

Aprendizaje basado en proyectos mediante aplicación de impresión 3D y modelos de elementos finitos en el Grado de Ingeniería Mecánica

Project-based learning through the application of 3D printing and finite element models in the Degree in Mechanical Engineering

Ricardo Belda^{a, b}, Diego Infante^b, Raquel Megías^b, Norberto Feito^b

^aDpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. rbelda@ing.uc3m.es,

^bDpto. de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Universitat Politècnica de València. dieingar@upv.es, ramedia@upv.es, norfeisa@upv.es

How to cite: Ricardo Belda, Diego Infante, Raquel Megías, Norberto Feito. 2023. Aprendizaje basado en proyectos mediante aplicación de impresión 3D y modelos de elementos finitos en el Grado de Ingeniería Mecánica. En libro de actas: *IX Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 13 - 14 de julio de 2023. Doi: <https://doi.org/10.4995/INRED2023.2023.16631>

Abstract

In this work, we present an educational innovation which consist of the application of the Project-Based Learning (PBL) in the subject Biomechanics, of the 4th course in the Mechanical Engineering Degree of the Universidad Carlos III de Madrid. This methodology is considered to be effective to deeply integrate knowledge of other subjects. Moreover, it favour team work and real problems resolution. Specifically, we proposed to develop a project which includes 3D printing and finite element modeling to design representative volumes of structures to be employed as bone scaffolds for the treatment of fractures with large defects. The results and the feedback received highlights the effectiveness of this methodology and the improvement in the motivation of the students. Excellent results were obtained in terms of deep learning and knowledge integration.

Keywords: Project Based Learning, deep learning, college teaching, skills.

Resumen

En este trabajo, se presenta una innovación docente que consiste en la aplicación de la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) en la asignatura Biomecánica de cuarto curso del Grado en Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid. Esta metodología se considera eficaz para integrar conocimientos de otras materias del grado de forma profunda, además de favorecer el trabajo en equipo y la resolución de problemas reales de Ingeniería. La innovación propone el desarrollo de un proyecto en grupos de trabajo, cuyo objetivo es el diseño, fabricación y modelado numérico de unidades representativas de estructuras a utilizar como andamio óseo, en el tratamiento de fracturas óseas con grandes defectos. Los resultados obtenidos y la información recibida de los estudiantes, recogida a través de rúbricas y encuestas, han resaltado la eficacia de la metodología y la mejora en la motivación de los alumnos, con resultados muy positivos en cuanto al aprendizaje profundo de la temática propuesta, integrando conocimientos transversales de otras asignaturas.

Palabras clave: *Aprendizaje Basado en Proyectos, aprendizaje profundo, enseñanza universitaria, competencias.*

1. Introducción

El Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) establece un sistema educativo basado en el aprendizaje en lugar de en la enseñanza donde el protagonista del proceso es el alumno, que debe tener un aprendizaje activo, mientras que el profesor se convierte en un favorecedor del aprendizaje. Por lo tanto, se pasa de un sistema de transmisión pura de conocimientos a un sistema con más responsabilidad para el alumno, en el que adquirirá competencias adicionales de utilidad para su profesión (García, 2018).

Bajo el enfoque del EEES, la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) se considera muy adecuada, ya que permite que el estudiante universitario adquiera competencias profesionales (Machado y Berges, 2013; Gonçalves, 2014).

3.1. Aprendizaje Basado en Proyectos

En esta metodología de aprendizaje, los estudiantes adquieren competencias mediante el desarrollo de un proyecto en equipo. Los alumnos, con la guía de los docentes, definen los objetivos e hipótesis del proyecto, la metodología, el cronograma y los roles de equipo. Esto les permite acercarse a una situación real de trabajo y resolver situaciones a las que se enfrentarán durante su carrera profesional.

Esta metodología de aprendizaje se ha mostrado, en numerosos trabajos publicados al respecto, como eficaz para trabajar conjuntamente competencias específicas y transversales de la asignatura y para preparar al estudiante para el futuro (Cuiñas, 2016; Toledo, 2018), teniendo efectos muy positivos tanto para la motivación como el rendimiento académico de la clase (Zafra, 2020). En este marco, los alumnos buscan soluciones a problemas no triviales, generando un debate entre ellos e incluyendo al docente en algunos momentos. Además, el ABP es una metodología muy versátil que permite a los estudiantes diseñar planes y experimentos, analizar datos, evaluar la utilización de diversas metodologías o técnicas u organizar y presentar resultados y conclusiones (Blumenfeld, 1991), es decir, enfrentarse a la realidad.

Es importante que el proyecto sea significativo y esté directamente conectado con la realidad de los alumnos. Esto permite implicarles ya que sienten como suyo el proyecto y pueden construirlo en base a sus conocimientos e ideas previas (Pereira, 2015), que en este caso hacen referencia a otras materias de la carrera.

