

# Fabricación Aditiva: material didáctico interactivo

## Additive Manufacturing: interactive training material

Pedro M. Hernández-Castellano<sup>1</sup>, M<sup>a</sup> Dolores Marrero-Alemán<sup>1</sup>, M<sup>a</sup> Dolores Martínez-Rivero<sup>1</sup>, Alejandro Gutiérrez-Barcenilla<sup>1</sup>, Luis Suárez-García<sup>1</sup>

pedro.hernandez@ulpgc.es, mariadolores.martinez@ulpgc.es, alejandrogutbarce@gmail.com, mariadolores.marrero@ulpgc.es, luis.suarez@ulpgc.es,

<sup>1</sup> Grupo de Innovación Educativa Ingeniería de Fabricación  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
Las Palmas de Gran Canaria, España

**Resumen-** La fabricación aditiva es considerada un grupo de tecnologías emergentes y en continua evolución que ya están revolucionando nuestras vidas. En un futuro cercano se demandarán profesionales bien cualificados en el uso de estas tecnologías y por tanto surgirán abundantes y variadas oportunidades de trabajo. Sin embargo, la formación en estos contenidos todavía no está bien integrada en los títulos universitarios de las áreas técnicas, y la bibliografía que existe en español en esta materia no es muy abundante y se encuentra bastante dispersa. La experiencia investigadora en estas tecnologías de algunos miembros del Grupo de Innovación Educativa Ingeniería de Fabricación de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria ha sido recogida en un material didáctico interactivo que pretende cubrir unas necesidades formativas. Se realiza una descripción del material desarrollado que incluye una metodología de selección de las tecnologías de fabricación aditiva. También se presentan los resultados de su aplicación en diferentes contextos formativos y una valoración realizada por los estudiantes y docentes. Se ha obtenido un material didáctico adecuado y útil, que en combinación con metodologías activas permite lograr un proceso enseñanza-aprendizaje más eficiente.

**Palabras clave:** *Fabricación aditiva, Material didáctico interactivo, Aula invertida*

**Abstract-** The additive manufacturing is considered a group of emerging technologies that is evolving continuously and revolutionising our lives. In the near future, good qualified professionals will be demanded in the use of these technologies, therefore, abundant and diverse job opportunities will arise. However, the training in these contents is still not properly integrated in the university degrees of the technical areas and the bibliography in Spanish about this subject is poor and scattered. The research experience in these technologies of some members of the educational innovation group Ingeniería de Fabricación of University of Las Palmas de Gran Canaria has been compiled in this interactive training material that aims to cover training needs. A description of the material developed is done and it includes a selection methodology of the additive manufacturing technologies. The implementation results in different training contexts and the assessments of student and professors are also showed. A adequate and useful training material has been obtained. This material and the use of active methodologies allows to achieve a more efficient teaching-learning process.

**Keywords:** *Additive manufacturing, Interactive Training Material, Flipped classroom*

### 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se centra en la descripción de un material didáctico interactivo (MDI) que tiene como origen un proyecto de innovación educativa, renovación metodológica y creación de recursos didácticos para el diseño y la fabricación llevado a cabo por el Grupo de Innovación Educativa Ingeniería de Fabricación (GIEIF) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC). Consiste en un material orientado en la introducción de las tecnologías de Fabricación Aditiva (FA) diseñado para conseguir un fácil aprendizaje del estudiante.

Dentro de la Fabricación Aditiva se engloban un grupo de tecnologías que se caracterizan por generar geometrías mediante la adición de material capa a capa a partir de un archivo digital. Estas tecnologías están en continuo desarrollo y existen tecnologías maduras que ya son habituales tanto en el sector empresarial como a nivel de consumidor final. La información que se expone a continuación forma parte del contenido del material didáctico y se puede consultar con más profundidad en publicaciones previas (Pedro M. Hernández-Castellano et al., 2018).

El desarrollo de la FA se inició en los años 80 y aunque sigue en continua evolución se pueden distinguir dos etapas. La primera abarca desde sus inicios hasta la primera década del siglo XXI. Durante esta etapa se han desarrollado las principales tecnologías de FA caracterizadas por ser muy costosas y limitadas. Por ello, su uso estaba orientado al prototipado y al diseño de piezas personalizadas. La segunda etapa es en la que nos encontramos actualmente, donde la accesibilidad a la FA es cada vez mayor. Asimismo, las capacidades industriales están aumentando, abriéndose nuevos campos de aplicación para la FA como el de la biomedicina o la microfabricación (Culmone, Smit, & Breedveld, 2019).

