



VNIVERSIDAD  
D SALAMANCA

**DESARROLLO DE MATERIAL DIDÁCTICO PARA  
SIMULACIÓN DE PROCESOS DE INTERCAMBIO  
TÉRMICO PARA SU APLICACIÓN EN SISTEMAS  
GEOTÉRMICOS DE BAJA ENTALPÍA  
UTILIZANDO MODELOS IMPRESOS EN 3D**

PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE (PID) 2023/2024

PROYECTO: ID2023/066

IP: Cristina Sáez Blázquez

Escuela Politécnica Superior de Ávila

---

## Contenido

1. Introducción.....	3
2. Miembros del proyecto.....	4
3. Asignaturas y titulaciones que se han beneficiado del proyecto de innovación.....	5
4. Objetivos del proyecto.....	6
5. Desarrollo y plan de trabajo.....	7
6. Evaluación de los resultados.....	14
7. Grado de innovación.....	16
8. Presupuesto.....	17
9. Conclusiones finales.....	18
Anexo I. Encuesta final dirigida al alumnado.....	19

## 1. Introducción

En este informe se presentan los resultados del proyecto de innovación docente "***Desarrollo de material didáctico para simulación de procesos de intercambio térmico para su aplicación en sistemas geotérmicos de baja entalpía utilizando modelos impresos en 3D***" llevado a cabo en la Escuela Politécnica Superior de Ávila dentro del Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno.

## 2. Miembros del proyecto

A continuación, la Tabla 1 muestra la lista de los profesores que han participado en el proyecto.

**Tabla 1.** Profesores participantes en el proyecto.

<b>COORDINADORA DEL PROYECTO:</b>		
<b>NIF</b>	<b>Nombre y apellidos</b>	<b>E-mail</b>
70824446-V	Cristina Sáez Blázquez	u107596@usal.es

<b>MIEMBROS</b>		
<b>NIF</b>	<b>Nombre y apellidos</b>	<b>E-mail</b>
52240552-P	Arturo Farfán Martín	afarfan@usal.es
06579103-E	Ignacio Martín Nieto	nachomartin@usal.es
70808154-D	Pedro Carrasco García	retep81@usal.es
53186464-E	Susana Lagüela López	sulaguela@usal.es
70814624-Q	Enrique González González	egonzalezgonzalez@usal.es

Los docentes anteriormente mencionados pertenecen a la Escuela Politécnica Superior de Ávila, Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno, impartiendo docencia en las siguientes titulaciones:

- GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA Y RECURSOS MINERALES (GIERM)
- MÁSTER EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA (MUGCIA)

### 3. Asignaturas y titulaciones que se han beneficiado del proyecto de innovación

En la Tabla 2 se detallan las asignaturas que se han beneficiado directamente de las propuestas del presente proyecto. En ella se detalla también la titulación a la que pertenece la asignatura en cuestión.

**Tabla 2.** Asignaturas y titulaciones que se han beneficiado del proyecto.

<b>ASIGNATURAS Y TITULACIONES QUE SE BENEFICIARÁN DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN</b>
Sondeos → Grado en Ingeniería de la Energía y Recursos Minerales
Energía Geotérmica → Grado en Ingeniería de la Energía y Recursos Minerales
Refino de Petróleo, Petroquímica y Carboquímica → Grado en Ingeniería de la Energía y Recursos Minerales

---

## 4. Objetivos del proyecto

Tal y como se mencionó en la memoria inicial del proyecto, el objetivo principal del mismo ha sido proporcionar formación experimental y actualizada a los últimos avances en el campo de la energía geotérmica mediante el uso de modelos de impresión 3D que simulen componentes de interés de un circuito de intercambio geotérmico.

