



FABRICACIÓN DE IMPRESORAS 3D EN ARGENTINA

-INDUSTRIA 4.0
-FORMULACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE PROYECTOS

Suma valor
a un país de ideas

FABRICACIÓN DE IMPRESORAS 3D EN ARGENTINA



- INDUSTRIA 4.0
- FORMULACIÓN Y PUESTA EN VALOR DE PROYECTOS

Diciembre 2018

Presidente del INTI

Javier Ibañez

Gerencia Operativa de Desarrollo Tecnológico e Innovación

Leonardo Spina

Subgerencia Operativa de Áreas de Conocimiento

María de los Ángeles Cappa

Subgerencia Operativa de Transferencia Tecnológica

Diego Pasjalidis

Dirección Técnica de Industria 4.0

Raquel Ariza

Dirección Técnica de Formulación y Puesta en Valor de Proyectos

Marcos Villa

Coordinación y análisis - Dirección Técnica de Formulación y Puesta en Valor de Proyectos

Gabriel Queipo

Entrevistas

Verónica Cesa - Dirección Técnica de Formulación y Puesta en Valor de Proyectos

Diego Hybel - Dirección Técnica de Formulación y Puesta en Valor de Proyectos

Revisión y discusión:

Pablo Herrero - Dirección Técnica de Industria 4.0

Cristian Sandre - Dirección Técnica de Industria 4.0

Mariela Secchi - Dirección Técnica de Diseño Industrial

Rosalba Becker - Dirección Técnica de Diseño Industrial

Kevin Nemcansky - Dirección Técnica de Industria 4.0

Pablo Vergelin - Dirección Técnica de Industria 4.0

Eyra Oms - Dirección Técnica de Industria 4.0

Fotografía

Fernando Martínez - Dirección Técnica de Diseño Industrial

Edición y diagramación

Gerencia de Relaciones Institucionales y Comunicación

Queipo, Gabriel Carlos
Fabricación de impresoras 3D en Argentina / Gabriel Carlos Queipo ; contribuciones de Raquel Ariza ... [et al.] ; fotografías de Fernando Martínez. - 1a ed. - General San Martín : Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, 2019.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-532-418-7

1. Impresión. 2. Fabricación por Computadora. I. Ariza, Raquel, colab. II. Martínez, Fernando, fot. III. Título.
CDD 686.2092

Esta publicación no podrá ser reproducida o transmitida en forma alguna por ningún medio sin permiso previo del Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

Hecho el depósito que establece la ley 11 723. Derechos reservados.

ÍNDICE

Introducción.....	7
Sección I. La industria global de impresoras 3D.....	8
La impresión 3D.....	8
Ventajas y desafíos de la Impresión 3D.....	10
El mercado global de la Impresión 3D.....	12
Impacto de la industria y en la cadena global de suministro	19
El proceso de manufactura aditiva.....	21
Tecnologías y materiales.....	23
Aplicaciones actuales.....	25
Desarrollos futuros.....	28
Sección II. Industria Nacional.....	33
Impresión 3D en Argentina.....	33
Mercado nacional de impresoras 3D.....	37
Fabricación nacional.....	44
Proceso productivo, mano de obra y costos.....	45
Modelo de negocios.....	45
Perspectivas tecnológicas y de mercado.....	48
Relación con el sector público.....	48
Sección III. Conclusiones.....	50
Referencias Bibliográfica.....	52
Anexo I. Principales Tecnologías de Impresión 3D.....	56
Anexo II. Entrevistas realizadas.....	61

INTRODUCCIÓN

Hasta ahora los estudios referidos a la impresión 3D en Argentina abordaron el tema desde el punto de vista de sus aplicaciones, de la identificación de los actores y sus perspectivas de desarrollo. El presente estudio se centra, en cambio, en el sector fabricante de impresoras 3D existente en el país. Sus objetivos son establecer una línea de base para el seguimiento del sector fabricante de impresoras 3D en Argentina, analizar los condicionantes para su desarrollo en el largo plazo y sugerir líneas de acción para maximizar su aporte a la economía nacional.

En la primera sección se relevan las tendencias globales de las distintas técnicas de manufactura aditiva y en la segunda, las capacidades actuales de la industria local y la demanda potencial de las distintas aplicaciones actuales y previstas para el futuro. En la tercera sección se extraen las conclusiones del trabajo.

En lo referido al panorama internacional el estudio se basó sobre información de acceso público disponible en Internet que fue enriquecida desde el punto de vista técnico por aportes del equipo de trabajo de INTI Diseño. La sección nacional tuvo como fuentes principales la información de comercio exterior argentino suministrada por la Dirección General de Aduanas y entrevistas en profundidad a responsables de las empresas fabricantes y otros informantes calificados. Esta información se complementó con datos estadísticos publicados en Internet por fuentes reconocidas y presentaciones públicas realizadas en jornadas referidas a impresión 3D o temas de diseño realizadas en INTI.

Las entrevistas realizadas siguieron pautas preestablecidas orientadas a indagar sobre diversos aspectos de la realidad de la fabricación nacional de impresoras 3D, procurando responder interrogantes como quiénes son sus protagonistas, bajo qué condiciones llevan adelante estos emprendimientos, cuáles son sus estrategias de negocio y qué perspectivas ven para el sector en el país, entre otros.

01. LA INDUSTRIA GLOBAL DE IMPRESORAS 3D

1.1. LA IMPRESIÓN 3D

El proceso de materialización de un objeto mediante la adición sucesiva de capas de material, partiendo de un diseño tridimensional realizado con herramientas CAD, recibe normalmente el nombre de impresión 3D. Sin embargo, en literatura técnica es más frecuente el uso de la denominación manufactura aditiva. La Norma ISO/ASTM F2792 define la manufactura aditiva como el proceso de unión de materiales para hacer partes desde los datos de un modelo tridimensional, usualmente capa sobre capa, por contraposición a las metodologías de manufactura sustractiva y formativa. Este método de generar una forma determinada contrasta con las tradicionales basadas sobre la extracción de material (por ejemplo, mecanizado o estampado), la inyección o la colada (fundición) en moldes. Partiendo de un archivo CAD y del material en bruto el proceso de impresión 3D puede generar una pieza casi terminada en cuestión de horas. Este tipo de fabricación presenta menores limitaciones relacionadas con pasos de ensamblado, elementos de fijación entre diversas partes, huelgos para la extracción del molde, etc. La materia prima, a su vez, se presenta en formas distintas a las utilizadas en los procesos tradicionales. Si bien la diversidad de presentaciones es mucho más amplia para los procesos tradicionales que para la impresión 3D, se espera que esto se modifique en los años venideros con el crecimiento de esta última.

La impresión 3D fue inventada en los años 80 y su difusión ha ido creciendo desde entonces en los campos del diseño y prototipado, con aplicación creciente en la fabricación de productos finales. Los siguientes cambios tecnológicos generados en los últimos cinco años han modificado el paradigma de una tecnología de aplicación limitada a una más extendida:

- Introducción de más y mejores materiales: en la medida que más jugadores ingresan en el mercado, crece el portfolio de materiales y la variedad de impresoras que pueden usarlos;
- Incremento en la velocidad de impresión, nuevas impresoras y nuevas tecnologías de impresión, tales como las que se valen de más de un láser, permiten superar las barreras de velocidad vigentes hasta hace poco;
- Ampliación de la envolvente de impresión (tamaño máximo de los objetos imprimibles);
- Mejora de la calidad de los productos obtenidos por impresión 3D: la resistencia y consistencia de las partes obtenidas por impresión 3D se acercan cada vez más a sus contrapartes tradicionales;
- Incremento del nivel de control: tecnologías recientes pueden controlar las propiedades del material y de la impresión a nivel del voxel (equivalente 3D del pixel)

Nuevos usos como la corrección dental o los audífonos demuestran la capacidad de la impresión 3D de personalizar productos de alcance masivo. A su vez, nuevos materiales como oro, plata e incluso orgánicos han hecho irrupción en el mercado. Por su parte, la construcción de impresoras 3D desarrolladas por emprendedores pertenecientes al movimiento “maker” contribuyen enormemente a la difusión y avance de esta tecnología.

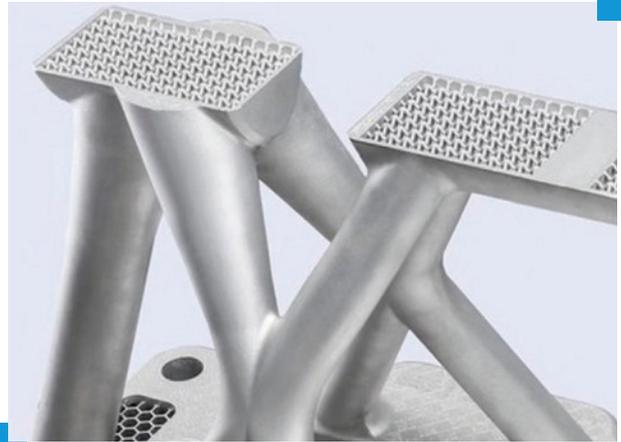


Fuente: EOS, <https://www.eos.info/en>



<https://all3dp.com/2/dental-3d-printing-all-you-need-to-know/>

En síntesis, mientras la impresión 3D se ha transformado en un lugar común, el ingreso de grandes empresas como Hewlet Packard y General Electric al mercado impulsa las capacidades de las nuevas impresoras hacia su aplicación en la fabricación de productos finales.



1.2

VENTAJAS Y DESAFÍOS DE LA IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D cuenta con ventajas intrínsecas que con el desarrollo futuro de esta tecnología se harán más marcadas respecto de otros procesos competidores. Entre ellas se destacan:

- Incremento de la flexibilidad de la producción (lotes de una unidad son posibles y económicamente viables, en algunos casos);
- Acelera la iteración típica del proceso de diseño, reduciendo el tiempo de acceso al mercado;
- Permite superar limitaciones de diseño propias de otros procesos, en especial en la geometría;
- Permite reducir el número de partes y el consiguiente proceso de ensamblado de las mismas;
- No requiere el uso de matrices o moldes;
- Permite obtener productos totalmente personalizados a costos razonables;
- Reduce el costo de la fabricación bajo demanda, minimizando inventarios;
- Reduce el desperdicio de material

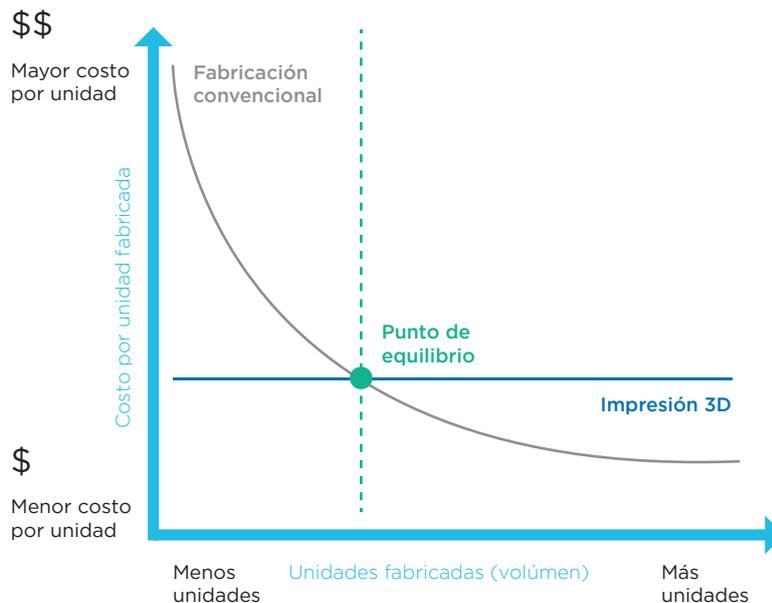
Por otra parte, la impresión 3D o la manufactura aditiva logrará una mayor difusión en la medida que se logren superar los siguientes desafíos:

- La terminación superficial normalmente requiere pos-procesamiento;
- Baja velocidad de impresión, en especial para su aplicación a la fabricación de productos finales;
- Alto costo de los equipos de impresión de uso profesional o industrial;
- Alto costo de la materia prima (filamento polimérico, polvo metálico, resina polimérica, etc.);

- Escasa versatilidad de los equipos de impresión, que generalmente son específicos de un material y su presentación;
- Volumen limitado de la envoltura de impresión;

Con el estado actual de la tecnología, para que la manufactura aditiva de piezas finales sea comercialmente viable deben darse una serie de condiciones:

- Bajos volúmenes de producción (actualmente aproximadamente < 1000 unidades/año);
- Producto de dimensiones reducidas;
- Utilización de materiales caros o de materiales que son difíciles de procesar usando métodos convencionales;
- Casos en los que las partes o componentes son actualmente muy pesados;
- Altos costos como consecuencia del tiempo demandado por sistemas de fabricación complejos;
- Diseño no convencional que determina un gran desperdicio de material durante el mecanizado;
- Tiempos de desarrollo del producto muy largos debido a la preparación del proceso de producción (fabricación de utillajes, moldes, etc.);
- Productos con altos costos operativos en comparación con su costo de adquisición (por ejemplo, aeronaves);
- Demanda descentralizada de partes de repuesto;
- Casos en los que los procesos convencionales limitan las prestaciones del producto (por ejemplo, intercambiadores de calor) – geometrías que no pueden lograrse de otra forma;
- Productos personalizados o a medida (ejemplo ortodoncia);
- Productos con procesos productivos convencionales muy laboriosos que involucran múltiples etapas (ejemplo audífonos);
- Productos que requieren el ensamblado en múltiples etapas de partes hechas de un mismo material;



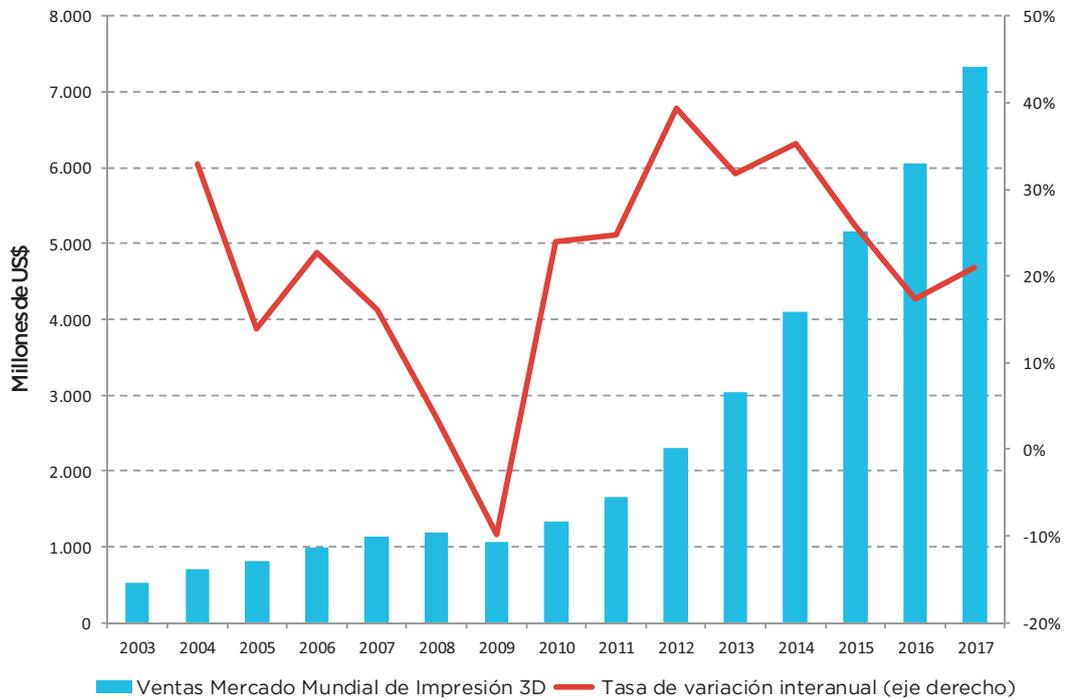
Descripción del gráfico: Comparativa entre la fabricación de un producto por manufactura tradicional, donde el costo unitario (eje vertical) disminuye a medida que aumenta el volumen de unidades producidas (eje horizontal), debido a la amortización del costo inicial en herramienta (matrices, moldes, dispositivos, etc.); versus la fabricación aditiva del mismo producto, donde el costo por unidad se mantiene igual independientemente del volumen de productos fabricados (línea azul), por no requerir herramienta específico. A grandes rasgos, si nuestro volumen previsto de producción se mantiene a la izquierda del punto de equilibrio (línea verde), podríamos evaluar la utilización de tecnologías aditivas para la fabricación de nuestro producto.

1.3

EL MERCADO GLOBAL DE LA IMPRESIÓN 3D

El mercado de impresión 3D se divide en dos grandes segmentos: 1) el personal o de escritorio, destinado principalmente a consumidores privados, hobbistas e instituciones de enseñanza, con aplicación en la impresión de piezas sencillas; 2) el industrial/profesional, con aplicaciones como prototipado funcional rápido, fabricación de moldes o piezas finales y destinado a empresas manufactureras y de servicios de impresión. Ambos segmentos incluyen tanto productos (impresoras, materiales, etc.) como servicios (impresión, diseño de piezas, mantenimiento).

En los últimos 28 años el mercado mundial de la impresión 3D (productos y servicios) creció a una tasa media anual acumulativa elevada (25,9%). Sin embargo, en los últimos 4 años se observa una aceleración de ese crecimiento (28%). En los últimos 7 años el valor de este mercado se multiplicó casi por 5,6 veces (fig. 1). Las estimaciones volcadas en la figura citada incluyen tanto las ventas de impresoras personales o de escritorio como también aquellas de uso industrial o profesional. No incluye las ventas de partes fabricadas por empresas OEM, sus inversiones en investigación y desarrollo, ni las de sus proveedores. Existen pronósticos de que el valor podría superar los US\$ 26.000 millones en 2022 (WohlersAssociates, 2018).

