IMPRESIÓN 3D REVOLUCIONANDO LA FABRICACIÓN

CARLOS TALAYERO
Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño
UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

OMAR AIT-SALEM
MSC Software

MÓNICA HAZEU
Idneo

Los componentes obtenidos por métodos de fabricación tradicional (arranque de material, conformado por deformación o moldeo) han necesitado de modelos físicos para su validación. Las técnicas de prototipado rápido que se basaron en deposición de material (impresión 3D) y que supusieron una alternativa a estos métodos tradicionales, han dado lugar a tecnologías no sólo válidas para dicho prototipado, sino con capacidad de producción de pieza final tanto singular, como de series de considerable volumen. La tecnología que comenzó en la industria con el uso de plásticos, está en constante evolución permitiendo hoy día el uso desde el metal hasta el hormigón, pasando por los polímeros al alcance de usuarios particulares. Esto hace posible su expansión a ámbitos o industrias de todo tipo (automoción, aeroespacial, médica, civil, etc.), llegando hasta el uso doméstico. De la mano de la tecnología de fabricación van las capacidades de diseño y predicción de comportamiento mediante maquetas virtuales que hacen las veces de modelos de validación.

PALABRAS CLAVES •
revolución, tecnología, fabricación, impresión 3D

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO •
Talayero C, Ait-Salem O, Hazeu M. 2020. "Impresión 3D: revolucionando la fabricación" en: UEM STEAM Essentials

INTRODUCCIÓN

La impresión 3D (tres dimensiones) es una tecnología de fabricación aditiva que genera piezas, generalmente sólidas (tanto rígidas como flexibles), a partir de un fichero digital mediante la adición de capas sucesivas del material utilizado lo que pueden ser considerados como cortes de la pieza final (3D Printing, 2019; Conner et al., 2014). Es considerado uno de los agentes de la denominada Industria 4.0 (Sols, 2020). Aunque se concibió por primera vez en los años 70 y la primera patente de prototipado rápido data de 1980 del Dr. Kodama ("Stereoscopic figure drawing device," 1980), fue 11 años más tarde cuando *Stratasys* patentó la tecnología de "Extrusión de material" ("Model prodn. by selective photopolymerisation of liq. or powder - using active liq. crystal mask or active light source controlled by computer instead of controlled movement focused laser," 1992), siendo esta compañía de las primeras en desarrollar impresoras para uso profesional y personal. A partir del año 2000, la impresión 3D ganó visibilidad en los medios. En estos últimos 20 años se ha ganado la atención de las compañías y, cada vez más, del público general ("The History of 3D Printing: From the 80s to Today," n.d.).

Esta tecnología tiene un fundamento contrario a la tradicional de arranque de material (mecanizado) para crear vaciados o taladros, evitando así la creación de desperdicios (viruta) y posibilitando la existencia de geometrías comple-

jas que no podrían ser fabricadas por una herramienta de corte debido a su tamaño, posición o ángulo entre otros parámetros. En ese aspecto, tiene cierta similitud a los métodos de moldeo (fundición, inyección metálica o plástica entre otros) pero con la diferencia fundamental de que la impresión 3D es un proceso progresivo y controlado de adición de material que permite el diseño y fabricación del interior de las piezas, no siendo esto posible en tecnologías de moldeo, donde el material fluido entra a un molde donde se pierde el control del interior de la pieza a fabricar. Así, mediante impresión 3D se pueden crear desde sólidos macizos a estructuras huecas o reforzadas mediante patrones, por ejemplo, de panal de abeja. De estas posibilidades de diseño se hace necesario cambiar tanto el proceso como los conceptos de diseño tradicional, dando lugar a geometrías no necesariamente regulares o simétricas (muchas veces limitadas por el proceso de fabricación) a las que se llega mediante algoritmos de optimización topológica y resultando en las denominadas "geometrías orgánicas" por su semejanza con estructuras existentes en la naturaleza (coral, conjuntos rocosos o disposición de ramas entre otros) (Gardan & Schneider, 2015; Kentli, 2020).

