignatura “Cálculo de Máquinas”.
 - g. “Fallo en correa” para el tema “Correas y cadenas” de la asignatura “Cálculo de Máquinas”.
 - h. “Problemas de ruido y vibraciones excesivas en el cálculo y diseño de pala de aerogenerador” para los temas “Vibraciones aleatorias” y “Sistemas de varios grados de libertad” de la asignatura “Vibraciones”.
2. En cuanto a **recursos docentes para el trabajo de los alumnos fuera del aula**:
 - a. **Reedición de los contenidos teóricos** que sirven de base a los casos, para convertirlos en unidades didácticas de autoaprendizaje.

- b. Elaboración de **vídeos** para la mejora del aprendizaje autónomo de los alumnos fuera del aula.
 - c. Elaboración de **simuladores** para los casos de estudio (Herramienta de cálculo de lubricación de elementos mecánicos)
 - d. Redacción de **nuevos enunciados de problemas** para afianzar conocimientos.
3. En cuanto a la elaboración de **procedimientos de evaluación** adecuados a esta nueva metodología:
- a. Para la asignatura “Teoría de máquinas y mecanismos”: en esta asignatura se dispone de más de 500 preguntas de tipo test, fruto de un proyecto de innovación educativa anterior, que cubren todo el temario. Serán introducidas en la aplicación de evaluación las correspondientes a los temas objeto del proyecto, y se ampliará el número de preguntas disponibles en dichos temas.
 - b. Para los temas objeto del proyecto en la asignatura “Diseño de Máquinas I”, se dispone de problemas con múltiples enunciados y de varios niveles de dificultad, que serán introducidas en la aplicación de evaluación.
 - c. Para los temas objeto del proyecto en la asignatura “Diseño de Máquinas II” se crearán preguntas de evaluación tipo test, y se introducirán en la aplicación de evaluación.
 - d. Para los temas objeto del proyecto en la asignatura “Cálculo de Máquinas” se crearán preguntas de evaluación tipo test, y se introducirán en la aplicación de evaluación.
 - e. Para los temas objeto del proyecto en la asignatura “Vibraciones”, se dispone de aproximadamente 100 preguntas tipo test, que serán introducidas en la aplicación de evaluación.

3. Conclusiones

Con la implementación de la metodología que propone esta experiencia, se pretenden obtener diferentes mejoras en la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje:

- Mejorar la adquisición de conocimientos y habilidades relacionados con la aplicación de los conocimientos teóricos a problemas complejos de integración de soluciones en ingeniería: se pretende que los alumnos hayan tenido la oportunidad de realizar un número mayor de trabajos de resolución de problemas de integración y síntesis, así como de crítica de soluciones existentes, lo que además implica un conocimiento teórico más extenso sobre el diseño en ingeniería mecánica.
- Mejorar la adquisición de competencias de trabajo en equipo e intervenciones en público: los alumnos deberán obligatoriamente formar equipos de trabajo para la preparación del caso y su discusión en clase. Parte de la evaluación grupal dependerá de las intervenciones en clase de los alumnos, para proponer o criticar constructivamente soluciones u objeciones propuestas por otros grupos.

- Obtener un mayor control de las actividades del alumno fuera del aula, al disponer de información sobre las pruebas de autoevaluación realizadas y planificar parte de su trabajo individual.
- Motivar a los alumnos mediante las actividades de gamificación: al plantearse concursos de soluciones, con carácter de evaluación sumativa. Adicionalmente, en las asignaturas "Teoría de Máquinas y Mecanismos" y "Cálculo de Máquinas" se premiará a los grupos ganadores de cada caso con la fabricación de su solución en las instalaciones de prototipado rápido de la División de Ingeniería de Máquinas.
- Motivar al profesor, al deber conducir las discusiones, la resolución de los problemas, e intervenir en la crítica de alternativas de diseño, diferentes cada año.
- Detectar más precozmente alumnos con rendimiento por debajo de la media, para facilitarles material adicional, proponerles tutorías o ponerles en contacto con alumnos con rendimiento por encima de la media.
- Los alumnos llegan con más habilidades a las asignaturas de máster, en particular a las asignaturas "Ingeniería", lo que permite mejorar su rendimiento particular, así como el rendimiento global de dichas asignaturas.
- Fomentar el carácter generalista de la ingeniería industrial, al mejorar el aprendizaje de los alumnos que no cursarán las especialidades de ingeniería mecánica, cuyo único conocimiento sobre máquinas es adquirido en las asignaturas "Teoría de Máquinas y Mecanismos" y "Cálculo de Máquinas".
- Fomentar la asistencia continuada a clase, dado el carácter de evaluación sumativa de las pruebas de autoevaluación en el aula.
- Se fomenta el aprendizaje en inglés con la versión en lengua inglesa de los casos y los vídeos generados.



Figura 1. Modelo propuesto de enseñanza-aprendizaje con los recursos generados en el proyecto.

Referencias

- [1] Muñoz-Guijosa, J.M.; Bautista Paz, E., Verdú Ríos, M. F., Díaz Lantada, A., Lafont, P., Echávarri, J., Muñoz, J. L., Lorenzo, H., Muñoz, J. Application of Process Re-Engineering Methods to Enhance the Teaching - Learning Process in a Mechanical Engineering Department, International Journal of Engineering Education, Vol. 25, No. 1, pp. 102-111, 2009
- [2] Muñoz-Guijosa, J.M.; Díaz Lantada, A.; Chacón Tanarro, E.; Echávarri Otero, J.; Muñoz Sanz, J.L.; Muñoz García, J., "Engineering Design course transformation: From a conceive – design towards a complete CDIO approach". 12th International CDIO Conference, Turku, Finland, June, 2016.
- [3] Chacón Tanarro, E.; Muñoz-Guijosa, J.M.; Díaz Lantada, A.; Leal Wiña, P.; Echávarri Otero, J.; Muñoz Sanz, J.L.; Muñoz García, J.; Nava Rodríguez, O.; Garre Mondéjar, S., "Teaching Engineering Design to a multidisciplinary audience at master's level: Benefits and challenges of the CDIO approach". 11th International CDIO Conference, Cheng-Du, China, 2015.
- [4] Bautista Paz, E., Echávarri, J., Muñoz-Guijosa, J.M., Díaz Lantada, A., Lafont, P., Muñoz, J. L., Lorenzo, H., Muñoz, J., Simulink Model for Teaching the 'Stick-Slip' Friction Phenomenon in 'Machine Vibration and Noise' course, International Journal of Engineering Education, Vol. 25, No. 2, pp. 102-111, 2009