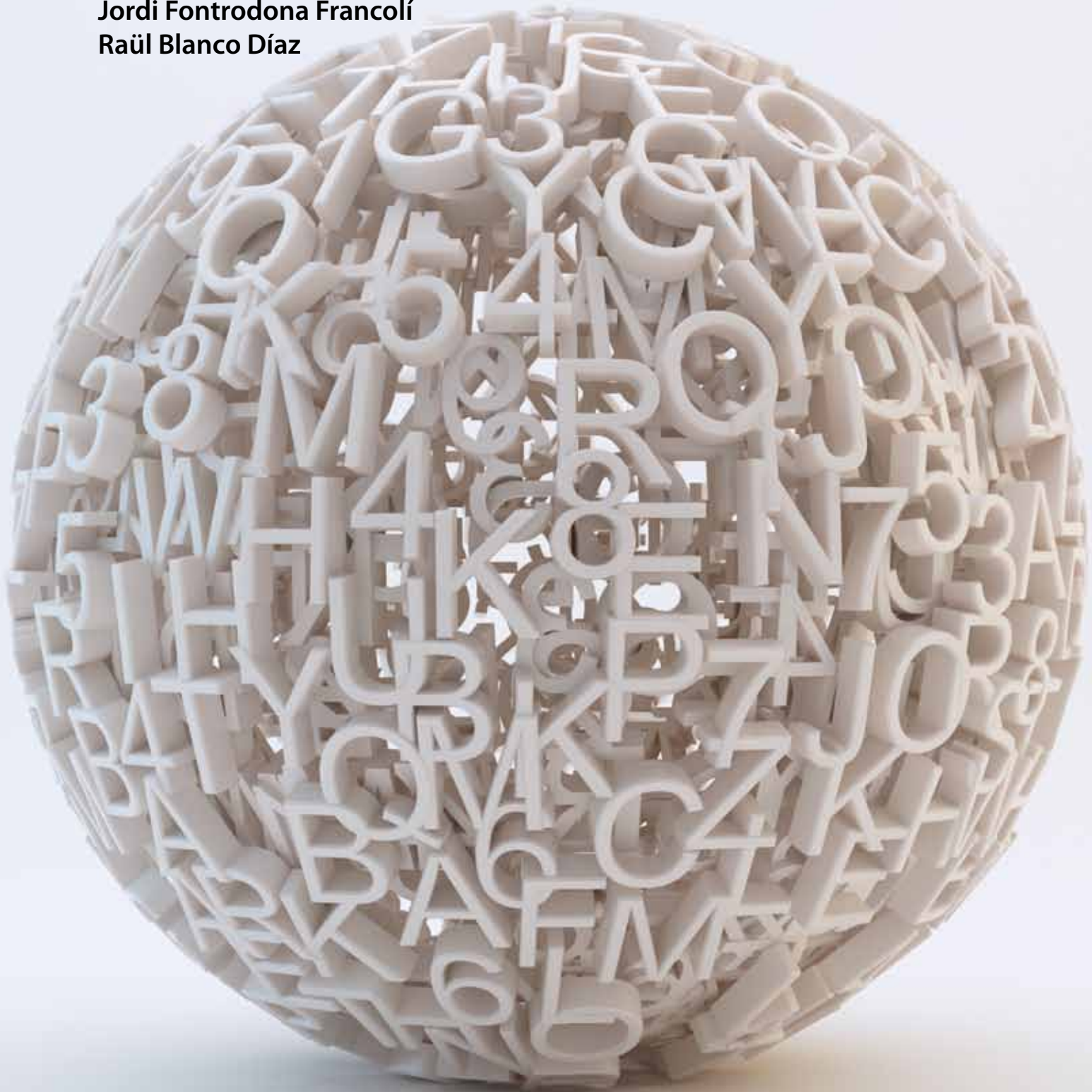


# Estado actual y perspectivas de la impresión en 3D

Jordi Fontrodona Francolí  
Raül Blanco Díaz



© Generalitat de Catalunya

Departamento de Empresa y Empleo

Dirección General de Industria

Passeig de Gràcia, 129

08008 Barcelona

Tel. 93 476 72 00

<http://empresaiocupacio.gencat.cat>

### Estado actual y perspectivas de la impresión en 3D

Jordi Fontrodona Francolí

Raül Blanco Díaz

Dirección General de Industria

Diseño y maquetación: [www.cege.es](http://www.cege.es)

Barcelona, diciembre de 2014

D. L.: B 27732-2014

El Departamento de Empresa y Empleo no participa necesariamente de las opiniones manifestadas en los documentos de la colección «Artículos de economía industrial», cuya responsabilidad corresponde exclusivamente a los autores.



#### Aviso legal

Esta obra está sujeta a una licencia Reconocimiento –No Comercial– Sin Obras Derivadas 3.0 de Creative Commons. Se permite su reproducción, distribución y comunicación pública siempre que se cite al autor y no se haga uso comercial de la obra ni se generen obras derivadas.

La licencia completa se puede encontrar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.ca>

# 1. Introducción

La **impresión en tres dimensiones** (*3D printing*) es el proceso de unir materiales para hacer objetos a partir de un modelo digital, normalmente poniendo una capa encima de otra, por contraposición a las metodologías de fabricación sustractivas, tales como el mecanizado tradicional.

Sin embargo, este término se asocia más bien a la impresión hecha en casa o en comunidad, mientras que si se aplica en tecnologías de producción y a cadenas de suministro, se suele utilizar el término **fabricación aditiva** (*additive manufacturing, AM, o rapid manufacturing*)<sup>1</sup>.

Esta tecnología representa una revolución en la manera de trabajar los materiales a lo largo de la historia. La primera técnica fue la sustractiva: un material es apartado sucesivamente de un bloque sólido hasta que se obtiene la forma deseada (como las herramientas de la edad de piedra). En el 6000 antes de Cristo se aprendió a combinar y a juntar elementos y materiales, como es el caso de los tejidos. En el 3000 antes de Cristo, se empezaron a aplicar fuerzas mecánicas y/o calor para conseguir la forma deseada con técnicas como la flexión, la fundición o el amoldamiento.

Aparte de algunas experiencias previas, se puede decir que la impresión en 3D empezó en 1984, cuando Chuck Hull patentó su sistema en los Estados Unidos, con el nombre de *stereolitography*. En 1986 creó la empresa 3D Systems y otras le siguieron, de forma que en 1987 el prototipado rápido (*Rapid Prototyping*) ya era una realidad comercial. En 1990 se empieza a aplicar la fabricación aditiva para obtener patrones de fundición (*Rapid Casting*); en 1995, para obtener herramientas de producción, especialmente moldes de inyección (*Rapid Tooling*), y en el 2000, para obtener piezas de producción (*Rapid Manufacturing*). A partir de aquí, el desarrollo ha sido muy rápido, gracias también a la expiración de diferentes patentes<sup>2</sup>: si entre 1984 y 2011 se vendieron en el mundo 45.000 impresoras 3D, en 2012 se vendieron el mismo número en un solo año.