Estas tecnologías, aun siendo relativamente novedosas, seguirán conviviendo con los procesos convencionales de fabricación, y es muy importante conocer las ventajas e inconvenientes que presentan frente a procesos tradicionales. Sus ventajas más destacadas son: la libertad de diseño y la posibilidad de realizar piezas complejas sin sobre coste o personalizadas, la optimización de material, la capacidad de innovación, la reducción del “time to market”, la rentabilidad de fabricación en series cortas, su funcionamiento como

aceleración de la Industria 4.0 y su papel de democratización de la fabricación.

Por otro lado, presenta una serie de desventajas como la baja capacidad productiva y de ratios de producción, el hecho de que se requiera de postprocesado, las limitaciones con respecto al tamaño de fabricación, materiales y formatos, la inmadurez y falta de desarrollo de algunas tecnologías, y además de falta de una amplia normalización que aporte garantías de utilización. Sin embargo, aparte de estos rasgos comunes entre las tecnologías de FA, cada una de ellas tiene características concretas. Pese a la importancia que está adquiriendo la FA en el contexto industrial actual, su aplicación en la educación es todavía muy baja (Sculpteo, 2017), por lo que resulta muy importante impulsar el conocimiento de estas tecnologías entre los estudiantes y los profesionales que lo requieran, siendo la creación de un material didáctico específico, una herramienta para lograrlo.

Un material didáctico se define como un conjunto de medios materiales que intervienen y facilitan el proceso de enseñanza-aprendizaje (Morales-Muñoz, 2012), Estos materiales pueden ser tanto físicos como virtuales, y asumen como condición, despertar el interés de los estudiantes, adecuarse a las características físicas y psíquicas de los mismos, facilitar la actividad docente al servir de guía y adecuarse a cualquier tipo de contenido. A su vez, otros autores (Careaga & González-Videgaray, 2008) lo define como todos aquellos medios y recursos que facilitan el proceso de enseñanza aprendizaje, dentro de un contexto educativo global y sistemático, y estimula la función de los sentidos para acceder más fácilmente a la información, adquisición de habilidades y destrezas, y a la formación de actitudes y valores.

Es importante aclarar la diferencia entre material didáctico y recurso didáctico. En uno de los diccionarios de educación existentes (Ander-Egg, 2015) se define el recurso didáctico como el conjunto de bienes, medios y elementos necesarios para atender a una necesidad, resolver un problema o llevar a cabo actividades y tareas. El recurso didáctico tiene como finalidad cubrir un objetivo muy concreto en el corto plazo, mientras que el material didáctico se desarrolla expresamente para atender a todo el proceso de enseñanza buscando un cambio sustancial en el aprendizaje del estudiante.

Las principales características que debe cumplir un material didáctico deberían ser: motivar a los estudiantes, proporcionar información adaptada, estimular y facilitar el aprendizaje, ejercitar habilidades, y guiar el proceso de enseñanza-aprendizaje, entre otras. Estas características se consiguen realizando diferentes operaciones, unas relacionadas con los contenidos y otras con las formas o aspecto de la presentación, y por supuesto, con la interactividad del medio de presentación elegido (Careaga & González-Videgaray, 2008). Un material didáctico interactivo es aquel que permite que el estudiante pueda participar de forma activa con las posibilidades que ofrece el material para mejorar la experiencia del aprendizaje (Estebanell & Ferrés, 2000).

Por todo lo expuesto anteriormente, se ha desarrollado este MDI que recoge las características más relevantes de la fabricación aditiva en general, y una descripción de las categorías en que estas se clasifican según normas internacionales. También se presentan las consideraciones de diseño a tener en cuenta para aprovechar mejor sus extraordinarias capacidades, así como unos criterios de selección de la tecnología más adecuada para la aplicación que se vaya a desarrollar. Se ha realizado también un sencillo análisis preliminar para estimar el impacto de introducción de

este material didáctico en la satisfacción y usabilidad del mismo por parte de los estudiantes para determinar su nivel de adecuación y cumplimiento de las objetivos de partida.

