

09-014

### 3D PRINTING EXPERIENCES AS A TEACHING INNOVATION TOOL IN PROJECT ENGINEERING

Carmona Fernández, Diego; Matamoros, Manuel; Canito Lobo, José Luis; Marcos Romero, Alfonso Carlos; Carrasco Amador, Juan Pablo

UEx

3D printing is driving the industrial revolution known as fourth or industry 4.0 and has meant the improvement of existing production techniques. One of the features of the development of this technology in recent years has been its accessibility since it have been developed partly within a framework of "open source hardware" that allows the communities of users to participate in the evolution of this technology and to reduce the costs of development. 3D printing in the education system can have many applications. This work shows the results of the introduction in the last years of this technology in the teaching of the technical degrees in the School of Industrial Engineering of Badajoz. This work has made students participate in the study and development of the printers through projects of degree and master. This has meant a revolution in the Graphic Expression in Engineering Area because most of the projects currently underway are oriented towards this field. In parallel, the creation of the FABLAB of the Eii makes it possible to reorient teaching towards a "project-based" approach.

**Keywords:** *3D Printing;Final degree Project;Fablab;Computer aided design*

### EXPERIENCIAS DE IMPRESIÓN 3D COMO HERRAMIENTA DE INNOVACIÓN EDUCATIVA EN PROYECTOS DE INGENIERÍA

La impresión 3D está impulsando la llamada cuarta revolución industrial o industria 4.0. Su desarrollo ha supuesto la mejora de las técnicas de producción existente. Una de las particularidades del desarrollo de esta tecnología en los últimos años es su accesibilidad al haberse desarrollado en parte dentro de un marco "hardware libre" lo que permite a comunidades de usuarios participar de la evolución de esta tecnología y reducir los costes de desarrollo. La impresión 3D en el ámbito docente puede tener muchos usos. En este trabajo se recoge la introducción en los últimos años de esta tecnología en la docencia de los grados técnicos en la Escuela de Ingenierías Industriales de Badajoz haciendo partícipes del estudio y desarrollo de las impresoras a los alumnos a través de proyectos fin de grado y máster. Esto ha supuesto una revolución dentro del Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería, ya que en la actualidad la mayoría de los proyectos que se realizan, están orientados hacia este campo. Paralelamente, la creación del FABLAB de la Eii posibilita reorientar la docencia hacia un enfoque "por proyectos".

**Palabras clave:** *Impresión 3D;Proyecto final de carrera;Fablab;Computer aided design*

Correspondencia: Diego Carmona Fernández dcarmona@unex.es

Acknowledgements/Agradecimientos: The authors are grateful to Ministerio de Ciencia Innovación y Universidades and the Junta de Extremadura and FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional "Una manera de hacer Europa"), for financial help by projects



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

Actualmente estamos en un proceso de conversión a nivel mundial de la industria que ha sido denominado como industria 4.0 haciendo referencia a una cuarta revolución industrial (Almada-Lobo, 2015). Uno de los motores de este cambio son los nuevos procesos de fabricación relacionados con la fabricación aditiva, la impresión 3D (Berman, 2012). En realidad no son tan nuevos, pero sí la forma en la que estamos haciendo uso de estas técnicas. Cuando hablamos de impresión 3D estamos valorando diferentes técnicas de fabricación aditiva como son la sinterización selectiva por láser (SLS), la deposición por material fundido (FDM) la estereolitografía (SLA),...

En el presente trabajo se aborda la impresión por deposición por material fundido o FDM (Fused Deposition Modeling por sus siglas en inglés) a través de diferentes proyectos llevados a cabo en los últimos años. Esta técnica consiste en la superposición de capas de material fundido que solidifican hasta conformar la pieza tridimensional deseada. Los materiales más habituales usados con este método son el PLA, ABS, PVA o el PET. La elección de este sistema de impresión es debido al bajo coste de materiales e impresora y al hecho de disponer de una gran comunidad de usuarios implicados en el desarrollo tanto del hardware como del software de una manera totalmente libre, lo que permite acceder a toda la información para su desarrollo. A partir de esta información, disponible en todo momento, es posible para todo tipo de centros docentes y de investigación disponer de una impresora con la que trabajar en innovación docente o investigación en numerosos campos.

