

---

# LA IMPRESIÓN 3D COMO TECNOLOGÍA DE USO GENERAL EN EL FUTURO

**SILVIA VICENTE OLIVA**

Centro Universitario de la Defensa

Las expectativas sobre las tecnologías de fabricación aditiva (en adelante FA), conocidas también como impresión 3D, son muy altas en el momento actual. Aunque la FA coexiste con otras tecnologías de fabricación que se consideran tradicionales y, previsiblemente, así seguirá siendo durante un tiempo, los materiales utilizados serán cada vez más variados,

se generarán más actores económicos y el impacto en las cadenas de suministro, en los modelos de negocio y en la sociedad podría ser disruptivo.

Durante la impresión 3D se aporta y adhiere controladamente diferentes tipos de materiales para crear objetos a partir de los datos de un modelo en tres dimensiones, normalmente capa sobre capa (ASTM International 203AD). Ello facilita la impresión de objetos con geometrías más intrincadas, cambios y personalizaciones llegando a poder fabricar en un solo paso diseños complejos, se produce menor desperdicio de material (al prescindir de moldes y de algunos posprocesos sobre piezas) por lo que la innovación en producto se acelera y simplifica ofreciendo no solo ventajas en costes, sino también en barreras a la entrada, en las cadenas de suministro y en la participación del cliente en el diseño (Weller, Kleer, y Piller 2015).

Algunos análisis señalan la FA como una tecnología disruptiva debido a la gran ventaja que supone la separación entre el diseño de producto y las capacidades de fabricación, ofreciendo nuevas oportunidades basadas en esta libertad de diseño. Al igual que ocurrió con otras

industrias, como la de la música, existen agentes que participan en el mundo digital de intercambio de información pero no tienen fines lucrativos, y pueden suponer una amenaza para quienes hacen de ello su negocio.

Sin embargo, en cuestiones de fabricación, mientras se sigan utilizando las impresoras 3D como un método más de producción –e incluso no se adapten los diseños para ello–, es solo una innovación incremental que puede eliminar costes hundidos de las primeras series de productos y ofrecer carteras de productos más complejas basadas en sistemas de fabricación flexibles. Así las cosas, no sería una tecnología de uso general, sino una opción para unos pocos nichos. La pregunta que hay que resolver parte de analizar si estamos ante una nueva ola tecnológica (Birchnell y Urry 2013) pero, en todo caso, se concreta en la siguiente: ¿Qué hace falta para que la fabricación aditiva sea una tecnología de uso general en el futuro?

Para analizar la adopción de esta tecnología, la propuesta es separar el impacto técnico de la fabricación aditiva, del que realiza sobre el mercado para acercarnos a la situación actual. Se tratará la impresión 3D

como una innovación de proceso, es decir, como un nuevo o significativamente mejorado modo de producir y/o distribuir bienes, que incluye cambios significativos en las materias primas, infraestructura y técnicas de fabricación y distribución (Gault 2016). Y para indagar sobre el proceso de adopción de la tecnología, se realiza un análisis bibliométrico de patentes y artículos de investigación complementado con la metodología multinivel (conocida como MLP por sus siglas en inglés). Es un modo de análisis para transiciones socio-tecnológicas y sus influencias más allá de la ingeniería (Geels 2002; Rip y Kemp 1998; Geels y Schot 2007) teniendo en cuenta a los usuarios, los gestores de políticas públicas, grupos sociales, suministradores, científicos y tecnológicos, fondos y capital riesgo... etc.

En el siguiente apartado se hace una descripción de la evolución de la FA, así como las limitaciones actuales para su adopción en el presente. A continuación indaga sobre el proceso de adopción de esta tecnología y, seguidamente, una previsión de futuro sobre la misma. Finalmente, unas breves conclusiones que recogen la contribución de este estudio a favor de la transición tecnológica.

## EVOLUCIÓN DE LA FABRICACIÓN ADITIVA ↓

### Desde el punto de vista de la tecnología

En la evolución de la impresión 3D pueden distinguirse diferentes fases iniciándose en los años 80 del siglo pasado. Desde el punto de vista de la tecnología, se distinguen cuatro estadios (Rayna y Striukova 2015): prototipado rápido, reducción de costes en pequeñas series, fabricación digital directa y, por último, la actual en la que consumidores y usuarios finales fabrican donde es necesario.

Partiendo de que con esta tecnología «si puedes dibujarlo, puedes imprimirlo» (Kietzmann, Pitt, y Berthoin 2015, p. 210), el proceso habitual comprende las fases de diseño, impresión, postproducción y compartir. Mediante un programa libre o bajo licencia de fabricante, se exporta a un tipo de archivo que entienda la máquina de impresión y pueden acometerse las dos primeras fases. Se pueden realizar diferentes pruebas hasta que el diseño sea el que produce el objeto óptimo. La postproducción es necesaria en el caso de que se hayan diseñado soportes intermedios que haya que retirar o, simplemente, adecuar las superficies y los colores para el acabado deseado. Y, podría darse, una cuarta fase en la que se comparte el diseño entre las comunidades de diseño, entidades colaboradoras, empresas subsidiarias, etc.

El avance tecnológico de los años 80 del siglo pasado se plasmó en la habilidad de construir modelos de plástico de objetos mediante técnicas como la estereolitografía, el sintetizado selectivo por láser (SLS en sus siglas en inglés), el modelado por deposición fundida (FDM en sus siglas en inglés) o la fabricación de objetos laminados (LOM en sus siglas en inglés). Su utilidad indiscutible para las pequeñas y medianas empresas hizo que se siguiera impulsando la tecnología hasta que esta inno-

vación se introdujo en las empresas que ofrecían bajos volúmenes de producción y frecuentes mejoras, aproximadamente a finales de los años 90 del siglo pasado y entrando así en una segunda fase.

Los ahorros económicos de prescindir de moldes redujeron los costes de la fabricación tradicional para algunas industrias a la vez que se mejoraba la calidad de las piezas producidas llegando a finales de la década de los 2000 al tercer estadio, en el que la fabricación digital directa (DDM en inglés) fue posible y se extendió al consumidor de objetos mediante las plataformas de impresión 3D industriales como Materialise Onsite (1) o 3D Creation Lab (2) que imprimían a partir de los archivos en formato de diseño tipo CAD (Diseño Asistido por Computadora). Los repositorios en línea que permitieron a los diseñadores poner a disposición de posibles consumidores sus creaciones como Sculpteo (3) o Shapeways (4) contribuyeron a precipitar la cuarta fase de la tecnología: los consumidores y usuarios finales fabrican sus propios productos usando impresoras 3D en casa, como se hace desde hace poco tiempo. Hace unas decenas de años se empezó a tener las impresoras para papel en el hogar y se extendió su uso. Hoy, los usuarios de impresoras 3D disponen de repositorios en línea para compartir diseños, mejorarlos... etc. que recuerdan a los que se crearon en el ámbito de la música mediante sistemas «de igual a igual» o P2P en inglés hace unos años, produciendo un gran impacto al sector musical y cinematográfico; pero también se configuran sistemas de bajo coste, pagos por licencia, etc.