## 2. CONTEXTO

En la actualidad, la FA está adquiriendo notable importancia y esta tendencia se va a mantener en los próximos años. Su impacto actual se puede analizar desde la perspectiva de los consumidores finales, del sector industrial, y el de los profesionales de diferentes sectores. La irrupción en el mercado de los equipos de bajo coste ha cambiado al consumidor que ahora demanda productos personalizados y que se divide en dos grupos: (1) los que diseñan y fabrican los objetos por sí mismo, generalmente con un perfil más especializado y (2) los usuarios que compran ficheros para imprimirse sus productos.

Para las empresas representan unas tecnologías de gran atractivo por múltiples motivos: su capacidad para acelerar el desarrollo de productos, la capacidad de lograr diseños complejos, poder ofertar productos personalizados, la disminución en la inversión en herramientas y utillajes y la potenciación del servicio postventa influyendo en el impacto del producto en su entorno. Además, favorece las tendencias incluidas en el concepto de Industria 4.0 ya que implementa flexibilidad en la producción y permite descentralizar la misma aprovechando herramientas “*cloud computing*”. No solo se prevé un cambio en la actitud de las empresas ante la FA sino en la orientación sobre su uso. Se va a pasar de que sea una técnica para el desarrollo (conceptualización, diseño y prototipado) a estar destinada a producir piezas finales de uso directo, y a la fabricación de herramientas y utillaje para otros procesos de fabricación.

Todos los aspectos mencionados en el apartado anterior, hará que se demanden perfiles profesionales especializados en estas tecnologías, y ofrecerá oportunidades en los próximos años a los futuros ingenieros. A ello se añade que los departamentos de diseño y fabricación están en el segundo y tercer puesto en el listado de clientes de empresas englobadas en el sector de la FA. Por este motivo, un elevado número de empresas planean contratar a ingenieros y diseñadores, en la misma proporción, antes que a operadores o encargados de gestión de proyectos (Sculpteo, 2017). Es precisamente la formación de los perfiles profesionales demandados, la que puede ser atendida a través de materiales didácticos que permitan un uso flexible y adaptable a los ritmos de aprendizaje de las personas interesadas en estos contenidos.

El GIEIF de la ULPGC lleva varios años con una línea de trabajo para el desarrollo de materiales didácticos interactivos, como apoyo a la enseñanza presencial y elemento motivador para potenciar el trabajo autónomo (Pedro Manuel Hernández-Castellano et al., 2019). El objetivo básico es que estos materiales pudieran ser usados principalmente en las diferentes asignaturas del área de conocimiento de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, o en algunas otras complementarias, para conseguir mejorar la coordinación transversal en diferentes títulos de grado y máster. El objetivo fundamental de este material didáctico es proporcionar una herramienta de apoyo a la enseñanza presencial en asignaturas de diferentes niveles formativos y que permita un cierto grado de aprendizaje autónomo al estudiante. La necesidad de realización de este material didáctico se debió a que estos contenidos se encontraban muy dispersos en diferentes tipos de publicaciones y, en muchos casos, no adaptados a las nuevas normas internacionales que están surgiendo. Se ha aplicado de forma experimental con metodologías activas tipo “*flipped*”

classroom” para buscar una mayor dedicación del estudiante en su trabajo fuera del aula, ya que esta metodología puede ser aplicada con otro tipo de recursos diferentes a los videos habituales (Enfield, 2016).

Cabe destacar que para decidir sobre el uso de estas tecnologías en el proceso de desarrollo de un producto es de interés considerar las ventajas e inconvenientes de la FA en comparación con los procesos convencionales y considerar el punto en el que se encuentra el proceso de desarrollo de ese producto. Además, existe una variedad de tecnologías, con sus capacidades y limitaciones, que los profesionales y usuarios deben conocer para elegir la más adecuada. Son precisamente estos colectivos, durante su etapa de formación, los destinatarios principales de este material didáctico. Así, se ha concebido el mismo fundamentalmente para su uso en titulaciones de ingeniería impartidas en modalidad presencial, pero, no de forma exclusiva, ya que se pretende, además, que sea un material válido para cualquier profesional del ámbito del desarrollo de productos que quiera profundizar en el conocimiento de la Fabricación Aditiva y en la toma de decisiones adecuada sobre su uso, e incluso, aficionados motivados en conocer el desarrollo tecnológico y sus aplicaciones.