En cuanto a los materiales a utilizar ("3D Printing Materials Selection Guide | SLA, SLS, DMLS," n.d.) varían desde los polímeros biodegradables de propiedades mecánicas de bajo perfil, como el PLA (ácido poliláctico), polímeros reforzados con fibra de vidrio o carbono (Brenken, Barocio, Favaloro, Kunc, & Pipes, 2018), o metales (los más extendidos hoy día son el titanio y el acero) (Frazier, 2014). Estos materiales unidos a las tecnologías de fabricación (la maquinaria necesaria) abren un extenso abanico de posibilidades tanto industriales como a particulares, atendiendo a los criterios de coste, velocidad de producción (y, consecuentemente, tamaños de la serie), calidad final (tolerancias y acabados), propiedades mecánicas (resistencia mecánica, resistencia a agentes corrosivos, densidad o rigidez entre otras) o aspecto visual.

El modelado para la simulación es fundamental en la validación virtual de piezas y conjuntos antes de ser lanzados a producción e incluso previos a la fase de prototipado físico. Para ello, y considerando que las piezas fabricadas por impresión 3D pueden ser usadas como pieza final en aplicaciones mecánicas (sectores de automoción, aeroespacial, ferrocarril, instalaciones industriales...) los recursos habituales de cálculo estructural han tenido que evolucionar, en especial, los métodos de análisis estructural, creando nuevos algoritmos de mallado (discretización de un volumen, esto es, la división de un volumen continuo – de formas complejas en ocasiones - en elementos de tamaño menor con una geometría dada que se adapten a la geometría de estudio) así como de definición de la geometría a partir de los requisitos de volumen, rigidez o tensión (optimización topológica).

TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D

A pesar de ser un método de fabricación relativamente nuevo, existen ya una gran variedad de métodos de fabricación aditiva. Todos se basan en el mismo principio: la elaboración de una pieza mediante la deposición gradual de material adicional. Esto se distingue de la fabricación sustractiva, donde se parte de un bloque y se elimina el material sobrante (tal y como se realiza en la escultura tradicional), y del conformado, donde se deforma plásticamente el material original para que adopte la forma final.

A continuación, se resumen las categorías reconocidas por la ISO/ASTM 52900:2017 (Hazeu-Gonzalez, 2020):

a » Extrusión de material (FDM – Fused Deposition Modelling): un filamento de un material (principalmente termoplásticos, que pueden contener partículas de otro material) se hace pasar por un conducto que lo calienta por encima de la temperatura de transición vítrea y posteriormente se extruye por un inyector (*nozzle* en la terminología habitual en inglés). El plástico extruido se va depositando capa a capa sobre una base denominada "cama" siguiendo el contorno de la pieza.

b » Fotopolimerización *(Vat Polymerization)* con las tecnologías SLA *(Stereolithography)* y DLP *(Digital Light Processing)*: consiste en el curado capa a capa mediante luz ultravioleta focalizada de una piscina de resina fotosensible.

c » Fusión de lecho de polvo *(Powder Bed Fusion)* con las tecnologías SLS *(Selective Laser Sintering)*, DMLS *(Direct Metal Laser Sintering)*, SLM *(Selective Laser Melting)* y EBM *(Electron Beam Melting)*: en un recipiente se añaden finas capas de polvo de materiales plásticos (SLS) o metálicos (SLM, DMLS) que se van fundiendo de manera localizada, capa a capa, mediante un láser u otros métodos como lámparas *(Multijet Fusion)* o un haz de electrones (EBM). Una vez solidificado todo el material que define la pieza se debe retirar el polvo sobrante (no solidificado) de alrededor de la pieza, siendo común un recocido posterior para eliminar tensiones internas.

d » Inyección de material *(Material Jetting)*: gotas de material se disparan por un inyector y son inmediatamente curadas por una luz ultravioleta capa a capa. Dado que esta tecnología necesita soportes densos en toda la pieza a causa de que el material que sale del inyector es líquido, se debe usar un material de construcción y otro de soporte, siendo este último hidrosoluble para así poder retirarlo a posteriori de manera sencilla en baño de agua.

e » Inyección de aglutinante *(Binder Jetting)*: se añaden finas capas de polvo sobre las que se dispara selectivamente

un aglutinante/pegamento. Tras la impresión, las piezas se limpian de polvo y después se sinterizan (piezas metálicas) o se infiltran con adhesivo de cianoacrilato (plásticos/arena).