El fin de la concesión de las patentes de algunas de estas tecnologías es el que ha propiciado el aumento del uso de estas tecnologías entre comunidades de usuarios que a través de internet han desarrollado proyectos como RepRap. El proyecto RepRap, de "Replicating Rapid Prototyper", se inicia en la Universidad de Bath en Reino Unido en el año 2005 y pretende producir un sistema de fabricación de escritorio que permita a cualquier usuario la fabricación de objetos para la vida cotidiana (<https://reprap.org/>).

Existen múltiples experiencias docentes previas en el campo de la impresión 3D (Schelly 2015, Barthi 2015, Thomas 2013) que buscan aprovechar la accesibilidad y bajo coste de estas técnicas a la formación en nuevas competencias, especialmente en enseñanzas técnicas.

Gracias a la impresión 3D el alumno adopta un rol activo frente al pasivo de las técnicas docentes tradicionales mientras que el uso de estas técnicas permite el desarrollo de diferentes competencias, especialmente las relacionadas con la visión espacial. (Huang 2016).

## 2. Metodología

El Trabajo Fin de Grado (TFG) es una asignatura que según la planificación de los Títulos de Grado en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Extremadura debe trabajar la competencia CTFG: *"Capacidad para realizar, presentar y defender ante un tribunal universitario un ejercicio original, de carácter individual, consistente en un proyecto en el ámbito de la tecnología específica en Mecánica, que integre y sintetice todas las competencias adquiridas en el título". Esto es análogo, pero aplicado a su materia, a los títulos de Grado en Ingeniería Electrónica y Automática y Grado en Ingeniería Eléctrica, e implica trabajar un gran número de competencias básicas, generales, específicas y transversales, aunque sea de manera integrada y sintetizada. Por lo general en la mayoría de TFG defendidos en el centro se trabajan de manera intensiva algunas competencias específicas del título y con menos profundidad las básicas y generales mientras que las transversales suelen ser las más olvidadas. Si bien es difícil encontrar un objeto de trabajo para un TFG que trabaje por completo todas las competencias del título, en el trabajo de desarrollo de un producto suele constituir una herramienta muy completa en este sentido.*

*Gracias a los avances en impresión 3D y sobre todo al continuo desarrollo de proyectos de hardware libre que han abaratado esta tecnología, puede abordarse el desarrollo del proyecto de un prototipo de producto en todas sus fases permitiendo al alumno explorar en su TFG el trabajo en competencias de su título que de otra forma apenas llegaba a explorar superficialmente, como, por poner un ejemplo, la competencia CG4 del Grado en Ingeniería Mecánica: “Capacidad para resolver problemas con iniciativa, creatividad, razonamiento crítico, para la toma de decisiones y para comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Mecánica”.*

La asignatura TFG en los títulos de Grado en Ingeniería de la Escuela de Ingenierías Industriales tiene una asignación de 12 créditos que equivalen a unas 300 horas de trabajo. El trabajo con los alumnos ha seguido una metodología con los siguientes pasos:

- **Planificación previa.** En una reunión inicial se establece el objeto y alcance del proyecto y se insta al alumno a que planifique una gestión eficaz de recursos, planificando en el tiempo las fases del proyecto.
- **Formación.** Puesto que el alumno por lo general no ha tenido suficiente contacto con la impresión 3D y el prototipado rápido se dedica parte del tiempo a orientar al alumno en el aprendizaje de estas tecnologías. Como novedad en los últimos trabajos, se han realizado grupos de alumnos donde los más avanzados en sus TFG formaban y orientaban a los que estaban aún en fases iniciales.
- **Reuniones periódicas.** Para el seguimiento de los TFG se han convocado reuniones en las que el alumno debe realizar una presentación de los progresos y planificar las siguientes fases del proyecto.
- **Estudio de las soluciones.** Finalmente, el alumno propone diferentes alternativas de diseño proponiendo la solución óptima para el proyecto.
- **Implementación, ensayos y pruebas.** Gracias a la impresión 3D el alumno tiene la oportunidad de llevar su desarrollo a la realidad y comprobar las especificaciones de su diseño.