### 3. DESCRIPCIÓN

Atendiendo a las necesidades diferentes de estos perfiles de usuarios, el MDI se ha diseñado para facilitar la lectura a cualquier de ellos, permitiendo al usuario más experto profundizar en contenidos más especializados sobre la FA. El diseño y organización de los contenidos se ha establecido para dar una visión global del proceso seguido en la FA, y se ha usado el identificador gráfico de la UPLGC para personalizar algunos contenidos y conseguir con ello una fácil identificación del usuario con la institución, en la figura 1.



Figura 1. Etapas del proceso seguido en FA.



Figura 2. Elementos de interacción del material didáctico.

La interactividad se ha implementado en forma de capas, lo que permite realizar la consulta a la información de forma estructurada y jerárquica. Los elementos interactivos están identificados en el documento por unos iconos específicos que se presentan al usuario al inicio del MDI, figura 2.

En este MDI los contenidos se presentan de forma sintética y gráfica para facilitar su comprensión y están estructurados en 16 capítulos.

0. Prólogo donde se expone la interactividad y otros aspectos sobre el uso del MDI.
1. Antecedentes históricos sobre la FA.
2. Evolución de la Fabricación Aditiva y su normalización.
3. Descripción genérica del Proceso de FA.
4. Ventajas y desventajas de la FA.
5. Clasificación de los procesos de FA.
- 6-12. Descripción de las características principales de las siete categorías de FA.
13. Impacto, estado y futuro de la FA.
14. Selección de la tecnología adecuada en el proceso de diseño.
15. Bibliografía y referencias que recogen las fuentes de información en la que se basan los contenidos expuestos.

Esta estructura permite al usuario disponer fácilmente de la información que desee consultar sobre la FA. Gracias a los elementos de interactividad y enlaces entre contenidos del documento, se puede acceder rápidamente a los contenidos relacionados con cada uno de los capítulos del MDI como se muestra en la figura 3.

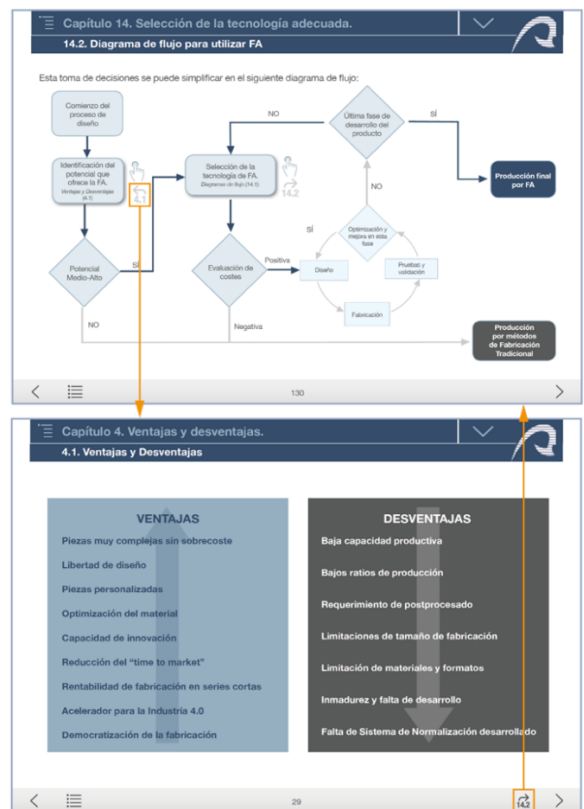


Figura 3. Relaciones entre elementos de interacción.

En muchas páginas del documento existe información complementaria que se presenta en forma de ventanas flotantes. De esta forma se puede seleccionar con el cursor la información que se quiere consultar con mayor nivel de detalle y tener siempre visible la información más relevante que debe ser tenida en cuenta. Como ejemplo, en la figura 4 aparece una

línea de tiempo en la que se puede consultar información complementaria de cada uno de los hitos referenciados en ella.