La asignatura “Biomecánica”

La asignatura Biomecánica, en la que se ha implantado la innovación presentada en este documento, es una asignatura optativa de 3 créditos ECTS, que se imparte en el segundo cuatrimestre de 4º curso del Grado en Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid. Al tratarse de una asignatura optativa, el número de alumnos es reducido, 20 alumnos en el curso 2021-2022.

Según la descripción de la asignatura, sus objetivos son, entre otros, que los alumnos aprendan a aplicar conocimientos adquiridos en la carrera a estudios biomecánicos, identificar, formular y resolver problemas multidisciplinares, conocer el comportamiento mecánico de tejidos biológicos, usar técnicas experimentales y numéricas de la Ingeniería en el ámbito biomecánico, desarrollar modelos de elementos finitos y comunicar adecuadamente conclusiones y conocimientos en distintos foros especializados (Ficha Reina Biomecánica, 2022).

Dichos objetivos permiten la aplicación del ABP como Actividad de Enseñanza y Aprendizaje. En este sentido, el ABP constituye el marco ideal para unir y poner en orden lo aprendido en la carrera para aplicarlo en un ámbito distinto al estudiado, utilizar tecnologías de la información y comunicación (Gómez-Pablos, 2016), lo que permite cumplir objetivos del aprendizaje profundo (Gibbs, 2005).

La evaluación de la asignatura se realiza mediante: 2 exámenes parciales tipo test, con un peso del 30 % sobre el total de la nota, en los que se evalúan conocimientos teóricos de las clases magistrales; 2 sesiones prácticas, con un peso del 20 %; y un trabajo de aplicación de biomecánica, con un peso del 50 %.

El número de alumnos y la descripción de la asignatura permite la aplicación de ABP mediante el trabajo en grupos pequeños tutorizados por los profesores de la asignatura. Se permitió formar 4 grupos de 5 alumnos cada uno. Se propuso la elección de 2 temáticas para los trabajos, cada una de ellas tutorizada por uno de los profesores de la asignatura, de manera que cada temática tenía 2 grupos. Las temáticas propuestas fueron: *gamers* y ergonomía y **diseño y fabricación mediante impresión 3D y modelos de elementos finitos de unidades representativas de andamios óseos para el tratamiento de fracturas**. Este último, es el objeto de innovación y análisis de este documento.

2. Objetivos

El objetivo principal de esta innovación es diseñar actividades para el Aprendizaje Basado en Proyectos, definir mecanismos de evaluación de los conocimientos adquiridos, la motivación y desarrollo de competencias en la asignatura de Biomecánica. Además, se persigue que el alumno aprenda a interrelacionar conceptos propios del Grado en Ingeniería Mecánica (en asignaturas como elasticidad, resistencia de materiales, métodos numéricos o materiales, entre otras), para afianzarlos dentro del aprendizaje profundo (Gibbs, 2005) y resaltar su aplicación a otras materias y ámbitos ajenos a los que fueron estudiados (normalmente, las aplicaciones mencionadas en dichas asignaturas se centran en ámbitos tradicionales de la ingeniería).

Entre los objetivos específicos encontramos:

- Diseñar actividades específicas de la asignatura Biomecánica para integrar objetivos de aprendizaje de diversas asignaturas del Grado en Ingeniería Mecánica, ya cursadas por los alumnos.
- Incorporar al desarrollo de la asignatura una tecnología actual, como la impresión 3D, junto con técnicas tradicionales como ensayos experimentales y desarrollo de modelos numéricos, lo que permite dotar al alumno de un conocimiento global del proceso de diseño: desde la generación de un modelo 3D, su modelado numérico, fabricación y caracterización experimental.
- Proponer experiencias prácticas con aplicación en la carrera futura como ingenieros de los alumnos.
- Observar y cuantificar de forma objetiva los resultados obtenidos en la innovación implantada.

Dichos objetivos se orientaron al trabajo y evaluación de las competencias establecidas en el programa de la asignatura:

- Aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera a estudios biomecánicos empleados en investigación y/o empresas.
- Integrar todo su conocimiento para identificar, formular y resolver problemas multidisciplinares relacionados con la biomecánica.
- Conocer el comportamiento mecánico de los diferentes tejidos biológicos, tanto duros como blandos.

- Realizar y gestionar bibliografía, documentación, legislación, bases de datos, software y hardware específicos aplicados a la biomecánica.
- Usar las técnicas experimentales y herramientas de la Ingeniería necesarias para la resolución de problemas del ámbito biomecánico.
- Diseñar y llevar a cabo ensayos experimentales en biomecánica, interpretar los datos y sacar conclusiones.
- Interactuar con programas comerciales de elementos finitos a través de la programación de códigos en Python y/o MATLAB.
- Desarrollar modelos numéricos de elementos finitos e interpretar los resultados correctamente.
- Comunicar sus conclusiones y conocimientos a públicos especializados en biomecánica.