La tecnología de la impresión 3D hace, pues, 30 años que existe, pero se ha difundido ampliamente en los últimos cinco años por diferentes causas:

- La disponibilidad de nuevos materiales con mayores funcionalidades y prestaciones.

- El vencimiento de las patentes que protegían algunas tecnologías de fabricación aditiva, permitiendo así la entrada al mercado de universidades y empresas pequeñas fabricando y comercializando impresoras personales económicamente muy asequibles.

- La tarea de máquetin que están realizando las empresas líderes a nivel global.

- Las aplicaciones insospechadas que han permitido estas tecnologías de fabricación y la difusión que ha permitido Internet.

Los materiales que pueden trabajar las impresoras 3D son muy diversos (más de 200) y van desde productos orgánicos (ceras, células, tejidos, alimentos) hasta metales (aluminio, titanio, acero inoxidable...), pasando por materiales cerámicos (grafito, zirconio...) y polímeros (ABS, poliamida, policarbonato...). Algunas máquinas pueden combinar materiales, haciendo un objeto rígido en una parte y blando en otra. Asimismo, pueden producir componentes plenamente funcionales, incluyendo mecanismos complejos, baterías, transistores o LED.

La máquina que patentó Chuck Hull funcionaba utilizando un láser ultravioleta para solidificar una fina capa de resina acrílica y, con la repetición del proceso añadiendo resina encima y solidificándolo de nuevo, creaba, capa sobre capa, el objeto en tres dimensiones. Otras formas de impresión 3D han surgido desde entonces, pero todas trabajan como un proceso aditivo, construyendo objetos por adición de material capa a capa. El *software* que dirige el proceso hace una serie de lonchas digitales del modelo generado con CAD3D y envía la descripción de estas capas a la impresora, que las va reproduciendo y añadiendo una encima de la otra hasta que resulta el objeto sólido completo.

Los procesos de AM pueden ser clasificados por el tipo de material que utilizan, por la técnica de deposición o por la manera en la cual el material se funde o se solidifica. Los procesos se han categorizado en siete áreas:

1. Vat Photopolymerisation
2. Material Jetting
3. Binder Jetting
4. Material Extrusion

1 Otros términos que se utilizan son: *Generative Manufacturing* (Alemania), *eManufacturing* (Alemania), *Constructive Manufacturing* (Alemania), *Additive Layer Manufacturing-ALM* (Escandinavia y EADS), *Direct Digital Manufacture-DDM* (Estados Unidos), *Freeform Fabrication-FFF* (Estados Unidos), *Solid Freeform Fabrication-SFF* (Estados Unidos).

2 La expiración de la última patente de estereolitografía fue en abril de este año. Las patentes sobre las máquinas de estereolitografía expiraron hace casi una década, pero no aportaron ningún cambio significativo en la aparición de nuevos sistemas debido a la complejidad y a los costes asociados al proceso efectuado con láser. El mayor cambio se dio con la expiración de las primeras patentes de FDM de la firma Stratasy, que dio lugar a la aparición de todas las impresoras personales (Makerbot, Recibe Rape, Bits from bytes, Cube, y decenas más de marcas...) que se basan en "fundir" hilo de plástico. También han aparecido algunas empresas con nuevos equipos 3D (impresoras personales) basados en el mismo principio que el estereolitografía, pero son mucho menos numerosas.

Este enero ha expirado la patente de SLS y ya hay dos máquinas preparadas para salir al mercado con precios entre 10 y 20 veces menor que el de las que se comercializan actualmente con unas prestaciones parecidas. Este año expiran nueve patentes más. Véase enlace: <http://3dprintingindustry.com/2013/12/29/many-3d-printing-patents-expiring-soon-heres-round-overview/>

5. Powder Bed Fusion
6. Sheet Lamination
7. Directed Energy Deposition

Esta tecnología está liderada por Estados Unidos y Europa (especialmente por Alemania). Entre los diversos fabricantes mundiales destacan los siguientes:

- Stratasy: norteamericana ([www.stratasy.com](http://www.stratasy.com)), concentra el 50% del mercado.
- Objet Geometrics: israelí, que en 2011 se fusionó con Stratasy.
- 3D Systems: norteamericana ([www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com)).
- EOS GmbH: alemana ([www.eos.info](http://www.eos.info)).
- Z Corporation: norteamericana ([www.zcorp.com](http://www.zcorp.com)), que fue adquirida por 3D Systems en 2012.
- Vidar: norteamericana ([www.vidar.com](http://www.vidar.com)), que fue adquirida por 3D Systems en 2012.
- EnvisionTEC: alemana ([www.envisiontec.com](http://www.envisiontec.com)).
- ARC Group Worldwide: norteamericana ([www.arcgroupworldwide.net](http://www.arcgroupworldwide.net)).
- EX ONE: norteamericana ([www.exone.com](http://www.exone.com)).
- Voxeljet: alemana ([www.voxeljet.de](http://www.voxeljet.de)).
- Arcam: sueca ([www.arcam.com](http://www.arcam.com)).
- Renishaw: inglesa ([www.renishaw.com](http://www.renishaw.com)).
- DWS: italiana (<http://dwssystem.com>).
- Arburg: alemana ([www.arburg.com](http://www.arburg.com)).
- DMG Mori: alemana (<http://www.dmgmorseiki.com>).
- Matsuura Machinery Corporation: japonesa (<http://www.matsuura.co.jp/english/contents/products/lx.html>).
- CMET: japonesa (<http://www.cmet.co.jp/eng/>).
- D-MEC Ltd: japonesa, con vínculos con Sony Corp. (<http://www.d-mec.co.jp/eng/>).
- Roland: japonesa (<http://es.rolanddga.com/solutions/rapid-prototyping/>).

Los fabricantes japoneses, con la excepción de Roland, no tienen mucha presencia en los mercados exteriores, ya que parece ser que el Gobierno japonés ha dado un apoyo importante a la I+D en esta tecnología y es reticente a que los equipos desarrollados con apoyo estatal se vendan al exterior sin que antes se hayan explotado suficientemente en el mercado interior.