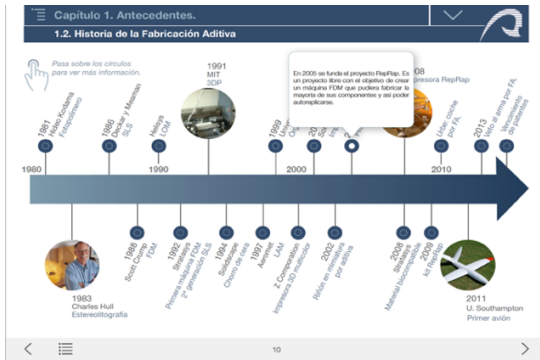


Figura 4. Información complementaria en ventanas flotantes.

Además, desde cualquier punto del MDI se puede acceder a un listado de todos los capítulos para facilitar su consulta, figura 5. También es posible ir a la portada de ese capítulo para poder acceder a otra sección del mismo de forma rápida. De esta manera se puede encontrar cualquier contenido, aunque no esté directamente relacionado con los que se exponen en la página que está siendo consultada.

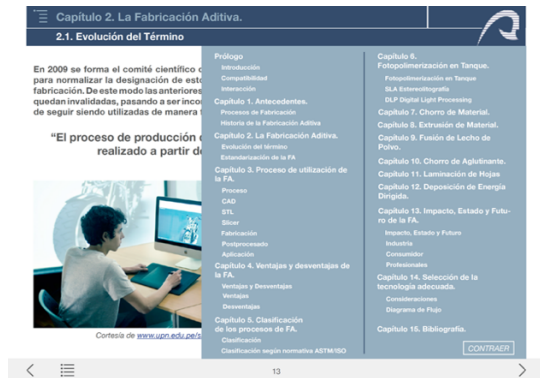


Figura 5. Menú desplegable con los contenidos.

Muchos de los recursos multimedia que aparecen en el MDI se pueden ampliar a pantalla completa, como en los esquemas de funcionamiento de cada uno de los grupos de tecnologías o las tablas con datos. Las galerías de imágenes permiten incluir varios ejemplos ilustrativos de los contenidos de una página sin ocupar más espacio. Se han incluido vídeos de ejemplos reales de procesos y simulaciones de software de FA, como los de la figura 6, algunos de ellos realizados expresamente para este MDI.



Figura 6. Elementos multimedia personalizados.

Esta estructura común para todas las categorías de FA permite que puedan ser comparadas entre sí con facilidad y siguiendo recomendaciones y propuestas llevadas a cabo por otras organizaciones (Loughborough University, 2017). Esa estructura consiste en una página inicial en la que se muestra la definición que describe brevemente el proceso, los materiales que son compatibles, los enlaces a las tecnologías variantes dentro de ese proceso y sus ventajas y desventajas. Con esta

primera diapositiva el usuario adquiere una noción básica sobre el proceso y sus capacidades. En las posteriores diapositivas se entra con más detalle en la tecnología según la siguiente secuencia de páginas: una descripción más ampliada, el esquema de funcionamiento y un vídeo aclaratorio; el post-procesado y la obtención de la pieza final; las limitaciones del proceso y las condiciones de diseño; imágenes de máquinas y materiales compatibles; y una última página con los usos y sectores de aplicación donde se ofrecen ejemplos gráficos. En la figura 7 se muestran varias páginas que describen una de las tecnologías, donde se pueden observar todos los elementos de interacción mencionados. El formato de estas páginas ayuda a la sencilla identificación de los contenidos. La misma estructura se mantiene para los capítulos descriptivos del resto de tecnologías.



Figura 7. Estructura común en los capítulos descriptivos.

Esta parte descriptiva de las diferentes tecnologías de FA, se complementa en el capítulo 14, con la definición de una metodología para la selección de la tecnología más adecuada en función de los requerimientos del usuario. Se empieza por justificar la necesidad de usar estas tecnologías frente a procesos convencionales de fabricación para identificar su potencial de aplicación. Una forma de evaluar este potencial es en función de las ventajas y desventajas genéricas que la FA plantea. Solo si este potencial es medio-alto se debe considerar la utilización de la FA. Si la FA es considerada adecuada se dan recomendaciones para determinar la tecnología concreta más conveniente teniendo en cuenta aspectos de la etapa del proceso de desarrollo en la que se encuentre el proyecto.

1. Identificar los requisitos clave y características buscadas en la pieza en función de la fase de desarrollo siguiendo la figura 8.



Figura 8. Requisitos clave en el desarrollo de productos.