Partiendo de este objetivo se han perseguido los siguientes objetivos secundarios:

- ✓ Poner en práctica metodologías relacionadas con el desarrollo de modelos experimentales y su impresión en 3D utilizando los medios del grupo de investigación.
- ✓ Involucrar al alumnado en la búsqueda de nuevos sistemas de intercambio y su validación en laboratorio.
- ✓ Innovación docente en el ámbito de la metodología docente que impulsen el desarrollo de acciones de innovación con tecnologías avanzadas y que fomenten la participación del alumnado para el entendimiento práctico de los conceptos teóricos.
- ✓ Innovación docente en el ámbito de la tutoría y la orientación del alumnado hacia su futuro laboral a través del desarrollo de metodologías de enseñanza-aprendizaje de carácter práctico y relacionado con una futura puesta en práctica laboral.
- ✓ Innovación en el ámbito de la coordinación docente mediante acciones que potencien la coordinación entre profesores, y el desarrollo de proyectos interdisciplinarios e intercurriculares.

Estos objetivos secundarios están diseñados para complementar y apoyar el objetivo principal del proyecto, asegurando una formación integral y práctica para los estudiantes en el campo de la energía geotérmica.

## 5. Desarrollo y plan de trabajo

Siguiendo el esquema propuesto en la memoria inicial, el plan de trabajo que se ha seguido se divide en varios bloques como se detalla a continuación:

### **Bloque 1. Planificación del trabajo:**

En esta primera fase se llevó a cabo una planificación preliminar de las acciones por parte de todo el equipo involucrado, incluyéndose las siguientes acciones:

- Revisión de la metodología seguida en la docencia involucrada en la propuesta y actualización de la misma, valorando la posible inclusión de esta propuesta en cada una de ellas.
- Tras la fase anterior, el equipo docente valoró la posible actualización del material de las asignaturas de acuerdo con los resultados esperados en el proyecto.
- Planificación y coordinación entre asignaturas y profesorado involucrado en el proyecto.
- Establecimiento de la rúbrica de evaluación, clarificando las competencias a evaluar, así como los criterios e indicadores de evaluación que se quieren considerar. Este aspecto es esencial para lograr un estándar en cuanto a la evaluación de las competencias de los estudiantes. De esta manera se identificaron las competencias clave a adquirir por los estudiantes y se establecieron los criterios de evaluación específicos según las competencias identificadas. A su vez, se definieron descriptores para cada nivel de desempeño en relación con cada competencia con objeto de contribuir a que el alumnado comprenda lo que se espera de ellos y de qué manera se va a implementar la rúbrica de evaluación de forma coherente.
- Con objeto de garantizar una implementación coherente y efectiva de la metodología contemplada en este proyecto, se realizaron diversas actividades de planificación y coordinación entre los profesores de las asignaturas involucradas. Entre estas acciones destacan las reuniones de planificación que se han venido desarrollando durante todo el proyecto, incluyéndose aquí las **reuniones iniciales**, que sirvieron para discutir los objetivos del proyecto y planificar su implementación. Y las **reuniones periódicas**, donde se ha revisado el alcance del proyecto y las acciones de coordinación entre los docentes y las actividades que se iban planteando.
- Además de lo anterior, se establecieron patrones colaborativos integrados con el objetivo de lograr una sincronización efectiva de los contenidos teóricos y prácticos mostrados en cada una de las asignaturas, evitando solapes, y contribuyendo a la formación integral del alumnado.

- Por otro lado, en este primer bloque se consideró la posibilidad de ofrecer sesiones formativas para el diseño e impresión de modelos 3D dentro del entorno de trabajo del laboratorio Fablab con sede en la Escuela Politécnica Superior de Ávila.

