



Recibido: 24 enero 2022
Revisado: 2 julio 2022
Aceptado: 3 octubre 2022

Dirección autora:

Departamento de Tecnología
Química, Energética y Mecánica.
Escuela Superior de Ciencias
Experimentales y Tecnología.
Universidad Rey Juan Carlos.
C/ Tulipán, 0, 28933 - Móstoles,
Madrid (España).

E-mail / ORCID

mariateresa.gomez@urjc.es

 <https://orcid.org/0000-0002-4769-6522>

ARTÍCULO / ARTICLE

Aplicación de una metodología de PBL y clase inversa a un curso de laboratorio en Ingeniería Mecánica

Applying PBL methodology and flipped learning to laboratory course for Mechanical Engineers

Teresa Gómez-del Río

Resumen: La Elasticidad y Resistencia de Materiales (ERM) es una disciplina impartida en muchos grados de ingeniería. Esta asignatura necesita que los alumnos presenten una actitud participativa durante el proceso de aprendizaje, debido a su complejidad e importancia a lo largo del grado. Sin embargo, los estudiantes la encuentran muy complicada y abstracta. Por tanto, la principal dificultad que encuentra el profesor a la hora de enseñar es mantener el interés y motivación de los alumnos durante el proceso de aprendizaje. Para ayudar en esta tarea, los profesores deben ayudarse de nuevas metodologías como el aprendizaje basado en problemas y la clase inversa, donde se facilita la información a los estudiantes previamente a la clase presencial. En este trabajo, se presenta la aplicación de un aprendizaje basado en problemas al laboratorio de ERM en el grado de Ingeniería Mecánica. Además, para aumentar el entusiasmo y la motivación de los estudiantes, estas sesiones de laboratorio incluyeron una tecnología de fabricación innovadora, impresión 3D, y el empleo de correlación de imágenes digitales (DIC) para medida de desplazamientos y deformaciones. Antes de cada sesión práctica, se animaba a los alumnos a visualizar un vídeo online con los aspectos fundamentales de la práctica. Para evaluar el éxito de esta metodología, después de terminar las sesiones de laboratorio, los estudiantes respondieron una encuesta cuantitativa no formal. Los resultados mostraron que el aprendizaje basado en problemas propuesto tenía la capacidad de ayudar a integrar los conocimientos y mejorar la adquisición de las competencias incluidas en la guía docente de la asignatura. Aunque estos resultados son alentadores, todavía hay partes de la actividad de laboratorio que deben mejorarse para que la actividad consuma menos tiempo y facilitar las partes más complejas para los estudiantes.

Palabras clave: Aprendizaje inductivo, Aprendizaje basado en problemas, Clase inversa, Diseño Mecánico, Competencias.

Abstract: Elasticity and Strength of Materials is an elementary discipline across many engineering degrees. Students perceive it as very difficult and abstract and students' active participation in the learning process is needed, due to its complexity and importance during the whole degree years. Hence, the main difficulty in teaching them is maintaining students' motivation and keeping their participation in the learning process. This is the reason to use new tools, such as problem-based learning (PBL) and flipped classroom, to help students understand and study the subject. In this work, we present the application of a problem-based learning to the lab in the Mechanical engineering degree, in of one the most time-consuming and difficult subjects of its program. Moreover, to enhance students' enthusiasm and motivation, these sessions included an innovative manufacturing technology, 3D printing, and digital image correlation (DIC). Before each practical session, the students are encouraged to watch an online video with the fundamental aspects. In order to assess the success of this laboratory course, after finishing the lab sessions, the students answered a non-formal quantitative survey. The results showed that the proposed project-based learning had the ability to help integrating the knowledge and improve the skills included in the main competences. Although these results are encouraging, there are still parts of the lab activity that should be improve in order to make the activity less time consuming and the most difficult part being easier for the students.

Keywords: Inductive learning, Problem-based learning, Flipped classroom, Mechanical design, Competences.

1. Introducción

El objetivo general de la educación en ingeniería es preparar a los estudiantes en el ejercicio de la profesión técnica como ingenieros. Los ingenieros mecánicos son contratados en una amplia variedad de ramas de la industria, lo que significa que su formación requiere un enfoque multidisciplinario centrado en el mercado laboral y los desafíos sociales.

La asignatura de Elasticidad y la Resistencia de Materiales es una disciplina básica en la mayoría de los títulos de ingeniería relacionados con el ámbito industrial. La comprensión de las bases y fundamentos de esta materia es muy difícil para los estudiantes debido, en parte, a la percepción de falta de aplicaciones a problemas reales. En consecuencia, los estudiantes perciben esta asignatura de forma negativa, lo que conduce a su desmotivación y a un elevado índice de fracaso (suspensos y abandonos). Para lograr un cambio en esta percepción, sería importante y necesario incluir nuevas metodologías de enseñanza que enfatizan la implicación del alumnado en el proceso de aprendizaje para obtener una mejor adquisición de los conocimientos (Fraile García, Ferreiro Cabello & Martínez de Pisón, 2017).

Aunque la metodología empleada actualmente para la docencia de Elasticidad y Resistencia de Materiales está principalmente basada en los métodos tradicionales, tipo clases magistrales, en general, es muy habitual incluir sesiones de laboratorio como parte del currículum y guía docente de esta disciplina de la ingeniería (Feisel & Rosa, 2005). El trabajo de laboratorio permite que los alumnos se acostumbren al manejo de instrumentos y dispositivos, así como a trabajar en equipos formados por personas con diferentes capacidades y métodos de trabajo. Sin embargo, en muchas ocasiones, el trabajo en el laboratorio suele reducirse a la repetición del uso de un equipo diseñado por los profesores o de tipo comercial, a la toma de datos y posterior cálculo de resultados, parecido a la resolución de un ejercicio clásico de aula.

Durante las últimas décadas, los pedagogos universitarios buscan nuevas técnicas de enseñanza para lograr tanto un aprendizaje de mejor calidad como métodos de enseñanza más efectivos (Biggs, Tang, & Kirby, 2011). Las nuevas metodologías pretenden elevar la adquisición de conocimientos y competencias mediante la participación más activa de los estudiantes en su proceso de aprendizaje, consiguiendo así una mayor motivación (Chi & Wylie, 2014). Como reacción al enfoque clásico centrado en el profesor, se han propuesto varios métodos para mejorar la motivación y la participación de los estudiantes. En el intento de mejorar el proceso de aprendizaje, se han generado muchas nuevas metodologías de enseñanza diferentes. En la metodología flipped learning o clase inversa, parte del temario es trabajado por los alumnos por su cuenta en casa antes de la clase correspondiente. Este enfoque se utiliza como medio para aplicar el conocimiento adquirido (Greenwood & Mosca, 2017). Otro ejemplo es la gamificación, donde los principios del juego se orientan hacia procesos u objetivos, que incluso pueden no ser muy divertidos de jugar en sí mismos, para hacerlos más atractivos (de la Flor, Calles, Espada & Rodríguez, 2020). Por último, la metodología del aprendizaje basado en problemas (ABP-PBL) que trabaja con un problema planteado a los alumnos que deben resolver buscando y proponiendo soluciones diferentes, siendo varias posibles y correctas (Sayyah, Shirbandi, Saki-Malehi & Rahim, 2017).