3. Desarrollo de la innovación

La integración de los conocimientos de las distintas asignaturas de una carrera para su combinación en la resolución de problemas reales es, en muchos casos, un problema para los alumnos. Incluso a aquellos que han conseguido un aprendizaje más profundo les cuesta relacionar conceptos presentados alejados (en distintas asignaturas), por lo que un ABP resulta una herramienta interesante para practicar la integración de conocimientos y su aplicación en problemas distintos a para los que fueron estudiados.

En este contexto, se plantea que el alumno sea capaz de combinar principios teóricos y prácticos del Grado para la resolución de un problema novedoso a partir del ABP demostrando dominio sobre los conocimientos que tiene, su interrelación y aplicación. Además, se les plantea mejorar en la preparación de documentos técnicos y en la presentación y defensa del proyecto.

La innovación presentada se diseñó por parte de los autores para su aplicación en el Grado en Ingeniería Mecánica (inicialmente en la Universitat Politècnica de València). No obstante, esta innovación se aplicó finalmente en la asignatura de Biomecánica del Grado en Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid, dado el traslado del primer autor de este trabajo a dicha Universidad. Tanto el diseño como el análisis de resultados y conclusiones se llevó a cabo por parte de todos los autores de este trabajo.

3.1. Creación de grupos

Para la creación de los grupos de trabajo, se comunicó en horario de la primera clase del curso, así como mediante un anuncio en el aula global de la asignatura, que debían inscribirse a las temáticas propuestas con un número máximo de 5 alumnos por grupo, en un plazo de 10 días.

El seguimiento del trabajo se realizó cada dos semanas, en los últimos 20 minutos de las sesiones teóricas. Además, se estableció un canal de comunicación por correo electrónico para la resolución de dudas.

En la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos, el papel principal del docente es el de presentar el proyecto y actuar como guía en el proceso, de forma que se vaya orientando el trabajo de los alumnos en función de los objetivos de aprendizaje. En ocasiones, el profesor debe definir roles en los equipos aunque, en el caso más óptimo, como es el caso que nos ocupa, los alumnos fueron organizándose y definiendo sus roles en el equipo, por lo que el papel del profesor fue el de garantizar el buen funcionamiento del equipo, permitiendo que los equipos se autoregularan. Un aspecto a resaltar respecto a este funcionamiento ideal es que los alumnos estuvieron muy motivados con la asignatura desde el primer momento, cosa que facilitó enormemente las tareas docentes. Cabe indicar también que, mostrar la aplicación de numerosos conocimientos aprendidos de otras materias a un problema real, permitió también disponer de una situación tan ideal.

3.2. Planteamiento del problema

En la actividad propuesta, cada grupo de trabajo tiene que evaluar estructuras representativas a utilizar en andamios óseos mediante su fabricación 3D y desarrollar modelos de elementos finitos que reproduzcan con fidelidad las geometrías estudiadas.

En cuanto a los requisitos del proyecto, se plantearon de forma somera, permitiendo la toma de decisiones por parte de los alumnos para fomentar su involucración en el trabajo y que sintieran los desarrollos como suyos. Las líneas generales planteadas se resumen a continuación:

- Plantear una o varias alternativas de estructura porosa para su uso como andamio óseo para el tratamiento de fracturas con defectos de grandes dimensiones.
- Las estructuras a analizar deben ser Trípemente Periódicas con Mínima Superficie (TPMS) (se trata de unas geometrías especiales que presentan ventajas estructurales respecto a otras alternativas usadas para estas aplicaciones).
- Fabricar por impresión 3D en PLA las estructuras estudiadas, utilizando las impresoras 3D disponibles en el departamento.
- Generar un modelo de elementos finitos de las alternativas estudiadas para poder simular su comportamiento mecánico.
- Ensayar bajo las condiciones de carga elegidas las alternativas estudiadas, con la guía de los profesores y utilizando los recursos disponibles en el departamento.

3.3. Entrega del proyecto

El seguimiento cada semana y el canal de comunicación por correo electrónico se definió como mecanismo de control de la evolución del trabajo, por lo que se planteó una única entrega final del proyecto. Dicha entrega se planteó en formato de artículo científico:

1. Introducción y objetivos.
2. Materiales y métodos.
3. Resultados y discusión.
4. Conclusiones.
5. Referencias.

Además, se definió, el último día de clase, la presentación y defensa de los trabajos realizados, con las siguientes condiciones:

- El documento en pdf y la presentación deberán subirse el día antes de la defensa del trabajo utilizando la tarea correspondiente del aula global.
- Cada grupo dispondrá de 10 minutos de presentación.
- Tanto alumnos como profesores podrán formular preguntas tras la presentación.