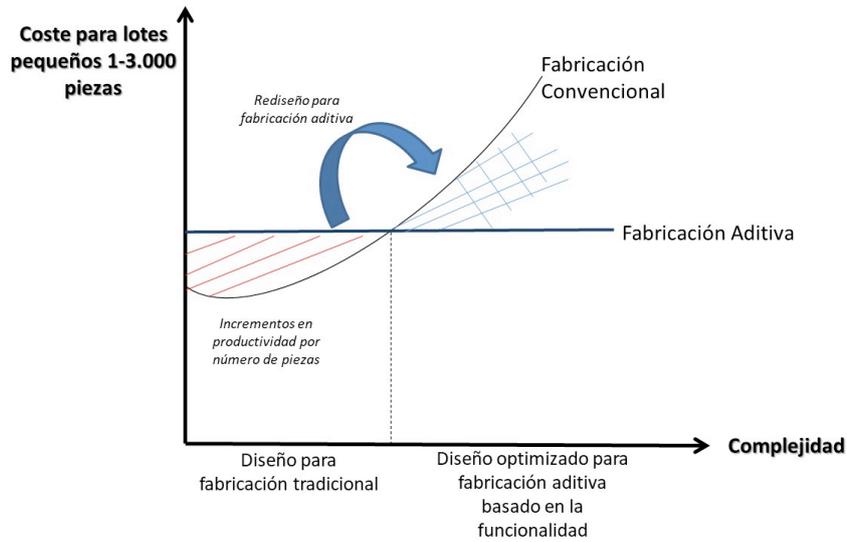
En el ámbito del diseño y de la distribución de los productos fabricados con tecnologías de FA, la innovación puede ser radical, produciéndose un nuevo paradigma de manufactura digital distribuida (Gálvez 2015) que permite fabricar aquello que se necesite, cuando y donde se necesite, con procesos más sencillos porque se pueden ahorrar montajes de algunos componentes, una gran personalización y rediseño para atender a todos los requerimientos evitando muchos de los problemas de la cadena de suministro.

### Desde el punto de vista del mercado ↓

El crecimiento de los productos y servicios de fabricación aditiva alcanzó los 5.165 billones de dólares estadounidenses en 2015 (Wohlers Associates, 2016), con un incremento considerando los tres años anteriores del 31,5%. En el año 2013 se había previsto que alcanzara los tres billones en 2018 (Raby 2012), por ello, puede decirse que es un sector de alto crecimiento a día de hoy, que supera previsiones y expectativas continuamente.

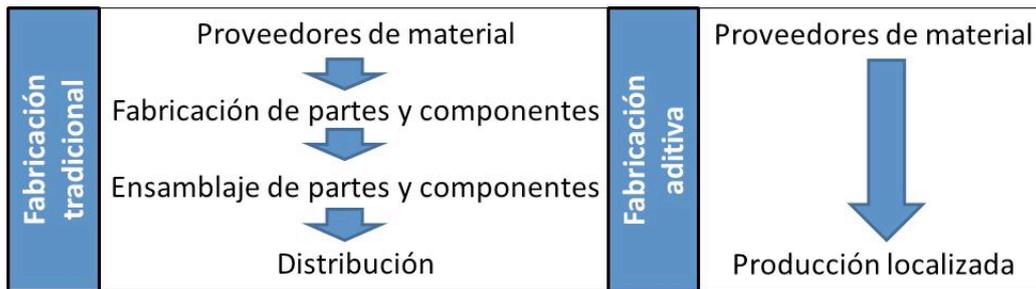
Hoy en día es una tecnología viable económicamente. Así, por ejemplo, en las llamadas RepRaps o máquinas autoreplicables y que se pueden utilizar para uso doméstico, docente, prototipado para investigación en ingeniería, personalización de equipamiento científico realizando, al menos veinte productos al año, se puede ahorrar desde trescientos a dos mil dólares estadounidenses por año (Wittbrodt y colaboradores, 2013). Sin embargo, cada organización valora sus costes en

FIGURA 1  
COSTES DE LA FABRICACIÓN RESPECTO A LA COMPLEJIDAD



Fuente: Adaptado de Schmidt y colaboradores (2017)

FIGURA 2  
ESLABONES DE LA CADENA LOGÍSTICA EN FABRICACIÓN Y ENTREGA



Fuente: Adaptado de Thomas y Gilbert (2014)

función de su estructura, materiales necesarios, costes energéticos, etc.

Hay un aspecto que es económicamente más relevante y que merece análisis por parte de quienes están pensando en cambiar sus tecnologías de fabricación: el diseño. Esto es, el diseño de piezas para fabricar mediante tecnologías de FA no puede ser una transcripción directa de la información de archivos gráficos, cuyo origen son otras técnicas de fabricación que pueden denominarse convencionales (ver fig. 1), sino que hay que adaptarlas y rediseñarlas o diseñarlas primeramente pensando en las virtudes de la tecnología de FA, lo que permite aprovechar todos su potencial (diseños optimizados para FA).

El hecho de trabajar con tecnologías de prototipado rápido permite basar los diseños en la funcionalidad y, de este modo, se consigue que la complejidad del diseño no aumente los costes de producción para un pequeño tamaño de lote. Y ante pequeños cambios, para personalizar por gustos, tamaños, ergonomía, etc.

los costes son muy bajos frente a las tecnologías de fabricación tradicionales donde diseñar, fabricar y probar nuevos moldes por ejemplo, para la inyección de plásticos sería mucho más complejo y caro.

Desde el punto de vista del mercado, hay solamente dos etapas diferenciadas (West y Kuk, 2016) cuyo cambio se produjo hacia el año 2005. El uso de tecnología patentada desde el sector industrial se desplazó al mercado de consumo como consecuencia del abaratamiento de las impresoras y la liberación de las patentes de las primeras tecnologías registradas. Aunque esta tecnología se destaque por sus aplicaciones hasta el momento en sectores como el de consumo en general o el de automoción, hay otros en los que se revela con resultados prometedores como son las aplicaciones médicas: prótesis, audífonos, etc. (Walter, Holmström y Yrjölä, 2004).

De manera transversal, los ahorros en tiempo y en coste en la cadena logística hacen que esta tecnología prometa ser disruptiva (ver fig. 2), basándose

en que su mayor ventaja es la separación entre diseño y capacidades de producción (Berman 2012).

Si se pueden establecer sistemas de producción localizada, solamente son necesarios los proveedores de los materiales. Todos los componentes intermedios y su ensamblaje, que podrían provenir de diferentes fabricantes y estar localizados en distantes ubicaciones en los sistemas tradicionales de fabricación, pueden ser sustituidos mediante un sistema local a través de la fabricación aditiva. Sin embargo, hay un largo camino hasta que esta idea pueda ser generalizada como modelo de negocio que permita capturar el valor, su aplicación a productos y servicios, servicios de soporte, ventas y marketing, distribución, operaciones y redes de suministro (Ford, Mortara, y Minshall 2016) con preguntas tan importantes como: ¿cómo cambiará la estructura y la complejidad de las cadenas logísticas? ¿Qué tipo de proveedores dejarán de ser intermediarios si se produce mediante fabricación aditiva?

Los tipos de modelo de negocio son un aspecto crítico (Rayna y Striukova, 2015), pero también los cambios en la sociedad que crearán una disrupción modificando a la vez a éstos, e incluso, creando otros nuevos. Así, la comunidad de «makers» o creadores de diseños en 3D que los comparten, imprimen y/o gestionan para su uso personal interesados o no en ganancias económicas, es una realidad hoy y está en crecimiento. Esto ha llevado a situar hacia el año 2020 esta tecnología como de uso común (Gartner 2014) en hogares, numerosas aplicaciones médicas, reparaciones sobre el terreno en operaciones de defensa, aeronáutica en elementos no críticos y/o salvando las correspondientes certificaciones-, automoción y componentes industriales. Sin embargo, todavía existen numerosos factores que limitan esta integración optimista y las posibilidades del futuro todavía no tienen una viabilidad plausible.

