

**ARTÍCULO INVITADO****FABRICACIÓN ADITIVA: DE LOS NANOMATERIALES  
A LA FABRICACIÓN EN GRAN FORMATO***Sergio I. Molina*

Departamento de Ciencia de los Materiales, Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica, IMEYMAT, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, Campus Río San Pedro, s/n, 11510 Puerto Real (Cádiz), España, [sergio.molina@uca.es](mailto:sergio.molina@uca.es)

**Resumen:** En este artículo se presenta una revisión de parte de la actividad desarrollada por el grupo de investigación INNANOMAT de la Universidad de Cádiz en los últimos años, en la línea de I+D de desarrollo de materiales, diseño y fabricación aditiva. El artículo persigue mostrar un resumen de los contenidos expuestos en la conferencia invitada que fue impartida por el autor, investigador responsable del grupo INNANOMAT, en el Primer Ciclo de Conferencias organizado por SOCIEMAT (<https://sociemat.es/i-ciclo-conferencias-sociemat/>). El trabajo desarrollado por el grupo en esta temática incluye resultados relacionados con materiales, diseño y tecnologías de fabricación aditiva que comprenden casos en los que la estructura y funcionalidad a nanoescala tienen especial relevancia, así como otros en los que el enfoque se dirige a tecnologías para la fabricación aditiva que trabajan en volúmenes que abarcan desde la nanoescala hasta el gran formato (volúmenes de partes fabricadas en el orden de metros cúbicos).

**Palabras clave:** Fabricación aditiva, Nanomateriales, Materiales compuestos, Estereolitografía, Modelado por deposición fundida, Fabricación aditiva alimentada con granza, Fabricación aditiva de gran formato.

**1.- INTRODUCCIÓN.**

La estructura de este artículo de revisión sigue la de la presentación impartida por el autor en el Ciclo de Conferencias SOCIEMAT, el día 28 de abril de 2021 (<https://www.youtube.com/watch?v=oOAHZD5awOc>).

En primer lugar, se realiza una introducción básica a los procesos de fabricación aditiva, así como una introducción al grupo de investigación INNANOMAT de la Universidad de Cádiz, presentando brevemente parte del equipamiento disponible de fabricación aditiva en esta universidad. El siguiente apartado presenta algunos ejemplos seleccionados del trabajo desarrollado por el grupo en materiales compuestos de base polimérica para fabricación aditiva, incluidos aquellos relativos a *nanocomposites*. También se dedica un apartado a la fabricación aditiva en gran formato, haciendo referencia a revisiones realizadas por este grupo en este campo y dedicando especial atención a esta tecnología para el caso de los materiales de base polimérica.

**2.- CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE FABRICACIÓN ADITIVA.**

Las tecnologías de fabricación aditiva permiten fabricar a partir de ficheros que contienen datos digitalizados, codificando la información contenida en estos ficheros de forma adecuada, de modo que un equipo (impresora 3D) permita la fabricación capa a capa del objeto digitalizado. Los datos digitalizados se habrán generado previamente con un software CAD (Computed Aided Design) o bien mediante escaneo 3D. El material de partida utilizado, dependiendo de la tecnología utilizada,

se utiliza en varias formas diferentes, tales como polvo, resina líquida, filamento, láminas, granza, etc. y el modo en el que se deposita el material para completar la fabricación de cada capa también es diversa; ésta puede consistir en un proceso de sinterizado o fusión mediante aporte de energía mediante un láser, se puede utilizar un cabezal extrusor que funde y posteriormente solidifica un material en forma de filamento o granza, se puede producir un proceso de fotopolimerización, de consolidación por ultrasonidos, soldadura por arco eléctrico, etc. Aunque queda mucho camino por recorrer en cuanto al desarrollo de materiales para estas tecnologías, actualmente permiten trabajar con materiales de ingeniería metálicos, cerámicos, poliméricos y compuestos. Los procesos de fabricación han sido clasificados en siete tipos por la *American Society for Testing Materials* [1]:

- *Vat Photopolymerisation*
- *Material Jetting*
- *Binder Jetting*
- *Material Extrusion*
- *Powder Bed Fusion*
- *Sheet Lamination*
- *Directed Energy Deposition*

Los términos “fabricación aditiva” e “impresión 3D” se pueden utilizar para describir a este tipo de tecnologías. El primero es el más usado en entornos técnicos y científicos mientras que el segundo es un término usado de forma más amplia y coloquial. Desde la introducción de las primeras tecnologías de fabricación aditiva, en la

década de 1980, se han usado otros términos para referirnos a estas tecnologías, tales como prototipado rápido, fabricación rápida, fabricación “freeform”, etc., aunque recientemente el uso del término fabricación aditiva comienza a estabilizarse.