#### 4. Resultados

Con los TFG aplicados al ámbito de la impresión 3D se han logrado trabajar las competencias propias de los grados de ingeniería de nuestro centro con mayor profundidad y extendiéndolas a otras más difíciles de trabajar como algunas transversales. En concreto, en esta línea de trabajo se han desarrollado los siguientes proyectos:

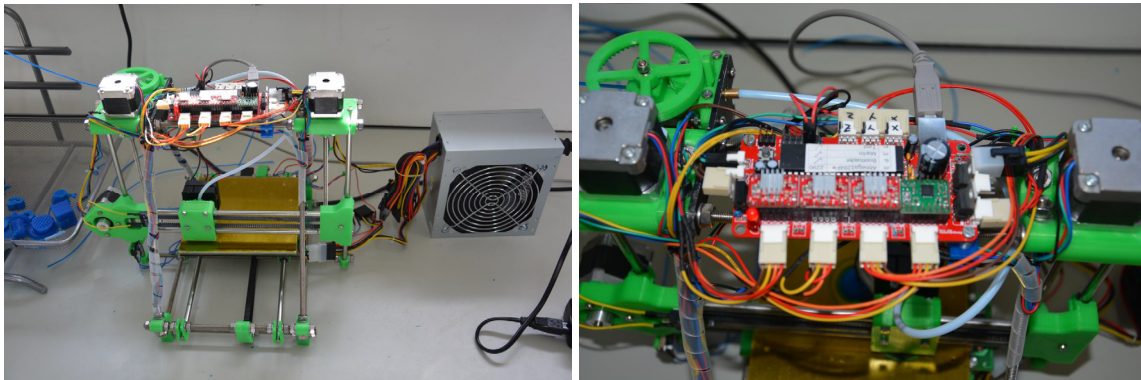
1. Análisis y diseño de prototipo de impresora 3D para uso docente en ingeniería.

El curso 2013/2014 se desarrolló el primer proyecto en el departamento en torno a la impresión 3D. El alumno planificó el trabajo para colaborar además de con nuestro departamento, con la Unidad de Docencia Virtual de la Universidad de la Laguna, en donde realizó una estancia académica. Durante la estancia pudo imprimir las piezas que diseñó para su impresora, puesto que aún no se disponía de impresora 3D en el Departamento de Expresión Gráfica. Sin duda, la primera experiencia fue muy prometedora pues entendimos que el alumno terminó trabajando competencias típicas del grado de ingeniería mecánica con mayor motivación que otros TFG clásicos defendidos en el departamento, pero sobre todo por el trabajo con competencias transversales del grado como “Resolver problemas y tomar decisiones con iniciativa, creatividad y razonamiento crítico” (CT2) o “Comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Mecánica”

(CT3) puesto que se hizo responsable de transmitir “*know how*” entre los departamentos de ambas Universidades e incorporar esta información a su proyecto.

Este proyecto obtuvo la calificación de sobresaliente – 10.