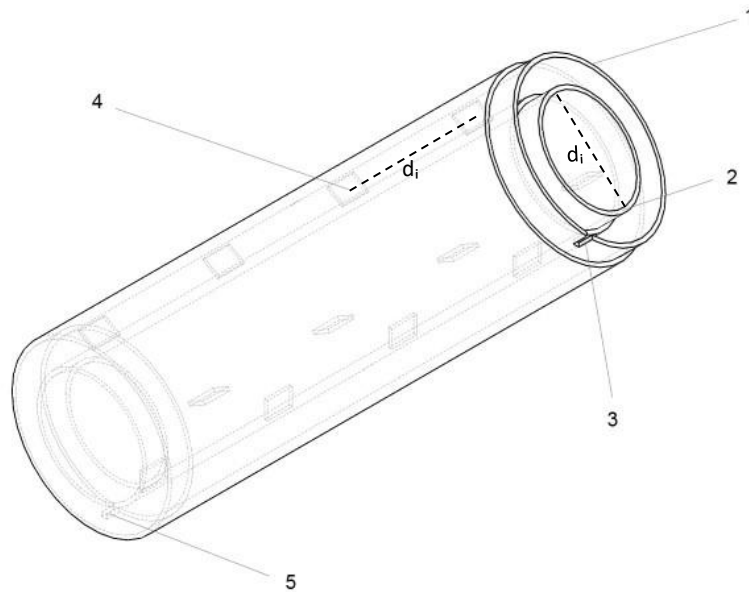
#### Responsabilidades:

- Revisión y actualización: Todos los miembros del proyecto.
- Elaboración de material docente: Equipo de profesores.
- Planificación y coordinación: Equipo de profesores.
- Implementación en Studium: Equipo de profesores.
- Rúbrica de evaluación e indicadores: Equipo de profesores.
- Temporalización: primer mes del proyecto.

#### **Bloque 2. Desarrollo del proyecto:**

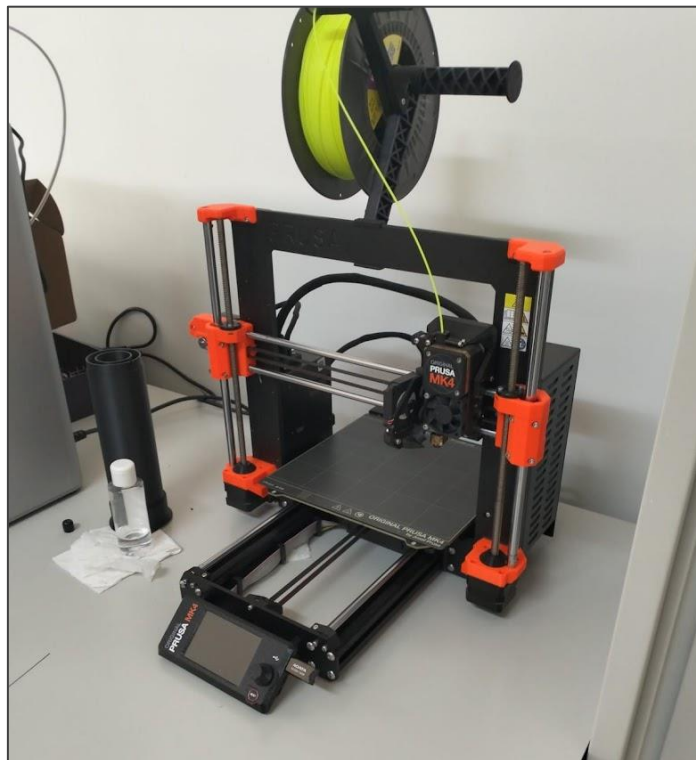
Tras la etapa de planificación, en este segundo bloque se aborda la inclusión de las acciones contempladas en el proyecto en las asignaturas consideradas, siguiéndose las siguientes fases:

- Descripción al alumnado de la metodología a implementar en base a los conceptos teóricos abordados en las asignaturas involucradas y el enfoque que se dará a la misma. Este primer punto fue esencial pues supone el punto de partida para que los alumnos se familiaricen con los conceptos que se van a tratar de manera experimental. Así, se llevó a cabo en el aula la explicación por parte de los docentes de los fundamentos y parámetros que interviene en un sistema de intercambio geotérmico somero.
- Una vez descritos los conceptos teóricos en el aula, se procedió a al desarrollo de un prototipo 3D preliminar desarrollado por el grupo de trabajo en el que se afianzará el conocimiento adquirido en la materia en lo relativo al proceso de intercambio geotérmico. A partir de este modelo inicial, los alumnos desarrollaron una serie de modelos en programa de diseño gráfico con el fin de incorporar las innovaciones que considerasen pertinentes con el apoyo del profesorado, para mejorar y/o modificar partes del circuito de intercambio diseñado de forma preliminar. Como se puede observar en la siguiente figura, el prototipo consiste en un sistema de coaxial de intercambio térmico que fue construido por tramos de acuerdo con las características y condicionantes del dispositivo de impresión 3D.



**Figura 1.** Diseño de los modelos 3D para su posterior impresión.

- Obtenido el modelo geotérmico final en base a la colaboración entre profesor y alumnado, se procedió a la impresión del material 3D en las impresoras del Fablab de la Escuela Politécnica Superior de Ávila, sede donde se ha desarrollado el proyecto, haciendo posible que el alumnado conozca en primera persona el funcionamiento de estas tecnologías.



**Figura 2.** Dispositivo de impresión 3D utilizado en el proyecto.



**Figura 3.** Piezas impresas para el desarrollo del modelo de simulación final.

- Una vez impreso el modelo 3D, este fue construido y testeado en laboratorio por el conjunto de alumnos y profesores que han formado parte de esta propuesta. El dispositivo final incluye el sistema de tuberías coaxiales diseñado e impreso en 3D además de un circuito de bombeo y fluido precalentado a través de una resistencia térmica para simular de manera realista lo que ocurre en un sistema geotérmico somero. De esta forma, se analizó desde el punto de vista de la eficiencia térmica, el papel que juega cada uno de los componentes asociados a un circuito de intercambio térmico real, acercando al alumno a conocer de manera práctica el funcionamiento de este tipo de instalaciones renovables. El sistema de intercambio coaxial desarrollado a través de esta iniciativa fue a su vez comparado con el circuito convencional con el objetivo de que el alumnado entienda la importancia del desarrollo tecnológico en este tipo de sistemas renovables.



**Figura 4.** Dispositivo de simulación integrado con los modelos 3D impresos y un sistema de bombeo y calentamiento del fluido.



**Figura 5.** Explicación y taller con el dispositivo en funcionamiento al alumnado.

#### Responsabilidades:

- Descripción de la metodología: Equipo de profesores.
- Ensayos de laboratorio: Todos los miembros del proyecto.
- Desarrollo de modelos e impresión: Todos los miembros del proyecto.
- Validación y testeo: Todos los miembros del proyecto.
- Temporalización: durante el curso académico, según la planificación de cada asignatura.

#### **Bloque 3. Evaluación de las actividades desarrolladas:**

Una vez implementado el desarrollo experimental del proyecto, en el tercer bloque se ha abordado la evaluación de la efectividad del proyecto mediante las siguientes fases:

- Análisis de los resultados a través de la evaluación de los estudiantes, competencias adquiridas, grado de motivación y participación, etc. Esta evaluación se ha llevado de forma cualitativa y cuantitativa, principalmente a través de la realización de encuestas y el feedback directo del propio alumnado y profesorado involucrado.
- Identificación de posibles mejoras sobre aquellos puntos que lo requieran y reestructuración de los mismos.
- Retroalimentación de los estudiantes y de los datos recabados del proyecto con objeto de mejorar el diseño de la propuesta, su planificación y la metodología de evaluación.

Los resultados de esta fase se mostrarán en el apartado siguiente de esta memoria.

#### Responsabilidades:

- Análisis y evaluación de resultados: Equipo de profesores.
- Mejoras y reestructuración: Todos los miembros del proyecto.
- Temporalización: una vez terminada la práctica, de manera que se ajustará a la planificación de las
- asignaturas.