Estas tecnologías incorporan un conjunto de ventajas respecto a otras técnicas de fabricación más convencionales, como son las técnicas de fabricación sustractivas o de inyección en molde. Algunas de estas ventajas son la posibilidad de fabricar diseños complejos que aportan mejores funcionalidades, mayor rapidez en la fabricación y el proceso de re-diseño: también permiten eliminar uniones, diseñando y fabricando piezas que constan de una sola parte y que requerirían de varias partes unidas si se fabrican con otras tecnologías, y ventajas medioambientales, por ejemplo, menos desperdicio de material durante el proceso de fabricación.

También presentan limitaciones, que se van superando con los avances producidos en la última década. Algunas limitaciones a veces están relacionadas con el tamaño de las series de producción, es decir, el número de piezas que permiten fabricar con un mismo diseño, ya que son tecnologías que clásicamente han estado dirigidas, principalmente, al prototipado rápido. Así mismo, el tamaño de las piezas fabricadas no suele ser muy grande, aunque en los últimos años está incrementando el número de equipos que trabajan en volúmenes mayores, en el orden de metros cúbicos. Otros aspectos que en ocasiones pueden suponer limitaciones son el coste de producción, el control de calidad y fiabilidad de los procesos, la escasez de estándares y el número de materiales disponibles.

Todos estos aspectos están en continua mejora y es importante entender que las tecnologías de fabricación no van a servir para sustituir en todos los casos al resto de tecnologías de fabricación, sino que debemos entender que convivirán con ellas y que en muchos casos aportarán mejoras usadas de forma individual y, en otros, estas mejoras estarán relacionadas con el uso combinado con otras tecnologías de fabricación.

### 3.- FABRICACIÓN ADITIVA EN EL GRUPO INNANOMAT.

El grupo de investigación INNANOMAT, denominado MATERIALES Y NANOTECNOLOGÍA PARA LA INNOVACIÓN (<https://tep946.uca.es>), forma parte del catálogo de agentes del conocimiento de la Junta de Andalucía y su referencia es TEP-946 (TEP: Tecnologías de la Producción). Es un grupo que actualmente está formado por 20 miembros con perfiles inter- y multidisciplinares, que integran a ingenieros (de materiales, químicos, electrónicos, mecánicos, de diseño industrial y desarrollo de productos), arquitectos, químicos, físicos y otros perfiles asociados a transferencia del conocimiento y emprendimiento. Sus líneas de investigación se agrupan en dos temáticas, una primera relacionada con el desarrollo y nanocaracterización de materiales funcionales (optoelectrónica, fotónica, plasmónica, etc.) y otra

relativa al desarrollo de materiales, diseño y fabricación aditiva de materiales compuestos y mezclas poliméricas.