Fig.1. Mercado mundial de impresión 3D. Ventas de productos y servicios.

Fuente: elaboración propia con datos de WohlersAssociates.

Las impresoras de escritorio están diseñadas para su uso en un entorno típico de oficina. Surgieron en los primeros años del siglo y tienen precios finales que van de los US\$ 300 a US\$ 5000. En 2015 el precio promedio se ubicó en US\$ 1.055. Muchas se venden en forma de kits para ser ensambladas por el usuario. Sus prestaciones son muy inferiores a las del segmento industrial/profesional. Aunque el crecimiento de sus ventas se moderó en los últimos años, aún exhiben tasas de crecimiento interanual muy altas, cercanas al 25% (fig. 2).

La tecnología más popular en este segmento es por lejos la FDM (Fused Deposition Modelling) cuya patente expiró en 2009. Esto permitió el ingreso de nuevos fabricantes como MakerBot y Ultimaker y la reducción del precio unitario del orden de US\$ 10.000 a US\$ 1.000 (Schoffer, 2016). Existen también máquinas

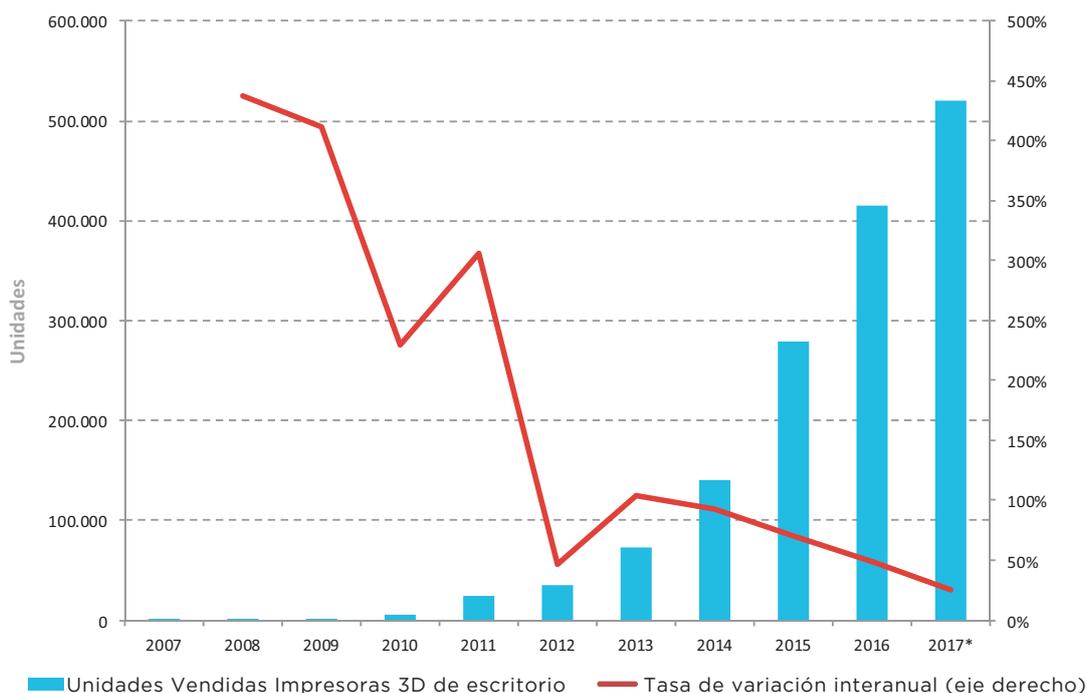
¹El proyecto RepRap fue anunciado en marzo de 2005 por Adrian Bowyer, un profesor de ingeniería mecánica del Reino Unido. Utilizó la impresora comercial Stratasys de su laboratorio para realizar experimentos y fabricar partes, y su experiencia para sugerir una variedad de boquillas para un sistema basado en el proceso FDM que serían considerablemente menos caras, aunque considerablemente más lentas y con menor resolución, que los sistemas de impresión 3D existentes en ese momento. A medida que la patente de Stratasys se aproximaba al momento de su vencimiento en 2006, Bowyer creó reglas de propiedad intelectual (IP) para RepRap análogas a las del software de código abierto y las comunidades de diseño abierto. La participación de hobbistas se vio facilitada por la posibilidad de utilizar impresoras RepRap para hacer otra impresora. La primera copia de ese tipo se hizo en 2008 (West and Kuk, 2015).

de escritorio de tipo SLA (Estereolitografía) y también del tipo SLS (Sinterizado Láser Selectivo) a partir del vencimiento de su patente en 2014.

La accesibilidad, versatilidad y relativa facilidad de uso hizo populares a estas impresoras entre los equipos de diseño, emprendedores e instituciones educativas. Adquirieron además un perfil mediático muy elevado, atrayendo un amplio rango de clientes. Esto propulsó la adopción por parte de empresas que no hubieran considerado esta tecnología, relativamente joven pero de rápida maduración. Muchos fabricantes de impresoras 3D surgieron a lo largo de la década pasada del proyecto RepRap de hardware de fuente abierta, una iniciativa lanzada en 2005 para producir máquinas de bajo costo, incentivada por patentes que habían expirado. La disponibilidad del hardware abierto posibilitó el ingreso de empresas fabricantes. La mayoría utilizaron la misma tecnología FDM que RepRap en sus productos, compitiendo entre ellas y con el hardware abierto RepRap. Algunas firmas como Ultimaker, uno de los fabricantes actualmente más importantes del segmento, utilizaron su aprendizaje obtenido del proyecto RepRap¹ para crear sus propios diseños. En 2012 el principal fabricante de impresoras de aplicación industrial, 3D Systems, lanzó al mercado su línea Cube orientada al segmento personal/de escritorio. Estas compañías comenzaron una carrera hacia precios cada vez más bajos. Muchas empresas no pudieron mantenerse en un ambiente de creciente competencia y desaparecieron del mercado. Actualmente el foco está puesto en la calidad y facilidad de uso. Hoy en día muchos de los fabricantes de sistemas de bajo costo son competitivos y han crecido a la vez que la aceptación de sus productos continúa aumentando (Huff, R. and Wohlers, T., 2018).

Fig.2. Mercado mundial de impresión 3D. Ventas de impresoras de escritorio (precio menor a US\$ 5.000).

*Valores estimados.



Fuente: elaboración propia con datos de WohlersAssociates.

Las impresoras de tipo profesional/industrial, por su parte, se diseñan para brindar a los usuarios profesionales procesos de diseño y fabricación más rápidos y eficientes. Permiten la obtención de prototipos complejos, personalización rápida, prototipos funcionales y mejoras de procesos. Además operan con tecnologías capaces de procesar otros materiales además de polímeros, fundamentalmente metales, y lograr prestaciones de las piezas obtenidas muy superiores a las alcanzables con las de escritorio. Algunas industrias que utilizan estos equipos son la automotriz (por ejemplo para repuestos, componentes y prototipado rápido), aeronáutica (para crear partes de geometría compleja, imposibles de producir por métodos tradicionales), médica (por ejemplo para la impresión de estructuras similares a tejidos para ensayos durante el desarrollo de drogas, implantes o prótesis personalizadas, principalmente en los campos de odontológico y audiológico), joyería, deportes, etc.

Las ventas mundiales de este segmento son mucho menos numerosas que las del personal/de escritorio (fig. 3), pero representan el 80% del mercado de impresoras 3D en valor. El precio varía en un amplio espectro (entre US\$ 5.000 y US\$ 1,5 millones) con un valor promedio de US\$ 97.370 en 2015.

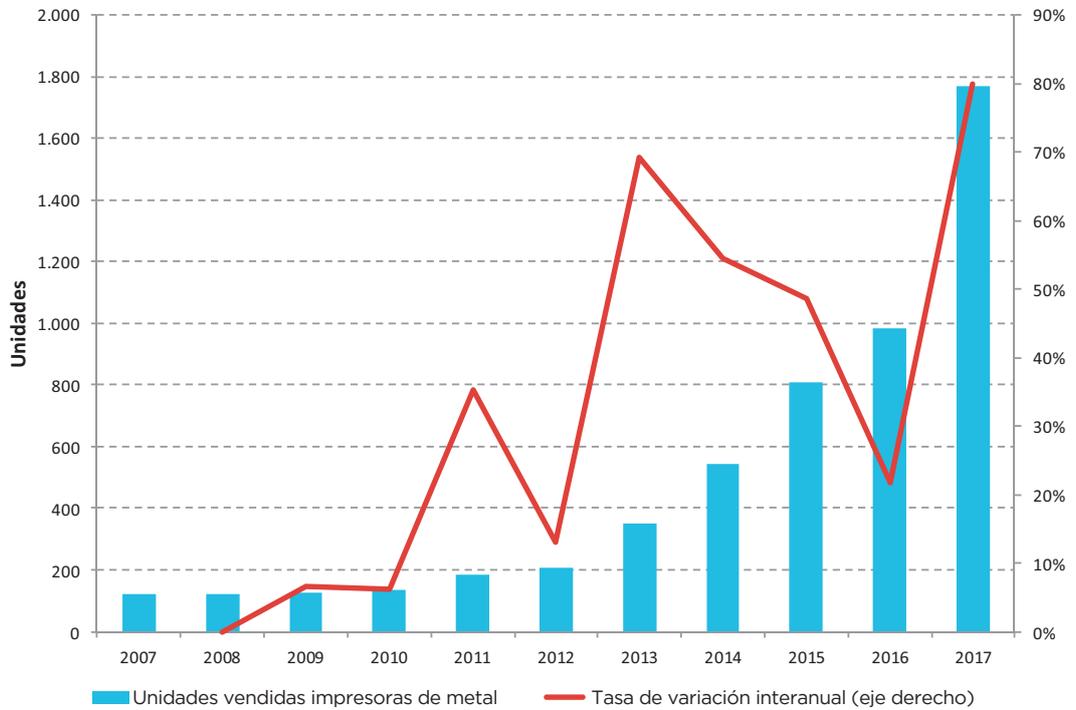
Las tecnologías empleadas en el segmento profesional/industrial son todas las existentes, con predominios de FDM y SLA. Desde 2013 se han acelerado las ventas de equipos capaces de producir piezas metálicas por distintos métodos aditivos como SLM (Selective Laser Melting), EBM (Electron Beam Melting) y LMD (Laser Metal Deposition) (fig. 4).

Fig.3. Mercado mundial de impresión 3D. Ventas de impresoras de uso profesional/industrial (precio mayor a US\$ 5.000).



Fuente: elaboración propia con datos de WohlersAssociates.

Fig.4. Mercado mundial de impresión 3D. Ventas de impresoras de piezas metálicas.



Fuente: elaboración propia con datos de WohlersAssociates.

La oferta mundial de sistemas de impresión 3D se encuentra marcadamente concentrada, tanto en los segmentos personal/de escritorio como profesional/industrial (Tablas 1 y 2). En el segmento personal/de escritorio la firma con base en Taiwán XYZprinting lidera las ventas en los últimos años. Dos firmas importantes en el segmento profesional/industrial han reducido recientemente su participación en el segmento personal/de escritorio. En efecto, 3D Systems dejó el segmento y la firma israelí Stratasys se encuentra en un proceso de reposicionamiento de su marca MakerBot hacia el extremo de mayor calidad del segmento. A la vez marcas nuevas como la china Wanhao y Monoprice aumentan su participación y siguen surgiendo start ups, algunas valiéndose de crowdsourcing para su financiamiento.

El segmento profesional/industrial, se presenta algo más estable, ya que las dos marcas históricas, incluso pioneras de la tecnología, Stratasys y 3D Systems se cuentan entre los principales jugadores del mercado. A ellas se sumaron recientemente General Electric Additive y Hewlett Packard. No obstante, la caída de una buena parte de las patentes clave ha motivado el ingreso de más jugadores. En el segmento se pasó de 49 empresas fabricantes en 2014 a 97 en 2016 (Wohlers, 2017). En cuanto a la materia prima, aproximadamente el 90% de las unidades vendidas globalmente utilizan polímero, representando aproximadamente el 60% del valor del mercado de impresoras de uso industrial.

La impresión 3D se utiliza frecuentemente en la industria para fabricar utillajes de producción y partes de baja demanda. De esa forma los fabricantes pueden ob-

tener rápidamente lo que necesitan. El reemplazo es tan sencillo como reimprimir las partes necesarias. El uso de la impresión 3D en la industria manufacturera irá expandiéndose a tasas diferentes según la rama, impulsada por la tecnología, la madurez y la reducción de costos. Actualmente su uso es más extendido en aplicaciones de bajo volumen de producción, alto costo unitario y con necesidad de personalización, en las que el costo adicional del proceso de manufactura aditiva respecto de los tradicionales se compensa con los beneficios. Sin embargo, el avance de la tecnología ha ido moviendo este límite, desbloqueando su uso en aplicaciones masivas. Usos tales como dispositivos médicos externos, productos de consumo personalizados y partes para la industria aeroespacial y la automotriz serán comunes en los próximos años.

Tabla 1. Principales empresas fabricantes de impresoras 3D personales/de escritorio. Unidades vendidas en 2017, participación en el total del mercado y variación interanual.

Orden	Empresa	Unidades vendidas	Participación en el total del mercado	Variación interanual
1	XYZprinting	81.840	21%	1%
2	Monoprice	80.156	20%	187%
3	Prusa Research	39.264	10%	523%
4	Wanhao	35.263	9%	60%
5	Flash Forge	19.829	5%	15%

Fuente: CONTEXT WorldLimited en O'Neal, 2018.

La producción de partes finales puede impulsar el crecimiento del mercado hasta niveles significativamente más altos en la medida que se sigan registrando mejoras en la calidad. En efecto, las piezas finales requieren un nivel elevado de control del proceso así como reproducibilidad y aseguramiento de la calidad. No obstante, esta actividad crece a un ritmo sostenido. Se estima que aproximadamente la mitad del valor del mercado de manufactura aditiva incluidos productos y servicios, corresponde a la fabricación de piezas finales. El 70% de la capacidad de impresión se encuentra asentada en 5 países: Estados Unidos, China, Japón, Alemania y el Reino Unido. Aunque estos mercados están creciendo, se espera que en los años venideros otros países con industrias manufactureras fuertes como Italia, Francia, España, Corea, Taiwán, Canadá, Turquía, entre otros, experimenten un fuerte crecimiento en su utilización de esta tecnología (fig. 5).

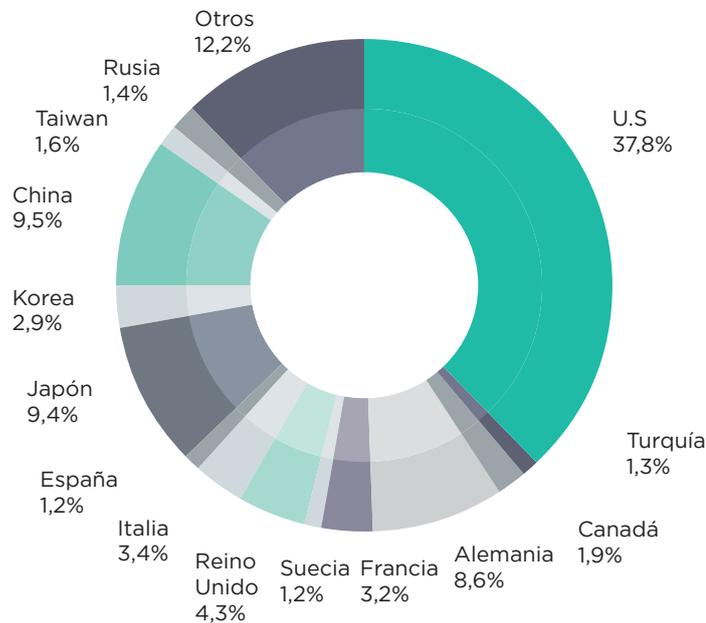
Tabla 2. Principales empresas fabricantes de impresoras 3D profesionales/industriales. Valor de las ventas en 2017, participación en el total del mercado y variación interanual.

Orden	Empresa	Tipo de material	Ingresos por ventas de máquinas	Participación en el total del mercado	Variación interanual
1	Stratasys	Polímero	405,5	25%	-5%
2	EOS	Polímero y metal	240,4	15%	14%
3	GE Additive	Metal	145,9	9%	39%
4	3D Systems	Polímero y metal	123,3	8%	-6%
5	Hewlett Packard	Polímero	97,3	6%	7760%

Fuente: CONTEXT WorldLimited en O’Neal, 2018.