El aprendizaje inverso y las clases basadas en experiencias pueden abordar los problemas pedagógicos de las asignaturas con mayores tasas de fracaso y volumen de temario, manteniendo parte de la metodología clásica centrada en el docente (Hao & Lee, 2016; Hussain, Jamwal, Munir & Zuyeva., 2020). En el enfoque de aprendizaje inverso, el currículo o contenido del curso se entrega por adelantado a los estudiantes, que utilizarán un recurso digital como tarea para trabajar antes de la clase correspondiente. Así, el tiempo de clase conjunta entre profesor y alumnos se emplea para construir conocimiento mediante la resolución del problema planteado, individualmente o en grupos (Akçayır & Akçayır, 2018). Siguiendo este enfoque, la clase centrada en el profesor se traslada a un aula orientada al estudiante, y los estudiantes inician la actividad (laboratorio en nuestro proyecto) con información previa sobre qué esperar y qué aplicar en la sesión en la clase presencial y el laboratorio (Valero, Martínez, Pozo, & Planas, 2018).

El PBL, entre todas estas técnicas y métodos de aprendizaje novedosos, ha sido utilizado con fines educativos en diferentes campos por parte de los educadores para aumentar la participación de los estudiantes en el proceso de aprendizaje, ya que estas metodologías les son familiares (Ballesteros, Daza, Valdés, Ratkovich & Reyes, 2019). El PBL tiene como objetivo que los estudiantes obtengan un aprendizaje y una comprensión más profunda de los conceptos teóricos a través de su aplicación en problemas reales en lugar de simplemente memorizar y aplicar estos conceptos en los problemas clásicos del aula. La técnica del PBL les permite relacionar estos conceptos con los conocimientos, e incluso habilidades, de otras asignaturas con problemas reales de su futura profesión. La metodología PBL se ha utilizado en algunos programas de ingeniería como una alternativa para apoyar estas inquietudes. Estas experiencias anteriores han establecido cinco momentos importantes de aprendizaje cuando se prepara una actividad tipo PBL en ingeniería (Blumenfeld et al., 1991; Krajcik, Blumenfeld, Marx & Soloway, 1994; Krajcik, Czerniak, Czerniak y Berger, 2003): (1) Comienza con un problema práctico planteado que los estudiantes deben resolver. (2) Una vez que se ha planteado el problema, los estudiantes intercambian ideas basadas en conceptos de la disciplina. (3) Se debaten las posibles soluciones, involucrando actividades colaborativas, en contraste con los problemas clásicos del aula resueltos por metodologías de aprendizaje tradicionales. (4) Mientras se lleva a cabo el debate, los estudiantes amplían sus conocimientos participando en actividades que a veces más allá de sus habilidades iniciales. (5) Por último, los estudiantes generan los productos tangibles solución al problema inicialmente planteado.

Las experiencias de PBL suelen ser en equipo (generalmente grupos de 3 a 5 personas) en los que los participantes tienen un tiempo limitado para terminar la tarea. Como se mencionó anteriormente, es de conocimiento común que las sesiones de laboratorio son una parte importante de la educación en ingeniería. Ofrece experiencia práctica que reforzaría los conceptos recibidos en clases magistrales y resolución de ejercicios en el aula. Según el conocimiento de los autores, la implementación de actividades de aprendizaje inverso y/o PBL en cursos de mecánica y estructuras es muy escaso, en parte debido a la extensión de su currículo y contenido y a la alta dificultad de estas disciplinas (Hussain, Jamwal, Munir & Zuyeva., 2020; de la Flor López, Ferrando & Fabregat- Sanjuan, 2016).

Esta es la razón por la cual los autores de este artículo eligieron las sesiones de laboratorio de la asignatura para aplicar nuevas metodologías de PBL y de aula inversa combinadas, utilizando videoclips, a los estudiantes 3º curso del Grado de Ingeniería Mecánica en la asignatura de Elasticidad y Resistencia de Materiales. Las competencias/resultados de aprendizaje requeridos por los estudiantes ya están recogidos en el currículo oficial del Grado en Ingeniería Mecánica de cada Universidad. En el caso de la Universidad Rey Juan Carlos (Madrid, España), los alumnos de Elasticidad y Resistencia de Materiales deben desarrollar varias competencias transversales, tales como: resolución de problemas, adaptación a nuevas situaciones, trabajo en equipo, toma de decisiones, capacidad de aplicar los conocimientos a la práctica, creatividad y motivación para el logro; y una competencia básica o específica: conocimiento de los fundamentos de la Elasticidad y Resistencia de los Materiales.

Para conseguir este objetivo, se ha llevado a cabo una variación de las sesiones de laboratorio clásicas a un problema de diseño y fabricación de una estructura: los alumnos tienen que resolver un caso de un puente de juguete sostenido por una viga de 30 cm de longitud y que no puede deflectar más de 5 mm cuando se aplican dos fuerzas puntuales a la misma distancia de los apoyos en sus extremos. Para diseñar y fabricar esta estructura, los estudiantes necesitan aplicar no sólo conocimientos mecánicos, sino también razonamiento lógico indirectamente vinculado al entorno personalizado. Para dinamizar la línea del laboratorio, se han incluido en la actividad técnicas novedosas de fabricación por impresión 3D y de análisis por correlación digital de imágenes (DIC) para medida de desplazamiento y deformaciones.

La participación en estas sesiones de laboratorio implica que los alumnos deben desarrollar competencias transferibles en una alta extensión, tales como el trabajo en equipo, la toma de decisiones, la capacidad de aplicar los conocimientos a la práctica, la creatividad y la motivación por el logro. Esta actividad fomenta el trabajo en equipo durante la clase práctica pero también fuera, cuando los alumnos deben elaborar el informe. Además, resuelven el problema de diseño trabajando como equipo, en colaboración unos con otros. Deben tomar decisiones para elegir el mejor diseño posible y aplicar su creatividad para diferentes formas y perfiles de vigas. Asimismo, la competencia básica en el conocimiento de la elasticidad y resistencia de los materiales debe desarrollarse al máximo para lograr una buena solución al problema planteado. Durante las sesiones de laboratorio, los profesores y ayudantes de laboratorio supervisan el correcto desarrollo de la actividad.