**Figura 1: Primer prototipo de impresora 3D.**

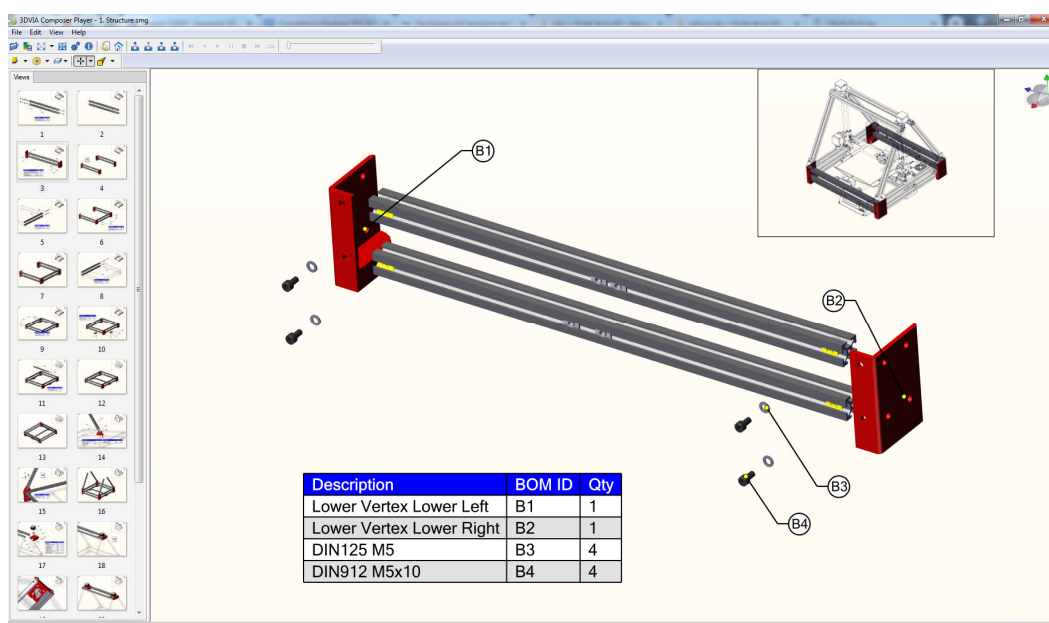


Fuente: Antúnez, 2014.

## 2. Manual de montaje para impresora 3D.

En este caso la alumna realizaba unas prácticas de empresa donde desarrolló un manual interactivo del montaje de una impresora 3D al tiempo que participó en la mejora de ciertos componentes de la impresora. Nuevamente se trabajaron competencias específicas y transversales del título difíciles de explorar en otro tipo de trabajos fin de grado como son:

**Figura 2: Manual interactivo de montaje de una impresora 3D.**



Fuente: Ruiz, 2015.

- CT2 - Resolver problemas y tomar decisiones con iniciativa, creatividad y razonamiento crítico. Se trató de un producto real en desarrollo de una empresa en

el que se solucionaron problemas en el diseño final durante el estudio del proceso de montaje del producto a realizar por el cliente.

- CT3 - Comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Mecánica. Todo lo aprendido sobre el montaje del producto tuvo que ser reflejado en el manual del montaje de manera que la impresora funcionase perfectamente tras el mismo.

Este trabajo fue calificado con sobresaliente – 10.

### 3. Análisis y diseño de prototipo de escáner 3D para uso docente en ingeniería

En este trabajo se comenzó a explorar otro tipo de trabajos partiendo de la facilidad para el desarrollo de prototipos que permite la impresión 3D. Esta vez se orientó a otro campo importante dentro del prototipado rápido como es la ingeniería inversa con la fabricación y puesta en funcionamiento de un escáner 3D de hardware libre.

El trabajo obtuvo la calificación de sobresaliente – 9,5.

**Figura 3: Modelo de escáner utilizado y primeras pruebas de impresión de piezas escaneadas.**



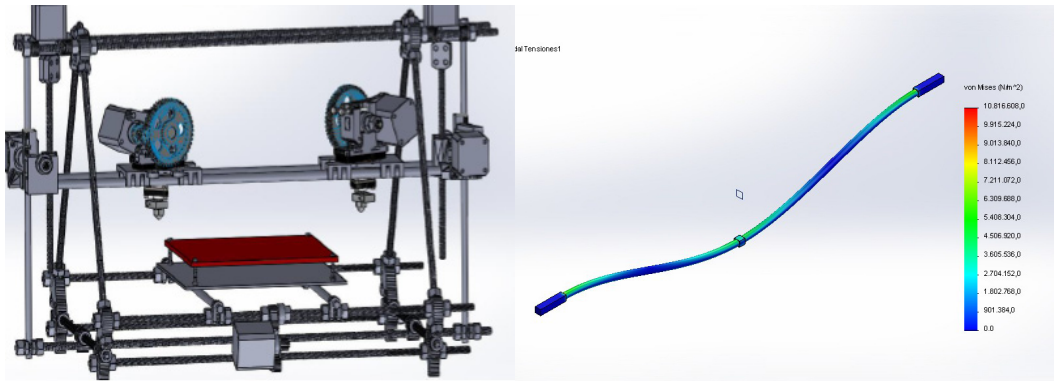
*Fuente: Infante, 2015.*

### 4. Solución mecánica para impresora 3D de doble extrusor OpenSource

Partiendo de una impresora existente en el departamento se le pidió al alumno que desarrollara un sistema de doble extrusor para la misma. Tras el estudio del problema se terminó realizando modificaciones a la impresora para adoptar un sistema de doble carro de impresión.

Este trabajo obtuvo la calificación de sobresaliente – 9,5.