Las actividades científico-tecnológicas que el grupo desarrolla en fabricación aditiva se nutren de ambas líneas de investigación, con especial relación a la segunda mencionada. Respecto al equipamiento y tecnologías de fabricación aditiva disponibles en la UCA (Universidad de Cádiz), debemos indicar que esta institución ha realizado un esfuerzo importante en esta temática y actualmente dispone de equipamiento que le permite acceder a seis tipos de procesos de fabricación aditiva. El equipamiento de fabricación aditiva disponible en la UCA, cuyo responsable es el autor de esta comunicación, permite trabajar con tecnologías de estereolitografía, procesado digital de luz, fabricación de filamento y granza fundida, en formato convencional y gran formato, con cámara caliente, tecnologías de polvo consolidado por aporte de aglutinante y fabricación por laminado de capas de celulosa. Estos equipos de la UCA se encuentran ubicados en la División de Fabricación Aditiva (DFA), que forma parte de sus Servicios Centrales de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (SC-ICYT). (<http://sc cyt.uca.es>) y el Laboratorio de Nanocomposites y Fabricación Aditiva, en la Facultad de Ciencias del Campus de Puerto Real, en el Centro de Transferencia Empresarial, en el Campus de Cádiz, y en la Escuela Politécnica Superior, ubicada en el Campus de Algeciras. El grupo pertenece al Instituto Universitario de Microscopía Electrónica y Materiales (IMEMAT, <https://imeymat.uca.es>) y está asociado a otro Instituto Universitario, el de Investigación e Innovación Biomédica (INIBICA, <https://inibica.es>). La figura 1 muestra algunos equipos de fabricación aditiva ubicados en la División de Fabricación Aditiva de la UCA.

En los apartados siguientes se presenta una selección de algunos resultados publicados o en los que ha trabajado el grupo en relación al desarrollo de materiales para fabricación aditiva. Estos desarrollos están enfocados a diversos sectores, entre los cuales destacan sectores ligados al transporte (naval, aeroespacial, automoción y ferroviario), mobiliario y otros bienes de consumo (interiores, urbano, hábitat natural, iluminación, etc.), sector médico, optoelectrónica, fotovoltaica y fotónica (metamateriales).

La actividad en estos sectores demanda la consecución de diferentes propiedades. Una variable que siempre está presente en estos desarrollos, en la medida que las aplicaciones demandadas lo permitan, es el carácter sostenible de los materiales y la contribución a la mejora de la Economía Circular; en este contexto algunos proyectos en desarrollo implican el uso de fibras de basalto, materiales y residuos de origen natural e industrial. Algunas de las propiedades funcionales que guían el diseño de los materiales compuestos en los que el grupo trabaja incluyen la mejora del comportamiento ignífugo, luminiscente, apantallamiento electromagnético, piezoeléctrico, resistencia a la intemperie, biocompatible y bactericida.

a)



b)



c)



**Figura 1.** Imágenes de algunos de los equipos de fabricación aditiva de la DFA, perteneciente a los servicios centrales SC-ICyT de la UCA, que permiten trabajar con polímeros técnicos (a: Fortus 450mc, de Stratasys, y b: HT45, de Dynamical 3D) y en gran formato (c: Discovery 3D, volumen de impresión 3D de 1 m<sup>3</sup>).

#### 4.- NANOMATERIALES PARA FABRICACIÓN ADITIVA.

Las tecnologías de fabricación aditiva [2] permiten trabajar en volúmenes que abarcan desde la nanoescala hasta grandes volúmenes, de cientos de metros cúbicos en el caso del sector de la construcción. No obstante, para cualquiera de estas escalas, si las condiciones de servicio exigidas al material y el coste lo permiten, se puede trabajar en ocasiones con nanomateriales, cuyas unidades estructurales y funcionales tienen tamaños nanométricos (nanopartículas, nanofibras, nanohilos, grafeno y otros materiales 2D, ...).

En esta línea, el grupo INNANOMAT ha realizado varios desarrollos de nanomateriales con aplicación en las tecnologías de estereolitografía y procesamiento digital de luz, con materiales basados en resinas fotopolimerizables [3-5], en tecnologías de fabricación aditiva mediante extrusión, con materiales en forma de filamentos y granza [6-7], y con tecnologías de polvo consolidado con aporte de aglutinante o mediante radiación láser [8].

En el caso de la tecnología de estereolitografía, la fabricación se lleva a cabo haciendo incidir un láser ultravioleta sobre una resina fotopolimerizable, de base acrílica y otras biobasadas en nuestro caso; algunas de las resinas desarrolladas incorporan tanto micropartículas como nanopartículas de varios metales. El contenido de metal, así como de otros aditivos conductores, es interesante que se incremente todo lo posible, sin llegar a deteriorar la capacidad de fotopolimerización de la resina, incrementando de este modo la conductividad de la resina base. Si las nanopartículas incorporadas son de oro o de otros metales [9-11] que permitan activar la generación de plasmones superficiales tras la absorción de fotones, podemos llegar a controlar los espectros de absorción y transmisión de luz del material compuesto obtenido cuya matriz es la resina base. La figura 2 muestra imágenes de varias probetas fabricadas mediante estereolitografía usando resinas fotocurables en las que se ha modificado su comportamiento óptico gracias a la incorporación de nanopartículas metálicas.