2. Metodología

El aprendizaje en el laboratorio es vital en muchas áreas de los títulos de ingeniería, incluidas las materias mecánicas. Sin embargo, investigaciones anteriores han demostrado que el aprendizaje en el laboratorio a veces no es lo suficientemente satisfactorio ya que no se alcanzan los objetivos de aprendizaje teóricos ni prácticos propuestos. Esta sección presenta un nuevo diseño de laboratorio, su implementación y evaluación.

2.1. Contexto educativo

El Grado en Ingeniería Mecánica se imparte en la Universidad Rey Juan Carlos desde 2017. Elasticidad y Resistencia de Materiales se imparte en el primer cuatrimestre del

tercer curso de este grado, y tiene asignados 6 ECTS, lo que equivale a 60 horas de clases presenciales. Por su parte, las clases presenciales de docencia engloban 48 horas de clases teóricas y de resolución de ejercicios, y 12 horas de laboratorio. Esta experiencia se ha llevado a cabo durante dos cursos académicos.

Este trabajo se llevó a cabo con alumnos de la asignatura de Elasticidad y Resistencia de Materiales en los cursos 2019/2020 y 2020/2021, en la carrera de Ingeniería Mecánica. Se analizaron los resultados académicos de 55 estudiantes. La edad promedio de los participantes fue de 21 años (intervalo de edad de 20 a 23 años). Las sesiones de laboratorio se desarrollaron según el esquema de la Figura 1, sin incidencias. Los profesores estaban listos para resolver dudas y colaborar con los estudiantes, corrigiendo errores detectados durante las sesiones.

En este nuevo laboratorio, cada estudiante asiste a dos sesiones prácticas de 4 horas cada una. Cada sesión tiene dos coordinadores, profesores ayudantes de prácticas, que son los responsables del material didáctico, los videoclips y el contenido teórico. Todo el material didáctico de apoyo y los vídeos son accesibles a todos los alumnos antes de la sesión presencial a través del espacio virtual correspondiente de Moodle, que es la plataforma que emplea la Universidad Rey Juan Carlos para el aula virtual de sus asignaturas.

Los principales resultados del aprendizaje de Elasticidad y Resistencia de Materiales son: (1) la capacidad de aplicar experimentalmente los fundamentos de la Elasticidad y Resistencia de materiales (derivados de una competencia específica), (2) la capacidad de aplicar los conocimientos de ingeniería a la práctica (también derivados de una competencia transversal) y (3) la capacidad de producir una comunicación oral correcta (estructurada, clara y adecuada a la situación comunicativa) (derivada de una competencia básica). Las dos últimas competencias también se consideran Competencias Genéricas en los Descriptores de Dublín y se refieren a aquellas competencias que son clave, transversales y transferibles a una amplia variedad de contextos personales, sociales, académicos y profesionales a lo largo de la vida. Al finalizar la carrera, los estudiantes habrán adquirido estas habilidades y poseerán no solo competencias técnicas, sino también metodológicas, humanas y sociales (García-Aracil & Van der Velden, 2008; Villa, 2007).

2.2. Aprendizaje basado en problemas

El objetivo principal de esta experiencia fue diseñar, dimensionar e imprimir un nuevo puente, y experimentalmente, determinar desplazamientos y deformaciones bajo carga, utilizando correlación de imágenes digitales. La viga diseñada debía tener una sección transversal constante, en función de algunas restricciones (es decir, el tamaño de ambas dimensiones de la sección transversal, el espesor y el desplazamiento o deformación máxima). La calidad del producto entregable se evaluó comparando el desempeño de todos los diseños propuestos creados por los diferentes equipos de estudiantes. La actividad se dividió en la visualización de los videos y las clases de laboratorio. La Figura 1 resume las etapas incluidas en cada sesión de laboratorio

Videos antes de las clases de laboratorio

(i) Los educadores elaboran los videos con la información necesaria y los ponen a disposición en el espacio virtual de Moodle para estas materias. Esta tarea se realiza antes de que comiencen las sesiones de laboratorio. El número total de estudiantes en cada el laboratorio oscila entre 15 y 20. El número recomendado de estudiantes que debe formar un grupo de trabajo para el problema planteado es de cuatro. Hay dos profesores en el laboratorio y cada uno está a cargo de 2 o 3 grupos, y deben resolver las necesidades y preguntas de todos estudiantes. La experiencia total del laboratorio incluye 3 sesiones de 4 horas cada una, una clase por semana durante 3 semanas. Hay suficiente tiempo para que los estudiantes del mismo grupo se reúnan, discutan sobre la solución y preparen el informe final.

Sesión de laboratorio 1

(ii) Los profesores de prácticas e instructores describen los problemas en el laboratorio: se debe fabricar un puente modelo para conectar 2 puntos separados por 30 cm. El puente debe apoyarse sobre una viga. Los estudiantes seleccionarán un tipo de sección transversal y la dimensionarán, considerando una flecha máxima y cargas prescritas. Los alumnos pueden utilizar cuatro polímeros termoplásticos diferentes: ácido poliláctico (PLA), poliamida (PA), poliacrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) o poliuretano termoplástico (TPU), y deberán seleccionar uno según el dimensionado de su puente.

(iii) Los estudiantes tienen espacio y tiempo de generación de ideas dentro de su grupo para considerar diferentes soluciones, posibles secciones transversales y el material a seleccionar. Los instructores proporcionarán retroalimentación a los estudiantes con base en la revisión de la literatura y los ejercicios resueltos en clase, y utilizando aproximaciones teóricas.

(iv) Una vez que el grupo ha diseñado el puente y seleccionado el material, los alumnos lo dibujan en el software *Autodesk Inventor*[®] (Autodesk, Inc, USA), el profesor les ayudará en el aprendizaje de este software. También necesitarán usar *BCN3D CURA* (Stratos Solutions, Inc.) o *Ultimaker CURA* (Ultimaker, Inc.) para crear el archivo final que usa la impresora. Impresión 3D del puente tangible diseñado; utilizando una impresora *Creality Ender 3* o *BCN3D Sigma R19* (Figura 2).

Sesión de laboratorio 2

(v) La estructura ya ha sido impresa y el siguiente paso es cargar progresivamente el puente con las cargas prescritas y medir el desplazamiento y las deformaciones con la técnica de correlación de imágenes digitales. Los alumnos utilizaron una pesa colgante con gancho superior de 0,5 kg y un juego de 10 pesas ranuradas que fueron añadiendo una a una. Para estas dos últimas fases, el haz debe estar pintado para tener un patrón de puntos que el software Ncorr pueda seguir en las imágenes de video. Comparación del cálculo teórico con los resultados obtenidos experimentalmente. Ncorr es un programa de correlación de imágenes digitales 2D de código abierto de *MATLAB*[®] (Mathworks Inc.).