### Limitaciones

Entre las barreras reconocidas a la adopción y difusión de esta tecnología se encuentran los aspectos de estandarización, derechos de propiedad intelectual e industrial, certificación de productos y la formación y habilidades de quienes manejan todo el proceso (Berman 2012; Petrick y Simpson, 2013). La creación de valor de esta tecnología parece haber sido contrastada pero no así la captura de este valor con los modelos de negocio actuales, sus aplicaciones, servicios de soporte técnico, venta y logística (Ford, Mortara y Minshall, 2016).

El uso de diferentes materiales y trayectorias de impresión proporcionan a los objetos impresos mediante 3D características y propiedades singulares. Es por ello, que aunque se transforme el archivo informático de un plano preparado para fabricar mediante otras técnicas tradicionales como la inyección de plásticos, el objeto pueda tener diferentes características debido al método de fabricación y el cambio del material en FA. La problemática de los materiales que se utilizan es creciente: pueden ser muy diferentes entre fabricantes aunque se etiqueten como el mismo tipo, existen múl-

tiples variantes y las variedades de modelado para el proceso de fabricación hace que la oferta no sea comparable.

La propiedad industrial es un tema aún por desarrollar. Aunque se creó una categoría en la Clasificación Internacional de Patentes (CIP: B33Y) que contiene procesos, aparatos, operaciones auxiliares, procesamiento de información, materiales y productos realizados mediante FA no asegura la parte creativa de los rediseños, que podrían realizarse tomando piezas originales creadas por fabricantes. La puerta a la piratería está claramente entreabierta y su regulación es complicada a nivel mundial.

Cuando se trata de FA podría variarse la geometría de la pieza para mejorar sus prestaciones, diseño, robustez, etc. Así, un sistema que permitiera la certificación completa de piezas fabricadas mediante esta tecnología debería cubrir toda la cadena de suministro (Schmidt y colaboradores, 2017) y para certificar la pieza final los parámetros de densidad de material, propiedades mecánicas (elongación hasta fractura, fuerza, módulo elástico), calidad de la superficie, incluidas las que sobresalen en la dirección de construcción, precisión dimensional y geométrica, etc. haría muy complejas algunas certificaciones, especialmente cuanto mayor personalización haya para el usuario. Ello es debido, también, a que la forma de imprimir cualquier objeto tanto por inclinación como por el espesor de las tramas, que puede ajustarse en el último paso para proporcionar mayor flexibilidad, dureza, peso, porosidad, etc, hace que la estandarización sea imposible salvo para objetos que se impriman repetidamente. Y en este caso, este tipo de fabricación es más cara y lenta para grandes series que las tradicionales.

Los ensayos que puedan efectuarse para certificar productos todavía no existen aunque haya mucho interés en ello, especialmente desde el sector aeronáutico. Todavía no se incorporan elementos fabricados mediante esta tecnología a las aeronaves en sus partes estructurales (más críticas), pero es solamente el siguiente paso que está esperando la industria. Al igual que ocurrió con la adopción de los materiales compuestos, el impacto en el sector requirió una transición socio-técnica (Slayton y Spinardi, 2016) que permite que la tecnología se conforme como de uso general.

### PROCESO DE ADOPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Los estudios sobre adopción de tecnologías se focalizan en las expectativas y el papel que juegan sobre la aceptación de una innovación en concreto (Slayton y Spinardi, 2016). En cambio, los estudios sobre implementación de tecnologías se centran en los resultados como consecuencia de este proceso y, en particular, la relación entre el éxito en la implementación y los resultados de la innovación. La discusión académica acerca de la transición socio-tecnológica se ha avivado los últimos años. Las referencias a Marx y, sobre todo, a Schumpeter así como a los autores considerados neo-Schumpeterianos, como Freeman confor-

man un punto de partida. La bibliografía reciente para estudiar los fenómenos de adopción e implementación de tecnologías con impacto en la sociedad se basa en la gestión transicional, la gestión estratégica de nichos, los sistemas de innovación y la perspectiva multinivel (Markard, Raven y Truffer, 2012) o MLP. Esta última es la que permite analizar el marco de una innovación abarcando completamente los sistemas de producción y consumo (Smith, Voß y Grin, 2010) y es la utilizada para este análisis.

**Análisis bibliométrico**

Si se analiza la bibliografía en materia de FA de los últimos años desde un punto de vista académico, se puede observar en su fase de crecimiento exponencial. Para ejemplificar esto se ha realizado una búsqueda de artículos indexados en la Web of Science (5) con la siguiente cadena de búsqueda (Duchêne y colaboradores, 2016), entre los años 1985 y 2017 que incluye todos los tipos de tecnologías:

*TS=(3D-print\* OR three dimensional print\* OR 3D plot\* OR additive manufac\* OR stereolitho\* OR stereo lithogra\* OR direct metal laser sinter\* OR drug print\* OR 3d Biop\* OR three dimensional biopr\* OR electron beam melting OR Selective laser melt\* OR Selective laser sinter\* OR fused deposition modelling OR fused deposition modeling OR Laser cus\* OR sheet lamination OR binder jetting)*

El número de artículos clasificado por años se encuentra en la Tabla 1. Si se analizan los resultados desde 1985 a 2017, obtenemos un total de 44.735 registros entre casos de estudio, encuestas e investigación en acción para los artículos de investigación; y estudios conceptuales, así como revisiones de la literatura. De acuerdo con los datos de la *Web of Science*, en todo este tiempo, las publi-

**TABLA 1**  
**DOCUMENTOS CIENTÍFICOS EN FUENTES INTERNACIONALES SOBRE FA**

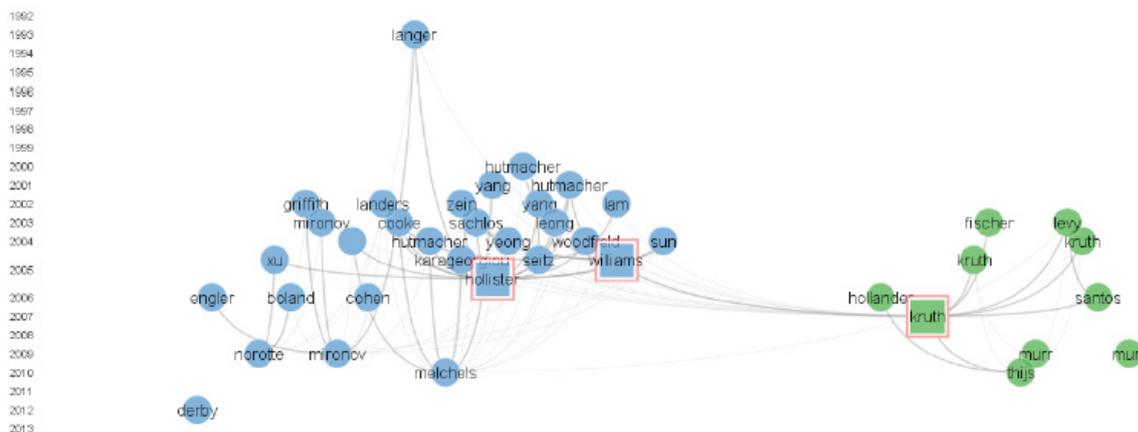
Intervalo	Número de documentos
2013-2017	24.600
2008-2012	8.964
2003-2007	5.356
1998-2002	3.417
1993-1997	1.842
1987-1992	556

Fuente: Web of Science y elaboración propia

caciones de investigadores de Estados Unidos de América obtuvieron un 28,57% del total, seguidas de China (un 13,87%), Alemania (9,08%) y el Reino Unido (6,98%). El área de investigación con mayor número de contribuciones es la ingeniería (34,42%), seguida por la ciencia de los materiales (25,49%), la física (12,49%) y la química (9,66%). Las publicaciones científicas con mayor número de artículos provienen de actas de congresos como SPIE (de la Sociedad Internacional de Óptica y Fotónica) con un 3,73%, así como las revistas *Rapid Prototyping Journal* y *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* con un porcentaje superior a la unidad por lo que, todavía, es un campo con mucha dispersión, con un núcleo muy pequeño formado por estas tres.