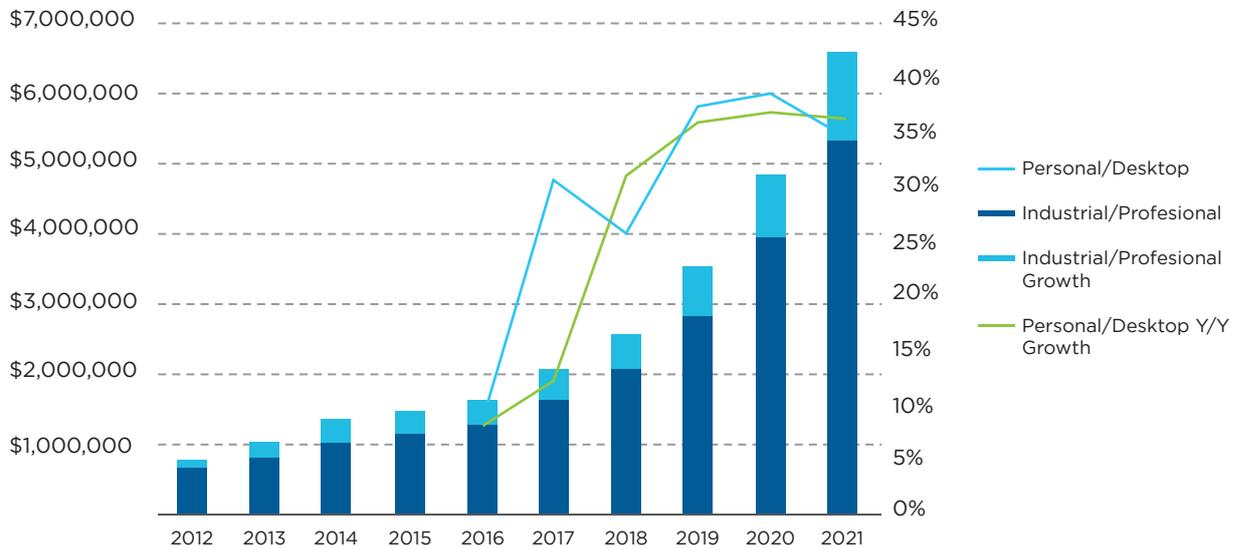
Para los años futuros se prevé una expansión considerable en las ventas mundiales de impresoras 3D de los dos segmentos, con tasas acumulativas de crecimiento anual superiores al 30% (fig. 6).

Fig. 5. Inversiones en manufactura aditiva por países durante el año 2015.



Fuente: Wohlers Report, 2016

Fig. 6. Proyección del mercado de impresoras 3D, segmentos personal/de escritorio e industrial/profesional



Fuente: Context, 2017

1.4

Impacto en la industria y en la cadena global de suministro

La maduración de la tecnología ha creado un ecosistema de impresión 3D cuyo núcleo está formado por diseñadores de productos, usuarios, fabricantes de impresoras, fabricantes de materiales y proveedores de software (fig. 7). Muchas empresas impulsan la expansión de este núcleo. Por ejemplo HP ha lanzado una plataforma abierta de materiales para alentar la aparición de nuevos proveedores de materiales en el ecosistema. Están apareciendo también otros tipos de jugadores como por ejemplo integradores de sistemas de impresión que cumplen la tarea de integrar las nuevas tecnologías de impresión con los sistemas de manufactura existentes. También las empresas que desarrollan software de diseño, ya que el actualmente disponible no puede capitalizar plenamente las innovaciones tecnológicas disponibles en las impresoras más nuevas, como el control a nivel de voxel. Otro modelo de negocio que se encuentra en crecimiento en el ecosistema es el de las empresas de servicios que cuentan con facilidades de impresión 3D para terceros. Estas empresas permiten el acceso a la manufactura aditiva a emprendedores, startups y PyMEs para prototipar o fabricar nuevos productos, bajando de esa forma las barreras de acceso a esta tecnología y logrando mayores niveles de velocidad y flexibilidad en la fabricación.

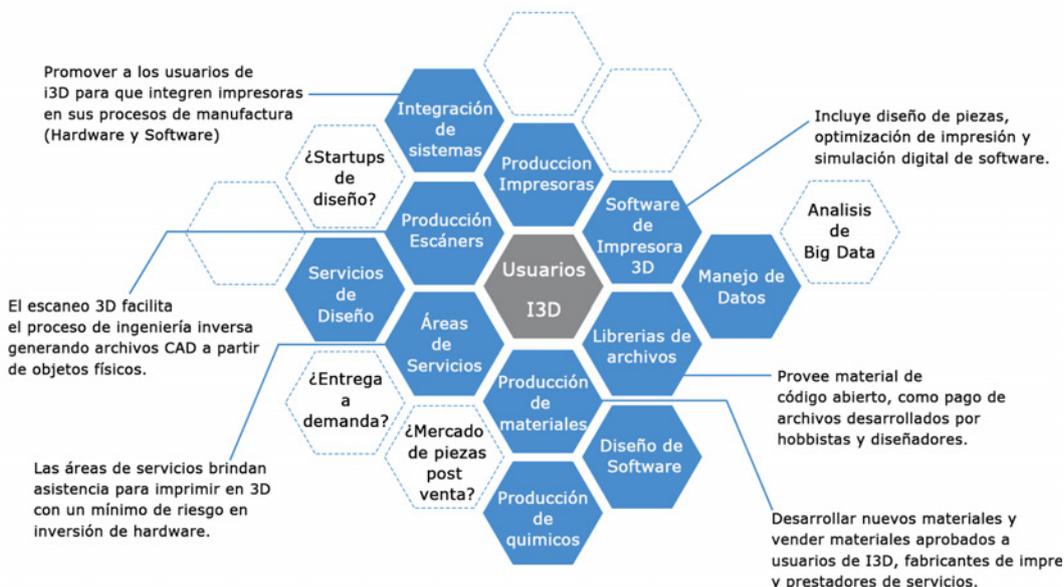
Por ejemplo Forecast 3D es de producción con 12 impresoras HP Multi Jet Fusion, que pueden fabricar 600.000 partes funcionales en una semana. Históricamente el acceso a este nivel de manufactura a un costo viable hubiera requerido la creación de una compleja cadena de suministro. Este acceso de manera tan sencilla

a la producción permite mayor innovación en productos y modelos de negocio. Por ejemplo podrían desarrollarse bibliotecas de diseños 3D, gerenciamiento de datos, seguridad y servicios de diseño (HP, A.T. Kearney, 2018).

La impresión 3D tiene el potencial de modificar de manera fundamental la cadena de suministro global, trasladando la producción más cerca del consumidor. Por un lado permite la personalización a costos viables. Por otro, una interacción más cercana con los consumidores será necesaria para personalizar sus productos y ajustarlos a sus necesidades. Situar la manufactura más cerca de los consumidores facilita la iteración con los fabricantes que sería muy costosa con las cadenas de suministro convencionales (fig. 8).

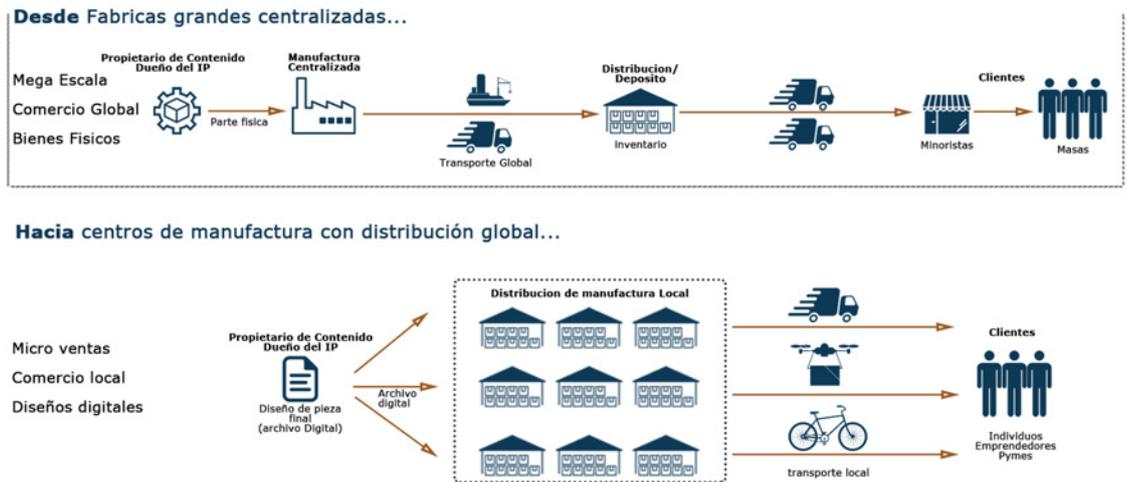
La impresión 3D reduce el tiempo de acceso al mercado. Las complejas redes globales de provisión de la actualidad presentarán cada vez mayores dificultades para seguir el creciente ritmo de lanzamiento de nuevos productos. Las facilidades de manufactura aditiva permitirán reducir los niveles de inventario. Cualquier parte podrá ser fabricada a demanda sin esperar el tiempo de transporte; esta eficiencia es sólo posible si las instalaciones de producción están ubicadas cerca del lugar donde se requiere esa parte. También está reduciendo las barreras a la entrada de la fabricación, impulsando una democratización de la manufactura que cambiará de manera fundamental las cadenas de valor enteras, de complejas redes globales a ecosistemas locales. Estos cambios redistribuirán la localización de la producción. Pero dónde se asentarán dependerá de varios factores, incluido el desarrollo del ecosistema, el ambiente económico, las tendencias de consumo y más importante: qué naciones actuarán rápido para liderar en materia de manufactura aditiva. (HP, A.T. Kearney, 2018).

Fig. 7. Ecosistema global de impresión 3D. Fabricantes como MakerBot y Ultimaker y la reducción del precio unitario del orden de US\$ 10.000 a US\$ 1.000 (Schoffer, 2016). Existen también máquinas



Fuente: A.T. Kearney, 2018

Fig. 8. Cambios en la cadena global de suministro asociados con la impresión 3D.



Fuente: A.T. Kearney, 2018

El valor de la producción del sector industrial global se estima en 12 trillones de US\$, teniendo en cuenta el diseño, la fabricación y la distribución de todos los bienes industriales. Hay 5 industrias que tienen el mayor potencial de ser transformadas por la impresión 3D: la industria pesada, automotriz, de productos de consumo, cuidado de la salud y medicina y aeroespacial. Se estima que estas industrias dan cuenta del 76% del valor de la producción del sector manufacturero global, totalizando US\$ 9 trillones por año. Se estima además que entre el 23% y el 40% de las partes en estas industrias serán fabricadas mediante impresión 3D en los próximos 10 años, lo que implica que entre 2 y 3 trillones de US\$ del valor de la producción del sector manufacturero global serán impactados por esta tecnología en un período de entre 5 y 10 años. Asumiendo un multiplicador global de 1,8 la disrupción provocada por la impresión 3D alcanzaría a una porción de la economía global dada por un valor de entre 4 y 6 trillones de US\$.(HP, A.T. Kearney, 2018).

Algunos países ven la impresión 3D como una oportunidad para mantener su base productiva mientras que otros la consideran una oportunidad para saltar etapas en el camino de desarrollo industrial (“leapfrogging”). Entre estos últimos se encuentran India y Arabia Saudita. (A.T. Kearney, 2018).

1.5 El proceso de manufactura aditiva

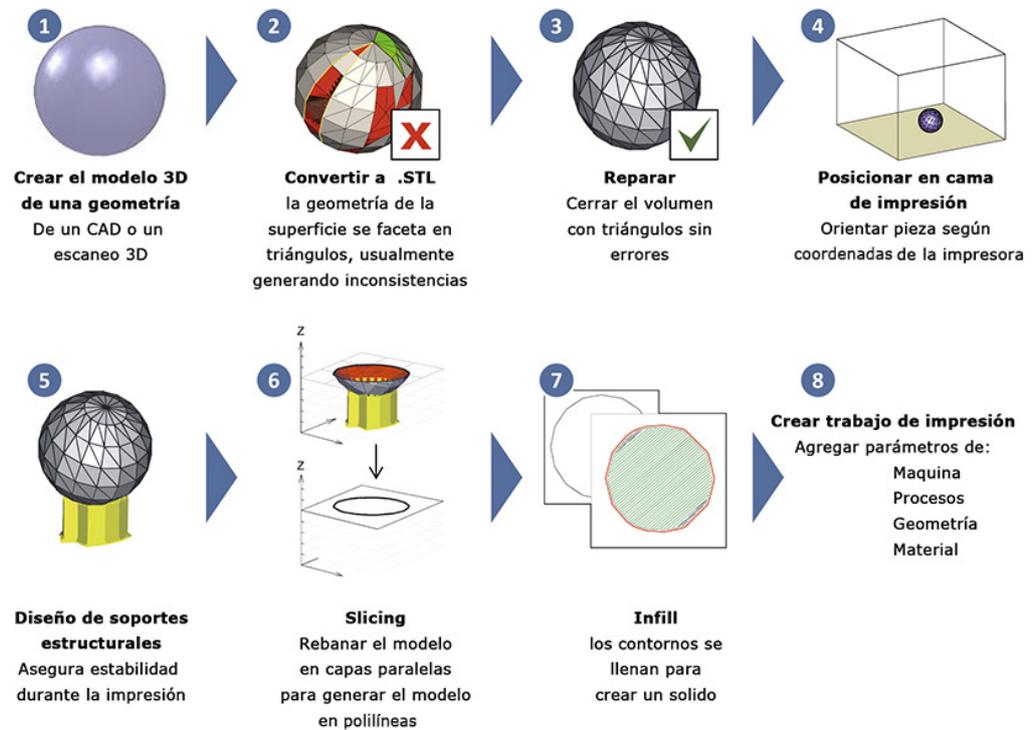
El proceso de manufactura aditiva se divide en tres etapas: preparación de los datos, la construcción del objeto capa por capa y el pos-procesamiento. Con el estado del arte actual tanto la preparación de datos como el pos-procesamiento son tareas no automatizadas que requieren una gran participación de trabajadores con experiencia.

La preparación de los datos comprende ocho etapas (fig. 9). Comienza con la realización de un modelo CAD en 3 dimensiones o la digitalización de la forma de un objeto existente mediante un escáner. Seguidamente las nubes de puntos que constituyen la forma del objeto a construir son aproximadas mediante una malla de triángulos. El formato STL (Standard Triangulation Language, Stereolithography or Surface Tessellation Language) se ha constituido de facto en la norma para este paso. Este proceso de conversión tiene una serie de problemas. En primer lugar el formato STL sólo describe la superficie exterior del objeto. Otra información CAD se pierde como los datos del material, radios de curvatura y tolerancias dimensionales. El formato STL es particularmente proclive a inconsistencias. Esto genera trabajo adicional de análisis de datos y reparación, lo que ralentiza el proceso. El siguiente paso implica la ubicación y orientación del objeto a fabricar en la envolvente de impresión. En esta etapa deben preverse las estructuras de soporte necesarias. Dependiendo de la tecnología de fabricación a utilizar las estructuras de soporte pueden diseñarse automáticamente o manualmente. En este último caso requiere un conocimiento profundo del proceso y experiencia práctica. En el proceso SLM, por ejemplo, la forma en que se diseñan las estructuras de soporte es clave para determinar la fabricabilidad del objeto, la estabilidad del proceso y la cantidad de mecanizado posterior.

El siguiente paso conocido como “slicing” consiste en la generación de rodajas horizontales a partir de la geometría 3D. Como los archivos .STL sólo describen la superficie en términos de triángulos, las rodajas sólo contienen el contorno de la parte a fabricar. Consecuentemente el próximo paso consiste en llenar el contorno para crear un sólido. Aunque el llenado puede diferir dependiendo de la tecnología de fabricación a utilizar (por ejemplo, en el caso de LOM) el sombreado (“hatching”) o relleno (“infill”) es por lejos el método más utilizado. Cada línea del sombreado deberá ser depositada por la máquina y por lo tanto, el sombreado debe tener en cuenta características de la máquina, del material y del proceso. Finalmente, antes de comenzar con el proceso de fabricación, es necesario definir parámetros específicos de la geometría de la parte, material, máquina y proceso. Esto frecuentemente debe ser realizado a mano.

Aunque la manufactura aditiva permite la fabricación de formas libres, sin costosas matrices, ni modificaciones de forma en las piezas impuestas por los procesos tradicionales, como destalonados o ángulos de salida, algunas tecnologías requieren estructuras de soporte para evitar el colapso de la pieza por gravedad o su distorsión originada en tensiones residuales propias del proceso.

Fig. 9. Cadena de tareas que integran la preparación de datos.



Fuente: Acatech y otros, 2017.

1.6

Tecnologías y materiales

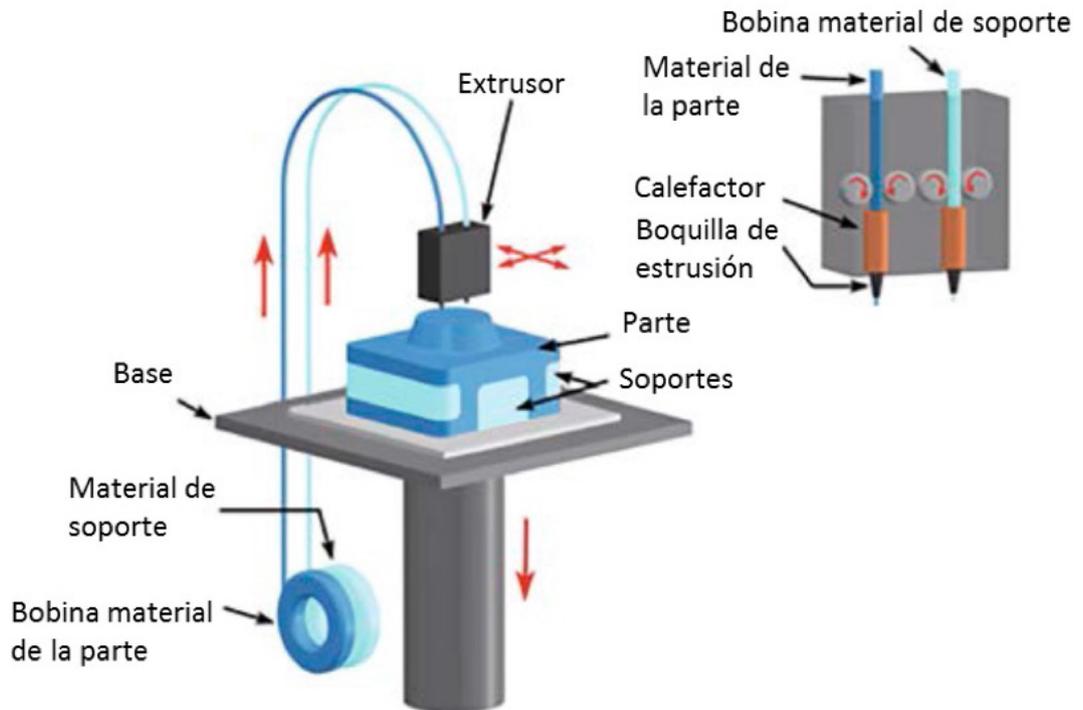
Existe una amplia variedad de tecnologías que emplean distintos métodos de unión, desde adhesivos a la soldadura o fusión mediante un haz láser u otras fuentes de energía dirigida. A su vez las distintas formas de unión permiten el trabajo de distintos materiales como polímeros termoplásticos, foto-polímeros o metales entre otros. El rango de áreas de aplicación y las tecnologías convencionales con las que pueden complementarse o sustituir las de impresión 3D, depende de los materiales que son capaces de usar y el proceso de adición de los mismos. Por ejemplo los metales son más apropiados que los plásticos para piezas que serán sometidas a altas temperaturas durante su uso. Mientras en métodos tradicionales de fabricación la pieza final puede ser obtenida mediante sustracción (arranque de viruta) o conformación (deformación o moldeo) de material, la manufactura aditiva agrega selectivamente material en capas sucesivas para formar la pieza completa.