2. Comparar entre las capacidades de las 7 categorías fundamentales de procesos FA sintetizadas en la figura 9, a partir de los requisitos definidos en el paso 1.

COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LAS 7 CATEGORÍAS DE FA																
	Fotopolimerización de Tanque			Chorro de Material		Extrusión de Material		Fusión de Lecho de Polvo		Chorro de Aglutinante		Laminación de Hojas			Deposición de Energía Dirigida	
	Pte	RC	Ce	Pte	RC	Ptp	Me	Ptp	RC	Ce	Pte	Ce	Me	Ma	Pte	Me
Material compatible	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Tolerancia y Precisión	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Acabado Superficial	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Volumen de Fabricación	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Velocidad de Fabricación	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Necesidad de Material de soporte	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Tiempo/Dificultad de postprocesado	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Estabilidad del Material	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Propiedades mecánicas	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Multimaterial de manera simultánea	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Variedad de Color	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Coste-Volumen de Producción Bajo	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Coste-Volumen de Producción Alto	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Pte Polímeros termoplásticos Ptp Polímeros termoplásticos Me Metal Ma Madera RC Resinas Composites Ce Cerámicos  
 ● ○ ● Medio ● ● ● Alto

Figura 9. Características comparadas de las tecnologías FA.

Una vez elegida la tecnología más adecuada, y siguiendo el diagrama de flujo que se muestra en la imagen superior de la figura 3, se inicia un proceso iterativo de evaluación económica, ensayos, análisis y rediseños hasta alcanzar una solución viable. Es posible que una producción completa del producto por FA sea económicamente inviable, y una aplicación puntual o parcial sí que resulte de gran interés. La FA no sustituirá a los procesos de fabricación tradicionales, sino que los complementará al integrarse en los ciclos productivos haciéndolos más eficientes.

Para evaluar la adecuación del material didáctico como herramienta de apoyo a la enseñanza presencial, una versión previa de este MDI se usó de forma experimental durante el curso académico 2016/2017 en la asignatura Tecnologías de Desarrollo de Productos del cuarto curso del Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos en la ULPGC. El profesor utilizó este material únicamente como apoyo en las clases presenciales. Posteriormente, y a petición de los estudiantes, se les facilitó parte del material para la realización de una actividad concreta que se solicitaba dentro de un trabajo de curso sobre el desarrollo de productos mediante tecnologías avanzadas de fabricación. Esta actividad consistió en la aplicación práctica de la metodología de selección de estas tecnologías que se propone en el material didáctico, a los productos que habían estado desarrollando durante el curso. Los resultados obtenidos en esta actividad fueron sustancialmente mejores que los que se habían alcanzado en cursos anteriores, por lo que la metodología se consideró adecuada para su uso en el ámbito académico.

En el curso académico 2017/18 se decidió que los estudiantes usaran el MDI de forma autónoma antes de que fuera usado en las sesiones presenciales por el docente. Se aplicó así una metodología de *Flip Teaching* con el objetivo de aprovechar mejor las sesiones presenciales y conseguir una actitud más

activa y participativa de los estudiantes en las mismas. Aunque la experiencia resultó muy positiva, se observó que hubiese sido conveniente haber tenido una sesión previa de orientación sobre el uso del material didáctico. En el curso académico 2018/19 se repitió la experiencia del curso anterior incluyendo la mencionada sesión previa de orientación en su uso. Las sesiones presenciales posteriores al uso del MDI por los estudiantes resultaron muy dinámicas por el nivel de interacción y participación de los estudiantes. Se les había pedido a los diferentes grupos que se encargaran de exponer al conjunto de la clase las tecnologías que habían seleccionado y justificaran dicha elección. Se pudo comprobar que la mayoría de los grupos había realizado una selección adecuada. En esa misma sesión, y con el refuerzo de sus propios compañeros, los grupos que no habían realizado una correcta selección o justificación pudieron entender los errores que habían cometido. En estas sesiones el docente pudo incluso aportar información complementaria sobre ejemplos reales de aplicación práctica, que no había podido hacer en cursos previos.