(vi) Presenta su diseño al resto de los grupos en el laboratorio y decide cuál es el mejor entre todos los equipos.

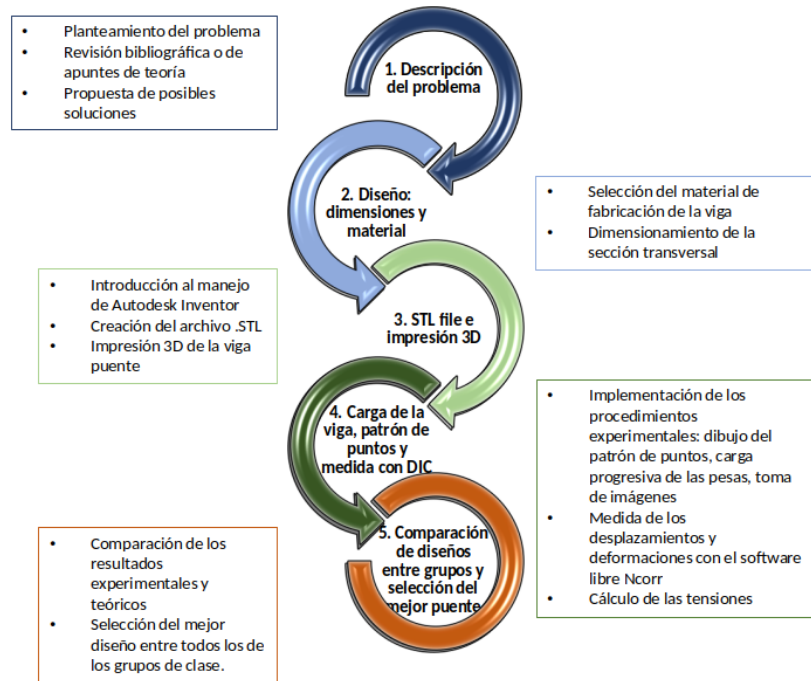


Figura 1. Descripción de los pasos del PBL diseñado en el laboratorio, con 5 etapas.

El nuevo laboratorio también fue evaluado en términos de resultados académicos con el fin de determinar su eficacia para la adquisición de competencias y habilidades. El examen final de laboratorio consta de una prueba objetiva y un ejercicio relacionado con el diseño teórico de una estructura, arrojando datos similares a los del proyecto de diseño del laboratorio. Este examen evaluó la adquisición de los contenidos teóricos con la prueba objetiva y la adquisición de competencias y habilidades con el ejercicio de diseño.

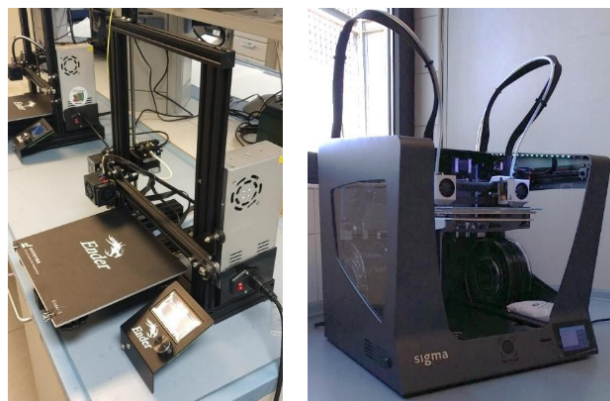


Figura 2. Impresoras 3D modelos y marca Creality Ender 3 (izquierda) y BCN3D Sigma R19 (derecha) disponibles en el laboratorio para la fabricación de las vigas del problema.

2.3. Videoclips

Antes de comenzar las sesiones de laboratorio, al mismo tiempo que se publican en el aula virtual las listas de alumnos en cada grupo de laboratorio, se hacen públicos en Moodle unos videoclips (Figura 3). Esta experiencia de aula inversa se basa en aprender mirando. Estos videos requirieron mucho tiempo y dedicación por parte de los profesores para su elaboración, aunque se ha logrado una mejora significativa en la preparación de los alumnos de las sesiones de laboratorio y su aprovechamiento posterior. Para cada sesión práctica se elaboró un vídeo ilustrativo de 15 min en el que se presentan los aspectos fundamentales (objetivos generales, objetivos operativos, ideas clave, conclusiones, etc.). Los videos están destinados a ayudar a los estudiantes a preparar cada sesión práctica para el laboratorio. También son un recordatorio útil del contenido para preparar el informe final y el examen.

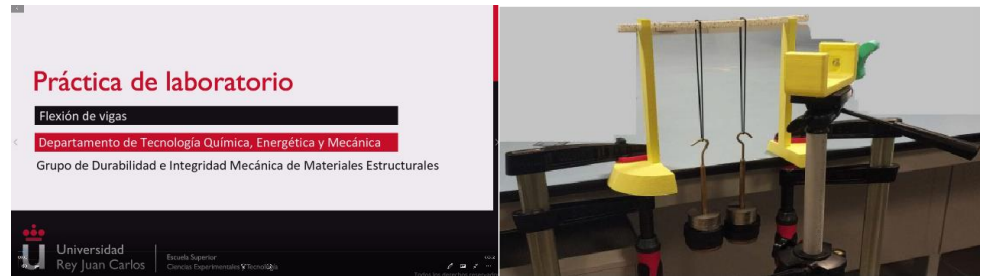


Figura 3. Diapositivas de ejemplo de los videoclips: explicación, materiales, desarrollo.

2.4. Impresión 3D

Las técnicas de fabricación aditiva (AM) han marcado un hito por el carácter innovador frente a la fabricación tradicional, y por su enorme versatilidad, extendiéndose rápidamente a muchos sectores industriales. Hoy en día es fácil encontrar aplicaciones de fabricación aditiva en campos muy diversos, desde la automoción o la aeronáutica hasta la ingeniería biomédica o de defensa. En los últimos años su uso ha crecido exponencialmente también en ámbitos académicos, como la docencia y la investigación. «El uso cada vez mayor de la fabricación aditiva y la impresión 3D está introduciendo la necesidad de desarrollar nuevas habilidades y la oportunidad de enseñarlas en diversas materias.» (Ford & Minshall 2019).