3.4. Evaluación del proyecto

Para evaluar el proyecto, se siguieron las siguientes rúbricas para el documento en formato artículo (Tabla 1) y para la presentación y defensa del trabajo (Tabla 2). En ellas, es necesario sacar un 2.5 de media sobre 4 para aprobar. Las rúbricas han sido utilizadas en trabajos similares (Toledo, 2018).

Tabla 1. Rúbrica utilizada para la evaluación del manuscrito del proyecto.

MANUSCRITO DEL PROYECTO	4 Excelente	3 Bueno	2 Regular	1 Insuficiente
1. Introducción y objetivos	Se presenta claramente la motivación y objetivos del proyecto, realizando una revisión del estado del arte profunda incluyendo las referencias oportunas	Se define la motivación, los objetivos y la revisión del estado del arte de forma menos adecuada y las referencias incluidas son insuficientes.	No se define la motivación y los objetivos adecuadamente y la revisión del estado del arte es insuficiente. Se incluyen pocas referencias, mal citadas.	No se incluye la motivación ni objetivos, la revisión del estado del arte es insuficiente y mal redactada. No se incluyen referencias.
2. Materiales y métodos	Los materiales y métodos están descritos con detalle y precisión, son coherentes y permiten la replicación del estudio	Los materiales y métodos están descritos adecuadamente, pero podrían ser más detallados o presentar alguna incoherencia o ambigüedad	Los materiales y métodos son poco detallados o presentan incoherencias o ambigüedades que dificultan la replicación del estudio	Los materiales y métodos están insuficientemente descritos o presentan graves errores o incoherencias
3. Resultados y discusión	Los resultados se presentan de forma clara y precisa, se relacionan adecuadamente con los objetivos y se discuten de forma coherente y rigurosa	Los resultados se presentan adecuadamente, pero podrían ser más precisos o estar mejor relacionados con los objetivos, y la discusión es coherente pero podría profundizar más en el análisis de los resultados	Los resultados son poco claros o presentan alguna incoherencia o imprecisión, y la discusión es poco rigurosa o presenta lagunas en el análisis de los resultados	Los resultados no se presentan adecuadamente o son poco relevantes, y la discusión es poco rigurosa o no está presente
4. Conclusiones	Las conclusiones son claras y precisas, están adecuadamente relacionadas con los objetivos y los resultados, y presentan alguna perspectiva para futuras investigaciones	Las conclusiones son adecuadas, pero podrían profundizar más en la relación con los objetivos y los resultados, y la perspectiva para futuras investigaciones podría ser más clara	Las conclusiones son poco claras o presentan alguna incoherencia o imprecisión en su relación con los objetivos y los resultados, y la perspectiva para futuras investigaciones es poco relevante o está ausente	Las conclusiones no tienen fundamento/No se incluyen.
5. Referencias	Las referencias están adecuadamente citadas, son relevantes y actuales, y se presentan de forma clara y coherente según un estilo de citación específico	Las referencias están citadas adecuadamente, pero podrían ser más relevantes o actualizadas, y se presentan de forma coherente aunque con alguna inconsistencia en el estilo de citación	Las referencias están mal citadas o no son relevantes o actualizadas, y se presentan de forma poco clara o coherente en cuanto al estilo de citación	Las referencias están ausentes o están citadas de forma inadecuada o sin seguir un estilo de citación específico

Tabla 2. Rúbrica utilizada para la evaluación de la presentación y defensa del proyecto.

PRESENTACIÓN Y DEFENSA DEL PROYECTO	4 Excelente	3 Bueno	2 Regular	1 Insuficiente
1. Contenido	Dominio del tema, hipótesis, argumentos y datos adecuados y correctos	Muestra bastante dominio, hipótesis adecuadas, pero argumentos y datos con alguna inexactitud	Contenido con algunos errores. Algunas hipótesis y argumentos inexactos	Contenido insuficiente e inadecuado. Argumentos vagos e inexactos. No muestra conocimiento del tema