Hay que destacar que hay numerosas multinacionales que no estaban en el negocio de la impresión 3D y están entrando (HP, OCÉ, Roland...), atendiendo a las enormes expectativas que despierta su desarrollo actual y futuro. HP está entrando en impresión 3D porque en origen tenía una *joint-venture* con Stratasy, y ahora quieren hacerlo con tecnología propia. **En su centro de San Cugat diseñarán y desarrollarán todos los modelos de máquinas de fabricación aditiva para ser producidas y montadas en Asia. El pasado mes de octubre presentaron la primera impresora, la Multi Jet Fusion. Este proyecto recibirá 21 millones de euros del Gobierno español para la generación de proyectos de I+D conjuntamente con empresas y centros tecnológicos.**

El sector mundial de la fabricación aditiva (AM) (máquinas, materiales y servicios asociados) se estimó en 1.900 millones de dólares en 2011 y Hewlett-Packard estima que llegue a los 12.000 millones en 2017, basado en el crecimiento orgánico y en el despliegue continuado de la tecnología actual. Sin embargo, si se superan algunas barreras comerciales y tecnológicas, otras fuentes estiman que las ventas totales podrían llegar a los 100.000 millones de dólares en 2020. Hay segmentos que crecen a ritmos superiores al 30% anual.

Otros cálculos son todavía más optimistas: el documento *Industrie 2.0* del Gobierno francés (McKinsey, 2013) estima que puede llegar a los 300.000 millones de dólares (240.000 millones de euros) en 2025. En términos de máquinas, se estima que en el mundo hay 30.000 (2013) que trabajan el plástico y que hay un potencial de crecimiento anual de dos dígitos para las que trabajan el metal (500 en 2012) para los próximos cinco años.

Un estudio de la consultora Grassroots Research (Bovaird, 2011) estima que el porcentaje de la industria manufacturera que dispone de equipos de fabricación aditiva era del 27% en Italia y de menos del 10% en Francia, Alemania y España, mientras que en los Estados Unidos el porcentaje variaba según el sector. Para 2016, estima que el peso podría llegar al 38% en Italia, al 20% en Alemania y al 13% en España, mientras que sería más bajo en Francia y difícil de prever en los Estados Unidos.

Estas expectativas no han despertado solo el interés de las empresas para participar en el negocio, sino también de los gobiernos para hacer que esta tecnología se desarrolle en sus territorios. La estrategia *Horizon 2020* tiene como una de sus prioridades la manufactura avanzada (*Advanced Manufacturing*). En este marco, la plataforma europea MANUFUTURE lanzó la asociación sin ánimo de lucro EFFRA (Factories of the Future Research Association) en 2009 con el objetivo de promover la investigación en tecnologías de producción y esto se hizo con el compromiso con Factories of the Future (FoF), partenariado público-privado con la Unión Europea. FoF ha desarrollado una hoja de ruta denominada *Factories of the Future 2020* (EFFRA, 2012), que destaca la fabricación aditiva como un proceso clave de manufactura avanzada, con un gran abanico de ventajas, entre las cuales se encuentra su potencial para apoyar a una manufactura sostenible medioambientalmente. Así, los fondos europeos han apoyado numerosos proyectos de investigación en AM, como por ejemplo IMPALA (*Intelligent Manufacture from Powder by Advanced Laser Lamination*).

Los Estados Unidos han creado el National Additive Manufacturing Innovation Institute (NAMII), con el ánimo de promover la AM en la industria para acelerarla. Cuenta con un presupuesto de 40 millones de dólares, que se añaden a los 30 de inversión federal.

En el Reino Unido, el UK Technology Strategy Board puso en marcha un *Special Interest Group in Additive Manufacturing* (SIG AM) para emprender un análisis de necesidades de innovación, entender las necesidades de la industria en este campo y explorar las posibilidades de dar soporte a esta tecnología a lo largo de su cadena de valor. Fruto de este análisis se redactó la *High Value Manufacturing Strategy 2012-2015*, donde la AM tiene un papel destacado.

También es interesante considerar los *fab labs*, que surgieron en los Estados Unidos y que se han extendido por todo el mundo. Su origen se remonta al año 2000, cuando la National Science Foundation financió una idea loca de un profesor del MIT, Neil Gershenfeld: un laboratorio de fabricación digital con máquinas para construirlo casi todo. Este taller fue el germen del primer *fab lab* (*fabrication laboratory*) del mundo. Actualmente hay 350 repartidos en 50 países y con 75 candidatos a integrarse en la red. Un *fab lab* es básicamente un espacio que dispone de unas máquinas (como por ejemplo impresoras 3D, cortadoras láser,

impresoras de circuitos...) que permiten la fabricación digital a través del diseño en tres dimensiones de un objeto nuevo o que ya existe mediante los programas de código abierto. Es decir, su fundamento es el *software* libre y el intercambio de información y de conocimientos. La idea es que el consumidor evolucione hacia creador, de forma que no se puede ir a un *fab lab*, hacer un pedido e irse, sino que hay que participar en el proceso. Por ejemplo, una persona puede ir a un *fab lab* y diseñarse y fabricarse su mobiliario o producirse objetos que hayan sido diseñados en cualquier parte del mundo, cosa que reduce los costes del material, sin tener que pagar todos los márgenes de los intermediarios.

En Nueva York, la incubadora *Shapeways* ha puesto en marcha en 2014 uno de estos laboratorios, denominado *Factory of the Future*, que ocupa una superficie de 25.000 metros cuadrados en Long Island City. Tendrá entre 30 y 50 impresoras industriales en 3D de alta definición para que sus usuarios creen e impriman productos nuevos en cuestión de pocos días.

Hay países que han promocionado los *fab labs* con estrategias *top-down* (Suráfrica), mientras que la mayoría lo hacen *bottom-up* (Bélgica, Holanda, Estados Unidos); es decir, que los laboratorios locales se unen en una red regional y después en una internacional, como la *International Fab Foundation*, que apoya retos más globales, como proporcionar materiales especializados en todo el mundo.

Barcelona es uno de los focos más activos en la fabricación digital a escala mundial. El primer *fab lab* barcelonés funciona desde 2007, y ahora es uno de los líderes de la red mundial. También es la sede de la Fab Academy, un campus global de los laboratorios locales donde los estudiantes encuentran colegas y mentores. El Ayuntamiento está impulsando una red de *fab labs* que se denomina *Ateneus de fabricació* y se pretende que haya uno en cada distrito con el objetivo adicional de fomentar el emprendimiento y la creación de empleo. Makers of Barcelona es otro *fab lab* de iniciativa privada, ubicado en el Eixample. Se está creando, pues, un entorno favorable para las aplicaciones de la impresión 3D y la cultura del *Házte lo tú mismo*, puesto que además de los *fab labs*, se cuenta con centros de investigación como la Fundación CIM, LEITAT, ASCAMM, IQS, buenas escuelas y buenas empresas del ámbito de los videojuegos que pueden transitar hacia el dominio de la impresión 3D.