#### 4. RESULTADOS

Para evaluar el impacto del material didáctico se ha aplicado una metodología mixta de tipo explicativa que realiza un primer análisis cuantitativo y una segunda fase mediante entrevistas a algunos participantes relevantes del estudio. Durante los cursos académicos 2017/18 y 2018/19, se realizó una encuesta a los estudiantes de la asignatura Tecnologías de Desarrollo de Productos del cuarto curso del Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos en la ULPGC. Se utilizó una escala Likert de 5 niveles: 1 nada adecuado al 5 muy adecuado. Fue cumplimentada por un total de 26 estudiantes que representaban casi un 30% de los estudiantes que siguieron la asignatura en esos cursos. Los resultados de esas encuestas se sintetizan en los siguientes puntos.

1. Al primer bloque de preguntas relacionado con el diseño del MDI y los recursos multimedia que contiene, más del 80% de los estudiantes dieron una respuesta de 4 o 5, y solo 2 estudiantes dieron una valoración de 1 o 2.
2. En el segundo bloque de preguntas se les solicitaba que valoraran la funcionalidad del MDI y su capacidad para ser estudiado de forma autónoma. Por encima del 60% han dado una respuesta de 4 o 5, y solo 3 estudiantes respondieron con un nivel de 2.
3. El tercer bloque de preguntas valoraba la facilidad de uso e interactividad del MDI y por encima del 75% respondieron con un 4 o 5, y 2 estudiantes valoraron con un nivel de muy poco adecuado.
4. En este cuarto bloque de preguntas se les pedía que valoraran la calidad de los contenidos y su grado de asimilación. Por encima de un 80% valoró con un 4 o un 5, y un solo estudiante valoró con un 2 esta pregunta.

En la segunda fase de entrevistas personales se plantearon preguntas adicionales para determinar cómo el MDI fue usado, la problemática encontrada y preferencias a la hora de prepararse estos contenidos. Los resultados más relevantes de esta fase fueron que principalmente se usó en ordenadores y en móviles, y unos pocos estudiantes tuvieron algunos problemas de visualización del MDI en alguna plataforma. Además, la inmensa mayoría prefería esta forma de prepararse los contenidos de la asignatura frente al método de exposición tradicional, pero sí consideraban necesaria una sesión de introducción y orientación al uso del MDI. También se aportaron algunas observaciones y sugerencias de mejora en

algunos apartados concretos del material didáctico. Respecto a los resultados globales de la asignatura de estudio se tomó como referencia el curso 2015/16, donde no se había introducido el material didáctico, y se comparó con el curso 2018/19. Las calificaciones de los estudiantes aprobados pasaron de 24 aprobados a 6, de 18 notables a 30, y de 2 sobresalientes a 8, respectivamente, lo que en principio parece avalar la adecuación del material y la metodología aplicada.

Este mismo material también ha sido usado en el curso 2018/19 mediante la plataforma de teleformación OPEN ULPGC para impartir una sesión descriptiva del uso de estas tecnologías en el Master Propio en Diseño y Desarrollo de Componentes de Plásticos Inyectados de la Universidad de Zaragoza. En este caso se les facilitó con antelación el material didáctico para que pudieran consultarlo de forma previa y así aprovechar mejor la única sesión de interacción con los estudiantes y aclarar las dudas que ya tenían preparadas o surgieron en esta sesión. La experiencia de uso de este material didáctico a través de esta plataforma de formación a distancia resultó positiva, según los comentarios aportados por los participantes al finalizar la sesión. Se planteó la posibilidad de repetirla para unos cursos de formación a empresas que oferta el Taller de Inyección de la Industria del Plástico (TIIP) de la Universidad de Zaragoza.

Otra aplicación singular de este material didáctico fue como elemento de apoyo en una reunión de asesoramiento técnico a la empresa Dos por Dos Grupo Imagen, S.L.. Esta empresa estaba pensando en invertir en un equipo de fabricación aditiva de gran formato y solicitaron colaboración al Grupo de Investigación Fabricación Integrada y Avanzada para analizar la viabilidad de implantación de esa tecnología en su línea de producción. Como resultado de esta reunión se hicieron una rápida composición de lugar y de las implicaciones que supondría esta inversión y finalmente decidieron posponerla. agradecieron la colaboración prestada y su satisfacción con el nivel de información que se les facilitó con ayuda de este material didáctico.