**Figura 4: Diseño de un sistema de doble extrusor.**



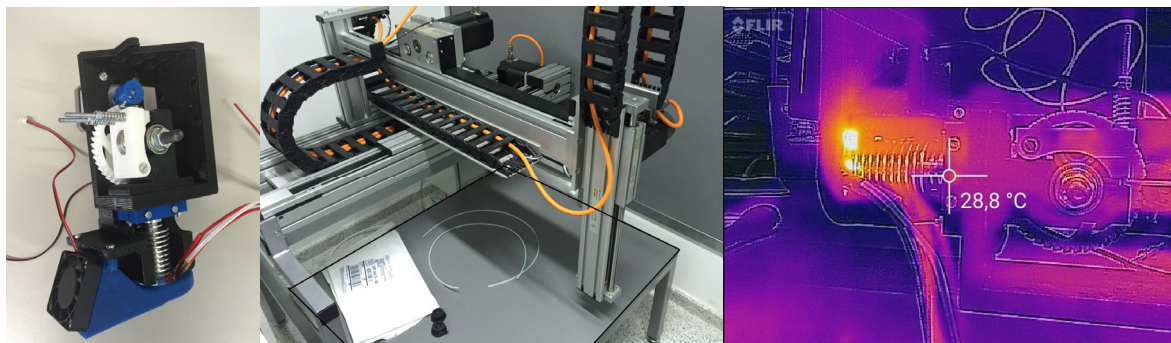
*Fuente: Amaya, 2016.*

### 5. Adaptación de robot cartesiano a impresora 3D

En una línea parecida al anterior, se colaboró con el Área de Ingeniería de Sistemas y Automática para convertir un robot cartesiano sin uso de este departamento en una impresora 3D.

En este caso el alumno obtuvo la calificación de Matrícula de Honor – 10.

**Figura 5: Modelo de extrusor y robot cartesiano reconvertido en impresora 3D.**



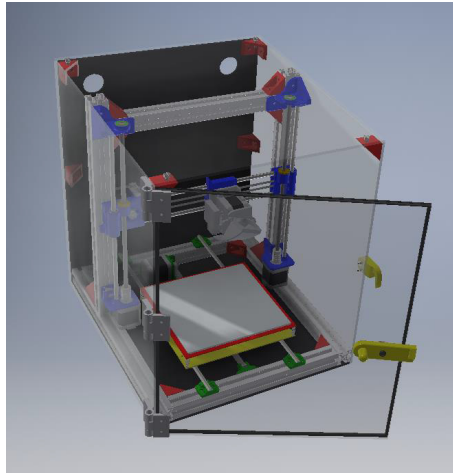
*Fuente: Bueno, 2016.*

### 6. Diseño de carcasa para impresión 3D en atmósfera controlada

Con el fin de estudiar la influencia de la temperatura exterior en la calidad de impresión este alumno desarrolló el diseño de una impresora confinada y un sistema de control de temperatura dentro de la cámara.

El alumno obtuvo la calificación de sobresaliente – 10.

**Figura 6: Prototipo de modelo de impresora de atmósfera controlada.**



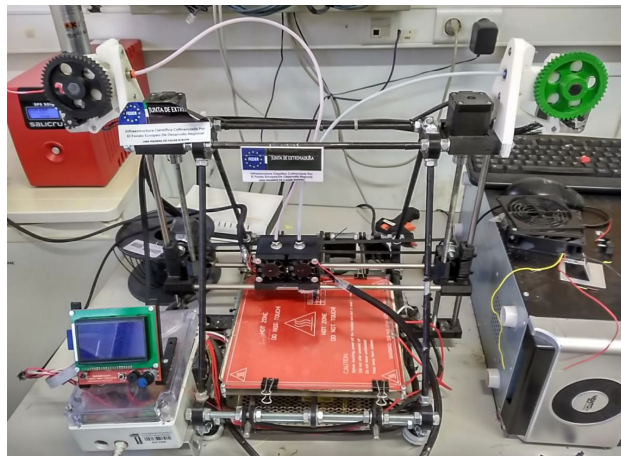
*Fuente: Parra, 2017.*

7. Diseño, análisis e implementación de un sistema de doble extrusor compatible para impresora 3D para su uso docente en ingeniería

Continuando el trabajo de implementación del doble extrusor anterior, en este trabajo se buscó un nuevo sistema más ligero y fácil de implementar. Se dispuso en un carro único mejorando notablemente la impresión. Este alumno consiguió además una beca de colaboración con el departamento y ayudó en sus TFG a otros alumnos a desarrollar sus proyectos en este campo, siendo todo un éxito. Este modelo de colaboración entre alumnos en los TFG se está implementando en la medida de lo posible en todos los TFG desde entonces lo que permite desarrollar nuevas competencias transversales del grado (CT3 “Comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas” o CT9 “Ser capaz de integrarse rápidamente y trabajar eficientemente en equipos multidisciplinares asumiendo distintos roles y responsabilidades”).