También hay que destacar la *Vanguard Initiative*, que cuenta con el apoyo de la Unión Europea, y tiene el objetivo de avanzar en el desarrollo de la manufactura avanzada en Europa a partir de la cooperación entre 21 regiones. Cataluña forma parte del equipo de coordinación de la plataforma, que ya ha iniciado tres proyectos piloto. Uno de ellos está liderado por Cataluña, conjuntamente con Lombardía, con el objetivo de mejorar la eficiencia de las fábricas europeas. El proyecto, que se está desarrollando en

el Centro Tecnológico ASCAMM, está abierto a la participación de empresas catalanas. Otro de los proyectos piloto también cuenta con la participación de Cataluña: trata sobre la impresión 3D, y Cataluña colabora compartiendo el conocimiento adquirido en los últimos años.

Cataluña tiene multitud de agentes relacionados con las tecnologías de fabricación aditiva y el *3D Printing*, cosa que podría favorecer un desarrollo futuro en estos campos. Hay agentes representados en el tejido industrial catalán en cada uno de los bloques siguientes:

- Compañías que ofrecen servicios de *3D Printing*. **Service Bureaux.**
- Compañías que diseñan, desarrollan, construyen y venden equipamientos para el *3D Printing* y el *additive manufacturing*. **Original Equipment Manufacturers.**
- Compañías que manufacturan materiales para ser procesados con tecnologías de *3D Printing*. **3D Printing Materials Manufacturers.**
- Compañías que diseñan y desarrollan *software* relacionado con aplicaciones de *3D Printing*. **3D Printing Software Developers.**
- Compañías que diseñan y fabrican la totalidad de sus productos con tecnologías de *3D Printing*. **Business Model Based on 3D Printing.**
- Compañías que implementan el *3D Printing* para la fabricación de alguno de sus productos. **Production companies.**
- Organizaciones que hacen I+D relacionada con *additive manufacturing* / *3D Printing*. **AM / 3D Printing R+D Centers.**
- Entidades que hacen transferencia de tecnología, formación y consultoría en *additive manufacturing* / *3D Printing*. **Training & Technology Transfer Organizations.**
- *Fab labs* y otras entidades que hacen diseminación y formación en tecnologías de *additive manufacturing* / *3D Printing*. **Fablabs & other related entities.**
- Empresas de distribución, venta, reparación y mantenimiento de equipamiento para *additive manufacturing* y *3D Printing*. **Additive Manufacturing & 3D Printing Vendors.**
- Asociaciones, clústeres y plataformas tecnológicas relacionadas con *additive manufacturing* / *3D Printing*. **Additive manufacturing / 3D Printing Associations, Clusters and Regional Technology Platforms.**

## 2. Efectos de la fabricación aditiva (AM) sobre la estructura de la producción

Dado que casi no hay economías de escala en la AM, la tecnología es ideal para producciones de poco volumen o para la personalización masiva de componentes acabados (millones de implantes dentales y audífonos ya están hechos con esta tecnología). Liberada de las restricciones de las fábricas tradicionales, la fabricación aditiva permite a los diseñadores hacer cosas que antes eran consideradas económicamente demasiado complejas de producir. Por ejemplo, permite hacer en un solo bloque piezas que antes se tenían que producir por separado y ser montadas y remachadas, con el consecuente ahorro de tiempo. También ahorra materiales, puesto que evita rechazos, cosa que es importante en materiales caros como el titanio.

Ferràs (2013) compara los efectos de la AM con el que supuso la irrupción de la impresión digital hace 20 años. Transformó completamente el sector en pocos años, puesto que el negocio de procesado de átomos se transformó en uno de procesado de bits. Viendo lo que pasó entonces con la impresión 2D, se puede anticipar lo que pasará con la impresión 3D en el mundo de la fabricación. Intentando sintetizar los efectos de la AM sobre los modelos de negocio con más detalle, y recogiendo las aportaciones de Ferràs (2013), Cohen (2014) y otros autores, se podrían destacar los siguientes elementos:

- **Aceleración de los ciclos de desarrollo de producto:** desde el principio, las impresoras 3D se han utilizado para hacer prototipado rápido, pero ahora se podría producir una segunda oleada de aceleración del *time to market* a medida que la línea entre fabricación convencional y aditiva se desvanece (lanzamiento de productos de prueba para ver cómo los acoge el consumidor, construcción más rápida de las herramientas, (un molde para hacer un producto...)).
- **Aumento de la fabricación aditiva de bienes finales:** así como en el año 2011 sólo el 25% del mercado de AM estaba relacionado con la producción de bienes finales, actualmente, con un 60% de crecimiento anual, este es el segmento que más crece<sup>3</sup>. A medida que los costes bajan y las capacidades aumentan, el rango de componentes que pueden ser producidos por AM crece espectacularmente, especialmente aquellos con un alto coste de mano de obra, con requerimientos complejos de estampación, con volúmenes de producción reducidos, con alta obsolescencia o desgaste.
- **Volatilización de las cadenas de valor:** ¿por qué distribuir si se puede enviar un archivo digital e imprimir la pieza o el producto en su destino? Las cadenas de valor serán más elásticas, llevando la manufactura más cerca del consumidor, en un tipo de relocalización, si bien la industria que “volvería” a los países más desarrollados sería muy diferente de la que se deslocalizó en su día.
- Como consecuencia de la aproximación de la manufactura a los consumidores, habrá **menores requerimientos de transporte de productos acabados**, cosa que alterará los flujos de comercio internacional y hará casi desaparecer los costes logísticos.
- Los modelos económicos que han aparecido en torno a las webs los últimos años para los bienes inmateriales (*crowdsourcing*, *peer-to-peer*, *open source*) se extenderán, probablemente, en el mundo físico, quizás incluso con **repercusiones más profundas para las empresas de bienes de consumo que las que sufrieron las compañías de medios de comunicación y culturales**. Por ejemplo, un artículo de *Le Monde* (Vaudano, 2013) se hizo eco de la preocupación de los fabricantes de juguetes Lego y Playmobil por la vulneración de derechos de propiedad industrial que significaría la impresión a domicilio de estos productos.
- La combinación de personalización masiva de los productos con nuevas posibilidades de diseño **cambiarán las reglas de muchos negocios**.
- Además, la reducción de costes que representa la impresión 3D reduce las barreras de entrada a **nuevos competidores** para pequeños volúmenes y nichos. A largo plazo, los nuevos competidores pueden dejar de servir nichos para servir mercados de alto volumen.
- La fabricación aditiva permite trabajar bajo pedido, sin *stocks*, cosa que implica una cadena de suministro más eficiente y con menos riesgo. ¿Por qué tener, por ejemplo, costosos engranajes para rotores de helicópteros en *stock* si se pueden imprimir cuando se necesiten? Esto tendrá implicaciones financieras, puesto que liberará muchos millones de dólares en inmovilizados e implicaciones en el servicio post-venta, cosa que reducirá los grandes servicios técnicos regionales.
- **Concentración de todo el valor en el diseño:** que en el caso físico es diseño, ingeniería y desarrollo.
- **Fabricación totalmente personalizada (*customization*):** la impresión 3D permitirá la adaptación total de los productos a las necesidades personales y demográficas, cosa que hará aparecer nuevos modelos de comercio donde el consumidor participe en el proceso de diseño del producto. El comercio puede tener pequeños talleres para hacer, por ejemplo, juguetes o materiales de construcción adaptados a los gustos del cliente.
- **Fabricación flexible, totalmente *just-in-time* y con calidad absoluta:** esta ventaja de la impresión 3D puede provocar la