Hay varios pasos comunes en toda la gran variedad de técnicas de fabricación aditiva: todos ellos comienzan con la creación de un archivo 3D por Computer Aided Design (CAD) que contiene la pieza deseada. Este archivo se convierte en un archivo de formato legible por computadora simplificado compatible con el equipo de fabricación aditiva. Una vez que se obtiene este archivo de estereolitografía (STL), el software lo divide en rebanadas de espesor específico, lo que le da al equipo de AM la información de fabricación de cada capa de la pieza. Luego, el equipo AM puede comenzar con la fabricación de la pieza capa por capa hasta completar la pieza. La fabricación aditiva permite crear geometrías complejas con menos material, y sin mecanizados posteriores, más fácilmente que los métodos de fabricación tradicionales.

En este trabajo, se seleccionó la técnica de impresión 3D para crear el diseño como una oportunidad para cubrir los déficits en la enseñanza de habilidades en estas

tecnologías de impresión 3D emergentes (Ford & Minshall, 2019). Las carreras de Ingeniería Mecánica no suelen tener asignaturas específicas que desarrollen la fabricación aditiva, por lo que los profesores decidieron incluirla en este nuevo laboratorio. Los estudiantes deben familiarizarse con el formato de archivo .STL. Estos archivos sirven como interfaz entre su modelo 3D (modelo CAD) y todas las impresoras que ahora están disponibles. Los estudiantes usaron Autodesk Inventor para preparar su archivo .STL (Figura 4), pero también existen otros programas gratuitos para modelar archivos .STL, como Tinkercad.

El laboratorio de Elasticidad y Resistencia de Materiales dispone de tres impresoras *Crealty Ender 3* y una impresora *BCN3D* que los alumnos pueden utilizar para realizar sus maquetas. Estas impresoras fueron empleadas también por los profesores para elaborar e imprimir los soportes utilizados en la experiencia empleados en el momento de cargar la estructura.

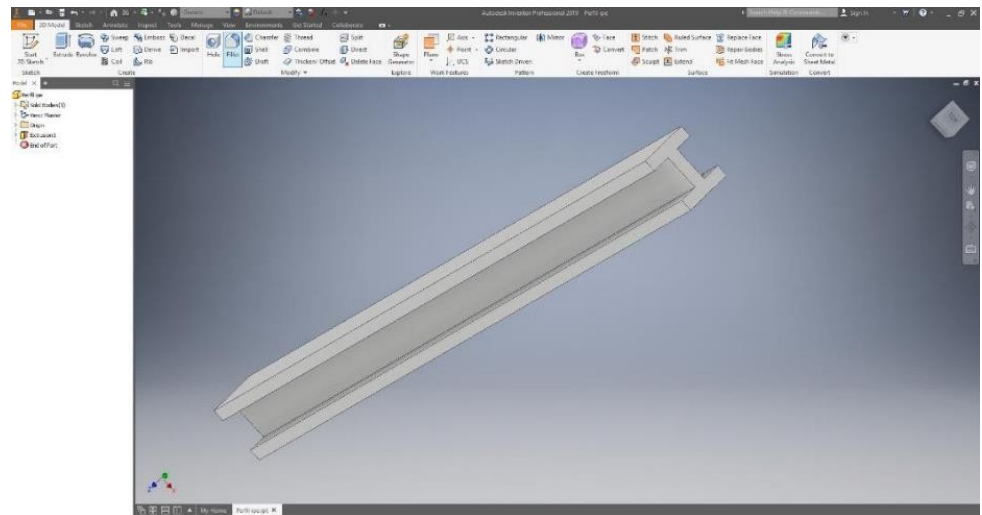


Figura 4. Modelo de viga diseñada en Autodesk Inventor.

2.5. Videoextensometría

La videoextensometría es una técnica sin contacto para medir los desplazamientos y deformaciones basada en el análisis digital de imágenes (DIC). Es una técnica óptica basada en la comparación de imágenes de una superficie de muestra para generar mapas completos de los campos de deformaciones y desplazamientos. Se utiliza principalmente en el campo de la ingeniería mecánica o de materiales, pero constantemente surgen nuevas aplicaciones. Frente a técnicas anteriores, como el uso de galgas extensiométricas o la fotoelasticidad, este método presenta ciertas ventajas debido a la medición sin contacto y la obtención de todo el campo de desplazamientos y, en consecuencia, para estos materiales en régimen elástico, las deformaciones en cualquier punto de la muestra analizada (Peters & Ranson, 1982; Sutton et al., 1983; Wang, Kang y Xie, 2005). El empleo de esta técnica precisa de un software que analice las imágenes tomadas a medida que se deforma la muestra; estas imágenes se utilizan como entradas a un software, en nuestro proyecto este software era *Ncorr*, un programa libre y gratuito que se emplea sobre *Matlab*, que está disponible para los alumnos a través de la plataforma facilitada por la universidad. La idea es obtener una

correlación de uno a uno entre la imagen inicial no deformada y las configuraciones deformadas. El resultado es una cuadrícula que contiene información de desplazamiento y deformación de la muestra, también conocida como desplazamientos y deformaciones lagrangianas.

El avance de la fotografía digital y la informática amplía el uso de esta tecnología, ya que además es muy barata y fácil de usar. Los alumnos pueden utilizar un sencillo móvil para realizar las fotografías y, mediante el software gratuito DIC, son capaces de analizar los datos experimentales (Blaber, Adair & Antoniou, 2015). Para obtener estos puntos materiales en las imágenes, las muestras deben tener patrones naturales en la superficie. Los algoritmos de reconocimiento de patrones trabajan en la identificación de pequeñas facetas únicas en la imagen de video. Los estudiantes tienen tres opciones para tener el patrón moteado: 1) pintura en aerosol negra, 2) aerógrafo para un patrón más regular o 3) marcas de bolígrafo.

En resumen, con este método es posible conocer desplazamientos y deformaciones en los diseños de cada grupo de estudiantes, una vez cargados. En el proceso previo a la medida, los alumnos deben pintar estas piezas con fondo blanco y crear un patrón de puntos negros, luego tomar varias fotos durante el proceso de carga de la pieza, y analizar estas imágenes con el software escogido *Ncorr* (Figura 5).



Figura 5. Imagen obtenida con *Ncorr* de los desplazamientos verticales v medidos en la viga cargada.