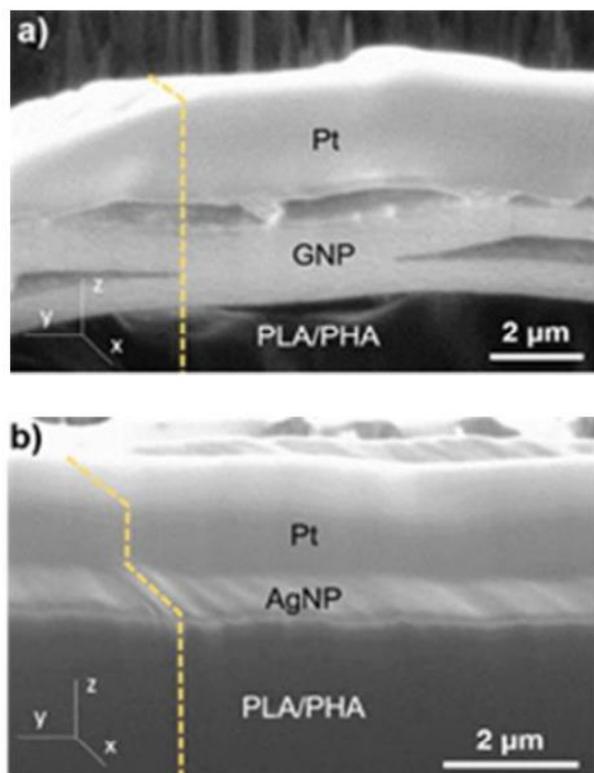
En nuestro caso hemos logrado realizar estos desarrollos, entre otras vías, a través de la síntesis de nanoplaquetas de óxido de grafeno a las que se enlazan nanopartículas de oro, favoreciendo así su posterior dispersión homogénea en la resina base, evitando por tanto la segregación del oro en partículas de mayor tamaño. Por esta vía hemos desarrollado resinas compuestas que exhiben un comportamiento semiconductor una vez polimerizadas por estereolitografía [4]. En esta línea también hemos estudiado cómo se modifican el grado de curado y las propiedades de las resinas fotopolimerizables, al añadir determinados nanoaditivos tales como nanoplaquetas de grafito [5].



**Figura 2.** Probetas fabricadas mediante estereolitografía con resinas fotocurables de base acrílica compuestas con nanopartículas de oro y óxido de grafeno.

Respecto a la importancia que tiene la modificación o procesado a nanoescala de los materiales termoplásticos para tecnologías de fabricación aditiva que usan extrusión, destacamos dos publicaciones. En la primera [6] se analiza cómo influye la incorporación de nanoplaquetas de grafito y de nanopartículas de plata mediante procesado en molinos de bolas en las propiedades de una mezcla polimérica biodegradable (PLA/PHA). Por esta vía se mejora el comportamiento mecánico, térmico y óptico del material base. En esta investigación la técnica de haces de iones focalizados (FIB) ha resultado muy útil para llevar a cabo la caracterización estructural de los nanomateriales compuestos desarrollados; en la figura 3 se presenta un ejemplo de una muestra preparada mediante esta técnica para uno de los materiales desarrollados. Por otra parte, en la segunda, hemos desarrollado mezclas poliméricas de un material termoplástico (ABS) y un elastómero termoplástico (TPU), de forma que se ha conseguido una mezcla de ambos a nanoescala, como demuestra su caracterización por microscopía Raman confocal y microscopía de fuerza atómica [7]. En estas mezclas poliméricas a nanoescala se logra una interesante combinación de propiedades elásticas y plásticas, a la vez que se consigue fabricar ABS con un contenido importante de TPU a temperatura ambiente mediante fabricación de filamento fundido; de este modo se consigue evitar el calentamiento de la base sobre la cual se realiza la fabricación, que habitualmente debe trabajar a 100 °C para trabajar con ABS.