f » Deposición directa de energía *(Direct Energy Deposition) (LENS – Laser Engineered Net Shaping, EBMD – Electron Beam Direct Manufacturing)*: conocido como soldadura 3D, consiste en fundir polvo o hilo metálico saliendo por un inyector para irlo depositando capa a capa de forma parecida a un cordón de soldadura con aportación.

g » Laminación de hojas *(Sheet Lamination) (LOM – Laminated Object Manufacturing, UAM – Ultrasound Additive Manufacturing)*: consiste en laminar hojas de material y cortarlas capa a capa según la forma deseada

En la Tabla 1 se puede ver una comparativa de estas tecnologías.

Tabla 1 » Comparativa de tecnologías de impresión 3D.
Fuente: elaboración propia

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
EXTRUSIÓN DE MATERIAL	+ Bajo coste + Gran disponibilidad + *Lead Time* bajo	- La menor precisión dimensional - Capas altamente visibles - Anisotropía
FOTOPOLIMERIZACIÓN	+ Alta precisión dimensional + Buen acabado sin post-procesar	- Piezas generalmente frágiles - Degradación con la exposición al sol - Soportes siempre necesarios
FUSIÓN DE LECHO DE POLVO (PLÁSTICO)	+ Isotropía + Sin soportes + Lotes pequeños a medianos	- Acabado superficial granular - Superficies grandes o agujeros pequeños pueden ser problemáticos
FUSIÓN DE LECHO DE POLVO (METAL)	+ Pieza sólida tras impresión + Bases paletizadas permiten mecanizado posterior con facilidad + Lotes pequeños a medianos	- Anisotropía, tensiones internas (post-procesado) - Polvo metálico (tóxico, explosivo) - Requiere soportes siempre - Alto coste
INYECCIÓN DE MATERIAL	+ Buen acabado superficial (comparable a inyección) + Isotropía + Multi-material	- Prototipos no funcionales (frágil) - Fotosensible - Coste alto - Soportes siempre
INYECCIÓN DE AGLUTINANTE (ARENA)	+ Piezas grandes (p.ej. moldes) + Menor coste (vs Inyección de material) + Sin soportes	- Frágil - Acabado rugoso - Materiales limitados
INYECCIÓN DE AGLUTINANTE (METAL)	+ Menor coste (vs Fusión de lecho de polvo) + Sin efectos térmicos en la impresión (isotropía) + Lotes pequeños a medianos + Sin soportes	- Frágil hasta el sinterizado - Alta contracción en sinterizado - Mayor tamaño de detalle mínimo - Polvo metálico (tóxico, explosivo)
DEPOSICIÓN DIRECTA DE ENERGÍA	+ Alta velocidad de fabricación + Permite reparación de piezas + Piezas de gran tamaño	- Coste alto - Baja precisión dimensional
LAMINACIÓN DE HOJAS	+ Alta velocidad de fabricación + Sin soportes	- Baja precisión dimensional - Unión entre capas débil

APLICACIONES DE LA IMPRESIÓN 3D

A día de hoy, tras una década de rápida implantación de la tecnología de fabricación aditiva, se resumen algunas de sus aplicaciones en diversos ámbitos.

La Impresión 3D en la industria

Fue la industria, y dada la necesidad de prototipos físicos para validación de diseños, la que aceleró el crecimiento de las tecnologías de fabricación aditiva. De hecho, hasta hace poco tiempo, era conocido casi exclusivamente por tratarse de un medio de "prototipado rápido" para piezas plásticas, principalmente, donde los mecanizados no siempre eran viables. Desde sus primeras aplicaciones mediante tecnologías de estereolitografía para obtener prototipos geométricos, la accesibilidad a las nuevas máquinas, tanto de impresión de plástico como metálica, están suponiendo un fuerte cambio en la producción industrial. Así, la aplicación va desde un mayor uso en la aplicación original de prototipado (costes y tiempos reducidos y rentables), hasta un sinfín de nuevas aplicaciones. A continuación, se listan algunos usos que la industria de fabricación o ensamblaje está haciendo de la impresión 3D (Gardan & Schneider, 2015; Kentli, 2020): útiles de control, accesorios para robots (garras, asideros, centradores, etc.) diseñados para piezas concretas, soportes – separadores – utillaje de almacenamiento, moldes y componentes de matricería o recambios de herramientas.