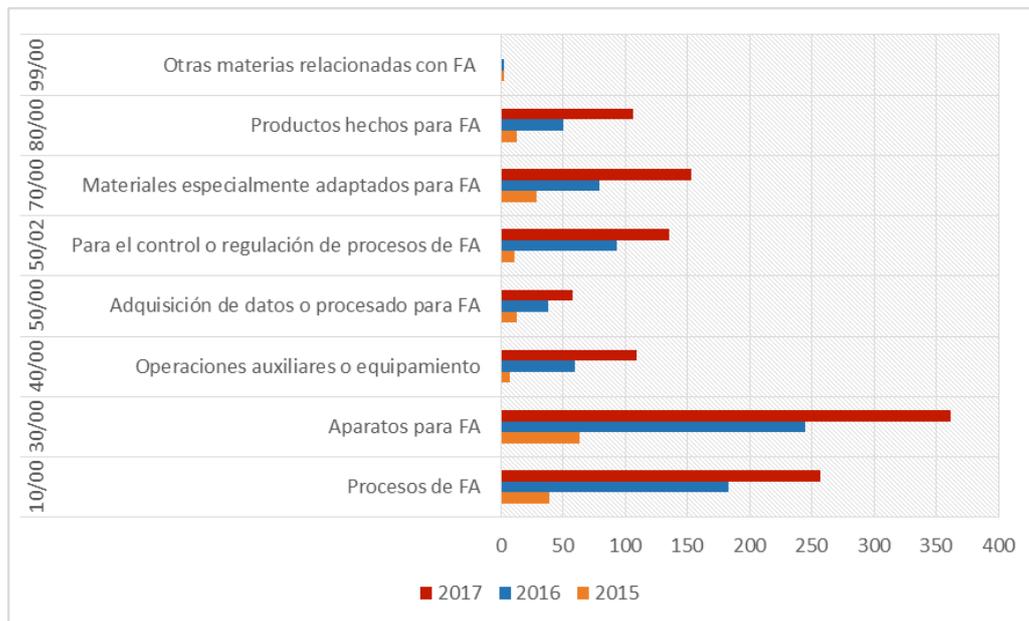
Para profundizar en el estudio de las cocitaciones, permitiendo analizar a los autores principales que marcan tendencias en la literatura científica, es necesario realizar un análisis bibliométrico conjunto. Así, exportando desde la *Web of Science* todos los registros y sus referencias (citaciones) al programa CitNetExplorer, se

**GRÁFICO 1**  
**ANÁLISIS DE LAS 2000 PRIMERAS REFERENCIAS CADENA COMPLETA FA, CLUSTERING**



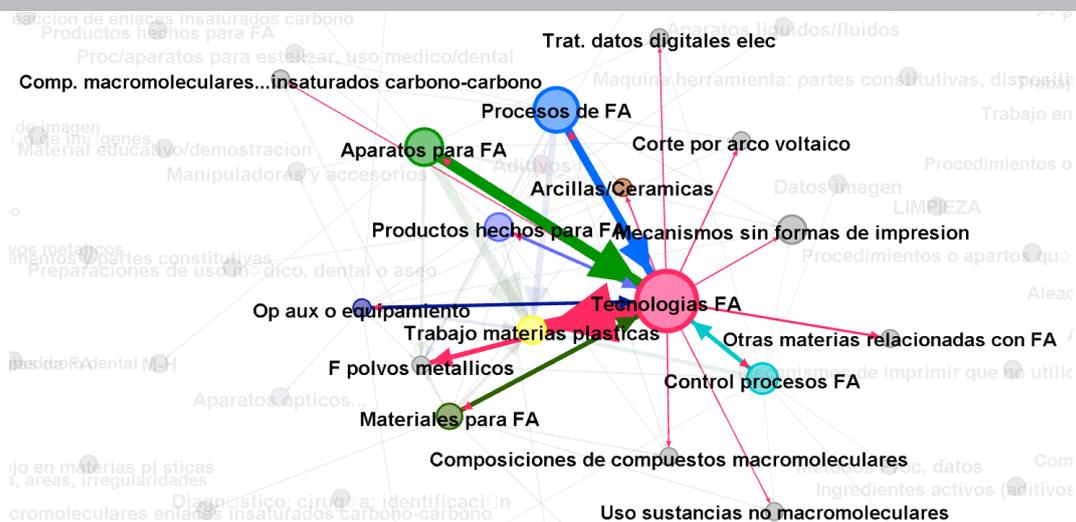
Fuente: Datos de la Web of Science y elaboración propia

GRÁFICO 2  
NÚMERO DE PATENTES INTERNACIONALES POR CATEGORÍA EN FA Y POR AÑO DE PUBLICACIÓN



Fuente: Datos de Patentscope (WIPO) y elaboración propia

GRÁFICO 3  
DIAGRAMA DE RED ENTRE LAS PATENTES INTERNACIONALES DE FA-TECNOLOGÍAS Y CATEGORÍAS CIP



(F: Fabricación; FA: Fabricación Aditiva; Op: Operaciones; Trat: Tratamientos; Comp: Compuestos.)

Fuente: Datos de Patentscope (WIPO) y elaboración propia

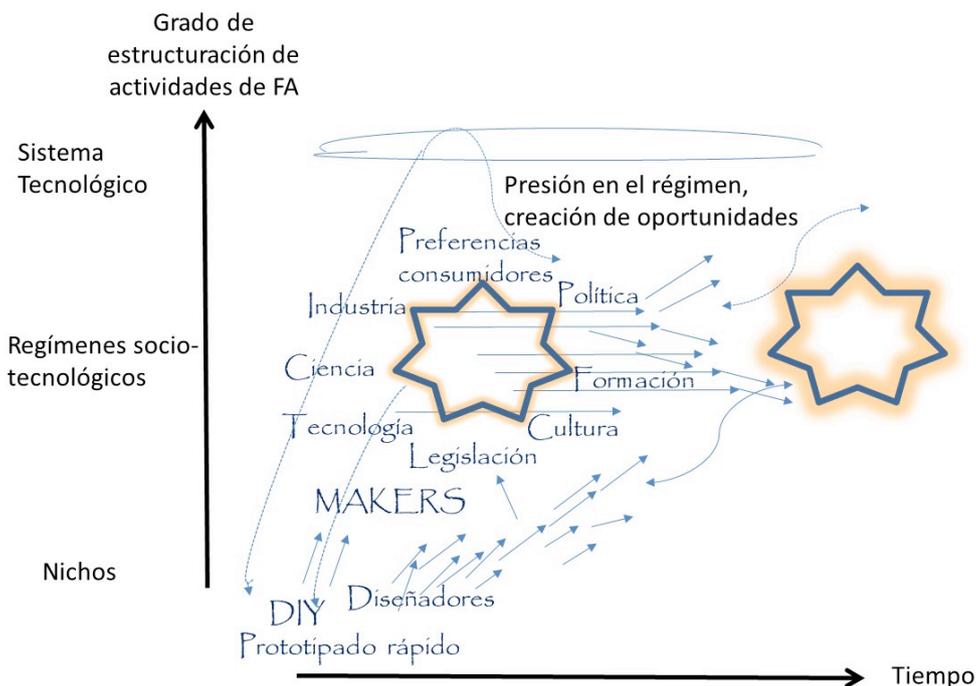
puede visualizar los gráficos y hacer grupos entre las diferentes tendencias, como en el gráfico 1.