En cuanto a la incorporación de nanoaditivos en material de polvo para su uso en tecnologías de fabricación aditiva mediante sinterizado láser, un aspecto básico es cómo y dónde se integra el nanoaditivo. En nuestro caso hemos estudiado el comportamiento mecánico de polvo de poliamida al que hemos añadido nanopartículas de grafeno y se concluye que se produce una mejora sustancial de las propiedades mecánicas cuando el grafeno se incorpora en el seno del volumen del polvo constituido por poliamida, en lugar de distribuirse preferentemente sobre la superficie de cada grano de polvo [8]. En este segundo caso la presencia de grafeno y la disminución del termoplástico cerca de la superficie dificulta la unión mediante procesos de fusión de la base termoplástica.



**Figura 3.** Imágenes de electrones secundarios obtenidas en un equipo FIB de un material desarrollado mediante procesos de molturación a partir de PLA/PHA incorporando GNP (a) y nanopartículas de plata (b). Fuente: J. J. Relinque, Tesis doctoral, Universidad de Cádiz, 2019.

## 5.- FABRICACIÓN ADITIVA DE GRAN FORMATO.

La mayor parte de los equipos de fabricación aditiva permiten construir piezas con volúmenes que suelen ser bastante menores de un metro cúbico. Determinados sectores industriales requieren volúmenes de fabricación mayores, en el orden o por encima de un metro cúbico. Algunos sectores en los que las tecnologías de fabricación aditiva ofrecen equipos con estos volúmenes de mayor formato son el de la construcción, el transporte (naval, aeroespacial, ferroviario y automoción), determinadas parcelas del diseño industrial y el arte. Existen equipos de fabricación de gran formato que trabajan con todos los tipos de materiales de ingeniería, aunque comienza a generarse una mayor disponibilidad de estos equipos para materiales de base polimérica y metálica.

El autor ha realizado recientemente algunas revisiones bibliográficas sobre esta temática, con especial orientación a la fabricación aditiva de gran formato con materiales de base polimérica. Se invita al lector a leer algunas de estas revisiones para tener una introducción al tema [12-13].

La figura 4 muestra un prototipo de equipo de fabricación aditiva de gran formato alimentado por granza de base polimérica, que permite trabajar con la técnica de denominada *Fused Granular Fabrication*

(FGF). Este prototipo se ha desarrollado para realizar mediante esta técnica probetas y prototipos de productos usando materiales desarrollados en el proyecto ADICORK. En este proyecto se desarrollan materiales compuestos de base polimérica que incorpora micropartículas de corcho, para incrementar el valor de este material de origen natural y sacar partido de sus atractivas propiedades funcionales y naturaleza sostenible (<https://www.adicork.es>). En los apartados b y c de la figura 4 se muestran ejemplos de probetas fabricadas con este material mediante FGF.

a)



b)



c)



**Figura 4.** a) Prototipo de equipo de fabricación aditiva mediante FGF, instalado en la Universidad de Cádiz. Probetas de un material compuesto de base termoplástica con micropartículas de corcho, con modificación química previa del polímero base (b) y sin ella (c), fabricadas mediante FGF.

Algunos temas dentro de esta línea en los que el autor y el grupo que dirige han centrado su actividad son el desarrollo de materiales compuestos de base polimérica para tecnologías de gran formato, el diseño orientado a estas tecnologías y la fabricación aditiva de prototipos para el sector del transporte, con especial dedicación al sector naval, con extensión a temáticas relacionadas también con fabricación aditiva en formatos habituales, para el rediseño de elementos seleccionados en el buque y en los astilleros, fabricación de repuestos, fabricación en condiciones de navegación y en otros sectores [14-19]. Otra línea en la que comienza a desarrollar actividad en la línea de fabricación aditiva en gran formato es la relativa a la fabricación de metales. En esta línea destaca la incorporación en 2021 de un equipo de fabricación mediante arco e hilo (WAAM: *Wire Arc Additive Manufacturing*) que permite trabajar en volúmenes del orden de un metro cúbico; en relación a fabricación aditiva con metales, debemos citar también desarrollos previos realizados en polvo metálico con metales preciosos modificados para la técnica de fusión selectiva por láser (SLM: *Selective Laser Melting*), en este caso usando volúmenes usuales.