#### **Bloque 4. Difusión de los resultados y divulgación:**

En este último bloque se aborda la difusión de los resultados y la divulgación de estos a la comunidad académica y científica. Dada la duración de la propuesta y su desarrollo durante el presente curso académico, los resultados aún no han podido ser presentados, pero se prevé que lo sean en los próximos meses mediante las siguientes acciones:

- Publicación de los resultados en congresos científicos de innovación docente, donde se presenten las principales conclusiones y contribuciones del proyecto → en preparación y búsqueda de congreso educativo el próximo periodo de septiembre-octubre 2024.

- 
- Publicación de los hallazgos obtenidos en el campo de los sistemas geotérmicos en revistas JCR de la temática → actualmente en proceso de preparación de artículo JCR para ser presentado en la revista Sustainability de MDPI.
  - Organización de posibles jornadas de divulgación con participación del alumnado en el que se comente el conocimiento adquirido por los mismos y su experiencia en el proyecto → los resultados se han compartido con el resto de profesorado no involucrado directamente en la propuesta con objeto de mostrar los beneficios y oportunidades de este tipo de proyectos.

Además de lo anterior, se debe señalar que el sistema de intercambio geotérmico coaxial desarrollado en la propuesta se encuentra actualmente en proceso de tramitación como patente con el título *“TUBERIA COAXIAL PARA SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN”*.

Responsabilidades:

- Publicación de los resultados: Todos los miembros del proyecto.
- Organización de jornadas de divulgación: Todos los miembros del proyecto.

## 6. Evaluación de los resultados

### ▪ Opinión del alumnado y competencias adquiridas

En general, la respuesta del alumnado ha sido muy positiva, percibiéndose una buena actitud ante la actividad y cada una de las propuestas que se han ido haciendo a lo largo del proyecto. Más allá de esta percepción subjetiva, los resultados de las calificaciones de los trabajos y pruebas de evaluación han mostrado una mejora significativa con respecto a años anteriores, especialmente en lo relacionado con los sistemas renovables abordados en la propuesta. Se ha percibido a su vez una mayor participación por parte de la mayoría de los estudiantes y una alta motivación especialmente en la fase experimental que se ha abordado en el proyecto. Además, se ha incrementado el interés de los alumnos hacia estas tecnologías y recursos, aumentando el número de propuestas de trabajos fin de grado que se han presentado dentro de la temática.

### ▪ Resultados de las encuestas finales

Una vez finalizadas las fases experimentales y de ensayo de los dispositivos desarrollados en el aula y en el laboratorio, se repartieron encuestas (incluidas en el Anexo I) para valorar el impacto del proyecto sobre los alumnos involucrados.

Los resultados más significativos de estas encuestas se muestran a continuación:

- Uno de los resultados más sorprendentes es que el 70% del alumnado tenía bajas expectativas al inicio del proyecto, pero el 95% afirma haber mejorado sus conocimientos y competencias relativas a los sistemas de intercambio geotérmicos.
- El 80% considera que el montaje de las tuberías en laboratorio ha sido fácil, el 15% neutro y el 5% difícil.
- El 70% afirma que la comunicación con el equipo docente y resto de compañeros ha sido muy buena, y el 30% restante opina que ha sido buena pero que podría haber sido mejor.
- Como aspectos a destacar de la metodología, se señalan “Mayor facilidad de aprendizaje” – 90%, “Oportunidad para conocer el funcionamiento real de tecnologías” – 65%, “Mejora en la comunicación y colaboración con compañeros” – 70%, y “Aumento de actividades prácticas en las asignaturas” – 90%.
- Como aspectos de mejora de la metodología se señalan el aumento de horas de análisis experimental, la inclusión de otras fuentes renovables siguiendo el proceso experimental de la propuesta, y el desarrollo de otros dispositivos de simulación adicionales.