<sup>3</sup> Terry Wohlers, citado a *The Economist* (abril 2012), estima que en 2020 el 80% del mercado de AM será para bienes finales, si bien nunca logrará el 100%, ya que la construcción de prototipos rápidos y baratos seguirá siendo una parte relevante del negocio.

práctica desaparición de los ingenieros de proceso, dado que "el juego está en el producto". Esto, junto con el aprovechamiento total de los materiales utilizados (frente a los rechazos que genera la técnica sustractiva), generará un incremento de la productividad.

- A la vez, las ganancias de productividad pueden traer un efecto **sustitución del factor trabajo por capital**, con las repercusiones sociales que esto conlleva.
- **Aportación a la sostenibilidad medioambiental:** el aprovechamiento total de los materiales utilizados puede espolear la formación de una economía circular (aquella fundamentada en la recuperación de recursos materiales, energéticos y laborales). Además, al tratarse de fabricar solo aquello que se necesita y no grandes series de producción, el proceso se puede ceñir a los recursos estrictamente necesarios.
- **Desaparición de los costes marginales y de las economías de escala:** el coste marginal de imprimir la pieza enésima será igual a cero, puesto que sólo costará el material a partir del cual se fabrique. Una pieza costará lo mismo en Europa, América o China. Su valor lo capturará quien la diseñe y sólo podrán hacerlo industrias impregnadas de conocimiento (tecnología, ingeniería de producto y de materiales, sistemas de información y diseño industrial). IBM prevé que los costes de imprimir en 3D caerán un 79% en los próximos cinco años y un 92% en la próxima década. Sin embargo, algunos expertos (Reeves, 2013) afirman que **siempre habrá lugar para la producción a gran escala de componentes metálicos y poliméricos hechos con métodos tradicionales**, si bien la tendencia hacia productos personalizados deja un claro campo de negocio para la fabricación aditiva.
- Cambio del esquema inicial del modelo de negocio: si hasta ahora hacía falta dinero para llevar una idea al campo de la producción industrial, la fabricación aditiva **permite producir una idea a muy bajo coste para obtener la financiación** necesaria para su producción a gran escala.

#### ANTES:

Idea → Dinero → Producción

#### AHORA:

Idea → Producción → Dinero

- **Desarrollo de nuevas capacidades:** así como hay mucho conocimiento acumulado en el diseño para la fabricación convencional (que prevé, por ejemplo, las consecuencias que tendrá sobre el mecanizado), todavía no hay mucho en el diseño para la fabricación aditiva. Además, el trabajo con plásticos está más evolucionado que el de los metales o tejidos vivos, donde todavía hay mucho por investigar.
- **Aportación al desarrollo global:** la impresión 3D puede hacer más accesible el desarrollo de los países menos desarrollados. Por ejemplo, un *fab lab* de Togo ha desarrollado una impresora 3D a partir de residuos electrónicos, que reutiliza piezas de ver-

tederos tecnológicos y contribuye a su limpieza. De este modo se genera una nueva contribución a las economías domésticas de los africanos, sus escuelas y los cibercafés.

Todo esto hace que se hayan generado expectativas muy altas en torno al futuro de la AM, llegando a afirmarse que será un fenómeno más grande que Internet, que se podrá imprimir cualquier cosa o incluso que traerá un nuevo orden mundial. Sin embargo, algunos autores, como del Dr. Phil Reeves, consultor especializado en 3D, son críticos con estas expectativas tan altas. También Janne Kytönen, diseñador de 3D Systems, afirma que al igual que las máquinas de escribir no nos hicieron a todos escritores y que el Photoshop no nos ha hecho a todos diseñadores gráficos, el *software* 3D no nos hará a todos diseñadores.

Todas estas ventajas y efectos sobre la estructura de la producción mundial, estima el McKinsey Global Institute (2013), tendrían un impacto de hasta 550.000 millones de dólares anuales en el 2025.

Reeves (2013) afirma que en la actualidad, todos los vectores del negocio de la fabricación aditiva están alineados para que tenga un desarrollo importante. De todos modos, hace el ejercicio de calcular, a modo de ejemplo, cuándo será factible la fabricación de una lavadora en 3D y no lo prevé antes del año 2023. Recomienda a aquellos negocios que estén relacionados con manufacturas de alto valor y poco volumen hoy en día y quizás de alto volumen en el futuro tomarse en serio la AM. Asimismo, afirma que la impresión 3D doméstica y la fabricación aditiva industrial hay que considerarlas de forma separada en la actualidad pero que convergerán en el futuro. Su conclusión final es que se trata de una evolución industrial más que de una revolución.

Un estudio hecho para IBM Global Business Services (Brody *et al.* 2013) enmarca la impresión 3D en lo que denominan una nueva cadena de suministro digital (*new software-defined supply chain*), la cual viene definida por tres revoluciones tecnológicas: impresión 3D, robótica inteligente y *open source electronics*:

- **3D:** así como la fabricación tradicional se basa en la estandarización, la impresión 3D facilita la personalización y elimina el sentido de la producción en masa para ciertos productos.
- **Robótica inteligente:** esta tecnología revertirá la modularización en la que se basa la industria tradicional, puesto que los nuevos robots son más flexibles, se pueden mover a lo largo de la cadena de producción y pueden adaptarse a nuevas circunstancias y productos. Por lo tanto, ya no es tan necesario que los proveedores aporten módulos complejos a las cadenas de montaje.
- **Open source electronics:** el *software* libre acelerará la digitalización, puesto que permite la personalización del *hardware*, una mayor eficiencia al tener acceso al *software* de todo el mundo, una innovación más rápida y con aportación del consumidor, así como un comercio de especificaciones de diseño en lugar de productos acabados.

Estas tres tecnologías permitirán, en 2022, una reducción de alrededor del 90% en el volumen mínimo de producción de una

lavadora (en comparación con 2012) y una disminución del coste unitario de fabricación del 23%. En otros productos, los porcentajes varían pero son similares.

El contrapunto a la manufactura aditiva y la impresión 3D son los potenciales problemas que se generarán de propiedad intelectual (copias ilegales), de fiscalidad (tributación del consumo colaborativo) y de seguridad del producto (reproducir alimentos o juguetes).