2.6. Herramientas para medir y analizar la experiencia de laboratorio

Después de las sesiones de laboratorio, los estudiantes pudieron completar una encuesta no formal realizada en línea a través de la plataforma Moodle. Para asegurar la calidad y la evaluación de los resultados de aprendizaje, se realizó una encuesta a través de Moodle, que contenía diez preguntas divididas en tres categorías principales (Tabla 1) donde se recogían las percepciones y la satisfacción de los estudiantes con el nuevo laboratorio de aprendizaje basado en problemas. (1) Preguntas 1 y 2, con texto de respuesta cerrada para analizar qué parte del laboratorio fue más difícil y fácil para los estudiantes. (2) Preguntas de la 3 a la 8, relacionadas con la valoración de la utilidad de las mejoras para una mejor comprensión del tema en general, y su utilidad para la preparación del examen y sobre los videoclips y métodos de autoevaluación para alcanzar los principales resultados de aprendizaje. Se utilizó una escala Likert modificada de 6 puntos (a) totalmente de acuerdo, b) de acuerdo, c) ligeramente de acuerdo, d) ligeramente en desacuerdo, e) en desacuerdo y f) totalmente en

desacuerdo. Hemos utilizado una escala tipo Likert de seis puntos para evitar una respuesta neutra, difícil de comprender y diferenciar con un caso en el que alguien no está interesado en participar. Este tipo de declaración se alineó bien con los resultados de aprendizaje específicos y los objetivos de laboratorio, y se ha considerado eficaz para evaluar los resultados de aprendizaje. (3) Preguntas 9 y 10, preguntas cerradas (sí/no/probablemente) relacionadas con la satisfacción general con la actividad y sus resultados de aprendizaje.

Tabla 1. Detalle de las diez preguntas realizadas en la encuesta realizada a los estudiantes acerca del laboratorio y su efectividad.

Pregunta	Detalle	Opciones de respuesta
Q1	¿Qué parte del laboratorio te ha resultado más sencilla?	Dimensionamiento del puente
	¿Qué parte del laboratorio te ha resultado más difícil?	Selección del material
		Realizar el archivo .STL
		Usar la impresora 3D
Q2		Carga la maqueta y hacer las fotografías
		Elaborar el patrón de puntos y medida con DIC
Q3	Estoy muy satisfecho con la actividad	5 - Totalmente de acuerdo
Q4	Estoy muy satisfecho con el aprendizaje conseguido	4 - de acuerdo
	Estoy muy satisfecho con los recursos y la calidad de la información y los vídeos disponibles para llevar a cabo la experiencia de laboratorio nuevo	3 - ligeramente de acuerdo
Q5		2 - ligeramente en desacuerdo
		1 - en desacuerdo
		0- totalmente en desacuerdo
Q6	Considero que esta actividad ha supuesto una gran ayuda en el proceso de asimilación de los conceptos fundamentales de esta asignatura	
Q7	Me sentí muy cómodo trabajando en grupo y eligiendo el mejor diseño final todos los grupos juntos	
Q8	Considero esta metodología de laboratorio más adecuada que la metodología tradicional para el aprendizaje de los conceptos teóricos y adquisición de competencias de esta asignatura	
Q9	¿Te ha motivado esta actividad de laboratorio a estudiar la asignatura?	Seguro, quería hacer un buen trabajo
		Sí, pero sólo un poco
		No
Q10	¿Recomendarías esta actividad a otros estudiantes si fuese voluntaria?	Seguro, me gustó mucho la experiencia
		Probablemente
		Tal vez
		No

3. Resultados

La retroalimentación de los estudiantes se obtuvo de los resultados de la encuesta. La encuesta constaba de 10 preguntas diferentes relacionadas con tres aspectos de la actividad de laboratorio: resultados de aprendizaje (competencias adquiridas), satisfacción del alumno con la experiencia y dificultades encontradas en el desarrollo del laboratorio.

La figura 6 muestra los resultados obtenidos sobre las respuestas de los estudiantes a las preguntas de la encuesta relacionadas con la parte más difícil y fácil de la actividad de laboratorio. Con base en los datos recopilados en la encuesta, es posible asegurar que la mayoría de los estudiantes pensó que el paso más fácil en la actividad de aprendizaje basado en problemas fue cargar y tomar las fotografías, pero el más difícil fue analizar los datos obtenidos. Este último ítem presentaba una dificultad similar al primero, selección del material y dimensionamiento, lo que está directamente relacionado con la competencia específica de estas materias.

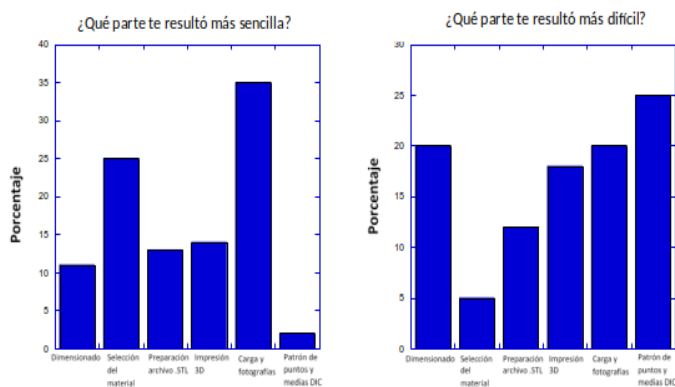


Figura 6. Resultados de la encuesta realizada a los alumnos en el laboratorio. Las preguntas 1 y 2 que hacían mención a la percepción de la parte más difícil y más fácil en el desarrollo del nuevo laboratorio.

La figura 7 muestra las respuestas de los estudiantes a seis afirmaciones y preguntas relativas al nivel de satisfacción con toda la actividad, los aprendizajes adquiridos, el trabajo en grupo y la colaboración. Cada afirmación tenía seis opciones de respuesta con un valor numérico asignado, siendo 6 la nota máxima y 1 la mínima. Este tipo de declaración se alinea bien con los resultados de aprendizaje específicos y los objetivos de laboratorio se ha considerado eficaz para evaluar los resultados de aprendizaje. La mayoría de los estudiantes apoya que el aprendizaje basado en problemas en las sesiones de laboratorio es una forma correcta de mejorar el conocimiento de la materia y esta actividad ha fomentado el trabajo en equipo y los estudiantes se sintieron cómodos con esa forma de trabajar. La actividad ha conseguido una cooperación total no solo entre los alumnos de un mismo grupo, sino también entre grupos, necesaria para conseguir el objetivo final propuesto en la actividad. Además, los estudiantes respondieron que los videoclips fueron un recurso útil para comprender las sesiones de laboratorio. Estos datos apoyan, por tanto, nuestra hipótesis de que los recursos ayudan a los estudiantes a conseguir dos de los

principales resultados de aprendizaje: la competencia específica, en el caso de los videoclips; y la competencia básica, en el caso de los métodos de autoevaluación.