Aun cuando utilicen el mismo material y el mismo principio de unión, las distintas tecnologías de manufactura aditiva pueden diferir en la forma en que se encuentra el material de partida así como en el sistema de transformación del mismo y el control de las variables que intervienen en el proceso de fabricación. El material de partida puede presentarse en polvo, filamento, líquido, pasta o lámina en cada caso optimizados para el método de unión. A su vez los métodos para trazar el contorno y el relleno de cada capa pueden consistir, por ejemplo, deposición o unión selectiva en forma de vectores o zonas, usando combinaciones de movimientos interpolados de ejes en el espacio. En el caso de la unión por medio de una energía dirigida, como un láser o un haz de electrones el trazado de los recorridos suele ser vectorial y se logra mediante deflexión por medio de espejos o campos magnéticos.

Existen grandes diferencias en el grado de madurez de las distintas tecnologías, sus aplicaciones actuales, las previstas para el futuro y el impulso de las actividades de I&D vinculadas a cada una. Mientras una tecnología puede ser más apropiada para su uso domiciliario, las facilidades de fabricación, los laboratorios de fabricación especializada y otros grupos dependen, entre otras cosas, de la inversión requerida. El costo de los equipos puede variar entre US\$ 500 (Fused Deposition Modeling) y US\$ 1 millón (Selective Laser Melting o Electron Beam Melting). Más aún, la escala de las medidas de seguridad y el conocimiento necesarios para operar los equipos en forma segura (por ejemplo la manipulación de polvos metálicos inflamables y respirables o la seguridad del láser) también varían significativamente dependiendo de la tecnología de que se trate.

Muchos procesos y sistemas están protegidos por marcas comerciales y por lo tanto su futuro está fuertemente ligado con determinadas compañías. En el Anexo I a este documento se presentan las principales tecnologías existentes y sus nombres comerciales y genéricos. También en www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-technologies-overview pueden encontrarse descripciones esquemáticas de las distintas tecnologías existentes. En la fig. 10 se muestra un esquema de la tecnología por lejos más difundida, conocida normalmente como FDM (fused deposition modeling), aunque también se la conoce con otras siglas como FFF, (free form fabrication) o FLM (fused layer manufacturing/modelling) entre otras.

Fig. 10. Esquema de la tecnología FDM (“Fused Deposition Modeling”)
Fuente: CustomPartNet LLC en Acatech y otros, 2017.



Fuente: CustomPartNet LLC en Acatech y otros, 2017.

1.7

Aplicaciones actuales

La primera aplicación de la manufactura aditiva fue el prototipado, de ahí el primer nombre utilizado: “Rapid Prototyping”. En la actualidad es una tecnología imprescindible en ese campo. Los tiempos de fabricación cortos y sin requerir de utilería son un beneficio crítico que permiten acortar notablemente los tiempos y costos de desarrollo de nuevos productos a la vez favoreciendo una mayor cantidad de iteraciones obteniendo productos más maduros y competitivos. Dependiendo del tipo de prototipado se pueden hacer las siguientes distinciones:

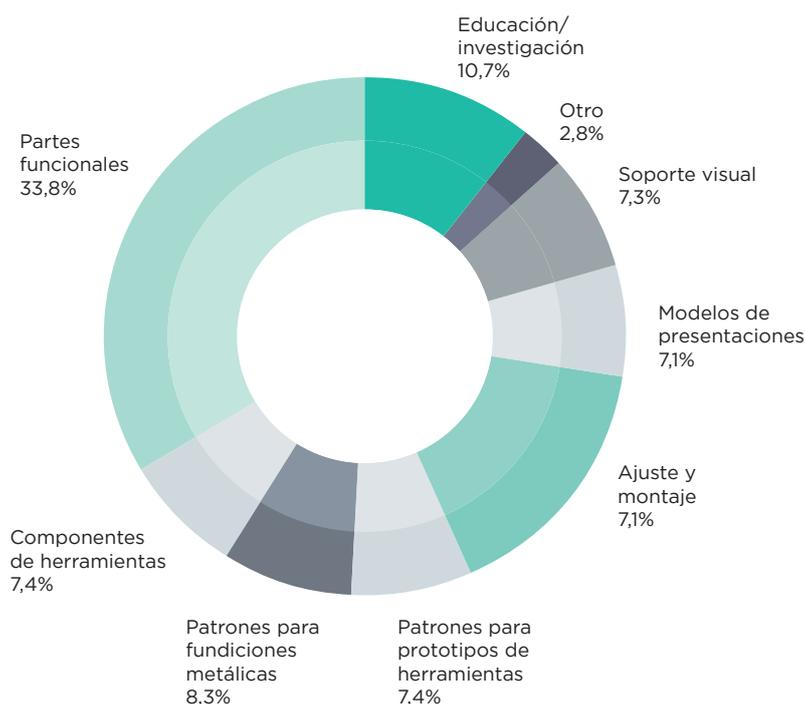
- Modelos conceptuales o de visualización con una función puramente estética (3DP, LOM™, SLA™, PJM™, FDM™, Polyjet™);
- Prototipos geométricos, por ejemplo, para verificar el ajuste de piezas (FDM™, PJM™, SLA™, SLS™, Polyjet™);
- Prototipos funcionales que deben cumplir funciones específicas del producto final (SLS™, FDM™, SLM™);
- Piezas de uso final, con distintos grados de requerimientos técnicos y de prestaciones que pueden tener geometrías complejas solo obtenibles con estas tecnologías (SLM™, EBM™, SLS™).

Si bien el prototipado en sus diversas variantes es una aplicación actual importante, el uso de la impresión 3D se ha extendido a otros campos (fig. 11). Por ejemplo, otra aplicación típica es la producción de modelos y moldes. Muchas veces la única alternativa es fabricarlos a mano, como en el caso de los modelos para fundición mediante la técnica de la cera perdida (PJM™, SLA™) o los modelos positivos usados en la construcción de moldes de arena y moldes de silicona. La técnica 3DP permite producir moldes de arena para fundición metálica de varios metros y de geometrías más complejas que las que se pueden lograr mediante los métodos tradicionales.

También se utiliza la manufactura aditiva para producir insertos de acero para moldes empleados en la producción de alto volumen de piezas inyectadas de polímeros termoplásticos o fundidas de aleaciones livianas (SLM™). La tecnología SLM™ permite por ejemplo optimizar la forma y recorrido de los canales de refrigeración para mantener la temperatura lo más uniforme posible durante el uso, objetivo muy difícil de lograr con canales que de otro modo deben realizarse mediante perforaciones que sólo pueden seguir líneas rectas. Esto permite moldes que aseguran una mayor precisión dimensional, además de reducir los tiempos de los ciclos y por lo tanto acarrear un ahorro significativo en un lote grande de piezas fabricadas por inyección.

La versatilidad que brinda esta tecnología la hace ideal para la obtención de modelos para la enseñanza de las más diversas disciplinas que van de la medicina a la mecánica de los turborreactores. De igual modo, centros de investigación y desarrollo aprovechan sus posibilidades para generar partes o dispositivos únicos o de pocas unidades con fines experimentales.

Fig. 11. Principales aplicaciones profesionales/industriales de la manufactura aditiva. Inversiones en equipo de producción por aplicación durante el año 2016.



Fuente: Wohlers Report, 2017.

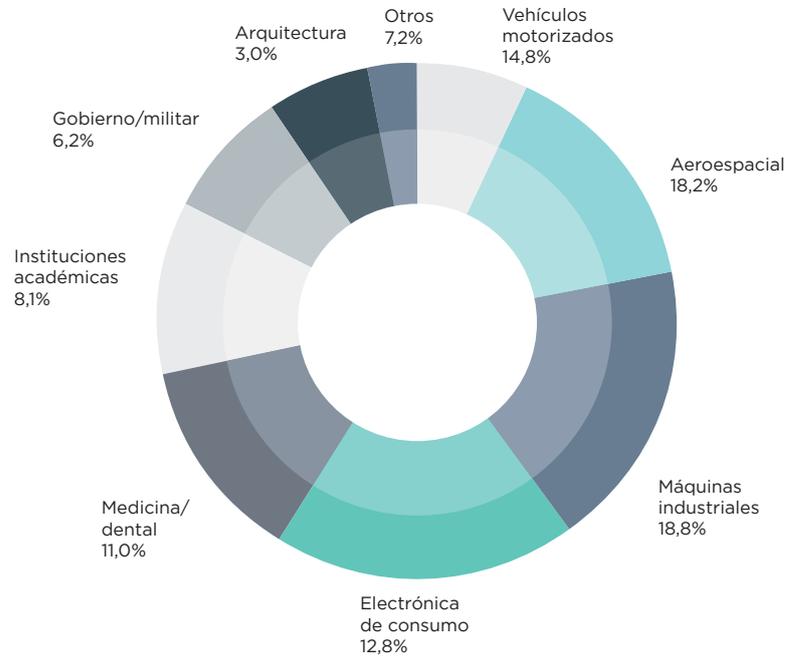
La manufactura aditiva se ha utilizado desde hace años para la obtención de fijaciones, plantillas y guías para fabricación y para cirugía. Como la anatomía de un paciente puede ser digitalizada mediante las técnicas de imágenes modernas, se hace posible producir ayudas médicas adaptadas a la forma anatómica. Por ejemplo un implante dental puede ser diseñado mediante la asistencia del escaneo CT. Luego se fabrica una guía para taladrar mediante la tecnología SLA™ para guiar el taladro de manera que siga de manera precisa el diseño 3D. Esto permite al operador mayor velocidad y precisión. Se utilizan guías similares hechas con SLS™ en las operaciones de rodilla. También se utiliza EBM™ y SLS o SLM para la creación de moldes para implantes y prótesis a medida dentales, de rodilla, de cadera o para reconstrucción craneal.

La producción de bienes finales también tiene un lugar entre las aplicaciones presentes de la manufactura aditiva. La tecnología SLA™ producida por Envisontec™ ha conquistado el mercado de las ayudas auditivas hechas a medida del paciente y dispositivos de protección auditiva de alta gama. Un mercado comparativamente menor aunque de crecimiento continuo es el explotado por la tecnología SLM™ para la fabricación de marcos de coronas dentales de aleaciones cromo-cobalto o de oro, al que se agrega posteriormente un recubrimiento cerámico.

Entre numerosos ejemplos de productos finales obtenidos con técnicas de manufactura aditiva puede citarse el caso de una boquilla de inyección de combustible parte de un nuevo motor turbojet fabricado por la empresa CFM mediante SLM™ pasando de un conjunto de 18 piezas a sólo una, con una forma más compleja, reducción de peso y menor costo de producción. El ejemplo es particularmente interesante habida cuenta de que el número de piezas a fabricar es relativamente elevado (del orden de 100.000 unidades), aunque en un período de varios años (Acatech, 2017).

De acuerdo con las ventajas ya señaladas, la manufactura aditiva se aplica en gran medida en industrias con un grado suficiente de sofisticación o complejidad que justifican el por ahora alto costo emergente del dilatado tiempo de fabricación, alta inversión y precio de la materia prima (fig. 12). En la industria aeronáutica, por ejemplo, la obtención de partes optimizadas funcionalmente y a la vez livianas justifica esos mayores costos, en especial dados los volúmenes de producción pequeños en comparación con otras industrias. Algo similar sucede con la industria de bienes de capital. Por otra parte, industrias con ciclos de producto muy cortos y a la vez con la necesidad de responder a altas exigencias funcionales como la automotriz o la electrónica también utilizan ampliamente la impresión 3D, en especial para el prototipado, aunque con vistas a una extensión a la producción de partes finales, como ya se mencionó. A su vez, la posibilidad de ajustar las formas a la anatomía de los pacientes hace que el sector médico, y dentro de este la odontología, sea un usuario muy importante de esta tecnología.

Fig. 12. Principales sectores que aplican manufactura aditiva en sus procesos. Inversiones en equipo de producción por sector durante el año 2016.



Fuente: WohlersReport, 2017.

1.8

Desarrollos futuros

Diferentes fuentes pronostican que la velocidad de fabricación por métodos aditivos crecerá a un ritmo muy superior a la de los procesos convencionales, especialmente en la aplicaciones de materiales metálicos (Acatech, 2017). Por otra parte, se espera que los fabricantes de máquinas de manufactura aditiva continuarán la tendencia a diferenciarse por la velocidad de producción, la calidad y el volumen de la envolvente de fabricación.

Otra gran fuerza impulsora de mejoras en los equipos de manufactura aditiva es la automatización, de modo de reducir la dependencia del trabajo manual especialmente en las etapas previas y posteriores a la fabricación. Esto determinará un crecimiento exponencial de la información a manejar, lo que enfrentará a los fabricantes a proveer soluciones basadas en “big data”.

De igual forma, una característica compartida por varias tecnologías de manufactura aditiva es la anisotropía del material que conforma la parte. Esta anisotropía² puede ser manejada para responder a la forma de carga de la pieza, pero para ello

² Anisotropía es la característica que presentan algunos materiales tal que una o más de sus propiedades (elasticidad, resistencia, conductividad, etc.) varíen según la dirección en la que sean evaluadas.

deberá desarrollarse el software que pueda tener en cuenta esta característica en el diseño de la pieza. Una visión prometedora consiste en que la manufactura aditiva permita crear objetos que presenten gradientes en sus propiedades, no sólo mecánicas sino también eléctricas, ópticas o químicas.

Habida cuenta de la mayor productividad, precisión y calidad superficial del mecanizado en relación con la manufactura aditiva, una solución frecuentemente adoptada es la integración de ambas tecnologías en una misma máquina (máquinas híbridas). Estas pueden ser de una única cámara o de múltiples cámaras. Una de las características salientes de este tipo de máquina es que permite el pos-procesamiento en zonas que serían inaccesibles una vez terminada la pieza. Es decir, las operaciones de procesamiento convencional (torneado o fresado) pueden hacerse después de depositada cada capa. Por ejemplo DMG Mori y Matsuura son fabricantes de este tipo de máquinas. En las máquinas de múltiples cámaras el proceso está integrado en un sistema automatizado. Esto permite que los pasos de procesamiento sean configurados de acuerdo a las necesidades. El procesamiento se hace en distintas cámaras o espacios de trabajo. Esto corrige una de las principales desventajas de las máquinas de una cámara que son los tiempos muertos de los cabezales de fresado, como consecuencia de su mayor productividad. La disposición en módulos de los distintos pasos del proceso es la clave fundamental en este tipo de sistemas. Un proveedor activo en esta tecnología es la compañía Additive Industries, (Acatech, 2017).

Un aspecto central en los desarrollos futuros es el de los materiales. Para alcanzar los requerimientos de industrias determinadas como la automotriz se requerirán materiales específicos. En la medida que la manufactura aditiva encuentre más aplicaciones en productos finales los filamentos, polvos, resinas, etc., deberán cumplir condiciones cada vez más exigentes. Ya existen materiales de altas prestaciones, por ejemplo para la industria aeroespacial. Sin embargo persisten problemas con algunos de estos materiales que son difíciles de soldar. Se requiere el desarrollo de nuevos materiales y técnicas de fabricación para obtener piezas resistentes a altas temperaturas. La combinación de materiales, por ejemplo dos metales o plástico y plástico reforzado con fibra de vidrio, es un área de desarrollo futuro que puede brindar nuevas propiedades a las piezas producidas mediante manufactura aditiva. Se están realizando estudios en aluminuros de titanio, materiales con memoria de forma y vidrios metálicos. Se trata de materiales difíciles de procesar por métodos tradicionales con limitaciones en las formas obtenibles y muy altos costos de producción.

Como la preparación de los datos para la manufactura aditiva es un trabajo todavía complejo, existe un campo extenso de mejora para sumar las especificidades de esta tecnología de manufactura al software de diseño CAD. De esta forma, sería deseable que las restricciones propias de la manufactura aditiva sean incorporadas durante el proceso de diseño.

Ya se ha señalado que una fuerza impulsora de la impresión 3D o la manufactura aditiva es la masificación de la fabricación a medida o personalizada a precios de productos masivos. Por ejemplo calzado deportivo que contemple las

características biomecánicas de los clientes individuales. El objetivo es lograr la diferenciación del producto para evitar caer en la competencia gobernada por el precio. Sin embargo, los productos a medida todavía son una excepción, debido al alto costo del pos-procesamiento, necesario por ejemplo para lograr una buena terminación superficial.