El hecho de disponer, además, de una fabricación flexible, que no necesita de moldes, troqueles o utillaje especial, elimina el requisito de fabricar donde está la tecnología (prensas, etc.). Adicionalmente, las máquinas no están condicionadas a una única referencia, pudiendo intercalar piezas totalmente diferentes (distinto cliente, distinto proyecto, recambios, etc.) o incluso imprimirlas de manera simultánea para aprovechar las capacidades de los equipos. Esta flexibilidad no sólo en el diseño (se pueden conseguir piezas que hasta ahora no eran viables mediante los medios de producción actuales – contrasalidas, piezas huecas o con geometrías concretas en cavidades, geometrías irregulares…) sino en la producción, suponen un necesario cambio de planteamiento en la estrategia de implantación de una fábrica y en el ciclo de vida de un producto.

Actualmente, las industrias de automoción, aeronáutica, aeroespacial y ferroviaria están utilizando e investigando en aplicaciones y tecnologías de la impresión 3D, cada una dentro de sus necesidades (volumen de producción, calidad superficial, resistencia a fatiga, fiabilidad, etc.).

La Impresión 3D en la educación

Al igual que la flexibilidad en diseño y producción permiten establecer nuevos modos de diseñar y fabricar, es la misma versatilidad la que genera un beneficio en la obtención de competencias de los estudiantes. La metodología de aprendizaje basado en proyectos, en la que los retos que se le presentan a los estudiantes suponen la realización de algún demostrador tecnológico o prototipo funcional, requiere disponer de un abanico de recursos para fabricar, montar y probar casi cualquier dispositivo. La fabricación aditiva es un recurso más de fabricación, especialmente importante por su rapidez, bajo coste y alta versatilidad especialmente en la formación de estudiantes "STEAM" *(Science, Technology, Engineering, Arts, Math)*, permitiendo la creación de maquetas funcionales, componentes mecánicos, prototipos de ensamblajes o estructuras arquitectónicas entre otros. Además, los recursos también permiten una integración con, por ejemplo, ciencias biomédicas o fisioterapia, donde la tecnología está cobrando importancia en la fabricación de prótesis o sistemas de rehabilitación, entre otros.

Mediante el acceso a la tecnología de impresión 3D en la formación se consigue un objetivo doble: la obligación de que el profesorado se mantenga al día del estado del arte, y que el estudiante no sólo se familiarice con la tecnología, sino que interiorice sus capacidades de manera natural, lo que es necesario para explotar el potencial, en este caso, de la impresión 3D.

La Impresión 3D en casa

La globalización ha puesto al alcance de todos el acceso a la información mediante diversos canales, principalmente, a través de la difusión gratuita de videos en internet. El fenómeno "maker" (constructor) se ha difundido rápidamente tanto a niveles de investigación (universidades, empresas) como a nivel particular, dando lugar a un gran volumen de recursos tecnológicos disponibles para cualquier usuario particular a un coste muy reducido. Así, se disponen de impresoras que se fabrican "a sí mismas", software de código abierto o kits electrónicos DIY ("*do it yourself*" o "hazlo tú mismo"), además, por supuesto, de una amplia gama de impresoras disponibles para su compra.

El hecho de que a nivel particular se disponga del acceso a la tecnología de la impresión 3D permite, una vez más, abrir la imaginación a nuevos modelos de negocio. Por ejemplo, ante un juguete roto, el fabricante puede enviar un fichero al usuario para que lo imprima y repare. Esta acción se puede replicar en utensilios de cocina o en accesorios de moda con la misma máquina, cuando no sea el propio usuario el que cree la solución a través el diseño mediante ordenador (CAD) de una pieza que cumpla su necesidad.

DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO IMPRESIÓN 3D

La simulación en la fabricación aditiva surge de la necesidad de obtener piezas que cumplan distintos criterios de calidad desde la primera impresión (Schafstall, Assaker, & Mensing, 2020). Esto es tanto más crucial cuanto más costoso es el material que se utiliza (por ejemplo, la impresión de piezas de titanio en la industria aeronáutica). Los procesos de fusión por lecho de polvo permiten adaptar e incrementar la complejidad de los diseños. En la figura 1 (izquierda) la ventaja de la fabricación aditiva para el prototipado rápido es la ausencia de utillajes. Por tanto, el coste de fabricar partidas reducidas es bajo. En realidad, el coste permanece constante, pero en el uso de métodos convencionales el coste inicial es muy elevado, pero debido a los efectos de escala dicho coste por pieza se reduce. En la figura 1 (derecha) la fabricación de piezas complejas es posible mediante la fabricación aditiva con un mínimo coste adicional, mientras que, con los métodos tradicionales, en ocasiones, es incluso inviable, resultando en la fabricación de distintos subcomponentes y posterior ensamblaje.

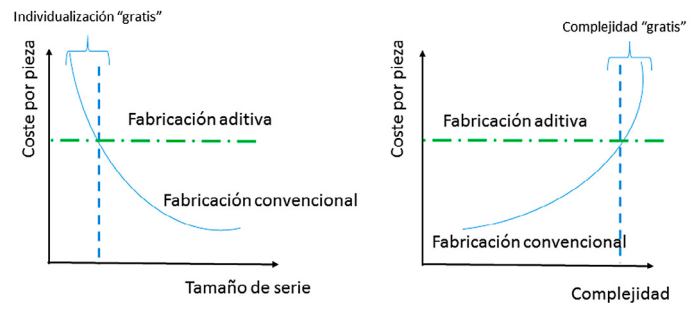


Figura 1 » La fabricación aditiva permite la personalización y complejidad de diseño sin coste adicional. Izquierda: Coste vs Tamaño de serie. Derecha: Coste vs Complejidad.
Fuente: elaboración propia

Una enorme cantidad de tiempo improductivo y costes se pueden asociar a una estrategia de ensayo y error. Actualmente, existen en el mercado soluciones de simulación como *Simufact Additive* que pretenden resolver los problemas asociados a la distorsión durante todo el proceso de impresión. Esta distorsión de los componentes es un impedimento para las empresas para no obtener todos los beneficios que ofrece la fabricación aditiva. La simulación del proceso de fabricación aditiva permite encadenar la fase de diseño de la pieza o componente con la generación del fichero que se va a utilizar para la propia fabricación real. Durante el proceso de simulación se pueden evaluar aspectos como la orientación de las piezas, los soportes necesarios para la impresión de cavidades o voladizos, así como las posibles compensaciones necesarias para reducir las distorsiones que se pueden producir durante el proceso de fabricación aditiva (figura 2):

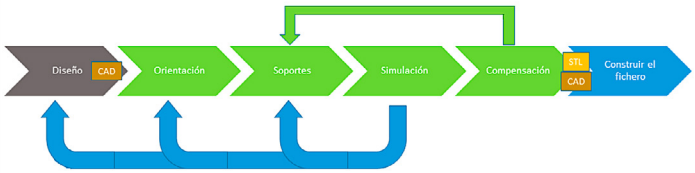


Figura 2 » Proceso de diseño y fabricación por impresión aditiva.
Fuente: elaboración propia

El proceso de simulación cubre las dos grandes ramas, piezas metálicas y piezas plásticas, pudiendo realizarse desde dos enfoques:

a » Enfoque Macro: principalmente utilizado para una evaluación rápida de las distorsiones y las tensiones residuales. Dicho enfoque se realiza a nivel de las capas y permite la generación automática de los soportes.

b » Enfoque Meso: en este caso se entra en un nivel de detalle más profundo ya que el foco se pone en las propiedades mecánicas de la pieza fabricada, así como en la distribución de temperaturas inherentes al proceso. Se requiere el conocimiento de un mayor número de propiedades físicas del material, así como tener en cuenta las dependencias de las temperaturas. El análisis se puede realizar acoplado (termo-estructural) o desacoplado teniendo en cuenta ambas por separado.

Una de las ventajas de dichos procesos de simulación es la rapidez con la que se pueden obtener resultados, sin tener que hacer uso de grandes recursos de hardware, obteniendo resultados del entorno de 10 minutos para piezas singulares en equipos de uso común (4 núcleos a 2,6 GHz, 16 GB de RAM).