Respecto a los materiales compuestos desarrollados, las bases poliméricas utilizadas incluyen un conjunto amplio de materiales termoplásticos, tales como ABS, ASA [20-21], PC, PA, PET, etc., de naturaleza elastomérica en algunos casos, de origen reciclado, natural y biodegradable en otros. El PLA es un polímero base producido a partir de recursos naturales usado habitualmente, aunque también se ha trabajado con otros tales como el PCL. Respecto a los aditivos de origen natural, actualmente el grupo trabaja intensamente en una línea de valorización a través de estas tecnologías con residuos tales como el corcho, anteriormente citado, hueso de aceituna, polvo de paja y arroz, residuos de la industria azucarera [22], etc. Una línea de trabajo del grupo, en este contexto, es la búsqueda de vías de valorización de materiales que habitualmente se utilizan como biomasa, a través del desarrollo de materiales compuestos y su transformación en productos, mediante fabricación aditiva de gran formato y a través de otras tecnologías de transformación de materiales de base polimérica.

## 6.- AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen la financiación europea, nacional y regional que ha permitido realizar en el último lustro varios proyectos relacionados con el desarrollo de materiales, diseño y fabricación aditiva (Fondos europeos ITI, Junta de Andalucía –proyectos ADICORK, NANOCOMP, 3DMATFUN-, MINECO/MICINN –proyectos LNL-PHOTON, OPTONANO, EXPLORA MEDEA-, Instituto de Salud Carlos III –proyecto VASCULAR3D-, FECYT –HOSPITAL 3D-, fondos FEDER, IMEYMAT, DFA-SCICyT, DMP-CTE-Olivillo, etc.). También se agradece la financiación aportada a través de contratos de I+D con empresas y otras entidades (Navantia, NRL-ORNG, Smart Materials 3D Printing, Bandesur, empresa CIA de tapones irrellenables, Torrent Innova,

empresa Herederos de Torrent Miranda, Verinsur, Hospitales Puerta del Mar y Virgen del Rocío, etc.).