2. Organización de la información	La información está bien organizada, de forma clara y lógica	En general, la información se organiza de forma clara y lógica, aunque alguna diapositiva no	No hay una organización clara en gran parte de la presentación	La información está mal organizada, sin ningún orden lógico
3. Expresión oral	Habla claramente, pronunciación y tono adecuado. No usa muletillas.	Habla claramente durante la mayor parte de la presentación. Pronunciación y tono aceptables en gran parte de la presentación, usa algunas muletillas	A veces habla con claridad, pero tanto la pronunciación como el tono son muchas veces insuficientes, usa muletillas y pausas innecesarias	Durante la mayor parte de la presentación no habla con claridad, su pronunciación es pobre y usa muchas muletillas y pausas
4. Lenguaje no verbal	Buena postura corporal, demuestra seguridad, contacto visual, movimiento sin ser excesivo	Buena postura corporal la mayor parte del tiempo, algo de contacto visual, movimiento excesivo	Algunas veces buena postura y contacto visual ocasional, muestra inseguridad	Mala postura, sin contacto visual, movimiento excesivo y muestra gran inseguridad
5. Tiempo	Tiempo ajustado y adecuado para la explicación de cada parte de la exposición.	Tiempo ajustado al previsto, pero con algunas partes menos explicadas y precipitación.	Tiempo no ajustado. Algunas partes se explican adecuadamente.	Excesivamente largo o insuficiente para desarrollar el tema.
6. Trabajo en equipo	La presentación muestra planificación y trabajo en equipo. Todos exponen y participan en la defensa del trabajo.	Todos demuestran conocer la presentación, pero algunos participan menos en la presentación y en la defensa.	Se observa cierta planificación. No todos participan al mismo nivel.	Algunos muestran desconocimiento de la presentación. Falta colaboración y no todos los miembros del equipo exponen.

3.5. Cuestionario anónimo planteado a los alumnos

Para evaluar la satisfacción del alumnado con el ABP y su aplicación a esta asignatura, se les planteó el siguiente cuestionario anónimo, a valorar de 1 a 10.

1. ¿Te ha gustado el enfoque de Aprendizaje Basado en Proyectos utilizado en esta asignatura?
2. ¿Has encontrado que el ABP te ha ayudado a mejorar tus habilidades y conocimientos en la asignatura?
3. ¿Consideras que esta metodología te ha permitido afianzar e interrelacionar conocimientos generales del Grado?
4. ¿Cómo describirías la colaboración con tus compañeros durante la realización del proyecto?
5. ¿Ha sido eficiente la comunicación con los docentes?
6. ¿Crees que la asignatura impartida mediante ABP te ha preparado adecuadamente para futuras situaciones laborales relacionadas con el tema de la asignatura?
7. ¿Recomendarías esta asignatura impartida mediante ABP a otros estudiantes?
8. Satisfacción general con la asignatura.

4. Resultados

Resultados trabajos alumnos

En primer lugar, se presentan algunos de los resultados obtenidos por los alumnos, mostrando un resumen de la metodología de estudio seguida por los alumnos en la Fig. 1.

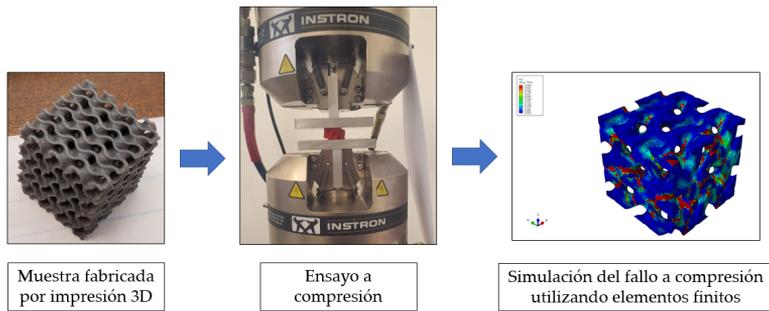


Fig. 1 Esquema de la metodología seguida por los alumnos para el estudio de estructuras porosas fabricadas por impresión 3D.

En la Fig. 2, se muestran algunas de las estructuras fabricadas por impresión 3D, que hacen referencia al estudio de la influencia de la fracción en volumen y del tamaño de celda unidad de los giroides fabricados. Además, se muestran defectos de fabricación típicos en impresión 3D, el uso de soportes de PVA para minimizar la aparición de dichos defectos y la simulación del proceso de fractura a compresión de las muestras fabricadas y ensayadas.