En la figura 3 se muestra un ejemplo del resultado de dichas simulaciones, donde la optimización posible dada las capa-

Figura 3 » Simulación en fabricación aditiva para pieza aeronáutica.
Fuente: Airbus Group innovation

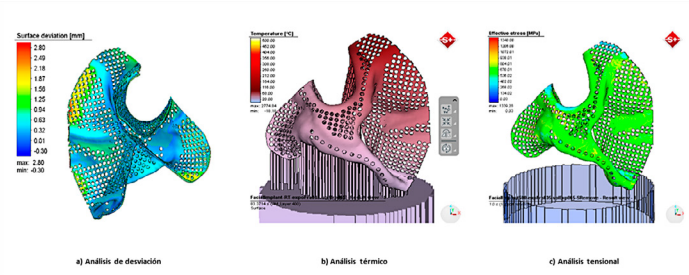
Figura 4 » Simulación en fabricación aditiva para implante. **Fuente: MSC Software**

cidades de fabricación llevan a una pieza más ligera y, como consecuencia, más respetuosa con el medio ambiente con una reducción, en el caso mostrado, del 40% de emisiones de CO_2 en el ciclo de vida completo de la pieza.

En la figura 4 se muestra una simulación para un paciente concreto, donde se deseaba fabricar un implante de aleación de titanio.

Dado que la geometría a fabricar posee zonas de alta curvatura (superficies "poco suaves") que son fuente de distorsión en la pieza final, los principales retos en la impresión para este caso fueron: evitar deformación plástica, evitar las precargas en el implante y verificar la fabricabilidad con o sin lecho caliente. En la figura 5 se muestran los resultados:

Figura 5 » Resultados de simulación en fabricación aditiva para implante. **Fuente: MSC Software**



RETOS DE LA IMPRESIÓN 3D

Tras el análisis de los recursos y capacidades a día de hoy, se plantean retos en diversos aspectos:

a » Acceso a la tecnología. Desde el punto de vista económico (principalmente debido al equipo físico más que a las licencias de software, muchas de uso gratuito), la maquinaria necesaria para las tecnologías punteras, especialmente las relacionadas con metal, hace que la inversión no siempre se vea compensada con los beneficios

b » Calidad final, especialmente en productos industriales, donde las tolerancias y calidades superficiales son esenciales para el correcto funcionamiento en numerosos casos. Los valores listados en la tabla 1 aún están lejos de los obtenidos por tecnologías de mecanizado o corte fino (del orden de centésimas de milímetro)

c » Tecnología robusta, para evitar problemas de fisuras y, especialmente, de fatiga. Independientemente del material utilizado, ya sea metal (Jaskari, Mäkikangas, Järvenpää, Mäntyjärvi, & Karjalainen, 2019) o plásticos (Safai, Cuellar, Smit, & Zadpoor, 2019), el resultado de unir de manera progresiva sucesivas capas no resulta en propiedades idénticas a las obtenidas mediante colada y posterior conformado

d » Velocidad de producción, para llegar a volúmenes comparables a tecnologías de alta producción como estampación de chapa o inyección de plástico. Aun sacando provecho de la versatilidad del uso de los equipos, tendiendo a aprovechar al máximo la capacidad de impresión disponible (por ejemplo, se imprimen unas piezas encima o al lado de otras iguales o distintas), todavía se está lejos de los miles de piezas por hora necesarios en ciertas industrias

e » Cambio en la **mentalidad de diseño** para fabricación

tradicional, necesaria para sacar provecho a la tecnología. Es necesario un ejercicio de profundización en la tecnología de Impresión 3d para romper barreras existentes en el diseño actual, pensando en nuevas maneras de cumplir las mismas funciones, eliminando ciertas etapas de montaje que pueden ser obtenidas directamente en la impresión o, incluso, eliminando componentes de unión necesarios hoy día (tornillos, clips, adhesivos). Este cambio también debe afectar a la **mentalidad de producción**, ya que el concepto de línea, lote u orden de fabricación pueden llegar a perder el sentido cuando la máquina es capaz de hacer piezas muy distintas de manera simultánea. A modo de ejemplo, podría darse el caso de fabricar en una misma máquina, en un mismo programa de impresión, tres juguetes de colores diferentes, un implante dental y una pieza para un soporte de aviación.