En el análisis realizado para las 2.000 primeras referencias en número de citas, con su cadena completa de citas y realizando una agrupación por similitud (*clusters*), se obtienen únicamente dos aunque un gran número de referencias quedan sin agrupación lógica. Se pueden ver, como referencia algunos trabajos que conforman estos dos grandes

grupos como Hollister 2005; Kruth y colaboradores, 2007; Williams y colaboradores, 2005 (Gráfico 1).

La Clasificación Internacional de Patentes (CIP) incluye desde el año 2014, un epígrafe para la FA y su desglose en procesos, aparatos, equipamientos, etc. En el Gráfico 2, se pueden visualizar por años (2015-2017). El crecimiento más abrumador es el de aparatos para FA pero el salto cuantitativo que experimentaron los materiales y el control de procesos, puede ser un indicio de previsión de

FIGURA 3  
PERSPECTIVA MULTINIVEL DE LA FA



Fuente: Elaboración propia

mercado, con una expansión de otros aspectos de la FA más allá de las máquinas y los procesos de fabricación.

Pero para ver la situación actual, no sólo se necesita la información descriptiva, sino que profundizando en las relaciones con otras categorías de la CIP, puede verse el diagrama del Gráfico 3. Generado a partir de los datos anteriores, incluyendo todas las categorías relacionadas en el registro de las solicitudes de patente analizadas y que pueden pertenecer a las categorías de necesidades para la vida, electricidad, química, metalurgia o física. Los diagramas de red permiten ver la información relacionada y el grado de intensidad, formulado en este caso mediante el algoritmo Fruchterman y Reingold (1991) modelado mediante el programa Gephi. Del diagrama completo que incluye todas las relaciones, se ha extraído la relativa a Tecnologías de FA que está influenciada por las invenciones de procesos (B33Y 10/00) y aparatos (B33Y 30/00) para FA bidireccionalmente (Anexo 1). Unidireccionalmente, debido al grosor de la flecha (número de patentes con código compartido) el mayor impacto es el que tienen estas tecnologías sobre los trabajos en materias plásticas (B29L).

### La perspectiva multinivel en fabricación aditiva

Existe un gran número de investigaciones recientes basadas en esta metodología, acerca de cómo se produce la sustitución y desplazamiento de tecnologías existentes. Utilizada con efecto histórico, se han estudiado casos como los barcos de vapor (Geels 2002), el carbón y la «descarbonización» con sus posibles impactos (Turnheim y Geels 2012; Rosenbloom y Meadowcroft, 2014), o

cómo se produjo la adopción de la tecnología de radiofrecuencia (RFID) (Bunduchi, Weisshaar y Smart 2011).

Cuando emerge la tecnología se crean nichos tecnológicos que se desarrollan en pequeñas redes, normalmente por una parte marginal de los actores. Suelen representar una parte de las aplicaciones específicas con reglas fluidas pero, sin embargo, de límites borrosos y expansión difusa (Rip y Kemp 1998). En caso de que haya clientes potenciales, se convierten en nichos de mercado y pueden evolucionar. Las innovaciones que provienen de los nichos construyen una imagen de la tecnología a través de procesos de aprendizaje, demostraciones de las mejoras en rendimiento y precios etc. a grupos más poderosos (Geels y Schot, 2007), produciendo una expansión potencial de la tecnología. El movimiento «Hazlo tú mismo», conocido por su denominación en inglés «Do-it-yourself» (DIY) incluye a los diseñadores en una primera ola de subsistencia, una segunda ola que incluye el desarrollo industrial y con más medios; y, finalmente, una tercera ola más revolucionaria de prosumidores, innovadores y emprendedores (Fox, 2014) que podríamos estar presenciando ahora, si se observa a usuarios de asociaciones, incubadoras de empresas y emprendedores, conocidos entre sí como «makers».

Los regímenes tecnológicos contienen reglas embebidas en complejas prácticas de ingeniería, procesos de producción, características de los productos, habilidades, formas de manejar las personas, los equipos y los artefactos, de definir los problemas y todo ello embebido en estructuras e instituciones. En el entorno de la FA están configurándose actualmente modos de operar económica y

TABLA 2  
PARADIGMAS ACTUALES Y NUEVOS DE LA FA

	RETOS ACTUALES	RETOS DE FUTURO
TECNOLOGIAS	Limitaciones del diseño Materiales disponibles Dimensiones del producto Materiales comunes	Metadiseño Mezclas de materiales y nuevos materiales Adaptación dimensional Bio-materiales
PRODUCTOS	Tamaño de los lotes de fabricación El entregable es el producto	Personalización en masa El entregable incluye visión funcional, artística, etc. del producto y/o co-diseño del usuario
MERCADOS	Generación de contenidos Orientación funcional al producto Uso (y escasamente compra) de los diseños por Internet Cadena de suministro complementaria	Nuevos modelos de negocio Orientación al cliente final Hábitos de compra por Internet Destrucción de intermediarios en la cadena de suministro
	RETOS ACTUALES	RETOS DE FUTURO
GESTIÓN	Marketing de guerrillas Corto plazo Innovación basada en la tecnología Asimetrías productor-usuario	Corporativización Largo plazo Innovación basada en el cliente Empoderamiento del usuario
RESPONSABILIDAD SOCIAL	Política industrial de apoyo a tecnologías industriales Sistema de Propiedad Industrial e Intelectual	Política industrial de crecimiento sostenible Adaptación de los sistemas de Propiedad y Diseño Poder de mercado de grandes diseñadores y/o fabricantes
APLICACIONES	Planificación quirúrgica Implantes bio-inertes Artículos de decoración Textiles y confecciones Componentes plásticos interiores de vehículos Partes metálicas en aeronaves Modelado de metal por inyección Repuestos de máquinas Construcciones asequibles	Transhumanismo Co-creación simultánea Comunidades artesanas Empoderamiento de la intuición Eliminación de almacenes

Fuente: Elaboración propia

logísticamente en el contexto político y científico-técnico los actores relevantes que perciben las oportunidades para el futuro e influyen en los regímenes.

Así, en la Figura 3, se puede ver una aproximación a la FA desde una perspectiva multinivel. Los primeros nichos de mercado se inspiran en las tecnologías de prototipado rápido y los movimientos de *makers* en sentido amplio, como el DIY y diseñadores: comunidades científicas, grupos técnicos, asociaciones de usuarios, etc. que configuran redes de múltiples agentes convergiendo en un régimen tecnológico que proporciona financiación (capital riesgo, fondos públicos para I+D); redes de investigación y tecnología en universidades, centros tecnológicos y programas de incubadora de empresas, spin off, start up; empresas proveedoras de todo tipo de máquinas y materiales; usuarios finales. Los regímenes socio-tecnológicos actuales dependen de numerosos factores, entre ellos, las tendencias de la ciencia, la tecnología, la cultura, etc. que dan forma a las preferencias de los consumidores y a los productores adaptándose a estas. Las transiciones tecnológicas que estamos viviendo en FA, se están produciendo debido a las uniones e in-

teracciones entre todos los agentes que se producen en diferentes niveles, configurando un panorama de sistema tecnológico que incide también en el cambio de régimen hacia la FA.