- 
- El 85% de los estudiantes conocía los sistemas de impresión 3D pero sin haber llegado a utilizarlos, el 5% no los conocía, y el 10% ya los había empleado con anterioridad al proyecto.
  - En cuanto a la opinión del alumnado hacia la iniciativa, el 85% califica la experiencia como muy satisfactoria, y el 15% restante como satisfactoria.
  - En la escala del 1 al 10 (donde 1 es nada efectivo y 10 es muy efectivo), la inclusión de modelos 3D para afianzar los conceptos teóricos es valorado con 9 (60%), 8 (35%), 7 (5%).
  - Como calificación global a la iniciativa, se han obtenido las puntuaciones de 9 (50%), 8 (25%), 7 (10%) y 6 (15%).
  - Finalmente, el 80% del alumnado recomendaría la actividad (definitivamente sí), y el 20% restante probablemente la recomendaría.
  - Como comentarios adicionales se encuentran aquellos que proponen el uso de modelos 3D en otras asignaturas y actividades, y el aumento de este tipo de aprendizaje más práctico en otros bloques de la titulación.

## 7. Grado de innovación

Tal y como se ha venido exponiendo a lo largo de esta memoria, el proyecto ha consistido en la incorporación de una actividad práctica incorporada en la docencia de diferentes asignaturas pertenecientes al Grado en Ingeniería de la Energía y Recursos Minerales que se imparte en la Escuela Politécnica Superior de Ávila (EPSA). En este sentido, la metodología implantada ha supuesto un alto grado de innovación gracias a la incorporación de sistemas de simulación 3D que han contribuido a que el alumnado haya podido asentar los conocimientos teóricos adquiridos en el aula.

Mediante el empleo de los equipos del laboratorio de impresión 3D (Fablab) y de los laboratorios de geotecnia y energía de la EPSA, el alumnado ha tenido la oportunidad de desarrollar un modelo adaptado a las necesidades de la problemática y proceder a su impresión para su posterior ensayo. Mediante estos modelos, ha sido posible simular en condiciones reales el funcionamiento de un sistema de intercambio geotérmico y conocer los entresijos no detectables con la formación teórica impartida en el aula.

Gracias a lo señalado anteriormente, el grado de innovación logrado a través de este proyecto se ha producido en los siguientes puntos:

- **Motivación y participación del alumnado**  
Se ha percibido personalmente y constatado a través de las encuestas una mejora significativa del rendimiento académico derivada de la mayor motivación y participación del alumnado que ha sido propiciada por la inclusión de la metodología experimental.
- **Uso de nuevas tecnologías**  
Incorporación de tecnologías avanzadas de impresión 3D con la implementación de nuevos patrones de intercambio geotérmico en busca de optimizar la eficiencia de los procesos de transferencia térmica. Todo ello ha propiciado a su vez que el circuito de intercambio desarrollado esté en proceso de tramitación como patente.
- **Nuevas competencias**  
El proyecto ha servido a su vez para acercar al alumnado al mundo de la modelización e impresión tridimensional y a su aplicación a los temas abordados en las asignaturas de la titulación.
- **Sistemas de evaluación**  
La actividad ha incorporado nuevos sistemas de evaluación en las asignaturas involucradas, basados no solo en los conocimientos teóricos demostrables a través de las pruebas escritas sino mediante la implicación del alumnado en el desarrollo experimental y práctico de la propuesta.

---

## 8. Presupuesto

En vista a las necesidades que han ido surgiendo durante el desarrollo del proyecto y, dado que los resultados finales se han obtenido al final del curso académico, la totalidad del presupuesto (750€) ha sido destinada a la compra de material para la impresión 3D de los componentes y la construcción final del prototipo. No se ha destinado parte de este presupuesto a la asistencia a congresos (como inicialmente se consideró en la memoria) por la razón señalada de no estar en plazo para la presentación de los resultados del proceso metodológico que ha concluido recientemente.

Sin embargo, tal y como se ha comentado anteriormente, los resultados serán igualmente divulgados a través de otras fuentes de financiación externas o bien en iniciativas sin coste asociado.