También la producción descentralizada es un “driver” para el desarrollo de la manufactura aditiva. La velocidad con la que los datos de un diseño pueden transmitirse de un punto a otro del planeta permite la producción a demanda en cualquier parte. Toda la información necesaria para la producción estará en el futuro en forma digital (diseño CAD, materiales, parámetros de proceso y operaciones de pos-procesamiento). No obstante, esta visión enfrenta una serie de limitaciones como por ejemplo que la maquinaria, materiales y el personal no están disponibles todavía en los potenciales centros de producción descentralizada. El mantenimiento aeronáutico es un candidato ideal para la producción descentralizada ya que se caracteriza por una demanda de alcance mundial de partes de repuesto, ciclos de producto prolongados, altos costos de almacenaje y la necesidad de minimizar el tiempo ocioso de los aviones. Si fuese posible producir localmente los repuestos y estos contaran con la certificación necesaria podría ahorrarse una suma considerable en costos de transporte, almacenamiento y tiempo de mantenimiento. Por otra parte, en países o zonas con infraestructura de transporte deficiente, la manufactura aditiva puede resolver la provisión de partes de manera menos costosa y más rápida, por ejemplo para la atención de emergencias médicas.

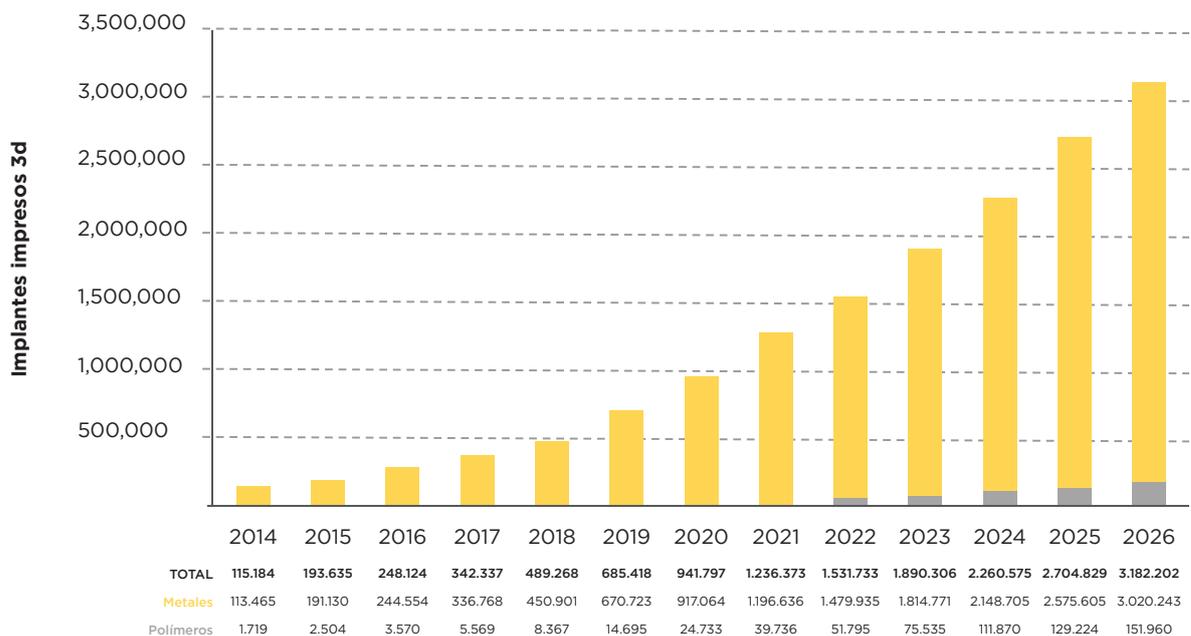
La manufactura aditiva continuará ganando espacio en la industria aeronáutica, especialmente en estructuras secundarias, principalmente gracias a la posibilidad de ahorro de peso. También eventualmente existe la posibilidad de incorporar pistas conductoras y componentes electrónicos simples en el interior de las partes durante el proceso de manufactura. Algunas partes de la industria espacial serán manufacturadas directamente en el espacio, lo que permitiría un mejor uso del escaso volumen disponible para carga en los lanzadores. En la industria automotriz, por su parte, si bien se ha venido utilizando desde hace mucho tiempo, su aplicación se limita a la fabricación de prototipos y ayudas para el ensamblado. La baja productividad y la elevada inversión son barreras que impiden su aplicación para fabricar partes finales de automóviles. Sin embargo, si se consigue reducir los precios de las máquinas y materiales y se logran mayores productividades, se estima que en 2035 podrían producirse partes finales, primero para automóviles de lujo y posteriormente masivos, (Acatech, 2017).

En los campos de la medicina y la odontología la aplicación de la manufactura aditiva continuará creciendo. Particularmente para la fabricación de prótesis, órtesis, coronas dentales, implantes y dispositivos médicos (Huffand y Wohlers, 2018). En la fig. 13, por ejemplo, se aprecia la proyección del mercado mundial de impresiones de prótesis que prevé una multiplicación por 10 de su valor en la próxima década. Por otra parte, la bioimpresión, es decir la impresión de tejidos vivos, para su aplicación principalmente en medicina, es una realidad comercial (Wang, 2017).

Algunas áreas en las que la manufactura aditiva se está desarrollando con gran impacto potencial en el futuro son:

- **Construcción:** en un proceso similar al FDM se deposita hormigón, conformando edificios con ahorros considerables de tiempo, materiales y energía;
- **Refrigeración o aire acondicionado:** la manufactura aditiva permite construir intercambiadores de calor más eficientes mediante la materialización de geometrías imposibles de lograr con métodos tradicionales;
- **Industria electrónica:** se ha estado buscando la solución técnica al problema de incorporar pistas conductoras en el interior de las piezas, de modo de situar sensores en ubicaciones inaccesibles. Hasta ahora la falta de materiales conductores y aislantes que puedan ser utilizados a la vez en la misma máquina para crear una suerte de compuesto ha dificultado la concreción de esta idea. Sin embargo ya existen máquinas comerciales capaces de imprimir circuitos impresos multicapa como por ejemplo la DragonFly 2020 de la empresa Nano Dimension (Ålgårdh, 2017);
- **Alimentación:** se depositan grandes esperanzas en las posibilidades de la impresión 3D para agregar valor en la industria alimenticia aprovechando sus posibilidades de personalización y producción descentralizada para la obtención de formas atractivas a la vista o variantes de texturas irrealizables con otra tecnología (MINCYT, 2015).
- **Indumentaria:** por ejemplo en el área de calzado deportivo la impresión 3D permite generar suelas reticuladas que varían con gradientes de rigidez estudiados para un óptimo desempeño, como por ejemplo la iniciativa encarada por la firma Carbon en sociedad con Adidas (Tepper, 2017). Otras compañías de primera línea del sector como Nike, New Balance y Under Armour han realizado series limitadas de demostración y parecen estar dispuestas a seguir a Adidas, (Huffand y Wohlens, 2018).

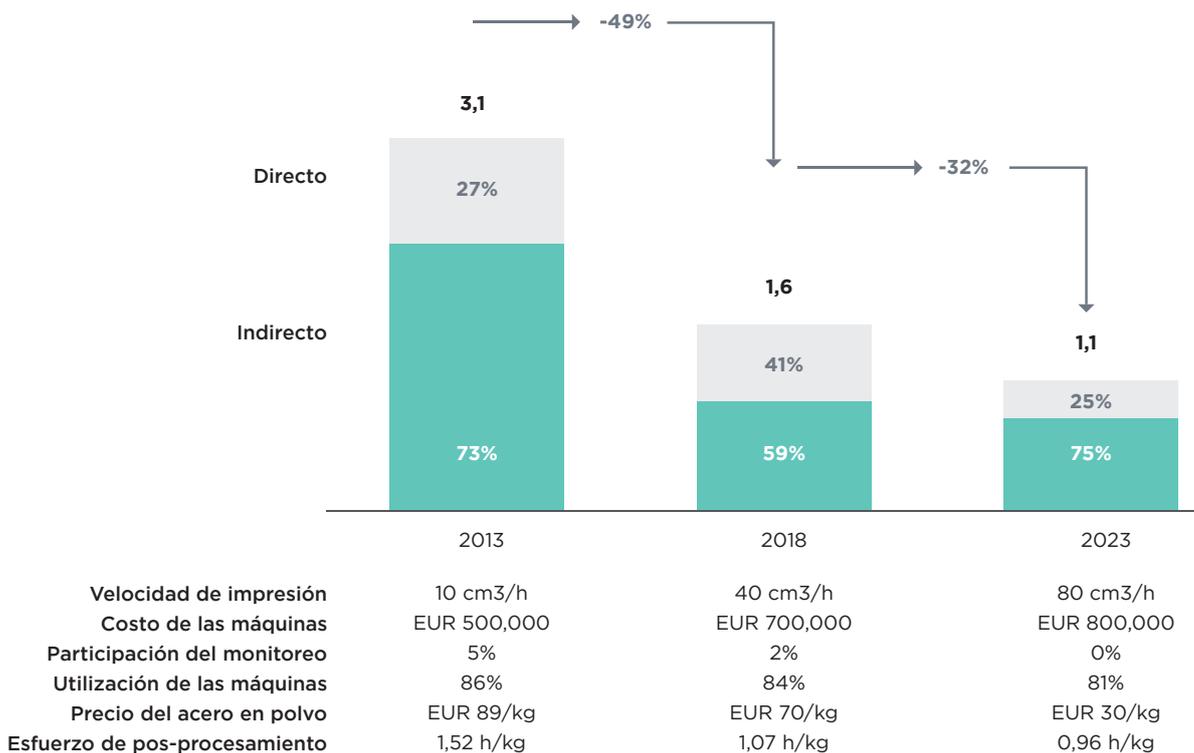
Fig. 13. Crecimiento proyectado de la cantidad de implantes producidos en el mundo por impresión 3D.



Fuente: Smar Tech Publishing - Additive Orthopedics: Markets for 3D-Printed Medical Implants - 2017.

La mayor difusión esperada para el uso de la manufactura aditiva estará ligada a la mejora de las prestaciones de los equipos de impresión. En ese sentido cabe esperar mejoras sensibles en la velocidad de impresión, en la necesidad de supervisión y de pos-procesamiento, así como en el costo de la materia prima. Este último es un factor crucial. Mientras el costo del polímero para moldeo por inyección típicamente se encuentra en el rango de 2 a 3 US\$/kg, dependiendo del material, la materia prima para los sistemas de manufactura aditiva se ubica en el rango de 40 a 250 US\$/kg. En noviembre de 2017 HP lanzó al mercado su sistema HP Jet Fusion 3D 4210 que dice reducir el precio de la poliamida 12 un 50% a alrededor de 30 US\$/kg, (Huffand and Wohlers, 2018). Las futuras mejoras deberían acarrear una reducción drástica del costo medio de las piezas obtenidas, no sólo para los sistemas que imprimen con polímeros sino también con metal (fig. 14).

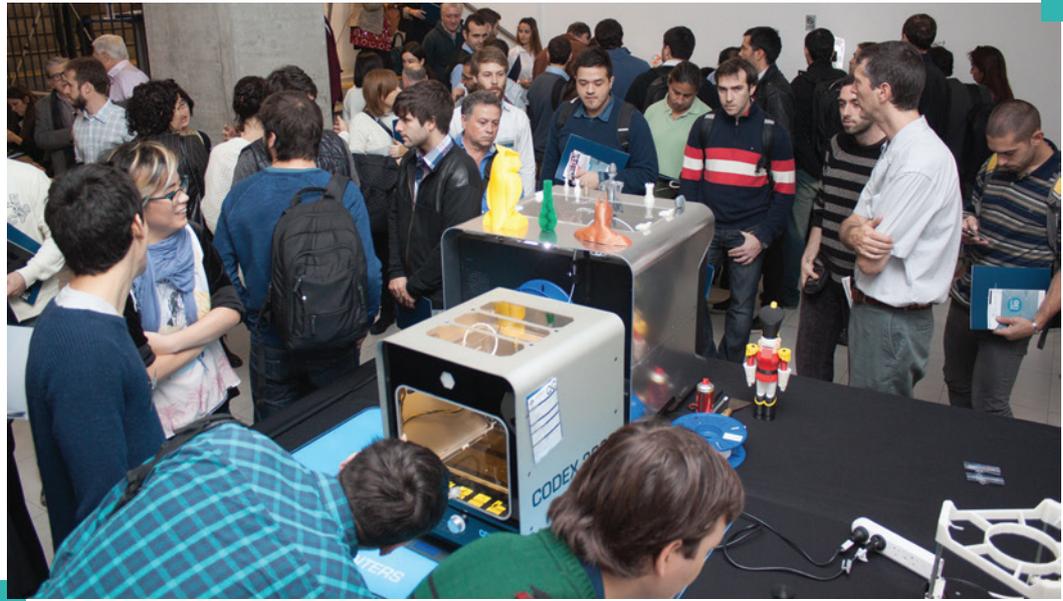
Fig. 14. Proyección de la evolución del costo medio de la impresión 3D en metal en Euros/cm³.



Fuente: EPMA, 2017.

02. INDUSTRIA NACIONAL

2.1. IMPRESIÓN 3D EN ARGENTINA



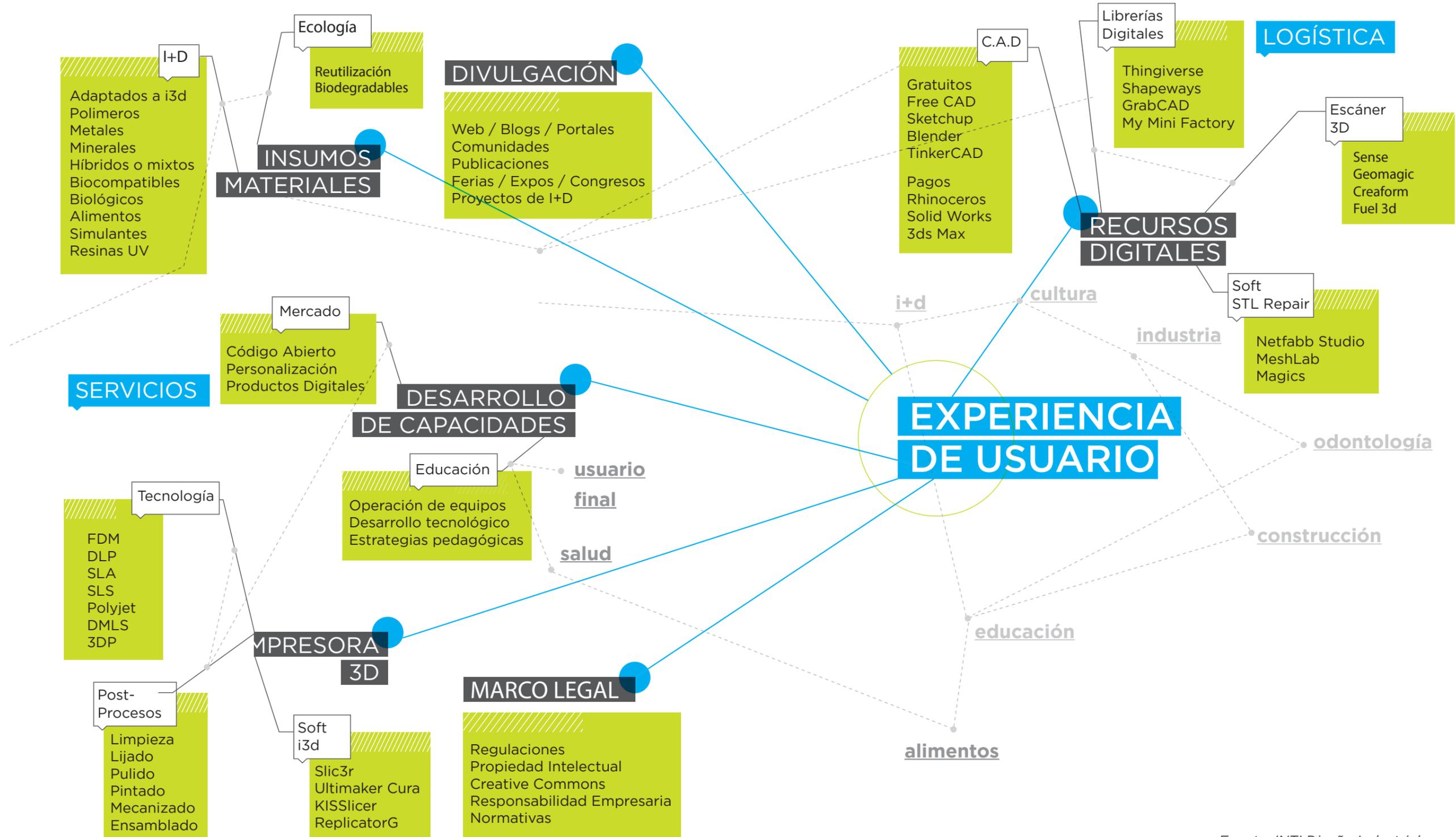
El uso de la impresión 3D o manufactura aditiva comenzó en Argentina hace aproximadamente una década. De forma similar a lo sucedido en el orden internacional, las primeras aplicaciones se dieron en el ámbito industrial con la finalidad de materializar prototipos. A partir de 2012 el auge mundial de las impresoras 3D, generado por la difusión de la tecnología de código abierto RepRap, llegó al país con la multiplicación de usuarios y oferentes de impresoras, materiales y servicios. En la actualidad la impresión 3D exhibe en Argentina un ecosistema consolidado basado fundamentalmente sobre la tecnología FDM y la aplicación en prototipos, pero que incluye otras tecnologías y una gran variedad de actores, aspectos y aplicaciones que conforman un escenario complejo (fig. 1). Mientras la industria global se mueve hacia la utilización creciente de la manufactura aditiva en la producción de bienes finales, en el país este tipo de aplicaciones se encuentra aún rezagado. No obstante, un pequeño grupo de empresas muy activas llevan adelante diversas actividades relacionadas con la impresión 3D, desde la provisión de servicios de impresión hasta la fabricación de impresoras y filamentos (MINCyT, 2015 e INTI Diseño Industrial, 2017).