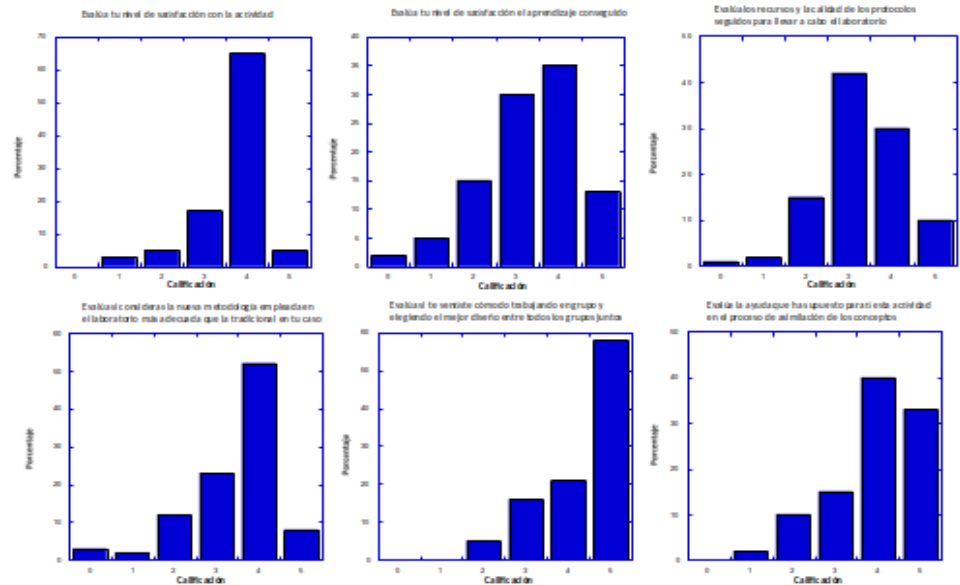


Figura 7. Resultados de la encuesta realizada a los alumnos participantes en la actividad de laboratorio. Cada afirmación tenía cinco opciones de respuesta con un valor numérico asignado, siendo 5 la nota máxima y 0 la mínima. Este tipo de declaración se alinea bien con los resultados de aprendizaje específicos y los objetivos de laboratorio se ha considerado eficaz para evaluar los resultados de aprendizaje. Los resultados se muestran para todos los estudiantes juntos y también distribuidos por grado.

Finalmente, la Figura 8, muestra los resultados de las dos preguntas finales de la encuesta realizada por los estudiantes. Se puede apreciar que más del 85 % de los estudiantes revelan que esta actividad ha motivado a los estudiantes a estudiar la materia. Así, se puede afirmar que esta metodología motiva individualmente a cada estudiante a estudiar Elasticidad y Resistencia de Materiales para completar las tareas y promueve el trabajo colaborativo entre los participantes para alcanzar el objetivo final. Por todos estos factores, podemos afirmar que la actividad ha alcanzado los objetivos para los que fue diseñada: mejorar los resultados finales en conocimientos y competencias adquiridas por los estudiantes al estudiar la asignatura de Elasticidad y Resistencia de Materiales, y aprender nuevas técnicas útiles en su vida profesional, tales como la impresión 3D y DIC.

Tras las sesiones de este laboratorio, en estos grupos todos los alumnos superaron con éxito un examen teórico-práctico sobre lo explicado en las nuevas sesiones de prácticas. Es un resultado mejor que el obtenido en cursos anteriores y en esta misma asignatura en otras titulaciones, por lo que nos planteamos evaluar estos resultados teniendo en cuenta distintas titulaciones para poder hacer una mejor comparación de las mismas.

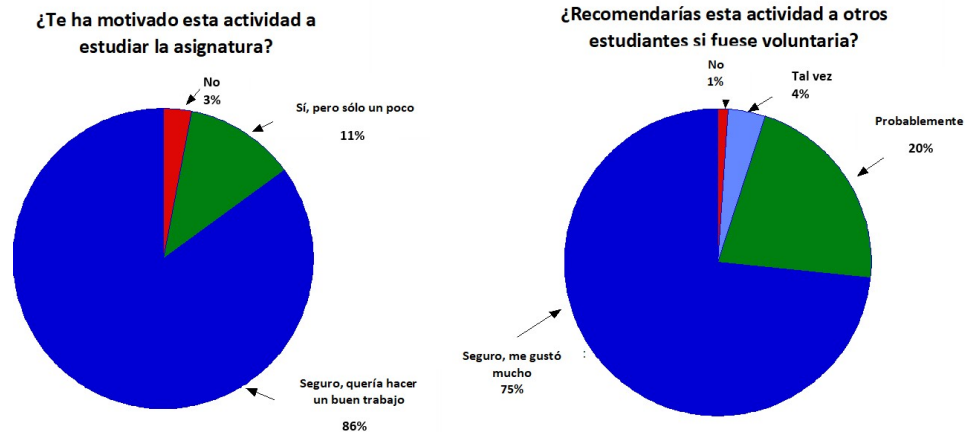


Figura 8. Resultados de las preguntas finales de la encuesta realizada a los alumnos que participaron en la actividad de laboratorio.

4. Conclusiones

Las metodologías educativas aplicadas en el laboratorio dieron a los estudiantes un enfoque diferente a uno de sus cursos principales (Elasticidad y Resistencia de Materiales) en su tercer curso del grado de Ingeniería Mecánica. El aprendizaje basado en problemas propuesto tenía la capacidad de ayudar a integrar el conocimiento y mejorar las habilidades incluidas en las competencias principales de una de las materias más difíciles y que consumen más tiempo del programa de ingeniería. Esta actividad de laboratorio planteó a los estudiantes varios desafíos: vincular todo el conocimiento de la materia con lo nuevo adquirido en el laboratorio, resolver la pregunta principal, crear un producto impreso en 3D y analizar los desplazamientos y deformaciones usando DIC. El laboratorio de aprendizaje basado en problemas proporcionó a los estudiantes nuevas herramientas en el manejo de problemas mecánicos, y respondieron positivamente sobre los beneficios que el aprendizaje basado en problemas aportó a su conocimiento final en la materia.

Además, los videoclips en línea para la enseñanza y el aprendizaje, combinados con otras técnicas interactivas (métodos de autoevaluación y material didáctico mejorado) son herramientas eficaces para apoyar los resultados del aprendizaje. Las calificaciones finales de los estudiantes fueron bastante buenas, por lo tanto, estos recursos han ayudado y respaldado significativamente las calificaciones de los estudiantes. Además, el grado de satisfacción de los alumnos, constatado a través de la encuesta, es notablemente alto, por lo que se puede concluir que el nuevo laboratorio, con metodologías activas de aprendizaje, ha tenido una buena acogida. Los alumnos consideran que los nuevos recursos son muy útiles tanto para la comprensión del tema en general como para la preparación del examen.