Las capacidades del *hardware* de impresión en 3D están evolucionando rápidamente. Pueden producir componentes más grandes y lograr más precisión y resolución a velocidad cada vez más alta y un coste cada vez más reducido. Todo esto ha hecho que la tecnología haya llegado a un punto de inflexión en el cual parece convertirse en una alternativa viable a los procesos de fabricación convencionales en un número cada vez más grande de aplicaciones.



### 3. Principales aplicaciones y negocios

Las aplicaciones de la fabricación aditiva y los negocios que puede generar a su alrededor apenas están empezando y seguramente hay muchos que aún ni se han previsto. A continuación se exponen algunas de estas aplicaciones y negocios, por orden alfabético.

- **Alimentación**

- En marzo de 2014, la NASA concedió una beca de 100.000 euros a Anjan Contractor, ingeniero de la empresa Systems and Materials Research Corporation (SMRC), para que desarrolle en seis meses una impresora 3D capaz de reproducir alimentos en los viajes tripulados al espacio.

- Natural Machines, una *start-up* catalana, ha creado Foodini, la primera impresora 3D de alimentos preparada para imprimir todo tipo de ingredientes frescos y nutritivos reales, salados o dulces, pero no sólidos. Es apta para cocinas domésticas o profesionales. Permite la personalización de las formas, pero también es útil para llevar un control nutricional de una persona.

- Otros ejemplos de impresoras de alimentos son Candy, la ChefJet de 3D Systems y la nueva F3D. El resultado de la impresión, no obstante, se tiene que cocinar fuera de la máquina. Sólo la última pretende, además de imprimirlo, también cocinarlo. Sería la primera en hacerlo.

- **Ámbito doméstico**

- Las impresoras 3D industriales pueden costar entre 15.000 dólares y un millón, pero también hay un mercado doméstico con máquinas de entre 500 y 1.400 dólares formado por investigadores, emprendedores, inventores, entusiastas de hacerse las cosas ellos mismos, etc. Algunas impresoras, incluso, pueden ser construidas en casa a partir de kits y utilizan *software* libre.

- 3D Systems está lanzando al mercado una impresora, denominada *The Cube*, que puede hacer cosas como juguetes, piezas de ajedrez u ornamentos, y cuesta 1.299 dólares. Cuenta con una plataforma, llamada *Cubify*, para proveer de servicios a una comunidad de usuarios. Y si el usuario quiere una impresión de mayor calidad puede utilizar el servicio de impresión *on-line* de *Cubify*<sup>4</sup>.

- El contrapunto a este futuro de impresión doméstica lo da el hecho de que la tecnología 3D, junto con *software* libre, podría facilitar la impresión doméstica de pistolas u otras

armas con relativa facilidad. Esto muestra el potencial de esta tecnología para crear dilemas éticos y reguladores y para distorsionar industrias.

- **Aeronáutica**

- Boeing utiliza impresoras 3D para hacer unas 200 piezas para 10 tipos de aeronaves.

- Un F-18 contiene más de 90 componentes impresos en 3D, como conducciones de aire, más ligeras y perfeccionadas que las convencionales. La disminución de peso es una de las principales ventajas de la AM puesto que, al construir los objetos capa por capa, hace posible utilizar el material justo para que el componente funcione.

- Airbus utiliza ya la fabricación aditiva para producir componentes que forman parte de la fabricación de aeronaves.

- Según investigadores de EADS, componentes de aviones o satélites construidos en 3D utilizando polvo de titanio pueden ser tan resistentes como los mecanizados, pero usan sólo un 10% de la materia prima necesaria comparado con el sistema tradicional.

- GE construirá el 20% de los componentes de sus turbinas para aviones comerciales mediante fabricación aditiva con metales.

- **Automoción**

- La empresa británica 3TRPD ha impreso en 3D una caja de cambios para coches de carreras con un interior muy perfeccionado que permite cambios de marcha más rápidos y es un 30% más ligera que las convencionales.

- La mayor parte de fabricantes y escuderías de F1 y moto GP utilizan la fabricación aditiva para la obtención de componentes de diseño o prototipos, de herramientas de producción y de componentes finales embarcados en sus vehículos.

- Algunas empresas y entidades de servicios en Cataluña, como la Fundación CIM o Inneo, por poner algunos ejemplos, han colaborado en la impresión 3D de maquetas para ensayo en túnel de viento de vehículos de competición (SunRace), tubos de admisión de aire de la Fórmula Student y modelos para la obtención de piezas metálicas fundidas en aluminio para vehículos de alta gama y baja producción.

<sup>4</sup> Euromold 2013, la feria anual de Fráncfort, ha sido escenario de la presentación de más de 20 empresas fabricantes de impresoras personales basadas en tecnologías de Material Extrusion y Vat Polymerization; muchas de ellas han presentado más de un modelo diferente, con precios que oscilan entre los 800 y los 2.500 euros.

Cube es una más de estas 40 o 50 propuestas, la mayoría alemanas, que se pudieron ver en Fráncfort.

Es importante destacar que a esta feria no puede ir todo el mundo, la inscripción es cara y especialmente para este perfil de empresa pequeña. Por eso algunos expertos estiman que en Europa puede haber más de 100 pequeñas empresas/entidades que desarrollan impresoras 3D para uso personal. En Cataluña sólo hay tres.

– Las empresas de automóviles de lujo utilizan la impresión 3D para fabricar piezas personalizadas de alta calidad al gusto del cliente.

#### • Electrónica

– La tecnología 3D permite hacer prototipos de mesas de circuito, incluyendo tableros flexibles, de una forma más asequible y fácil que la fabricación tradicional, como lo hacen en el *fab lab* de Tokio.

– La impresión 3D se utiliza en LEITAT para el diseño, desarrollo y producción de componentes electrónicos pasivos: resistores, conductores, inductores, antenas, microscondensadores y microbaterías, en el ámbito de lo que se conoce como *Printed Electronics*.

#### • Deportes

– En los Juegos Olímpicos de 2012, el equipo masculino japonés de esgrima ganó la medalla de plata con unas armas con mangos hechos a medida, por impresión 3D, por los investigadores de la Universidad de Tsukuba.

– Las escuderías de Moto GP y Fórmula 1 tienen la capacidad de diseñar y fabricar piezas específicas para cada carrera de acuerdo con las necesidades aerodinámicas de cada circuito.

#### • Iluminación y objetos de decoración y mobiliario

– Una de las primeras aplicaciones de la fabricación aditiva fue precisamente la fabricación de productos finales de iluminación. Empresas como Freedom of Creation o Future Factories fueron las pioneras. Hoy en día son centenares de pequeñas empresas y diseñadores los que producen sus productos de iluminación, decoración y mobiliario mediante sistemas de AM. En Cataluña, los pioneros referentes en este campo son las empresas de diseño GrowObjects, KX Designers y Cunicode.