También el número y variedad de los usuarios de esta tecnología está en crecimiento: diseño, fundición, joyería, odontología, cirugía, ortopedia, alimentación, son algunas de las actividades que de a poco van asimilando la tecnología y con ello tornándose más productivas y mejorando su calidad.

Una medida de la aceleración de esta actividad en el país en los últimos años está dada por el crecimiento de las importaciones de partes de impresoras (fig. 2). De igual forma, los materiales de impresión (filamentos, resinas, etc.) también registran una tendencia creciente.

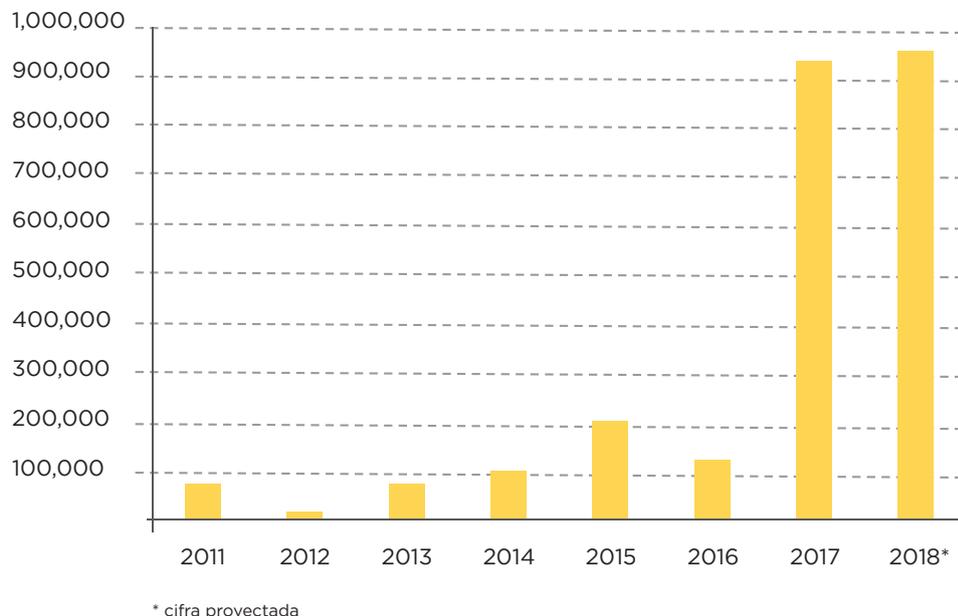
El uso de materiales, aunque directamente relacionada con el aumento del stock de equipos en funcionamiento, también se ve influenciado por la actividad económica en general y la industrial en particular. Por tal razón la cifra proyectada de importaciones al país para 2018 resulta menor a la de 2017 (fig.3).

Fig. 1. Ecosistema de impresión 3D



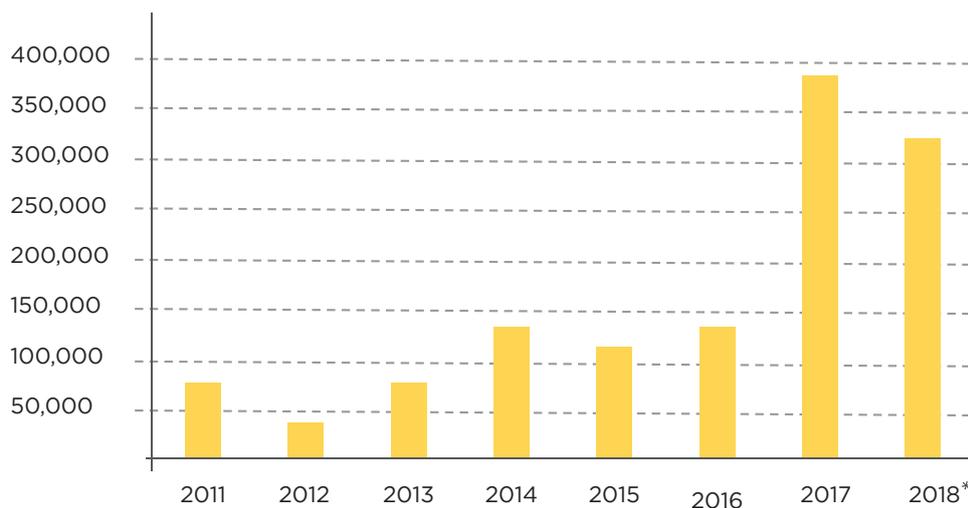
Fuente: INTI Diseño Industrial

Fig. 2. Evolución de las importaciones argentinas de partes de impresoras 3d, en US\$ CIF.



Fuente: elaboración propia con datos de Dirección General de Aduanas.

Fig. 3. Evolución de las importaciones argentinas de materiales de impresión 3D, en US\$ CIF.



2018* cifra estimada

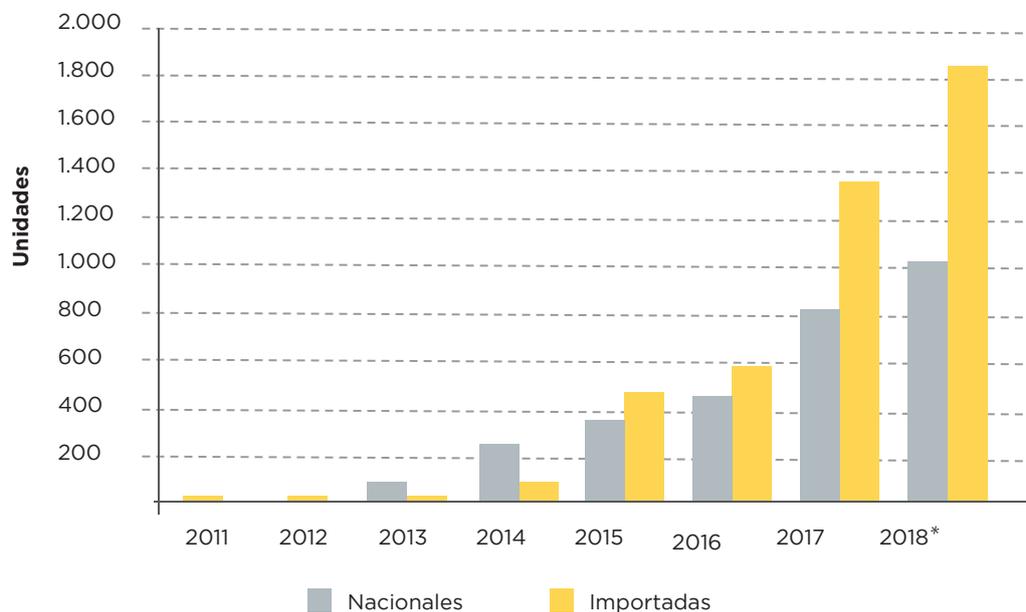
Fuente: elaboración propia con datos de Dirección General de Aduanas.

2.2.

MERCADO NACIONAL DE IMPRESORAS 3D

El mercado nacional de impresoras 3D personales/de escritorio muestra una tendencia de crecimiento muy rápido de forma análoga a lo que sucede internacionalmente. Una parte significativa de la demanda es abastecida por fabricantes nacionales (fig. 4). Cabe aclarar que la división entre segmentos es convencional y basada sobre el precio de los equipos. De la revisión de los datos de importación así como de la información suministrada por los fabricantes locales surge que cierta proporción de las impresoras de menor capacidad que se clasifican como personales/de escritorio, vendidas en el mercado argentino, se destinan a tareas industriales o profesionales. De esta forma para el mercado nacional quizás lo más correcto sería referirse al segmento industrial/profesional, definido de acuerdo con la convención internacional, como de altas prestaciones. Este mercado se caracteriza internacionalmente por una tendencia de crecimiento más leve, evidenciada también en el caso argentino, aunque afectada por la volatilidad de la economía nacional, en particular del sector industrial (fig. 5).

Fig. 4. Ventas de impresoras 3d personales/de escritorio (precio menor a US\$ 5.000) en unidades

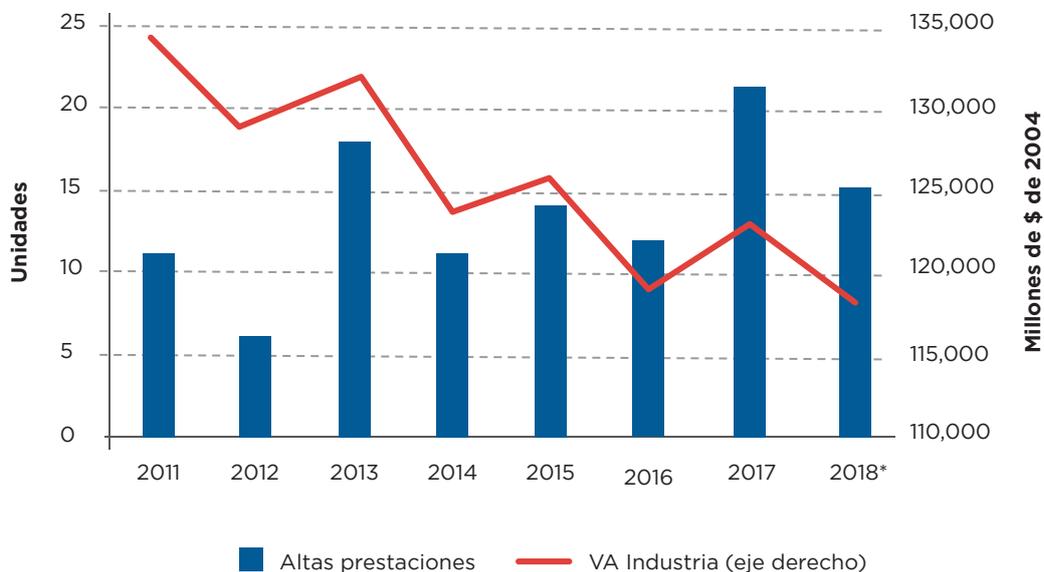


*2018 cifras estimadas

Fuente: elaboración propia con datos de Dirección General de Aduanas y relevamiento con empresas.

¹ Internacionalmente se consideran impresoras de aplicación industrial/profesional aquellas cuyo precio final supera los US\$ 5.000.

Fig. 5. Ventas (importaciones) de impresoras 3D de altas prestaciones (precio mayor o igual a US\$ 5.000) en unidades y valor agregado bruto industrial en \$ de valor constante (a precios básicos de 2004)

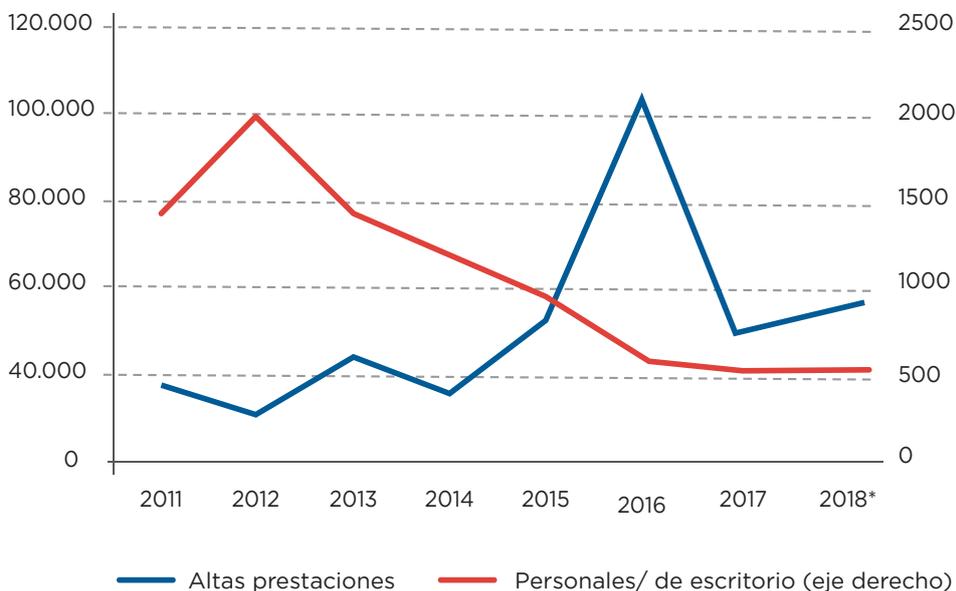


* 2018 cifras estimadas

Fuente: elaboración propia con datos de Dirección General de Aduanas e INDEC.

Los precios de importación de las impresoras llegadas a Argentina en los últimos años reflejan en gran medida la tendencia mundial de reducción de precios en el segmento personal/de escritorio. Las impresoras de altas prestaciones, en cambio, si bien se importan al país en número reducido, no muestran una tendencia similar, sino más bien opuesta (fig. 6). El pico en 2016 de esta última categoría corresponde a la importación de una impresora de metales de precio CIF mayor a los US\$ 700 mil.

Fig. 6. Precio promedio de importación (US\$ CIF) de impresoras 3D

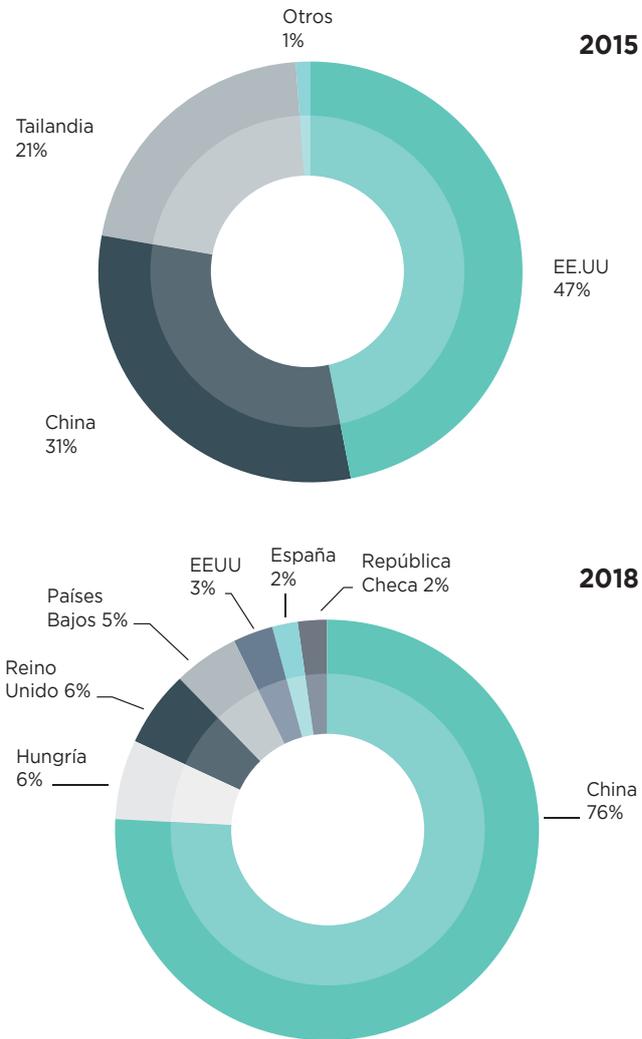


*2018 cifras correspondientes al primer semestre

Fuente: elaboración propia con datos de Dirección General de Aduanas.

Si bien las aplicaciones a las que se destina la impresión 3D en Argentina abarcan un amplio rango de actividades, se destacan especialmente los sectores de servicios de diseño, industria y salud. Las actividades de diseño, realizadas por estudios externos o por las propias firmas que llevan adelante los desarrollos, son hoy en día realizadas en gran medida con la asistencia de impresoras 3D. Esta tecnología se usa frecuentemente para materializar prototipos que permiten la mejora sucesiva del diseño hasta lograr la geometría definitiva, e incluso la realización de ensayos de validación funcional o normativa. Por ejemplo la firma de diseño DMO Design realizó algunos ensayos como drop test y seguridad eléctrica de un desfibrilador externo automático, con prototipos impresos (Ries Centeno, 2016). Otro ejemplo es el de la firma de grifería FV SA que cuenta con cinco impresoras 3D para sus desarrollos, una con la capacidad de imprimir moldes de arena para fundir prototipos metálicos (Petzold, 2016). La fabricación de moldes y matrices para fundición u otros procesos es un campo en el que la impresión 3D se utiliza cada vez con mayor frecuencia en el país para acelerar el proceso de desarrollo ya que permite materializar moldes a menor costo y más rápido (Borgiattino, 2017 y Gabriac, 2018). En la tabla 3 se muestra un ejemplo de la reducción de costo en la obtención de un modelo para la construcción de una matriz de formado de pulpa realizado por Bigotec SRL (Trideo). Por su parte, el Centro de Servicios Industriales de ADIMRA planea la incorporación de una impresora Voxeljet VX 200, capaz de imprimir moldes de arena para fundir piezas metálicas (Artave, 2018).

Fig.7. Origen de las importaciones argentinas de impresoras personales/de escritorio en cantidad de unidades.



Fuente: elaboración propia con datos de Dirección General de Aduanas e INDEC.

Tabla 3. Comparación de costos de fabricación y tiempos de desarrollo de una matriz para formado de pulpa a partir de un desarrollo realizado para una empresa nacional.