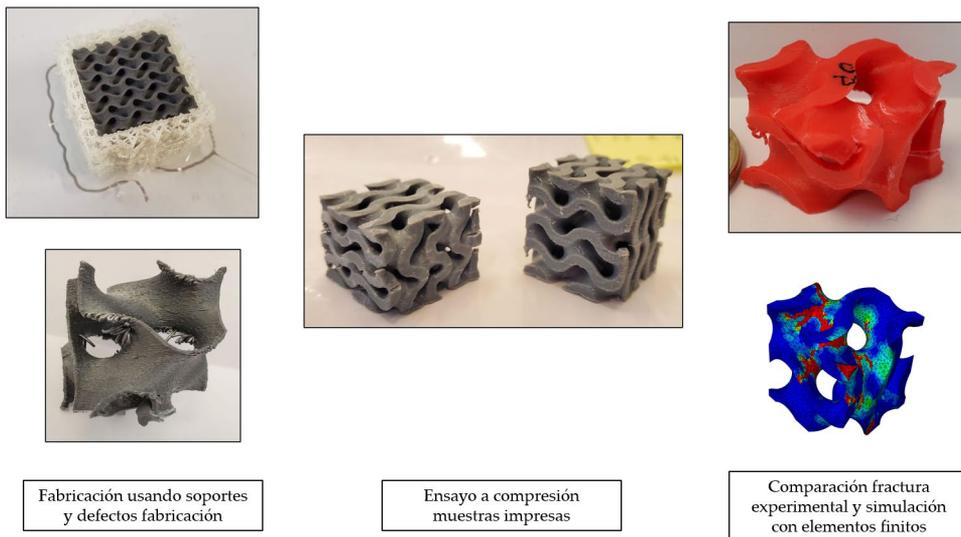


Fig. 2 Ejemplo de fabricación por impresión 3D usando soportes y defectos típicos de fabricación (izda.), ensayo a compresión (centro) y comparación entre fracturas observadas experimentalmente y su simulación mediante el método de los elementos finitos (dcha.).

Por otro lado, los alumnos estudiaron también la influencia de la dirección de fabricación, parámetro que en otros trabajos de la literatura se mostraba como influyente, pero que en este estudio se ha demostrado no afectar significativamente a las propiedades mecánicas de las muestras impresas. Cabe mencionar que

un aspecto clave para conseguir estas conclusiones es fabricar de forma adecuada las muestras, cosa que puede parecer obvia pero que posiblemente en otros trabajos con conclusiones contrarias se deba a no haber conseguido una adhesión suficiente entre capas y haber utilizado un extrusor y altura de capa suficientemente pequeña para tal objetivo. En este sentido, los alumnos han podido estudiar aspectos técnicos relevantes en una metodología de fabricación relativamente novedosa, aprendiendo buenas prácticas tanto de fabricación como para la caracterización mecánica de estructuras mediante ensayos experimentales y modelos de elementos finitos.

Las actividades de enseñanza y aprendizaje propuestas (diseño de las estructuras, fabricación y modelado) han permitido cumplir los objetivos de la innovación docente, de forma que los alumnos han aplicado técnicas novedosas, trabajando cooperativamente, integrando conocimientos de otras asignaturas de grado para la resolución de un proyecto novedoso.

Resultados de las rúbricas del documento y la presentación del proyecto

En la *Fig. 3*, se muestran los resultados promedio de las rúbricas para evaluar el documento del proyecto. Se observa como los alumnos obtuvieron unos resultados excelentes. Cabe mencionar que los resultados, discusión y conclusiones de ambos grupos fueron excelentes, de acuerdo con la rúbrica definida. En cuando a los apartados de Introducción y objetivos, materiales y métodos y referencias, se observan resultados con valor medio menor (3.5/4), que resalta que uno de los grupos utilizó de forma menos consistente las referencias bibliográficas y tanto la introducción como materiales y métodos podrían haber sido desarrollados con una profundidad algo mayor.

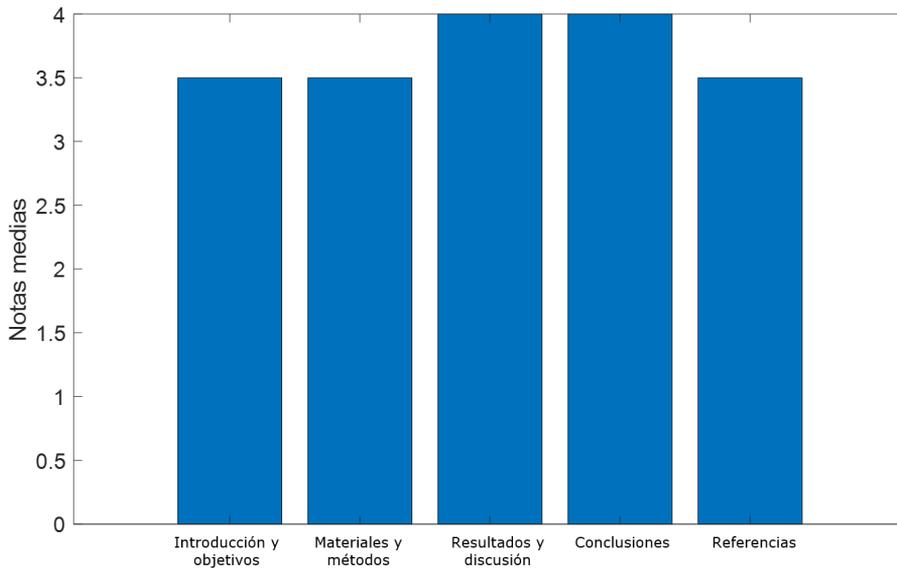


Fig. 3 Notas medias obtenidas en la rúbrica de evaluación del documento del proyecto.