#### • Medicina y biología

– Materialise, una empresa belga de aparatos médicos, hace implantes, por ejemplo, más ligeros que los mecanizados, sin pérdida de dureza y diseñados para adaptarse de forma precisa al paciente.

– Avinent, del grupo Vilardell Purí, de Santpedor, tiene una alianza tecnológica con el grupo internacional CORE3D, que abraza todas las fases de la elaboración de prótesis dentales personalizadas en la era digital: escanear digitalmente con escáneres intraorales, diseñar y producir con tecnología 3D y nuevos materiales.

– No sólo los implantes dentales o los aparatos de ortodoncia necesitan la personalización que facilita la impresión en 3D, sino también otro tipo de prótesis, como las auditivas o las de extremidades. En el *fab lab* de San Diego han desarrollado prótesis personalizadas para piernas amputadas por debajo de la rodilla o manos con dedos articulados. Hay varias empresas catalanas que ya trabajan con tecnología propia

y que exportan en todo el mundo (GAES, prótesis auditivas; PHIBO, prótesis dentales; INDO, gafas).

– La Clínica Mayo usa modelos de articulaciones de cadera impresas en 3D para ejecutar cirugías de práctica. Más tarde, los modelos se envían al fabricante, que produce implantes personalizados.

– General Electric ha desarrollado con AM componentes clave de los escáneres, cosa que reducirá los costes y permitirá hacerlos portátiles, no sólo para aplicaciones médicas sino también para inspeccionar estructuras de la industria aeroespacial.

– La Fundación CIM ha reproducido un tumor en material blando, junto con los huesos, arterias, etc., en material duro para facilitar a los cirujanos el ensayo de una operación quirúrgica que, de otra manera, habría sido inviable.

– También la Fundación CIM ha impreso en 3D una mosca ampliada para facilitar su investigación.

– La colaboración entre Elisava y LEITAT ha permitido el diseño y la creación de una prótesis activa de mano de bajo coste –menos de 700 euros, mientras que las actuales activas pueden costar hasta 20.000–, como solución a amputaciones por debajo del codo y que se producirá con impresión 3D. Cada prótesis producida tiene las medidas personalizadas del paciente que la tiene que recibir, reproduciendo exactamente las dimensiones de la otra extremidad existente.

– En el Instituto de Bioingeniería de Cataluña se hace ingeniería de tejidos. Se hace un andamio en 3D para que las células crezcan en su interior. Cuando se retira el andamio, se tiene el tejido. Esta técnica se usa por ejemplo, para la regeneración ósea. La tecnología 3D permite andamios mucho más precisos que los hechos con otros procedimientos.

– La tecnología 3D permitirá en el futuro hacer modelado, análisis y simulación de la respuesta de células y del comportamiento de crecimiento de tejidos.

#### • Maquinaria

– Replicator, un sistema robótico de *rapid manufacturing* hecho por Cybaman Technologies, una empresa británica, es capaz de hacer ingeniería inversa mediante el escaneo digital de un objeto para hacer una réplica exacta. Esto permite imaginar que en el futuro se pueda escanear un producto y enviar los datos a la otra punta del mundo para hacer una réplica. O se pueden replicar componentes que ya no se fabrican, cosa que permite imaginar bibliotecas virtuales futuras con los datos necesarios para replicar componentes o productos no disponibles. También se puede prever que los servicios técnicos del futuro tendrán una impresora 3D en la furgoneta o que habrá comercios que ofrezcan servicios de impresión 3D de componentes y objetos.

– Si los moldes para inyección siguen siendo el modo de producción para las grandes series, la fabricación de los moldes en sí entra de lleno en el campo de la AM, cosa que permite

acortar el tiempo de producción y ganar en calidad, por ejemplo, formando circuitos de refrigeración directamente integrados en los moldes. Con esto se espera una reducción de costes del 30% y una disminución del impacto ambiental.

- Muchos sistemas de producción están incorporando robótica para automatizar procesos de montaje en los que la velocidad es el factor más importante. La impresión 3D ha revolucionado la fabricación de los manipuladores –*grippers*– que los robots incorporan para coger los componentes que se tienen que montar debido a su ligereza y versatilidad. La empresa alemana Festo ya ha puesto en el mercado una gran variedad de manipuladores que actúan por aire comprimido aplicables a robots ligeros, de gran versatilidad y velocidad de trabajo.
- Muchas empresas están fabricando los utillajes de montaje, de manipulación, de comprobación y de transporte en procesos en línea mediante sistemas de impresión 3D, de los cuales Digital Mechanics y BMW son pioneros.
- Hay ejemplos de fabricantes de maquinaria que ya utilizan la fabricación aditiva para elaborar componentes no estándares de sus máquinas, como por ejemplo la firma Hettich.

#### • Moda, joyería, calzado y complementos

- Estos sectores industriales están adoptando muy rápidamente las tecnologías de impresión 3D para desarrollar y producir sus productos. De entre ellos, la joyería es, sin duda, el que tiene un mayor número de productos en el mercado fabricados con impresión 3D o desarrollados con la ayuda de estas tecnologías. En Cataluña, la empresa pionera ha sido Tous.
- El diseñador Janne Kyttanen ha creado un conjunto de zapatos de mujer que se puede imprimir en casa en una noche y calzarlas el día siguiente. Así mismo, empresas como Continuum, Shapeways, Nervous, e-Materialise y Freedom of Creation, de los diseñadores Iris Van Herpen, Neri Oxman, Lionel T. Dean y Michael Schmidt, ya facturan centenares de miles de euros anualmente sólo con la venta de sus diseños de moda y complementos fabricados con impresión 3D.

#### • Otras industrias

- Se prevé una multiplicación de las posibilidades de personalización para todo tipo de productos de consumo, como por ejemplo juguetes, confección, calzado, accesorios, industrias creativas, muebles y decoración<sup>5</sup>. A la industria manufacturera, todos los objetos complejos producidos en pequeños volúmenes y con altos requerimientos de personalización serán candidatos naturales para ser fabricados con AM. Pensemos, por ejemplo, en materiales de construcción personalizados o singulares.
- La empresa ThreeDee-You de Madrid realiza figuras en miniatura de personas gracias a su tecnología de escaneo e impresión 3D.
- Amazon ha puesto en marcha una tienda, por ahora sólo en los Estados Unidos, dedicada a pequeños objetos personalizados (figuritas, bisutería, fundas para el móvil...). Amazon no imprime, sino que ejerce de intermediaria con Sculpteo, la firma lúdica de 3D Systems.
- El mundo de la construcción ha utilizado desde hace muchos años la impresión 3D para obtener maquetas de sus proyectos. La empresa Encaix, de Terrassa, es una de las pioneras. Hoy los gabinetes de arquitectura y las constructoras continúan utilizándola con este propósito, pero también ha empezado a despertar la industria de la fabricación de viviendas con fabricación aditiva.