	Pieza Original (AI)	I3D (PLA)
Precio c/u	US\$ 3.500	US\$ 250 (50)*
Lead Time	60 días	3 días

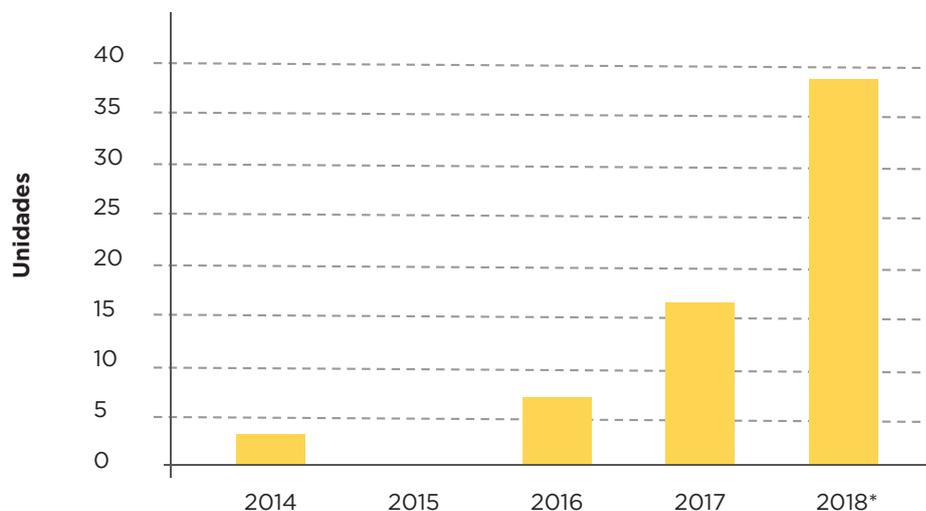
*Costo materia prima

Fuente: Bigotec SRL (Trideo) en Gabriac, 2018.

Es también creciente en Argentina el uso de la impresión 3D para la obtención de productos finales. En el caso de repuestos de máquinas o dispositivos, también con importantes ahorros en el costo de producción y en el tiempo de entrega (Gabriac, 2018). Entre los productos finales producidos, existen ejemplos de algunos destinados a consumidores bajo el paradigma de la producción personalizada como es el caso del calzado para bebés desarrollado por Chimak con la marca “Chimitas”.

En el área de la medicina y la odontología hay varios ejemplos de técnicas que incorporan a la impresión 3D como asistente para la obtención de modelos tridimensionales a medida del paciente. Por ejemplo la empresa Raomed SA utiliza la impresión 3D para fabricar modelos cuya forma es transferida a moldes de los que se obtienen finalmente los implantes de materiales biocompatibles ajustados a la anatomía de los pacientes. Otro ejemplo es el de la empresa Alinearte SA con su marca “No bracks”. Realiza modelos de alineadores de ortodoncia que son fabricados por termofusión en un polímero transparente, liviano y resistente. En este caso la tecnología de impresión 3D permite la obtención de varios juegos de alineadores que responden a los sucesivos pasos de corrección de la dentadura del paciente. En general, el escaneo de la anatomía del paciente permite contar con información digital útil para planificar intervenciones y diseñar los dispositivos o implantes necesarios y posteriormente imprimir modelos tridimensionales de los mismos. Estos procedimientos superan ampliamente las posibilidades de las técnicas tradicionales y se están difundiendo velozmente en nuestro país, como da cuenta el crecimiento en el número de impresoras 3d importadas con destino a aplicaciones médicas y odontológicas (fig. 8).

Fig. 8. Importaciones de impresoras 3D destinadas a aplicaciones médicas y odontológicas



*Cifra estimada

Fuente: elaboración propia con datos de Dirección General de Aduanas.

La tecnología FDM es la más difundida en el país, en gran parte por su tecnología más sencilla, lo que determina un menor costo y un mayor número de oferentes. En el segmento de impresoras personales/de escritorio es seguida a mucha distancia por la tecnología SLA/DLP (fig. 9). En el segmento de altas prestaciones otras tecnologías como polyjet y SLS tienen participaciones apreciables en el mercado (fig. 10).

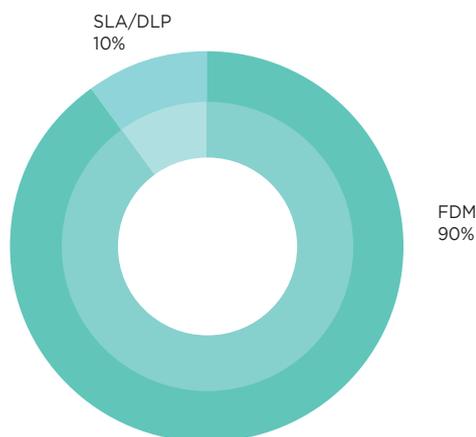
La tecnología SLA/DLP se presenta como la de mayor crecimiento en el país (fig. 11), impulsada por aplicaciones como la medicina, los servicios de diseño industrial, la industria metalmeccánica, la joyería, entre otros.

Si bien los fabricantes locales de impresoras 3D coinciden en que existe en el país un considerable potencial de crecimiento de la demanda debido a las múltiples aplicaciones y oportunidades que brinda la tecnología de manufactura aditiva, también señalan que aún falta avanzar en la difusión del uso, especialmente en las aplicaciones industriales. Un impulso importante provino en los primeros años de parte del Sector Educativo ya que un número considerable de equipos FDM fueron instalados en escuelas, principalmente técnicas, y laboratorios universitarios. Muchos de estos equipos fueron provistos por fabricantes nacionales. En particular la empresa EXO SA, de ingreso más reciente en el mercado argentino como fabricante/proveedor de los equipos, se encuentra fuertemente volcado a esta aplicación de la impresión 3D.

Aunque existieron proyectos de exportación, no se han registrado ventas externas de impresoras 3D de origen nacional hasta el momento. En general, los fabricantes nacionales consideran lejano el objetivo de exportar tanto por las dificultades de acceder y competir en otros mercados como por limitaciones propias para abastecer a una eventual demanda.

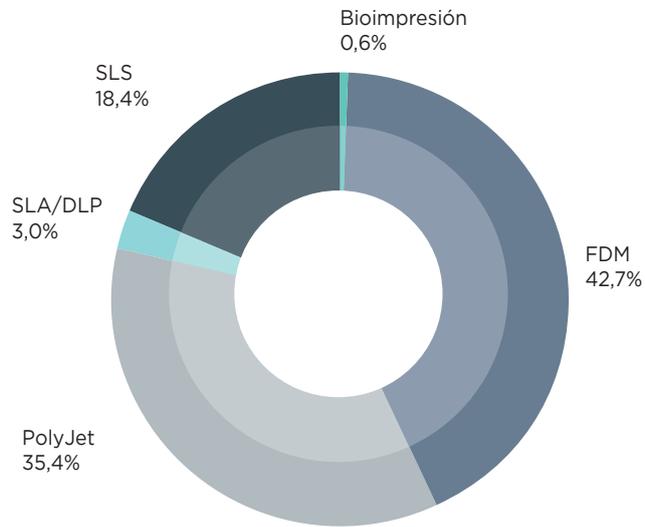
Sin embargo, debe tenerse en cuenta que aunque no se exporten impresoras 3D en el valor de algunas exportaciones industriales argentinas su trabajo está incorporado bajo la forma de mejora de los diseños, utillajes de producción, matrices o incluso algunas piezas finales.

Fig. 9. Importaciones de impresoras 3D personales/de escritorio por tecnología. Participación en valor US\$ CIF. Período 2011 - 1er semestre 2018.



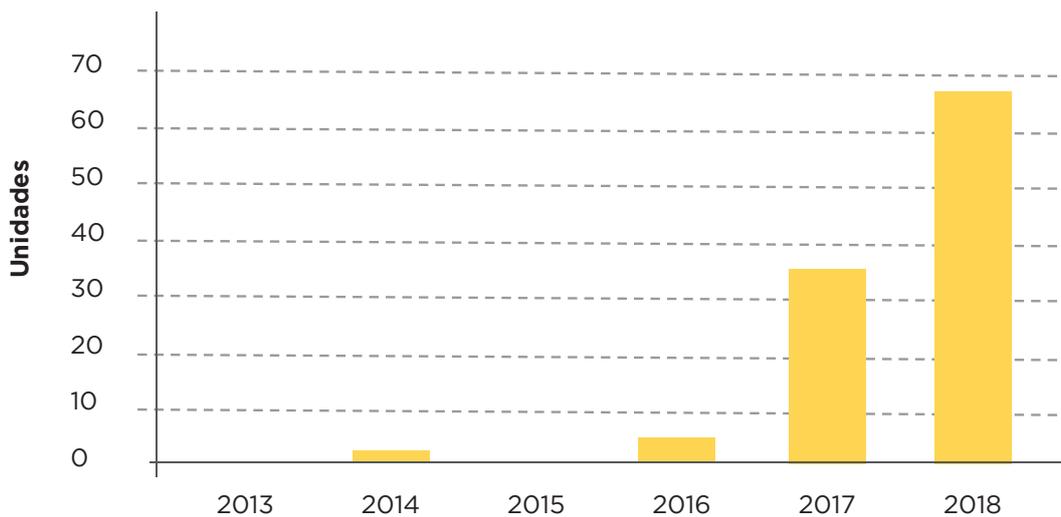
Fuente: elaboración propia con datos de Dirección General de Aduanas.

Fig. 10. Importaciones de impresoras 3D de altas prestaciones por tecnología. Participación en valor US\$ CIF. Período 2011 - 1er semestre 2018.



Fuente: elaboración propia con datos de Dirección General de Aduanas.

Fig. 11. Importaciones de impresoras 3D de tecnología SLA/DLP en unidades.



Fuente: elaboración propia con datos de Dirección General de Aduanas.

2.3. FABRICACIÓN NACIONAL

La primera fabricación en serie de impresoras 3D en Argentina fue realizada por la empresa Enterprise Objects Consulting SRL bajo la marca Kikai Labs. En 2011 comenzó con los desarrollos con financiamiento FONTAR de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Durante 2012, desarrolló varios prototipos de impresoras. A comienzos de 2013 comenzó la distribución comercial de sus productos (MINCyT, 2015). Sin embargo la empresa cerró sus operaciones en setiembre de 2016. Posteriormente surgieron en el país otros emprendimientos dedicados a la fabricación de impresoras 3D. Entre los fabricantes activos actualmente se destacan Chimak, Trideo, Trimaker, Far-e, Vitofeli y EXO SA. Con menor presencia en el mercado se encuentran las marcas nacionales EVO 3D, Kuttercraft, Zur3D, CHE3D, LifeSi entre otras. Por su parte, otras marcas nacionales que cesaron su fabricación son Codex, Replikat, Zootec y Creates.cc.

Existen además dos fabricantes nacionales de materiales para impresión FDM, es decir filamentos poliméricos: Kaviflex SRL con la marca Printalot, que además de vender en el mercado interno exporta a Brasil, y Nicieza y Taverna Hnos. SAIC y A con la marca Grilon3.

En general las empresas fabricantes pueden clasificarse en dos grandes grupos: dedicadas exclusivamente al rubro: Trideo (razón social Bigotec SRL), Trimaker (razón social Palatinum SA) y Tecnologías Vitofeli, y aquellas que se han volcado a la impresión 3D como actividad complementaria de su actividad principal, con la finalidad de diversificar sus negocios. Entre estas últimas se hallan Chimak (perteneciente a la autopartista Ricambi Auto Sport SRL), Far-e (propiedad de la autopartista y motopartista Chiapero y Asoc. SRL), EXO SA (informática) y Printalot (nacida de Felro SRL dedicada a la producción de cables conductores). Las impresoras 3D industria nacional, aunque construidas principalmente con partes importadas, incorporan en general características aportadas por un diseño propio. En todos los casos el principio de funcionamiento de las impresoras es FDM (Fused Deposition Modeling). Las impresoras de las diferentes marcas nacionales se presentan en una variedad de modelos pertenecientes a la categoría personal/de escritorio. Las medidas de la cámara de impresión (volumen de impresión) de los modelos más vendidos se encuentran entre 20 x 20 x 20 cm y 30 x 30 x 50 cm. Sin embargo, a comienzos de 2018 también se agregaron a la oferta equipos de 1 m³ de volumen de impresión, con precios muy superiores (en torno de los US\$ 40.000), destinados a aplicaciones profesionales e industriales. Además cabe destacar que existen experiencias nacionales en el campo de la bioimpresión. La empresa cordobesa LIFE SI comercializa un equipo capaz de imprimir biológicos o biocompatibles y Bigotec SRL (Trideo) trabaja en proyectos de bioimpresión en colaboración con la Fundación Fleni.

2.4.

PROCESO PRODUCTIVO, MANO DE OBRA Y COSTOS

Los procesos productivos de los fabricantes nacionales comprenden principalmente tareas de ensamblado aunque también suelen implicar corte y perforación y eventualmente pintura de partes que integran la estructura o la cubierta de los equipos. Los materiales más utilizados con esta finalidad son chapa de acero, aluminio y acrílico. También pueden incorporarse piezas plásticas impresas. En cuanto al desarrollo de las impresoras, además de la ingeniería necesaria para integrar mecánica y eléctricamente las piezas en un diseño determinado, se requiere la adaptación del software de control de código abierto.

Las empresas fabricantes de impresoras cuentan en promedio con unos 10 trabajadores incluidos sus dueños que generalmente aportan su trabajo en tareas de desarrollo o comercialización. Una proporción mayor a la mitad de los trabajadores son profesionales o técnicos.

Los componentes de origen nacional representan en valor aproximadamente el 20 % del total. Ese porcentaje puede incluir estructura, carcasa, piezas mecánicas, conexiones eléctricas, etc.

Los drivers y placas de control son en todos los casos importados. En algún caso hay experiencias de placas secundarias fabricadas por proveedores locales.

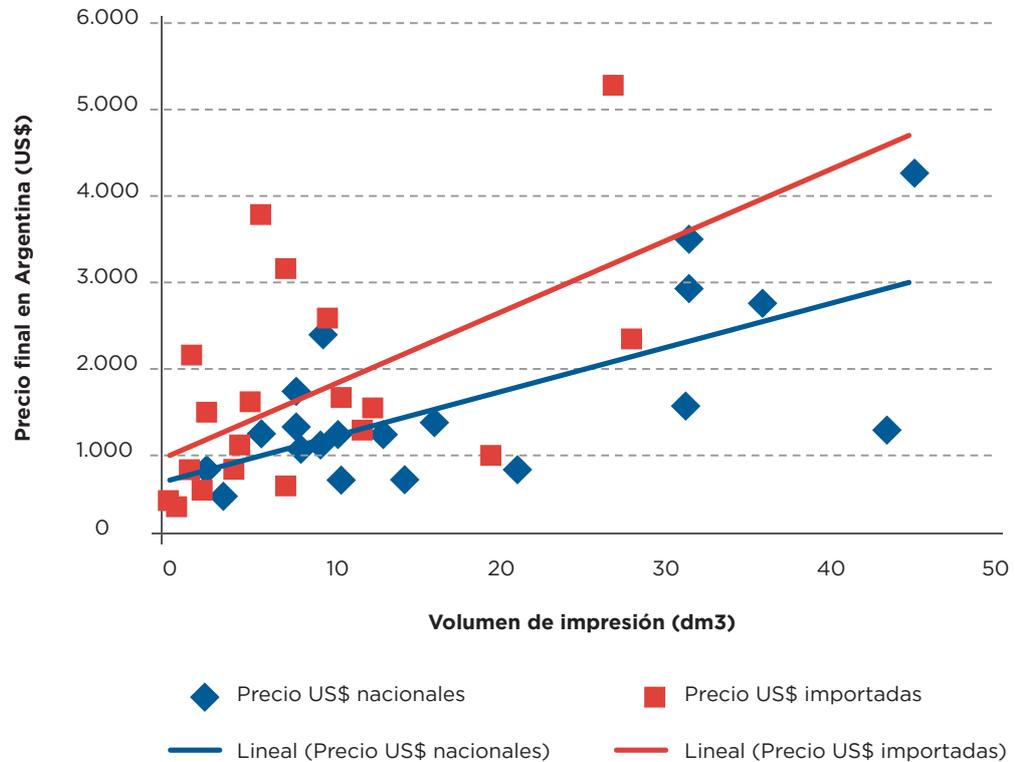
No todas las impresoras cuentan con certificación de Seguridad Eléctrica ni los procesos de fabricación de aseguramiento de la calidad (ISO 9001). En general los equipos nacionales no tienen certificación de compatibilidad electromagnética.

2.5.

MODELO DE NEGOCIOS

El rango de precios de las impresoras nacionales es variable, de acuerdo a su uso y prestaciones y se ubica entre los US\$ 500 y US\$ 4.000, dependiendo de sus características técnicas. Si se grafica el precio final para el usuario en el país de distintos modelos en relación con el volumen de impresión no solo se comprueba cierta proporcionalidad entre estas variables sino también diferencias entre las impresoras nacionales y las importadas (fig. 12). Las impresoras importadas presentan una dispersión mayor de precios y la mayor cantidad de modelos se ubican en el rango de volúmenes de impresión más reducidos, en comparación con las nacionales, que abarcan un rango más amplio de volúmenes de impresión, pero con una dispersión menor de precios. También se observa que los precios finales para los usuarios de la oferta nacional se ubican por debajo de los correspondientes a la oferta importada.

Fig. 12. Precios finales (IVA incluido) de los modelos de impresoras personales/de escritorio más vendidas en el mercado argentino



Fuente: elaboración propia con datos publicados por los fabricantes o sus representantes comerciales.

Es posible observar también que dentro del rango de precios, los más bajos corresponden a impresoras importadas de menor volumen de impresión y probablemente de características técnicas más básicas. La mayor presencia nacional en la oferta de mayor volumen de impresión responde a una estrategia de los fabricantes locales que apunta a aplicaciones profesionales o industriales con precios en el rango de las impresoras personales o de escritorio.