## RETOS DE FUTURO ↓

En el análisis de prospectiva tecnológica sobre FA se han utilizado diferentes metodologías, siendo la más recurrente la generación de escenarios aunque se puedan complementar mediante otras como el prototipado mediante ciencia ficción o estudios Delphi como Birtchnell y Urry (2013) o Jiang, Kleer y Piller (2017). Para las organizaciones empresariales, realizar prospectiva permite realizar inteligencia anticipatoria, dictar directrices de estrategia corporativa, iniciar programas de investigación y desarrollo y un catalizador para la innovación (Becker 2002, página 9). Pero para los gestores de políticas públicas es la oportunidad para resolver contradicciones entre las organizaciones y el entorno en el que se mueven (De Smedt, Borch y Fuller, 2013), como está siendo requerido en la FA.

En la Tabla 2 se incluyen los retos de la FA resumidos en sus categorías. Los factores limitantes técnicos son cada vez menores y los experimentos complejos e intrincados, tanto que sus aplicaciones exceden a la comprensión actual que tenemos del entorno e, incluso, a la biología humana. La industria ya se está preparando para el proceso de destrucción creativa y aprovechando las ventajas actuales de la FA, así el McKinsey Global Institute (en 2013) estimó el impacto de la fabricación aditiva por encima de 550 billones de dólares estadounidenses para el año 2025. Los consumidores ansían más personalización a menor coste y rapidez. Los materiales están experimentando un gran despegue, que permitirá mayor libertad de diseño, seguridad y variedad (Anexo 2). Sin embargo, las políticas públicas y formativas, junto con los aspectos de certificación y explotación del modelo de negocio tienen todavía un recorrido que realizar para que los retos de futuro puedan ser plausibles, independientemente de qué escenario se desarrolle en las próximas décadas.

## CONCLUSIONES

El modelo que se ha utilizado de perspectiva multinivel se ha aplicado a las transiciones en los sistemas técnico-sociales, como son la generación de energía, el transporte o el abastecimiento de agua (Markard, Raven y Truffer 2012), la FA es más que una transición tecnológica desde el punto de vista de que podría incluir en el futuro cambios en las prácticas de los usuarios y el marco institucional (regulatorio y cultural). Indicios como, por ejemplo, la creación de la sub-categoría en la Clasificación Internacional de Patentes para estas tecnologías (B33Y) pero quedan otros aspectos por proteger, en el caso de los usuarios como son los de propiedad intelectual y, desde el punto de vista normativo, las certificaciones de producto.

Los nichos son semillas para el cambio tecnológico que pueden partir de redes de contactos muy precarios al principio. Aunque las raíces de esta tecnología tienen más de tres décadas, es ahora cuando se encuentra dando un salto decisivo que puede terminar en un cambio de régimen tecnológico que en algunas industrias (como los operadores logísticos), puede ser de destrucción creativa.

Algunas críticas a la MLP, como su naturaleza conceptual y falta de aplicación empírica, negligencia de agencia (al considerar un proceso de transformación en bloque sin atender a sus partes), o hacer demasiado hincapié en los nichos como motor del cambio de régimen tecnológico (Geels and Schot 2007), han intentado superarse aportando información en los apartados anteriores, sobre todo con los análisis realizados sobre patentes y artículos científicos.

El análisis cuantitativo de Khorram Niaki y Nonino (2017) encontró ocho aspectos sobre los que se ha centrado la literatura científica en el entorno de la FA hasta ahora: la selección de tecnologías, cadena de suministro, diseño de producto y modelos de costes de producción, cambios estratégicos, sistemas de fabricación, innova-

ción basada en fuentes abiertas, modelos de negocio y económicos. En este artículo se ha seleccionado lo más relevante respecto a las tecnologías de FA y los retos actuales y futuros previstos por la literatura científica incluyendo las potenciales aplicaciones futuras hasta de índole filosófica, como puede ser el transhumanismo.

## NOTAS

- [1] [www.materialise.com](http://www.materialise.com)
- [2] [www.3dcreationlab.co.uk](http://www.3dcreationlab.co.uk)
- [3] [www.sculpteo.com](http://www.sculpteo.com)
- [4] [www.shapeways.com](http://www.shapeways.com)
- [5] Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI, CCR-EXPANDED, IC

Este trabajo ha sido posible gracias al proyecto de investigación CUD2016-11, financiado por el Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza.

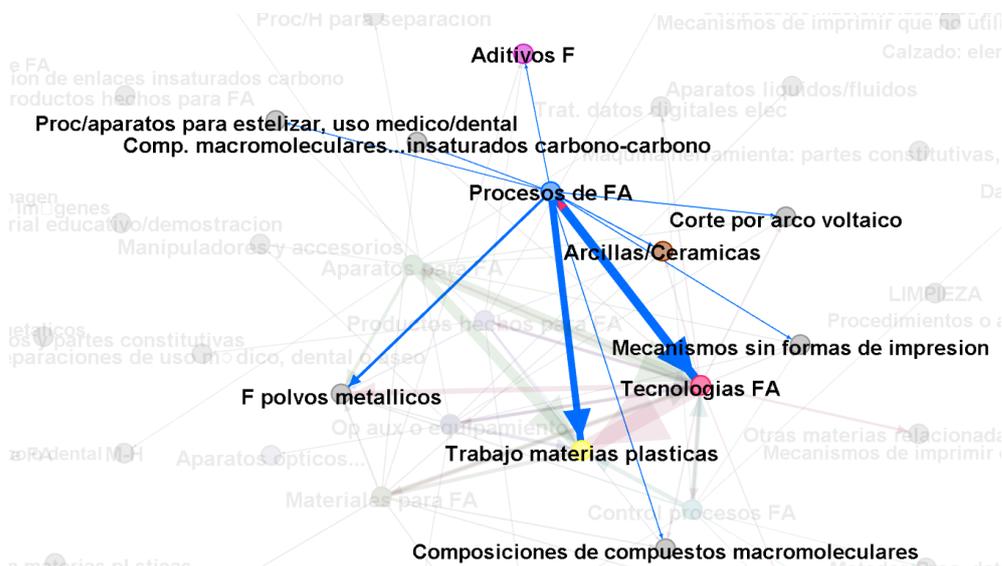
## BIBLIOGRAFÍA

- ASTM International. 203AD. «F2792 - Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies.»
- Becker, Patrick. 2002. «Corporate Foresight in Europe : A First Overview.» Brussels. [ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/foresight/docs/st\\_corporate\\_foresight\\_040109.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/foresight/docs/st_corporate_foresight_040109.pdf).
- Berman, Barry. 2012. «3-D Printing: The New Industrial Revolution.» *Business Horizons* 55 (2). «Kelley School of Business, Indiana University»: 155–62. doi:10.1016/j.bushor.2011.11.003.
- Birchneil, Thomas, and John Urry. 2013. «3D, SF and the Future.» *Futures* 50 (June): 25–34. doi:10.1016/j.futures.2013.03.005.
- Bunduchi, Raluca, Clara Weisshaar, and Alison U. Smart. 2011. «Mapping the Benefits and Costs Associated with Process Innovation: The Case of RFID Adoption.» *Technovation* 31 (9). Elsevier: 505–21. doi:10.1016/j.technovation.2011.04.001.
- De Smedt, Peter, Kristian Borch, and Ted Fuller. 2013. «Future Scenarios to Inspire Innovation.» *Technological Forecasting and Social Change* 80 (3). Elsevier Inc.: 432–43. doi:10.1016/j.techfore.2012.10.006.
- Duchêne, Vincent, Pierra Padilla, Els Van der Velde, Annelies Wastyn, Lidia Nuñez, Steven Knotter, Giorgio Magistrelli, et al. 2016. «Identifying Current and Future Application Areas, Existing Industrial Value Chains and Missing Competences in the EU, in the Area of Additive Manufacturing (3D Printing).» doi:10.2826/72202.
- Ford, Simon, Letizia Mortara, and Tim Minshall. 2016. «The Emergence of Additive Manufacturing: Introduction to the Special Issue.» *Technological Forecasting and Social Change* 102: 156–59. doi:10.1016/j.techfore.2015.09.023.
- Fox, Stephen. 2014. «Third Wave Do-It-Yourself (DIY): Potential for Prosumption, Innovation, and Entrepreneurship by Local Populations in Regions without Industrial Manufacturing Infrastructure.» *Technology in Society* 39. Elsevier Ltd: 18–30. doi:10.1016/j.techsoc.2014.07.001.
- Fruchterman, Trnj, and Ern Reingold. 1991. «Graph Drawing by Force Directed Placement.» *Software: Practice and Experience* 21 (November): 1129–64. doi:10.1002/spe.4380211102.