---

## 9. Conclusiones finales

Tras la implantación del proyecto en el aula es posible afirmar el impacto positivo sobre el alumnado que ha participado en el mismo. En términos generales, el proceso de enseñanza-aprendizaje se ha visto beneficiado por la incorporación de la actividad gracias a la incorporación de nuevos recursos docentes basados en el desarrollo experimental. A modo resumen, cabe mencionar que el proyecto ha supuesto una mejora en cuanto a:

- Impartición de docencia en un marco colaborativo y experimental
- Desarrollo de nuevos modelos de simulación a modo de recurso educativo
- Aumento de la motivación e implicación del estudiante en la asignatura
- Mejora de las competencias adquiridas por el alumnado
- Impulso tecnológico en lo relacionado con los sistemas de intercambio geotérmico
- Aprendizaje sólido y fundamentado en casos de experimentación en condiciones reales
- Renovación y actualización de los materiales y recursos docentes por parte del profesorado

Por todo lo anterior, se considera que esta propuesta ha sido enriquecedora tanto para los docentes como para los estudiantes que han podido experimentar una enseñanza con carácter más práctico y enfocada a conocer de manera más efectiva los sistemas que se han abordado.

De acuerdo con los resultados positivos de la actividad, esta se volverá a implementar en los cursos sucesivos, incorporando las posibles mejoras identificadas al final del proyecto con objeto de optimizar el mayor rendimiento del mismo.

---

## Anexo I. Encuesta final dirigida al alumnado.

### 1. ¿Cuáles eran tus expectativas al iniciar el proyecto?

- *Muy altas*
- *Altas*
- *Bajas*
- *Muy bajas*

### 2. ¿Han mejorado tus competencias y conocimientos en materia de intercambio térmico y simulación de sistemas geotérmicos?

- *Sí*
- *Es posible*
- *No*

### 3. ¿Cómo consideras que ha sido el diseño de los modelos 3D y su posterior montaje en laboratorio?

- *Muy difícil*
- *Difícil*
- *Neutro*
- *Fácil*
- *Muy fácil*

### 4. ¿Cómo ha sido la colaboración con el equipo docente y el resto de alumnado involucrado?

- *Muy buena*
- *Buena, pero podría ser mejor*
- *Mala*
- *Muy mala*

### 5. ¿Qué aspectos de la metodología de los modelos de simulación encontraste más beneficiosos? (Selecciona todos los que apliquen)

- *Mayor facilidad de aprendizaje*
- *Oportunidad para conocer el funcionamiento real de tecnologías*
- *Mejora en la comunicación y colaboración con compañeros*
- *Aumento de actividades prácticas en las asignaturas*
- *Otros (por favor, especifica)*

6. *¿Qué aspectos de la metodología del proyecto crees que podrían mejorarse?*

7. *¿Conocías el funcionamiento de los sistemas de impresión 3D antes de la participación en este proyecto?*

- *Sí, pero de forma teórica*
- *Sí, ya los había utilizado*
- *No*

8. *¿Cómo calificarías tu experiencia general con la actividad experimental que ha incluido este proyecto?*

- *Muy insatisfactoria*
- *Insatisfactoria*
- *Neutra*
- *Satisfactoria*
- *Muy satisfactoria*

9. *En una escala del 1 al 10, ¿Cómo valoras la inclusión de modelos 3D para afianzar los conceptos teóricos en las asignaturas donde se han incorporado? (donde 1 es nada efectivo y 10 es muy efectivo)*

10. *¿Recomendarías la participación en este tipo de iniciativas con experimentación con modelos reales?*

- *Definitivamente no*
- *Probablemente no*
- *No estoy seguro/a*
- *Probablemente sí*
- *Definitivamente sí*

11. *En una escala del 1 al 10 ¿Qué calificación global darías a la actividad?*

12. *¿Te gustaría añadir algo más sobre tu experiencia con este proyecto?*