El laboratorio propuesto basado en un aprendizaje basado en problemas con un componente de diseño se considera muy desafiante debido a su naturaleza abierta y al requisito de que los estudiantes integren el laboratorio a escala piloto con el diseño relevante. Esto podría deberse principalmente a la instrucción secuencial y la evaluación formativa para el aprendizaje basado en problemas que pudo brindar a los

estudiantes una retroalimentación oportuna para que continúen mejorando. El análisis de los resultados mostró que todos los alumnos se perciben muy satisfechos con la actividad, y que consideran que los recursos y videoclips utilizados les han ayudado a comprender los fundamentos teóricos de la asignatura.

Estos resultados son alentadores, aunque considerando toda la encuesta, todavía hay partes de la actividad de laboratorio que deben mejorarse para que la actividad consuma menos tiempo y la parte más difícil sea más fácil para los estudiantes. La misma actividad podría implementarse en la misma asignatura en otros grados y ediciones diferentes para tener más datos y compararlos.

5. Referencias

- Akçayır, G., & Akçayır, M. (2018). The flipped classroom: A review of its advantages and challenges. *Computers & Education*, 126, 334–345.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.07.021>
- Ballesteros, M. A., Daza, M.A., Valdés, J.P., Ratkovich, N. & Reyes L.H. (2019). Applying PBL methodologies to the chemical engineering courses: Unit operations and modeling and simulation, using a joint course project. *Education for Chemical Engineers*, 27, 35-42.
<https://doi.org/10.1016/j.ece.2019.01.005>
- Blaber, J., Adair, B., Antoniou, A. (2015). Ncorr: open-source 2D digital image correlation Matlab software. *Experimental Mechanics*, 55, 1105-1122.
<https://doi.org/10.1007/s11340-015-0009-1>
- Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: skills for the future, *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 83 (2), 39-43.
<https://doi.org/10.1080/00098650903505415>
- Biggs, J., Tang, C. & Kirby, J. (2011). *Teaching for Quality Learning at University*. The Society for Research into Higher Education. McGraw Hill.
- Brohn, D.M., (1992). A new paradigm for Structural Engineering. *The structural engineer*, 70(13), 239- 242.
- Blumenfeld, P.C., Soloway, E., Marx, R.W., Krajcik, J.S., Guzdial, M., Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26, 369–398.
<https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653139>
- Chi M.T.H. & Wylie R. (2014). The ICAP framework: linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49, 219-243.
<http://dx.doi.org/10.1080/00461520.2014.965823>
- De la Flor López S., Ferrando F. & Fabregat-Sanjuan, A. (2016) Learning/training video clips: an efficient tool for improving learning outcomes in Mechanical Engineering. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 13(6).
<https://doi.org/10.1186/s41239-016-0011-4>
- De la Flor D., Calles J.A., Espada, J.J. & Rodríguez, R. (2020). Application of escape lab-room to heat transfer evaluation for chemical engineers. *Education for Chemical Engineers*. 33, 9–16.
<https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.06.002>
- Feisel, L.D. & Rosa, A.J. (2005). The role of the laboratory in undergraduate engineering education. *Journal of Engineering Education*. 94, 121–130.
<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00833.x>
- Ford, S. & Minshall, T. (2019). Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131-150.
<https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- Fraile García, E., Ferreiro Cabello, J. & Martínez de Pisón Ascacibar, E. (2017). Proyecto de

- innovación docente mediante feedback para la asignatura Elasticidad y resistencia de materiales, in Membiela Iglesia, P. Casado Navas, N., Cebreiros Iglesias, M.I. & Vidal López, M. (Eds.) *La enseñanza de las ciencias en el actual contexto educativo*, (pp. 247-252). Educación editora.
- García-Aracil A & Van der Velden R (2008) Competencies for Young European Higher Education Graduates: Labor market mismatches and their payoffs. *Higher Education* 55(2), 219-239. <http://dx.doi.org/10.1007/s10734-006-9050-4>
- Greenwood, V.A. & Mosca, C. (2017). Flipping the nursing classroom without flipping out the students. *Nursing Education Perspectives*, 38(6), 342-343. doi: 10.1097/01.NEP.0000000000000167
- Hao, Y., & Lee, K. S. (2016). Teaching in flipped classrooms: Exploring pre-service teachers' concerns. *Computers in Human Behavior*, 57, 250–260. 10.1016/j.chb.2015.12.022.
- Hussain, S., Jamwal, P.K., Munir, M.T. & Zuyeva, A. (2020). A quasi-qualitative analysis of flipped classroom implementation in an engineering course: from theory to practice. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(43). <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00222-1>
- Krajcik, J.S., Blumenfeld, P.C., Marx, R.W. & Soloway, E. (1994). A collaborative model for helping middle grade science teachers learn project-based instruction. *The Elementary School Journal*. 94 (5), 483–497. <https://doi.org/10.1086/461779>
- Krajcik, J.S., Czerniak, C.M., Czerniak, C.L. & Berger, C.F. (2003). *Teaching Science in Elementary and Middle School Classrooms*. McGraw-Hill Humanities Social.
- Krajcik, J.S. & Shin, N. (2014). Project-based learning. R.K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (2nd ed., pp. 275-297). Cambridge University Press.
- Peters, W.H. & Ranson, W.F. (1982). Digital imaging techniques in experimental stress analysis, *Optical Engineering*, 21 (3), 427-43. [https://doi: 10.1117/12.7972925](https://doi.org/10.1117/12.7972925)
- Sayyah, M., Shirbandi, K., Saki-Malehi A. & Rahim, F. (2017). Use of a problem- based learning teaching model for undergraduate medical and nursing education: a systematic review and meta-analysis. *Advances in Medical Education and Practice* 8, 691-700. [https://doi: 10.2147/AMEPS143694](https://doi.org/10.2147/AMEPS143694)
- Sutton, M.A., Wolters, W.J., Peters, W.J., Peters, W.H., Ranson, W.F. & McNeill, S.R. (1983). Determination of displacements using an improved digital correlation method. *Image and Vision Computing*, 1 (3). 133-139. [https://doi.org/10.1016/0262-8856\(83\)90064-1](https://doi.org/10.1016/0262-8856(83)90064-1)
- Valero, M. M., Martínez, M., Pozo, F., & Planas, E. (2018). A successful experience with the flipped classroom in the transport phenomena course. *Education for Chemical Engineers*, 4, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2018.08.003>
- Villa, A. (2007) *Aprendizaje basado en competencias. Una propuesta para la evaluación de las competencias genéricas*. Ed. Mensajero. Universidad de Deusto, Bilbao.
- Wang, H., Kang, Y. & Xie, H. (2005). Advance in digital speckle correlation method and its applications, *Advances in Mechanics*. 35, 192-203.