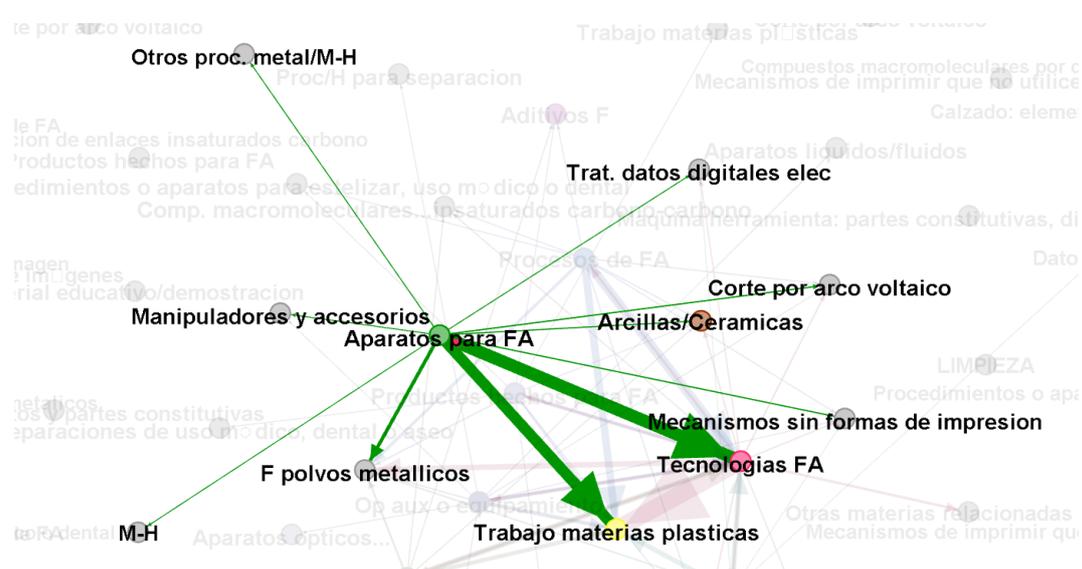
- Gálvez, Antonio Moreno-torres. 2015. «Disrupción Tecnológica Digital.» *Economía Industrial* 395 (1er Trimestre): 179–80.
- Gartner. 2014. «Hype Cycle for Emerging Technologies Maps the Journey to Digital Business.»
- Gault, Fred. 2016. «Defining and Measuring Innovation in All Sectors of the Economy: Policy Relevance.» *OECD Blue Sky Forum III*, no. September 2016: 1–22. <https://www.oecd.org/sti/008 - BS3 2016 GAULT Extending the measurement of innovation .pdf>.
- Geels, Frank W. 2002. «Technological Transitions as Evolutionary Reconfiguration Processes: A Multi-Level Perspective and a Case-Study.» *Research Policy* 31 (June): 1257–74. doi:10.1016/S0048-7333(02)00062-8.
- Geels, Frank W., and Johan Schot. 2007. «Typology of Sociotechnical Transition Pathways.» *Research Policy* 36 (3): 399–417. doi:10.1016/j.respol.2007.01.003.
- Hollister, Scott J. 2005. «Porous Scaffold Design for Tissue Engineering.» *Nature Materials* 4 (7): 518–24. doi:10.1038/nmat1421.
- Jiang, Ruth, Robin Kleer, and Frank T. Piller. 2017. «Predicting the Future of Additive Manufacturing: A Delphi Study on Economic and Societal Implications of 3D Printing for 2030.» *Technological Forecasting and Social Change* 117. The Authors: 84–97. doi:10.1016/j.techfore.2017.01.006.
- Khorram Niaki, Mojtaba, and Fabio Nonino. 2017. «Additive Manufacturing Management: A Review and Future Research Agenda.» *International Journal of Production Research* 55 (5): 1419–39. doi:10.1080/00207543.2016.1229064.
- Kietzmann, Jan, Leyland Pitt, and Pierre Berthon. 2015. «Disruptions, Decisions, and Destinations: Enter the Age of 3-D Printing and Additive Manufacturing.» *Business Horizons* 58 (2). «Kelley School of Business, Indiana University»: 209–15. doi:10.1016/j.bushor.2014.11.005.
- Kruth, J.-P., G. Levy, F. Klocke, and T.H.C. Childs. 2007. «Consolidation Phenomena in Laser and Powder-Bed Based Layered Manufacturing.» *CIRP Annals* 56 (2): 730–59. doi:10.1016/j.cirp.2007.10.004.
- Markard, Jochen, Rob Raven, and Bernhard Truffer. 2012. «Sustainability Transitions: An Emerging Field of Research and Its Prospects.» *Research Policy* 41 (6). Elsevier B.V.: 955–67. doi:10.1016/j.respol.2012.02.013.
- Markard, Jochen, and Bernhard Truffer. 2008. «Technological Innovation Systems and the Multi-Level Perspective: Towards an Integrated Framework.» *Research Policy* 37 (4): 596–615. doi:10.1016/j.respol.2008.01.004.
- McKinsey Global Institute. 2013. «Disruptive Technologies: Advances That Will Transform Life, Business, and the Global Economy.» Seoul.
- Petrack, Irene J., and Timothy W. Simpson. 2013. «Point of View: 3D Printing Disrupts Manufacturing: How Economies of One Create New Rules of Competition.» *Research-Technology Management* 56 (6): 12–16. doi:10.5437/08956308X5606193.
- Raby, M. 2012. «3D Printing Market to Hit \$3 Billion by 2018.» *Slashgear*. <https://www.slashgear.com/3d-printing-market-to-hit-3-billion-by-2018-23239870/>.
- Rayna, Thierry, and Ludmila Striukova. 2015. «From Rapid Prototyping to Home Fabrication: How 3D Printing Is Changing Business Model Innovation.» *Technological Forecasting and Social Change* 102. Elsevier B.V.: 214–24. doi:10.1016/j.techfore.2015.07.023.
- Rip, A., and R. Kemp. 1998. «Technological Change.» In *Human Choice and Climate Change*, 327–99. Ohio. Volume 2, Ch: Battelle Press.
- Rosenbloom, Daniel, and James Meadowcroft. 2014. «The Journey towards Decarbonization: Exploring Socio-Technical Transitions in the Electricity Sector in the Province of Ontario (1885-2013) and Potential Low-Carbon Pathways.» *Energy Policy* 65 (February). Elsevier: 670–79. doi:10.1016/j.enpol.2013.09.039.
- Schmidt, Michael, Marion Merklein, David Bourell, Dimitri Dimitrov, Tino Hausotte, Konrad Wegener, Ludger Overmeyer, Frank Vollertsen, and Gideon N. Levy. 2017. «Laser Based Additive Manufacturing in Industry and Academia.» *CIRP Annals* 66 (2). CIRP: 561–83. doi:10.1016/j.cirp.2017.05.011.
- Slayton, Rebecca, and Graham Spinardi. 2016. «Radical Innovation in Scaling up: Boeing's Dreamliner and the Challenge of Socio-Technical Transitions.» *Technovation* 47. Elsevier: 47–58. doi:10.1016/j.technovation.2015.08.004.
- Smith, Adrian, Jan-Peter Voß, and John Grin. 2010. «Innovation Studies and Sustainability Transitions: The Allure of the Multi-Level Perspective and Its Challenges.» *Research Policy* 39 (4): 435–48. doi:10.1016/j.respol.2010.01.023.
- Thomas, D, and S Gilbert. 2014. «Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing - A Literature Review and Discussion.» *NIST Special Publication* 1176: 1–77. doi:10.6028/NIST.SP.1176.
- Turnheim, Bruno, and Frank W. Geels. 2012. «Regime Destabilisation as the Flipside of Energy Transitions: Lessons from the History of the British Coal Industry (1913-1997).» *Energy Policy* 50. Elsevier: 35–49. doi:10.1016/j.enpol.2012.04.060.
- Walter, Manfred, Jan Holmström, and Hannu Yrjölä. 2004. «Rapid Manufacturing and Its Impact on Supply Chain Management.» *Proceedings of the Logistics Research Network Annual Conference*, no. November: 12. [http://legacy-tuta.hut.fi/logistics/publications/LRN2004\\_rapid\\_manufacturing.pdf](http://legacy-tuta.hut.fi/logistics/publications/LRN2004_rapid_manufacturing.pdf).
- Weller, Christian, Robin Kleer, and Frank T. Piller. 2015. «Economic Implications of 3D Printing: Market Structure Models in Light of Additive Manufacturing Revisited.» *International Journal of Production Economics* 164. Elsevier: 43–56. doi:10.1016/j.ijpe.2015.02.020.
- West, Joel, and George Kuk. 2016. «The Complementarity of Openness: How MakerBot Leveraged Thingiverse in 3D Printing.» *Technological Forecasting and Social Change* 102 (January). Elsevier B.V.: 169–81. doi:10.1016/j.techfore.2015.07.025.
- Williams, Jessica M., Adebisi Adewunmi, Rachel M. Schek, Colleen L. Flanagan, Paul H. Krebsbach, Stephen E. Feinberg, Scott J. Hollister, and Suman Das. 2005. «Bone Tissue Engineering Using Polycaprolactone Scaffolds Fabricated via Selective Laser Sintering.» *Biomaterials* 26 (23): 4817–27. doi:10.1016/j.biomaterials.2004.11.057.
- Wittbrodt, B. T., A. G. Glover, J. Laureto, G. C. Anzalone, D. Opplinger, J. L. Irwin, and J. M. Pearce. 2013. «Life-Cycle Economic Analysis of Distributed Manufacturing with Open-Source 3-D Printers.» *Mechatronics* 23 (6). Elsevier Ltd: 713–26. doi:10.1016/j.mechatronics.2013.06.002.
- Wohlers Associates. 2016. «Wohlers Report 2016: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry - Annual Worldwide Progress.» Colorado. <https://wohlersassociates.com/press71.html>.