## 7.- REFERENCIAS

- [1] ASTM International, "ASTM Designation F2792-12a: Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies.", 2013.
- [2] Gibson I., Rosen D. W., Stucker B., "Additive manufacturing technologies: Rapid prototyping to direct digital manufacturing", Springer, 2010.
- [3] Relinque J. J., Romero-Ocaña I., Navas-Martos F. J., Delgado, F. J., Domínguez, M., Molina S. I., "Synthesis and Characterisation of Acrylic Resin-Al Powder Composites Suitable for Additive Manufacturing", *Polymers* 12 (8) (2020) 1642:1-17.
- [4] de Leon A. S., Molina S. I., "Fabricación aditiva de nanocomposites semiconductores mediante estereolitografía", *Materiales Compuestos* 3(4) (2019) 49-52.
- [5] de León A. S., Molina S. I., "Influence of the degree of cure in the bulk properties of graphite nanoplatelets nanocomposites printed via stereolithography", *Polymers* 12 (2020) 1103:1-15.
- [6] Relinque J. J., de León A. S., Hernández-Saz J., García-Romero M. G., Navas-Martos F. J., Morales-Cid G., Molina S. I., "Development of surface-coated Polylactic acid / Polyhydroxyalkanoate (PLA/PHA) nanocomposites", *Polymers* 11 (2019) 400:1-12.
- [7] de León A. S., Domínguez-Calvo A., Molina S. I., "Materials with enhanced adhesive properties based on acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) / thermoplastic polyurethane (TPU) blends for fused filament fabrication (FFF)", *Materials and Design* 182 (2019) 108044:1-11.
- [8] Relinque J. J., García-Romero M. G., Hernández-Saz J., Navas J., Gil-Mena A. J., Sales D. L., Navas F. J., Morales-Cid G., Aguilera D., Perrián A., Lasagni F., Molina S. I., "Influence of the additivation of graphene-like materials on the properties of polyamide for Powder Bed Fusion", *Progress in Additive Manufacturing* 3(4) (2018) 233-244.
- [9] Diaz-Egea C., Abargues R., Martínez-Pastor J. P., Sigle W., van Aken P. A., Molina S. I., "High spatial resolution mapping of individual and collective localized surface plasmon resonance modes of silver nanoparticle aggregates, correlation to optical measurements", *Nanoscale Research Letters* 10 (2015) 310:1-6.
- [10] Diaz-Egea C., Ben T., Herrera M., Hernandez-Saz J., Pedrueza E., Valdes J., Martinez-Pastor J., Attouchi F., Mahfoud Z., Stephan O., Molina S. I., "Mapping the plasmonic response of gold nanoparticles embedded in TiO<sub>2</sub> thin films", *Nanotechnology* 26 (2015) 405702:1-8.
- [11] de la Mata, M., Catalán-Gómez S., Nucciarelli F., Pau J. L., Molina S. I., "High Spatial Resolution Mapping of Localized Surface Plasmon Resonances in Single Gallium Nanoparticles", *Small* 1902920 (2019) 1-8.
- [12] Nieto D. M., Molina S. I., "Large-format fused deposition additive manufacturing: a review", *Rapid Prototyping Journal* 26(5) (2019) 793-799.
- [13] Moreno Nieto D., Casal V., Molina S. I., "Large-format polymeric pellet-based additive manufacturing for the naval industry", *Additive Manufacturing* 23 (2018) 79-85.
- [14] Moreno Nieto D., Casal V., Abad F., Molina S. I., "Big Size Additive Manufacturing: Trends and Design Approach. A Study Case for the Naval Industry", *Proceedings del NAFEMS Nordic Seminar "Exploring the Design Freedom of Additive Manufacturing through Simulation"*, 2016, p. 65-66.
- [15] Moreno Nieto D., Molina S. I., "New Trends in Furniture Design – An Iterative CAE Methodology Adapted to Big Size Additive Manufacturing", *Proceedings del NAFEMS Nordic Seminar "Exploring the Design Freedom of Additive Manufacturing through Simulation"*, 2016, p. 67-68.
- [16] Abad F., Casal V., Moreno-Nieto D., Molina S. I., "Fabricación aditiva en la construcción naval en el contexto de la Industria 4.0", *Ingeniería Naval*, Feb. 2017 (2017) 33-39.
- [17] Moreno Nieto D., Abad Fraga F., Casal López V., Corrales Estarico E., Molina S. I., "Fabricación aditiva de gran formato para la industria naval. tecnologías existentes y metodología de diseño adaptada", *Proceedings del XXI Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos*, 2017, p. 809-817.
- [18] Molina S. I., Moreno Nieto D., Corrales Estarico E., Casal V., Abad F., "Oportunidades que ofrece la Fabricación Aditiva para mejorar las plataformas navales militares", *Actas del V Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad*, Ministerio de Defensa, 2018, p. 893-901.
- [19] Moreno-Sanchez D., Rodriguez J. D., Dominguez-Calvo A., Molina S. I., Corrales-Estarico E., Casal V., Abad F., "On board additive manufacturing of spare parts for the naval sector", *Proceedings de la International Conference "Marine Design 2020"*, The Royal Institution of Naval Architects, Londres, Reino Unido, 2020, 75-81.
- [20] Moreno-Sanchez D., Casal V., Molina S. I., "Desarrollo de materiales compuestos de base ASA para Fabricación Aditiva de gran formato", *Materiales Compuestos* 3 (2019) 91-94.
- [21] Moreno-Sanchez D., de la Mata M., Delgado F. J., Casal V., Molina S. I., "Development of Carbon Fiber Acrylonitrile Styrene Acrylate Composite for Large Format Additive Manufacturing", *Materials and Design* 191 (2020) 108577:1-10.
- [22] Suffo M., de la Mata M., Molina S. I., "A sugar-beet waste based thermoplastic agro-composite as substitute for raw materials", *Journal of Cleaner Production* 257 (2020) 120382:1-12.