En paralelo al trabajo para superar estos retos o barreras, se debe trabajar en el aprovechamiento de las capacidades de la impresión 3D en **nuevos modelos de negocio y funciones:** recambios y piezas descatalogadas, piezas y prótesis a medida, ahorro en costes logísticos (se envía un fichero, no una pieza), piezas a demanda y sin cambio de utillaje (se pueden fabricar piezas para cliente o para mantenimiento en la misma máquina y sin cambios de órdenes de trabajo, etc.). Igualmente, se investiga constantemente en el **desarrollo de nuevos materiales** para fabricación aditiva, que permitan no sólo piezas con un fin mecánico, sino impresión de, por ejemplo, tejido orgánico o alimentos entre otros (actualmente en fase de investigación) y la denominada "Impresión 4D" donde el resultado final es capaz de cambiar de forma mediante la aplicación de una fuente de energía externa (luz, temperatura, etc.) (Ge, Qi, & Dunn, 2013; Tibbits, 2014)

CONCLUSIONES

Habiendo evaluado las características de la fabricación aditiva, queda patente su aplicabilidad, así como su potencial por explorar. Se expone al inicio la gran variedad de tecnologías existentes en la actualidad. Esto demuestra no sólo la posibilidad de adaptación a distintas aplicaciones, sino también el gran interés por parte de la industria que ha promovido el avance de este método de fabricación. Esto ha permitido mejoras en las empresas de fabricación como la flexibilización de las referencias a construir en la misma máquina, la fabricación local y la agilización del prototipado. También ha aportado al ámbito de la educación, principalmente como apoyo a estudiantes de carreras STEAM, pero también cobrando importancia en otros ámbitos. Adicionalmente, la fabricación aditiva ha permitido la "democratización" de la fabricación, acercando dicha fabricación al usuario final con impresoras de uso doméstico.

Queda claro, por otro lado, que la fabricación aditiva no puede alcanzar su máximo potencial en solitario; debe apoyarse en otras tecnologías. Un ejemplo de esto se ha visto en el área de simulación del proceso de fabricación mediante programas dedicado a ello. Esta simulación previa puede ayudar a reducir los defectos de calidad en la fabricación, reduciendo los costes totales de la fabricación.

No todo está resuelto en la fabricación aditiva. Todavía quedan retos por resolver, entre ellos la mejora de la calidad de la pieza final y el aumento de la velocidad de producción. Dado el creciente interés de la industria por esta tecnología, cabe esperar que en el futuro cercano se avance significativamente hacia la superación de estos retos, no sólo por la mejora de la tecnología de fabricación en sí, sino también por su integración horizontal con otras tecnologías de simulación, gestión de la producción, etc. Ante todo, se debe considerar que el objetivo no es que la fabricación aditiva sustituya a todas las demás tecnologías de fabricación, sino que amplíe el catálogo de formas a fabricar o, en todo caso, que las sustituya en aquellas áreas en las que la fabricación aditiva aporta un valor diferencial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3D Printing. (2019). What is 3D printing? How does a 3D printer work? Learn 3D printing.

3D Printing Materials Selection Guide | SLA, SLS, DMLS. (n.d.). Retrieved September 15, 2020, from *https://www.protolabs.com/resources/guides-and-trend-reports/selecting-the-right-material-for-3d-printing/*

Brenken, B., Barocio, E., Favaloro, A., Kunc, V., & Pipes, R. B. (2018, May 1). Fused filament fabrication of fiber-reinforced polymers: A review. ***Additive Manufacturing***. Elsevier B.V. *https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.01.002*

Conner, B. P., Manogharan, G. P., Martof, A. N., Rodomsky, L. M., Rodomsky, C. M., Jordan, D. C., & Limperos, J. W. (2014). Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services. ***Additive Manufacturing***, 1, 64–76. *https://doi.org/10.1016/j.addma.2014.08.005*

Frazier, W. E. (2014). Metal additive manufacturing: A review. ***Journal of Materials Engineering and Performance***. *https://doi.org/10.1007/s11665-014-0958-z*

Gardan, N., & Schneider, A. (2015). Topological optimization of internal patterns and support in additive manufacturing. ***Journal of Manufacturing Systems***, 37, 417–425. *https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.07.003*