#### • Proyectos artísticos y singulares

- A principios de 2002, el Centro CIM, actual Fundación CIM, inició con la oficina técnica de la Junta Constructora de la Sagrada Familia la obtención de componentes para las maquetas a diferentes escaleras mediante impresión 3D. A partir de aquel momento, la Junta ha ido incorporando diferentes impresoras 3D en la sede de su oficina técnica.
- Son numerosos los artistas de renombre internacional que implementan sus creaciones mediante impresión 3D. Entre ellos, Bathsheba Grossman, Neri Oxman, Michael Hansmeyer y Benjamin Dillenburger, o Eric Van Straaten.

<sup>5</sup> En AtFAB, un *fab lab* de los Estados Unidos, hay una línea de muebles de fabricación con máquinas de control numérico de código abierto y personalizables paramétricamente.

En el *fab lab* de Barcelona se ha desarrollado un *skateboard* personalizado.

En un *fab lab* de Japón se ha desarrollado un método para fabricar zapatillas personalizadas.

## 4. Resumen y conclusiones

La impresión en tres dimensiones (*3D printing*) es el proceso de unir materiales para hacer objetos a partir de un modelo digital, normalmente poniendo una capa encima de otra. Si se aplica en tecnologías de producción y en cadenas de suministro, se suele utilizar el término fabricación aditiva.

Esta tecnología existe desde hace 30 años y encontró aplicación inmediata en el prototipado rápido. Después se amplió hacia la elaboración de patrones de fundición, la fabricación de herramientas y la obtención de piezas de producción. Actualmente se encuentra en un punto de maduración que podría representar su extensión masiva en el sistema productivo, gracias al vencimiento de las patentes, la disminución de precios de los equipos y la evolución del conocimiento asociado a esta tecnología y a los nuevos materiales.

No hay acuerdo a la hora de prever si la evolución futura de la fabricación aditiva será más o menos expansiva, si se trata de una evolución o de una revolución, y mucho menos a la hora de valorar el impacto; pero lo que sí está claro es que se trata de una tecnología que irá a más, que cada vez encuentra más aplicaciones en el campo industrial y continuamente genera nuevos modelos de negocio. Es especialmente adecuada para aquellas industrias que estén relacionadas con manufacturas de alto valor y poco volumen y/o con una geometría compleja y/o que tienen un componente elevado de personalización. Sin embargo, siempre habrá lugar para la producción a gran escala mediante las tecnologías no aditivas más convencionales.

Los efectos de la difusión de la fabricación aditiva son muchos y variados, como se ha visto en el capítulo 2, y cabe destacar un incremento de la productividad, un menor impacto ambiental y una nueva ordenación de las cadenas de valor.

El fenómeno ha despertado el interés de las empresas y también de los gobiernos, entre los cuales destacan la Comisión Europea, los Estados Unidos y el Reino Unido, con sendas políticas de apoyo. Por su parte, Barcelona destaca como uno de los focos más activos en la fabricación digital, con su red de *fab labs*.

De todo lo que gira alrededor de la fabricación aditiva, parece que la generación de valor no radica tanto en la fabricación de *hardware*, que se prevé que se haga de forma masiva por parte de multinacionales extranjeras, como en el diseño de aplicaciones, la creación de nuevos *softwares* y la formulación de nuevos materiales y de sus procesos de consolidación. También tendrá un gran potencial de generación de valor el desarrollo de tecnologías de postprocesado y de acabados superficiales de las piezas fabricadas mediante impresión 3D.

Cataluña dispone de una base industrial que puede hacer frente a desarrollos y sacar provecho económico en todos estos campos: fabricantes de bienes de equipo, empresas de desarrollo de *software*, empresas fabricantes de materiales (poliméricos, cerámicos, metálicos y *composites*), empresas con capacidad de diseño y de desarrollo de aplicaciones. Además, cuenta con el respaldo, el conocimiento y la experiencia de varias entidades de investigación (centros tecnológicos y universidades) que están trabajando en la fabricación aditiva desde hace años.

## 5. Agradecimientos

Los autores quieren expresar su agradecimiento a todas las personas que, con su colaboración, han contribuido a realizarlo. Aun así, la responsabilidad de los errores que pueda contener este documento corresponde exclusivamente a sus autores.

- Jaume Baró, del Ayuntamiento de Barcelona
- Joan Comas, de ACCIÓ
- Felip Esteve, de ASERM
- Magí Galindo, de LEITAT
- David Marco, de ACCIÓ
- Laia Portell, de ACCIÓ
- Guillermo Reyes, del IQS
- Mariona Sanz, de ACCIÓ

## 6. Bibliografía

- AM PLATFORM (2013): *Additive Manufacturing: Strategic Research Agenda*. Manufuture Technology Platform.
- BLANCO, R. Y FONTRODONA, J. (2014): *Relocalització industrial a Catalunya*. Memòria Econòmica de Catalunya 2013. Consell General de Cambres de Catalunya.
- BOURELL, David *et al.* (2009): *Roadmap for Additive Manufacturing*. University of Texas, Laboratory for Freeform Fabrication Advanced Manufacturing Center.
- BOVAIRD, Anne (2011): *Demand for Additive Manufacturing Printers in the U.S. and Europe*. Grassroots Research, 6 de julio de 2011.
- BRODY, Paul *et al.* (2013): *The new software-defined supply chain*. IBM Institute for Business Value.
- COHEN, Daniel *et al.* (2014): *3D Printing takes shape*. McKinsey Quarterly, 1-2014.
- EFFRA (2012): *Factories of the Future 2020*, en <http://www.effra.eu/>
- FERRÀS, Xavier (2013): *Impresión 3D, Revolución en Manufacturing*. Innovación 6.0. <http://xavierferras.blogspot.com.es/>
- MARTIN, Javier (2013): *La NASA quiere imprimir comida*. El País de 22 de mayo de 2013.
- McKINSEY (2013): *Industrie 2.0, Jouer la rupture pour une Renaissance de l'industrie française*.
- REEVES, Phil (2013): *3D Printing – Hyperbolic or Exponential – The real growth potential of 3D Printing*. Econolyst. Conferencia del 7 de octubre de 2013.
- SPECIAL INTEREST GROUP – ADDITIVE MANUFACTURING (2012): *Shaping our national competency in additive manufacturing*. Gobierno británico.
- THE ECONOMIST (2012): *Special report – Manufacturing and innovation*. 21 de abril de 2012.
- VAUDANO, Maxime (2013): *Imprimer Playmobil et Lego chez soi: bientôt possible?*. *Le Monde* del 14 de diciembre de 2013.