En la *Fig. 4*, se muestran las notas medias para la presentación y defensa del trabajo. Se observan unos resultados excelentes para todos los apartados. Cabe mencionar que alguno de los alumnos recibió una nota algo inferior debido a mostrar un menor dominio de los contenidos, un lenguaje no verbal menos adecuado, así como un control del tiempo menos preciso. Por otro lado, los resultados muestran un excelente trabajo en equipo, con roles establecidos y aportación conjunta.

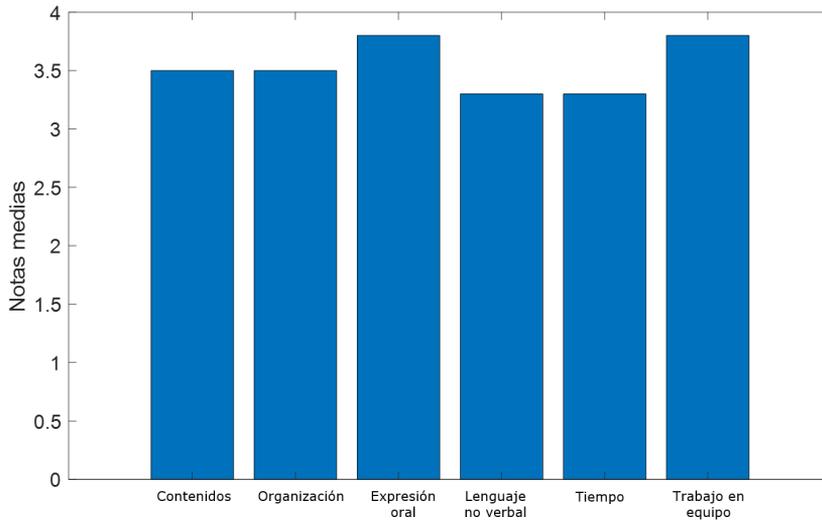


Fig. 4 Notas medias obtenidas en la rúbrica de evaluación de la presentación y defensa del trabajo.

Resultados de las encuestas de satisfacción

En la *Fig. 5*, se muestran los resultados de las encuestas de satisfacción del alumnado. Se observa unos resultados excelentes para todas las preguntas. La nota más baja observada recae en la pregunta 4, sobre el trabajo en equipo. Esto indica que hubo personas que están en desacuerdo con el trabajo de alguno de los componentes del grupo.

Por otro lado, las 3 primeras preguntas indican una alta satisfacción con la aplicación de la metodología de ABP (9.5/10), cosa que les ha ayudado a aprender de forma más profunda los conceptos de la asignatura (9/10) y a interrelacionar y aplicar conocimientos aprendidos en otras asignaturas del Grado en Ingeniería Mecánica (9/10).

La comunicación con los docentes se ha valorado de forma excelente (9/10), fruto de haber establecido reuniones de seguimiento y un canal claro de comunicación entre el grupo y el docente.

Los alumnos consideran que esta asignatura les ha preparado de forma adecuada (8.5/10) para desarrollar trabajos futuros relacionados con dicha materia.

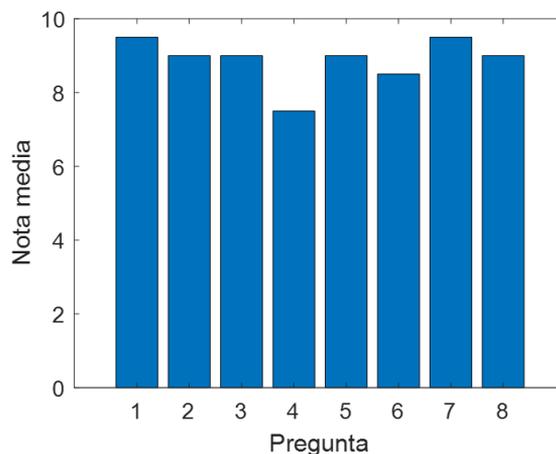


Fig. 5 Resultados de las encuestas de satisfacción anónimas. Se muestran valores medios por pregunta realizada.

Por último, los índices muestran que los alumnos recomendarían cursar esta asignatura (9.5/10) y están muy satisfechos con ella (9/10).