Este material didáctico en formato libro electrónico ha sido publicado en la serie interactiva de los Cuadernos de Innovación Educativa del Servicio de Publicaciones y Difusión Científica (SPDC) de la ULPGC. El comité editorial felicitó a los autores por la calidad del trabajo, y fue considerada como obra destacada por la Unión de Editoriales Universitarias Españolas en julio de 2018.

## 5. CONCLUSIONES

Se ha conseguido el objetivo de tener un MDI versátil y útil en varios contextos formativos, que permite un cierto grado de aprendizaje autónomo y adaptativo para el estudiante, siendo a su vez un elemento muy útil en la formación presencial.

Aborda una temática en el ámbito de la Fabricación Aditiva que es de gran interés y está en continua evolución, siendo organizada según la reciente normativa que es de aplicación. Los contenidos son presentados en un formato atractivo y pueden ser consultados con facilidad usando los elementos de interactividad que incorpora.

Se incluye además una metodología de selección de estas tecnologías, por lo que puede ser empleado no solo como un material de consulta, sino también como una herramienta de

trabajo en la toma de decisiones relacionadas con el uso de estas tecnologías.

Su uso, en combinación con metodologías activas en el aula, ha enriquecido el proceso de enseñanza-aprendizaje con una actitud más participativa del estudiante, potenciando el aprendizaje cooperativo y logrando resultados de más calidad.

La valoración realizada por los estudiantes ha mostrado unos resultados muy positivos sobre su adecuación, funcionalidad, facilidad de uso e interacción. La valoración de los docentes que han empleado este material didáctico consideran que el tiempo y esfuerzo dedicado a su desarrollo ha sido bien empleado al contar con una herramienta adecuada para la labor docente.

## REFERENCIAS

- Ander-Egg, E. (2015). *Diccionario de Educación*. Argentina: Brujas Editorial.
- Careaga, I. O., & González-Videgaray, M. (2008). *Nuevas tecnologías y educación: Diseño, desarrollo, uso y evaluación de materiales didácticos*. Mexico: Trillas.
- Culmone, C., Smit, G., & Breedveld, P. (2019). Additive manufacturing of medical instruments: A state-of-the-art review. *Additive Manufacturing*, 27, 461-473. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.03.015>
- Enfield, J. (2016). The Value of Using an E-Text in a Flipped Course. *TechTrends*, 60(5), 449-455. <https://doi.org/10.1007/s11528-016-0100-1>
- Estebanell, M., & Ferrés, F. (2000). Asistentes pedagógicos en un entorno virtual de enseñanza y aprendizaje. *Redes, multimedia y diseños virtuales. Actas III Congreso Internacional de Comunicación, Tecnología y Educación, Oviedo*.
- Hernández-Castellano, Pedro M., Gutierrez-Barcenilla, A., Martínez-Rivero, M. D., Marrero-Alemán, M. D., Suárez-García, L., Paz, R., & Benítez-Vega, A. N. (2018). Interactive training material about additive manufacturing technologies. *Proceedings of the Twelfth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering, XXVIII*. Las Palmas de Gran Canaria, Spain: Delft University of Technology.
- Hernández-Castellano, Pedro Manuel, Marrero-Alemán, M. D., Paz-Hernández, R., Bordón-Pérez, P. R., Suárez-García, L. A., & Benítez-Vega, A. N. (2019). Adaptive Learning Using Interactive Training Material. *Innovative Trends in Flipped Teaching and Adaptive Learning*, 162-184. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-8142-0.ch008>
- Loughborough University. (2017). The 7 categories of Additive Manufacturing. Additive Manufacturing Research Group. Recuperado 20 de septiembre de 2017, de <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/>
- Morales-Muñoz, P. A. (2012). *Elaboración de Material Didáctico*. Recuperado de [http://www.aliat.org.mx/Bibliotecas/Digitales/derecho\\_y\\_ciencias\\_sociales/Elaboracion\\_material\\_didactico.pdf](http://www.aliat.org.mx/Bibliotecas/Digitales/derecho_y_ciencias_sociales/Elaboracion_material_didactico.pdf)
- Sculpteo. (2017). The State of 3D Printing 2017. Recuperado 11 de septiembre de 2017, de [https://www.sculpteo.com/en/get/report/state\\_of\\_3D\\_printing\\_2015/](https://www.sculpteo.com/en/get/report/state_of_3D_printing_2015/)