Este trabajo obtuvo la calificación de sobresaliente – 10.

**Figura 7: Desarrollo de un carro de doble extrusor.**



*Fuente: Morel, 2017.*

## 5. Conclusiones

El trabajo docente con los alumnos de la asignatura de TFG en áreas como Expresión Gráfica y Proyectos, aplicando técnicas de impresión 3D, permite el trabajo en profundidad de competencias propias de los títulos de Grado en Ingeniería, desde las más básicas a las transversales, mientras se trabaja en el proyecto de desarrollo de un producto.

Sin duda, el hecho de que, gracias a la impresión 3D, estos TFG permitan obtener resultados en forma de un producto final ayuda en gran medida a la motivación del alumno. Además, trabajar en el proyecto de desarrollo de un producto mediante impresión 3D permite desarrollar conceptos preliminares o primeros prototipos con los que se consigue alcanzar fases del proyecto que de otra forma sólo se trataban de forma teórica.

Recientemente se ha incorporado al centro un *Fablab*. Esto es un espacio de creación que permite no solo trabajar con impresión 3D, sino también con otras técnicas de fabricación para el desarrollo de prototipos en proyectos de ingeniería, como el corte láser, máquinas de control numérico, cortadoras de vinilo, etc. Se espera que este espacio potencie aún más los resultados expuestos en este trabajo.

## 6. Referencias

- Almada-Lobo, F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management JIM*, 3, 4 (2015) 16-21.
- Amaya, M. *Solución mecánica para impresora 3D de doble extrusor open source*. TFG GIM 2016.
- Antúnez A. *Análisis y diseño de prototipo de impresora 3D para uso docente en ingeniería*. TFG GIM 2014.
- Berman, B. *3-D printing: The new industrial revolution*. Business Horizons (2012) 55, 155-162.
- Bharti, N., Gonzalez, S., Buhler, A. 3D technology in libraries: applications for teaching and research. In: *Emerging Trends and Technologies in Libraries and Information Services (ETTLIS)*, 2015 4th International Symposium on. IEEE, pp. 161-166.
- Bueno, E. *Adaptación de robot cartesiano a impresora 3D*. TFG GIM 2016.
- Huang, T.C.; Lin, C.Y. *From 3D modeling to 3D printing: Development of a differentiated spatial ability teaching model*. Telematics and Informatics 34 (2017) 604-613.
- Infante, A. *Análisis y diseño de prototipo de escáner 3D para uso docente en ingeniería*. TFG GIM 2015.
- Jaksic, N.I. *New inexpensive 3D printers open doors to novel experiential learning practices in engineering education*, in 121st ASEE Annual Conference and Exposition: 360 Degrees of Engineering Education, June 15, 2014 - June 18, 2014, Indianapolis, IN, United states, 2014, p. Dassault Systemes (DS); et al.; Kaplan; National Instruments; NCEES; Quanser.
- Morel, C. *Diseño, análisis e implementación de un sistema de doble extrusor compatible para impresora 3D para su uso docente en ingeniería*. TFG GIM 2017.
- Parra, M. *Diseño de carcasa para impresión 3d en atmósfera controlada*. TFG GIE 2017.
- Ruiz, M.E. *Manual de montaje para impresora 3D*. TFG GIM 2015.
- Schelly, C., Anzalone, G., Wijnen, B., Pearce, J.M. *Open-source 3-D printing technologies for education: bringing additive manufacturing to the classroom*. J. Visual Lang. Comput. (2015) 28, 226-237.
- Thomas, A. M., Vijay, V. C., Raju, P., Chapman, C., Chima, P., Mathur, A. et al. *Parametric virtual laboratory development: A hydropower case study with student perspectives*, Advances in Engineering Software, vol. 64, pp. 62-70, Oct 2013.