5. Conclusiones

En este trabajo, se ha planteado una innovación educativa en una asignatura optativa de 4º curso del Grado en Ingeniería Mecánica, Biomecánica. La innovación consiste en la aplicación de la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos, como acto principal de evaluación, cosa que ha permitido la evaluación de competencias específicas y transversales de la asignatura, como “diseñar, dirigir y evaluar una idea de manera eficaz hasta concretarla en un proyecto” y “trabajar y liderar equipos de forma efectiva para la consecución de objetivos comunes, contribuyendo al desarrollo personal y profesional de los mismos”.

Los excelentes resultados de las encuestas de satisfacción del alumnado resaltan el beneficio de aplicar esta metodología, en combinación con clases magistrales en las que se exponían algunos de los conocimientos a aplicar junto con prácticas de laboratorio, donde se practicaban algunas de las técnicas y programas a utilizar en el desarrollo de los proyectos.

Las rúbricas utilizadas para evaluar esta metodología parecen indicar que se logra un mayor desarrollo de habilidades profesionales (Toledo, 2018). Además, el planteamiento de situaciones que pueden darse en la práctica profesional de los ingenieros ha permitido adquirir experiencia y autonomía en el trabajo, aspectos fundamentales para el futuro de los alumnos. Cabe mencionar también que el ABP ha permitido un aprendizaje profundo de los alumnos, dentro del alineamiento constructivo. Estos excelentes resultados confirman que el ABP puede considerarse como una opción muy interesante y efectiva para el desarrollo de competencias profesionales en ingeniería.

6. Referencias

- BIGGS, J. (2005). “Calidad del aprendizaje universitario”. NARCEA, S.A. de Ediciones.
- BLUMENFELD, P.C. et al (1991). “Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning”, en *Educational Psychologist*, 26 (3 & 4), 369-398. < http://formacion.intef.es/pluginfile.php/37233/mod_resource/content/1/PDF/5_AbP_bloq3_u1.pdf >
- CUIÑAS I., MARIÑO-ESPIÑEIRA, P., FERNANDEZ-IGLESIAS, M., CAEIRO, M., COSTAMONTENEGRO, E., DIAZ-OTERO, F. (2016). “Evaluación de competencias con metodologías de aprendizaje basado en proyectos”. En: *Congreso INRED 2016*. Valencia: Universitat Politècnica de València. 1-14. < <https://web.ua.es/es/ice/jornadas-redes-2012/documentos/posters/245822.pdf> >
- FICHA REINA BIOMECAÁNICA, UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (2022). “Ficha Reina Biomecánica, Grado en Ingeniería Mecánica, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid”. <https://aplicaciones.uc3m.es/cpa/generaFicha?est=221&sig=18437&idioma=1&anio=2022>
- GARCIA, J., PEREZ, J. (2018). “Aprendizaje basado en proyectos: método para el diseño de Actividades”. *Revista Tecnología, Ciencia e Innovación*, Vol. 10, pp. 37-63. < <https://www.tecnologia-ciencia-educacion.com/index.php/TCE/article/view/194> >
- GÓMEZ-PABLOS V.B., DEL POZO M. M. y MUÑOZ-REPISO A.G.V. (2016) “Aprendizaje Basado en Proyectos (ABPr) incorporando las TIC: ventajas e inconvenientes desde la experiencia del profesorado en ejercicio”, *Tecnología, innovación e investigación en los procesos de enseñanza-aprendizaje*, pp. 105-113. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6015791>
- GONÇALVES, S.R. (2014). “Preparing Graduates for Professional Practice: Findings from a Case Study of Project-based Learning (PBL)”. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 139 (22), pp. 219–226. < <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.08.064> >

Aprendizaje basado en proyectos mediante aplicación de impresión 3D y modelos de elementos finitos en el Grado de Ingeniería Mecánica

MANCHADO, E. y BERGES, L. (2013). “Una experiencia de PBL en Grado de Ingeniería de Diseño Industrial, adaptando el método de sistemas de retículas de Diseño Gráfico”. *Revista de Docencia Universitaria (REDU)*. Vol. 11, pp. 19-46. < <http://red-u.net/redu/index.php/REDU/article/view/564/pdf>>

PEREIRA M.A. (2015). *7 elementos esenciales del ABP*. <https://cedec.intef.es/7-elementos-esenciales-del-abp/>

TOLEDO, P., SÁNCHEZ, J.M. (2018). “Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia universitaria” en *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, Vol. 22, pp. 429-449. < <https://recyt.fecyt.es/index.php/profesorado/article/view/66383> >

ZAFRA, C.A. (2020). Aprendizaje de la automatización industrial en tiempos de pandemia. Una Experiencia virtual de aprendizaje basado en proyectos. Trabajo Final de Grado. Bogotá: Universitaria Agustiniiana, < <https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/1314>>