Ge, Q., Qi, H. J., & Dunn, M. L. (2013). Active materials by four-dimension printing. ***Applied Physics Letters***, 103(13), 131901. *https://doi.org/10.1063/1.4819837*

Hazeu-Gonzalez, M. (2020). ***Trabajo Fin de Máster***. Retrieved from *https://reunir.unir.net/handle/123456789/9959*

Jaskari, M., Mäkikangas, J., Järvenpää, A., Mäntyjärvi, K., & Karjalainen, P. (2019). Effect of high porosity on bending fatigue properties of 3D printed AISI 316L steel. ***In Procedia Manufacturing*** (Vol. 36, pp. 33–41). Elsevier B.V. *https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.08.006*

Kentli, A. (2020). Topology Optimization Applications on Engineering Structures. ***In Truss and Frames - Recent Advances and New Perspectives***. IntechOpen. *https://doi.org/10.5772/intechopen.90474*

Model prodn. by selective photopolymerisation of liq. or powder - using active liq. crystal mask or active light source controlled by computer instead of controlled movement focused laser. (1992).

Safai, L., Cuellar, J. S., Smit, G., & Zadpoor, A. A. (2019, August 1). A review of the fatigue behavior of 3D printed polymers. ***Additive Manufacturing***. Elsevier B.V. *https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.03.023*

Schafstall, H., Assaker, R., & Mensing, V. (2020). ***Additive Manufacturing 2020. Smarter 3D Printing First Time Right by Design***. Retrieved from *https://www.mscsoftware.com/sites/default/files/Hexagon_MI_MSC_AM_ebook_A4_w.pdf*

Sols, A. (2020). INDUSTRIA 4.0: LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL. ***UEM STEAM Essentials***.

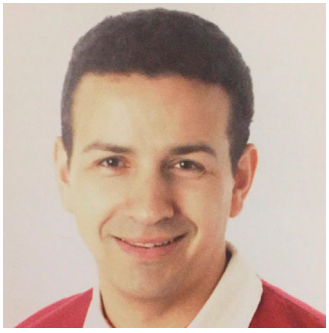
Stereoscopic figure drawing device. (1980).

The History of 3D Printing: From the 80s to Today. (n.d.). Retrieved October 15, 2020, from *https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/*

Tibbits, S. (2014). 4D printing: Multi-material shape change. ***Architectural Design***, 84(1), 116–121. *https://doi.org/10.1002/ad.1710*

BIOGRAFÍAS

Carlos Talayero es Ingeniero Industrial y Doctor en Ingeniería Mecánica por la UPM. Desde 2005 es consultor en Ingeniería de producto para diversos sectores industriales (automoción, ferrocarril…). Desde 2014 es profesor de la Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño de la Universidad Europea de Madrid. Está certificado en SolidWorks a nivel profesional. Es vocal del Comité de Automoción de la Asociación Española para la Calidad. Entre 2018 y 2020 ha sido miembro del Grupo de coordinación de Formula Student Spain. Sus publicaciones científicas se enmarcan en el modelado y simulación mecánica se sistemas biológicos. Dirige el Curso en Gestión y Dirección de la Seguridad Vial de UNITAR

Monica Hazeu es Ingeniera Mecánica con Máster en Industria 4.0. Ha trabajado en diversas áreas, empezando su carrera profesional en el ámbito de la climatización de trenes, pasando después a la automoción. En la actualidad trabaja como ingeniero de industrialización de impresoras 3D de metal en Idneo, dando soporte a HP. Adicionalmente, ha participado en proyectos de formación sobre fabricación aditiva, con IBTICAE en el proyecto Mubadala y en formato Master class con la Universidad Europea de Madrid.

Omar Ait-Salem Duque es Doctor Ingeniero Industrial por la UPM, ha participado como investigador en diversos proyectos europeos (VC-COMPAT, ADVICE…). Posee 20 años de experiencia en entornos de simulación y ensayos. Desde hace 2006 trabaja en MSC.Software, primero como Director técnico y actualmente como Director de país. Asimismo, ha sido profesor asociado desde 2006 en diversas universidades. Cuenta con las acreditaciones de Profesor Contratado Doctor y Profesor Doctor de Universidad Privada.