ANEXO 1  
DIAGRAMA DE RED ENTRE PATENTES

Procesos



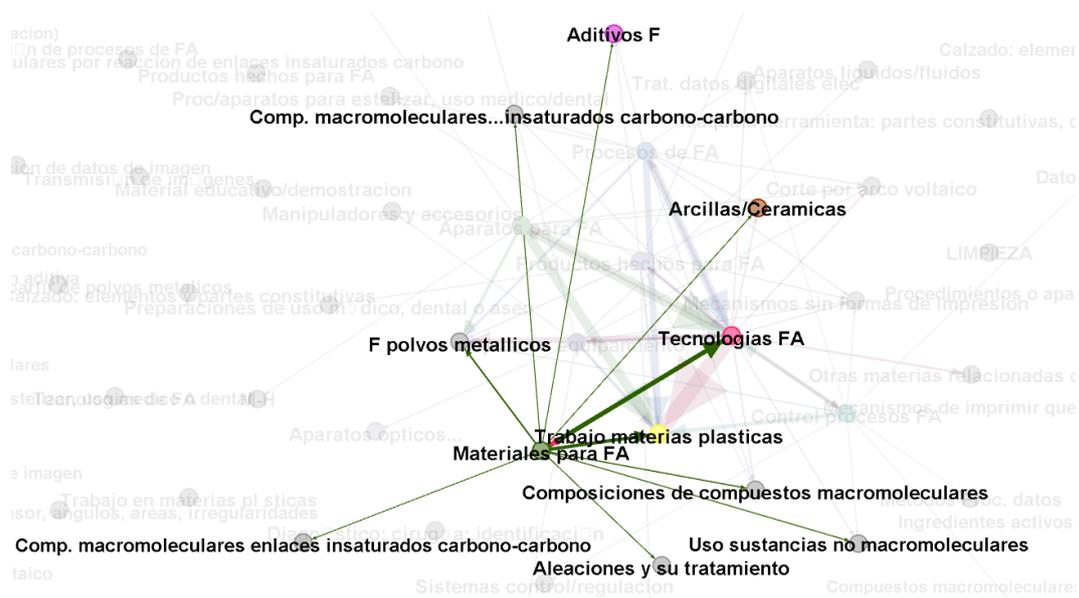
Aparatos



Fuente: Datos de Patentscope (WIPO) y elaboración propia

ANEXO 1  
DIAGRAMA DE RED ENTRE PATENTES

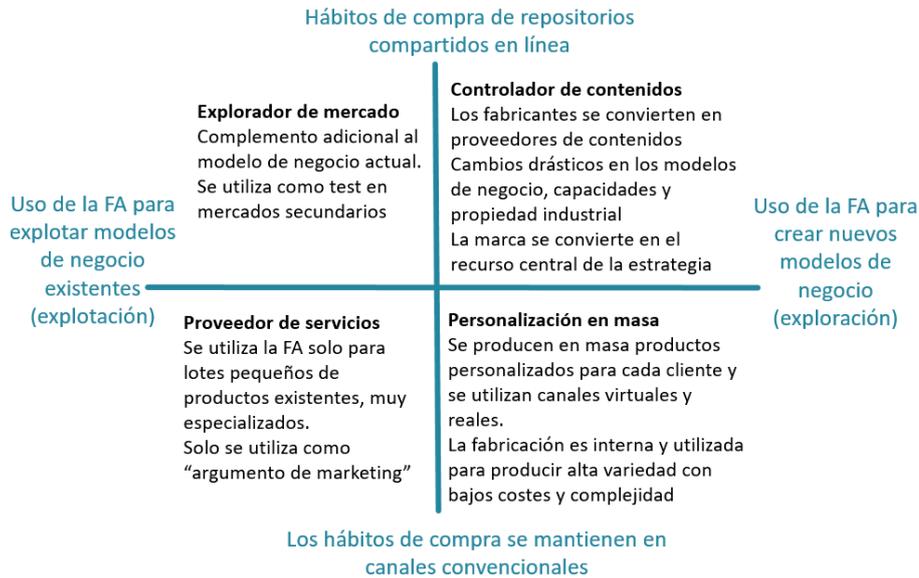
**Materiales para FA**



Fuente: Datos de Patentscope (WIPO) y elaboración propia

ANEXO 2  
 ESCENARIOS GENERADOS A PARTIR DE DIFERENTES TÉCNICAS PARA PROSPECTIVA DE LA FA

Cómo afecta la FA a los modelos de compra del consumidor



Fuente: (Jiang, Kleer, and Piller 2017)

Cómo será el desarrollo de la tecnología de FA



Fuente: (Birchneil and Urry 2013)