Las impresoras de menor costo- provenientes de China en su mayoría- suelen presentar dificultades técnicas y problemas relacionados con la usabilidad. En comparación, las impresoras nacionales otorgan mayores garantías técnicas. Las impresoras de marcas europeas y americanas, aunque frecuentemente fabricadas en China, presentan como ventaja una mayor confiabilidad y seguridad en la impresión y las piezas impresas suelen mostrar una calidad superior. Esta confiabilidad hace que la industria se incline por comprar impresoras de marcas reconocidas a nivel internacional, especialmente en el caso de impresoras que trabajan con materiales más complejos. Las impresoras nacionales son en cierta medida competitivas en relación a impresoras de origen europeo o americano (Makerbot y Ultimaker).

El mercado objetivo para los próximos años difiere según las empresas. Mientras algunas firmas apuntan al mercado de impresoras para uso educativo y personal/hobbista; otras priorizan el mercado profesional/industrial y dirigen su estrategia de ventas al desarrollo a medida de acuerdo a la necesidad del usuario.

Las ventas se realizan principalmente vía internet aunque algunas marcas nacionales también se venden en comercios especializados en Impresión 3D.

Si bien inicialmente las empresas han intentado captar los clientes de manera indiferenciada: Estado, universidades, centros de investigación, empresas industriales (automotrices, petroleras, metalúrgicas), escuelas, estudios de diseño, hobbistas, actualmente cada empresa se intenta focalizar en un solo sector. TRIDEO apunta a un mercado profesional sofisticado que aprecia o requiere prestaciones equivalentes a máquinas de marcas reconocidas. EXO en cambio se orienta al mercado educativo, vinculando ese producto con otros que fabrica y/o desarrolla enmarcados todos bajo el concepto de aula virtual. Chimak, por su parte, presenta el espectro más amplio de mercado en cuanto a capacidades de sus productos ya que va desde kits para armar hasta una impresora de gran volumen de impresión (1 m³) y accesorios como la extrusora de pasta cerámica ("Pasta Bot").

Además, algunas empresas fabricantes comercializan productos de terceros, en general importados, como filamentos, partes e impresoras y todos prestan servicios de fabricación.

Como ya se dijo, Chimak además incursiona en la fabricación personalizada de un producto destinado al consumidor final: calzado para bebés.

Una ventaja destacada por los fabricantes nacionales de sus impresoras frente a las importadas es la posibilidad que presentan de atender a requisitos específicos para particulares, industria y aún en licitaciones públicas.

La atención post venta no es necesariamente una ventaja para los fabricantes nacionales puesto que los importadores puede organizar servicios de posventa y soporte técnico.

El posicionamiento de los fabricantes locales frente a competencia internacional debe aún pensarse y definirse estratégicamente: podría focalizarse en la innovación o en la especialización para atender la demanda de sectores específicos.

Las principales limitantes que enfrentan las empresas pequeñas para desarrollar su negocio se vinculan con la necesidad de realizar nuevas inversiones físicas para expandir el negocio y con la insuficiencia de recursos humanos, principalmente en el área de desarrollo. Para las empresas pequeñas es difícil y costoso acceder a fuentes de financiamiento. En el caso de las empresas nacidas como desprendimiento de una mayor, estas dificultades pueden ser subsanadas por el mayor acceso al financiamiento y la posibilidad de subsidiar internamente el desarrollo de una nueva línea de negocios.

Algunas empresas fabricantes se encuentran agremiadas en una cámara empresaria denominada Cámara Argentina de Impresión 3D y Fabricaciones Digitales, que agrupa también a revendedores de equipos, partes y materiales, proveedores de servicios de impresión, fabricantes de materiales, entre otros. La cámara organiza un encuentro anual de la actividad.

2.6.

PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS Y DE MERCADO

De acuerdo con lo afirmado por los fabricantes, existe espacio para lograr mejoras técnicas en diferentes direcciones:

- Mejorar la experiencia del usuario, principalmente a través de soluciones de software.
- Control de errores (por cortes de energía, atascos, etc.)
- Nuevos materiales para partes y componentes (por ejemplo boquillas).
- Impresoras de otras tecnologías (fotopolimerización, sinterizado láser, etc.)
- Distintos tipos de filamentos (nylon para implantes, filamentos conductores, etc.)
- Diseño y fabricación de herramientas para la personalización de equipos
- Creación de un mercado para los diseñadores.

Las posibilidades en cuanto a nuevos mercados y aplicaciones que hoy se vislumbran para el país en el corto/ mediano plazo son:

- Diseño de productos. Moldes, desarrollo de prototipos
- Impresión de repuestos y piezas para reemplazo temporario
- Bioimpresión
- Aplicaciones en el ámbito de la salud
- Arquitectura
- Impresión de circuitos electrónicos (impresión con filamentos conductores, por ejemplo)
- Impresión de piezas finales de bajo volumen de demanda
- Artículos de consumo con alta personalización

2.7.

RELACIÓN CON EL SECTOR PÚBLICO

Las empresas en general, han mantenido contacto con instituciones públicas (Ministerio de Producción, MINCyT, FAN, INTI y otros). El MINCyT realizó un estudio de caracterización de los actores que integran la actividad. El INTI colaboró con un fabricante de filamento para impresión en el desarrollo de materiales y participó en las certificaciones de producto y evaluaciones de la experiencia para el usuario (Marchini, 2017) de algunos modelos. Desde el INTI también se realizaron jornadas de difusión de la tecnología (ver referencias bibliográficas), charlas de difusión y capacitaciones en todo el país. Las empresas valoran el trabajo de difusión de la Impresión 3D que realizan las instituciones, promoviendo la demanda

y el crecimiento del mercado local. Sin embargo, según indican, les resulta engorroso acceder a instrumentos de promoción y financiamiento; especialmente los largos tiempos de los procesos se plantean como una dificultad.

Entre las medidas que sugieren los fabricantes entrevistados que podrían implementarse desde el Estado para el desarrollo del sector, se destacan:

- Líneas para subvencionar proyectos de I+D, financiando especialmente RRHH.
- Promover la capacitación en modelado con impresión 3D. Se destacan la existencia de actividades de capacitación desde diversas instituciones, cámaras y sindicatos (CAFYDMA; Ministerio de Educación de la Ciudad de Buenos Aires; Convenio Cámara de impresión con UTN para la Licenciatura en impresión 3D).
- El Estado podría financiar o subsidiar parcialmente la incorporación de equipos para la manufactura aditiva de origen nacional.

Las impresoras 3D se comercializan en el país con IVA reducido del 10,5% por ser bienes de capital, lo que representa un incentivo a la demanda de equipos, aunque complica las posiciones de IVA de los fabricantes puesto que sus insumos y servicios que contratan están gravados con la alícuota general del 21%. Por otra parte el incentivo es el mismo para equipos de origen nacional o importado.

También los equipos de impresión 3D, que se encuentran clasificados en el nomenclador argentino en la posición arancelaria 8477.80.90.400T, se encuentran alcanzados por el Régimen de Incentivos a la Cadena de Valor de Bienes de Capital. Este beneficio otorga un reintegro de hasta el 11,2% del valor de las ventas en el país de esos bienes. El monto se reintegra en un bono de crédito fiscal transferible. Es importante destacar que ninguna de las cuatro empresas fabricantes visitadas tenía noticias de la existencia de este beneficio y por lo tanto no lo utilizaban.

CONCLUSIONES

Si bien la impresión 3D es una tecnología disponible hace varias décadas, en los últimos años su alcance se ha extendido enormemente gracias a la tecnología FDM, accesible debido a su difusión como hardware libre. El crecimiento exponencial que se dio en el mundo de impresoras sencillas a precios accesibles potenció enormemente la aplicación de la fabricación aditiva en general, incluidas otras tecnologías preexistentes y nuevas. De esta forma, hoy en día es posible hallar objetos “impresos” de metal, cerámica, polímeros e incluso tejido vivo.

Muchos estudios prospectivos asignan a la impresión 3D un papel protagónico en la industria del futuro, no sólo por su capacidad de materializar productos difíciles o imposibles de obtener por otros métodos, sino sobre todo por la posibilidad que ofrece de producir objetos a medida de las necesidades del usuario. Esta personalización masiva, salvando la aparente contradicción del concepto, podría implicar la relocalización de partes de las redes de provisión globales, reduciendo costos de transporte y superando barreras hoy existentes como las que surgen de las economías de escala típicas de otras tecnologías de proceso. No obstante, quedan desafíos para superar antes de alcanzar este punto de quiebre que tienen que ver fundamentalmente con la productividad y con las propiedades de las piezas obtenidas (resistencia mecánica, reproducibilidad, terminación superficial, etc.). Actualmente el tiempo necesario para imprimir piezas se mide en horas y los campos de aplicación están en general restringidos a aquellos con bajas solicitudes y tolerancias no muy exigentes.

La tecnología de extrusión de plástico (FDM) es por lejos la más difundida mundialmente y también en Argentina, Las impresoras industria nacional emplean en su totalidad esta tecnología y su participación en el mercado interno es relevante (35% en unidades). Su posicionamiento apunta principalmente al segmento conocido internacionalmente como personal/de escritorio, con una presencia por ahora marginal en el segmento más sofisticado (profesional/industrial). Este último no sólo exige máquinas de mejores prestaciones sino también otras tecnologías que no producen los fabricantes locales. No obstante, la mayor parte de los usuarios de las impresoras nacionales pertenecen de manera directa o indirecta al mundo profesional e industrial, sólo que emplean impresoras de bajo costo, que debido a la convención internacional que define las categorías, caen en la primera de ellas. En su condición de actividad de surgimiento reciente en el país, el sector está todavía conformado por unas pocas empresas, algunas con otra actividad industrial principal y otras totalmente dedicadas a la impresión 3D. En cualquiera de los casos el impacto económico y sobre el empleo de esta actividad es todavía reducido. Varias de las empresas fabricantes prestan además servicios de impresión y solo una de ellas imprime productos finales para comercializar por su propia cuenta. El mercado nacional de las impresoras personales/de escritorio se encuentra dominado por productos de origen chino, algunos de marcas reconocidas estadounidenses o europeas, fabricados mayoritariamente en el país asiático. Los fabricantes nacionales ofrecen en general equipos confiables, más ajustados a las necesidades del cliente local y precios competitivos en relación con las prestaciones. Sin em-

bargo, ninguna de las empresas fabricantes realiza, ni ha realizado exportaciones hasta el momento. Sí existen exportaciones de una de las empresas fabricantes filamentos poliméricos para impresión.

Las empresas dedican parte de sus recursos humanos a la investigación y desarrollo para extender el alcance de sus equipos a nuevas aplicaciones o materiales, siempre con la tecnología de extrusión (FDM). También introducen mejoras en sus equipos que dan lugar a nuevos modelos. Esta dinámica innovadora es quizás el mayor activo del sector y sobre el que debería construirse una estrategia sectorial de crecimiento.

Los dos principales desafíos que se presentan para los fabricantes locales son la exportación y mejorar la calidad y la confiabilidad de los equipos. En parte esto puede lograrse agregando a su oferta impresoras de otras tecnologías, por ejemplo SLA/DLP, mejorando el proceso FDM con desarrollo propio de partes críticas como por ejemplo el extrusor, o desarrollando equipos para sectores específicos como el de la medicina o los alimentos. El objetivo de exportación, si bien puede parecer lejano para empresas tan pequeñas, en principio se muestra como posible en lo que hace a competitividad en función de lo arriba expresado. Sin embargo, es necesario mejorar los aspectos referidos a normas técnicas. En este sentido, algunos modelos nacionales no cuentan con certificaciones de seguridad eléctrica o compatibilidad electromagnética, que, dependiendo el caso, pueden ser obligatorios en el país y podrían ser requeridos en algunos mercados externos, y por este motivo en 2017 el INTI lanzó un programa de asistencia técnica que incluía el acompañamiento en las certificaciones antes mencionadas, además de sumar pruebas de usabilidad para mejorar este aspecto en los productos nacionales. En cambio encarar otras tecnologías implica un esfuerzo de desarrollo mucho mayor, que luce difícil de lograr con la reducida estructura con la que cuentan estas empresas. Más accesible parece el desarrollo local de partes críticas que permita mejorar la relación precio/prestaciones de los equipos nacionales. En este sentido, es central el rol que podría jugar el sistema público de ciencia y tecnología, en particular el INTI que presenta un esquema de apoyo técnico especialmente adecuado a las PyMEs por su flexibilidad.

Hasta el momento el apoyo recibido del sistema público de ciencia y tecnología ha sido limitado. Se destacan en este campo los aportes del MINCyT y el INTI.

BIBLIOGRAFÍA

Acatech National Academy of Science and Engineering, German National Academy of Sciences Leopoldina y Union of the German Academies of Sciences and Humanities (Eds.) (2017) *Additive Manufacturing*. Munich, Alemania. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: www.acatech.de/Publikation/additive-manufacturing

Ålgårdh, J. et.al. (2017, Junio 22) State-of-the-art for Additive Manufacturing of Metals (2016-03898) RAMP UP. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: http://www.metalliskamaterial.se/globalassets/3-forskning/rapporter/2016-03898---state-of-the-art-for-additive-manufacturing-of-metals-2_1.pdf

Artave, G. (2018, Noviembre). *ADIMRA: Nuevas herramientas para desarrollo de prototipos para fundición* 3° Jornada de Fundición INTI Mecánica. San Martín, Argentina.

A.T. Kearney (2018) *3D Printing: ensuring manufacturing leadership in the 21st century: Public private partnerships pave the way to become the next global design and manufacturing leader*. Hewlet Packard. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: https://www8.hp.com/us/en/images/3D_Printing__Ensuring_Manufacturing_Leadership_in_the_21st_Century_tcm245_2547663_tcm245_2442804_tcm245-2547663.pdf

Bandyopadhyay, A., Gualtieri, T. PL. y Bose, S. (2016) 1 Global Engineering and Additive Manufacturing. En *Additive Manufacturing* (pp.1-18) Boca Ratón, Florida: CRC Press

Borgiattino, H. y Dünky, A. (2017, Noviembre). *Tecnología de impresión 3D aplicada al sector fundidor* 2° Jornada de Fundición organizada por INTI Mecánica. Rafaela, Argentina.

Butler O'Neal, B. (2018) CONTEXT Announces Leaders in 2017 3D Printing Revenues; Strataysys in Front [3Dprint.com]. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: <https://3dprint.com/211181/context-leaders-2017-3d-printing/>

CONTEXT World Limited (2018) Global 3D-printer market on track for 42% CAGR for next 5 years. Burston Road, Londres. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: <https://www.contextworld.com/context-global-3d-printer-market-on-track-9-may-2017>

EPMA European Powder Metallurgy Association (2017) *Introduction to additive manufacturing technology: a guide for designers and engineers*. Reino Unido: EPMA

Gabriac, S. (2018). *BIGOTEC: La impresión 3D en la industria argentina*. 3° Jornada de Fundición organizada por INTI Mecánica. San Martín, Argentina.

Gausemeier, J., Echterhoff, N., y Wall, M. (2013) *Thinking Ahead the Future of Additive Manufacturing: Innovation Roadmapping of Required Advancements*. Paderborn, Alemania: Study for the Direct Manufacturing Research Center.

Huffand, R. y Wohlers, T. (2018) AM ContinuesRapidAscent, Targets New Markets [SME]. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: <https://advancedmanufacturing.org/am-continues-rapid-ascent-targets-new-markets/>

Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2017). *TecnoINTI 13º Jornadas abiertas de Desarrollo Innovación y Transferencia Tecnológica*. San Martín, Argentina: INTI. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: <http://www-biblio.inti.gov.ar/gsd/collect/inti/index/assoc/HASH34f4/5fe8bfe5.dir/doc.pdf>

INTI Diseño Industrial (s.f.) [Mapa de Impresión 3D en Google maps] Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1ny8zIREBaG94VXVT1wQUanq48Dg&ll=-39.506142350630626%2C-66.6789911838257&z=4>

Marchini, H. (2017, Junio 9). ¿Qué es la usabilidad de un producto? [INTI: Noticias Institucionales: Transferencia Tecnológica].

Nemcansky, K. et.al. (2017) *Manual básico FDM i3D*. San Martín, Argentina: INTI Diseño Industrial. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: <http://www-biblio.inti.gov.ar/trabinti/NemcanskyManual2017.pdf>

Nicolini, J., Ramírez, O., Fernández, M., Braidot, N. y Abrevaya, C. (2015). *Impacto de las Tecnologías de Fabricación Aditiva en el Desarrollo y Fabricación de Productos en la Argentina*. Los Polvorines Bs. As., Argentina: Instituto de Industria, Universidad Nacional de General Sarmiento. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2015/trabajos/E008_COINI2015.pdf

Nupieri, N., Fracchia, Y., Dorado, C. y Sandre, C. (2018) *Impresión 3D en la cadena de valor textil indumentaria*. San Martín, Argentina: INTI. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: <http://www-biblio.inti.gov.ar/gsd/collect/inti/index/assoc/HASH3fc7/e320a7d7.dir/doc.pdf>

Palladino, C., Ramírez, R., Muro, V. y Lluch, M. (2015) *Perspectivas y desafíos para la I3D*. San Martín, Argentina: INTI Diseño Industrial. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: <http://www-biblio.inti.gov.ar/trabinti/PonenciasPerspectivas2015.pdf>

Programa Nacional VINTEC y Grupo Arcor (2015) *Estudio de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva en Tecnologías de Impresión 3D para alimentos*. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: www.mincyt.gob.ar/estudios/estudio-de-vigilancia-tecnologica-e-inteligencia-competitiva-en-tecnologias-de-impresion-3d-para-alimentos-11655

Park, R. (2018, Abril 30) Progressing Orthopedic Implants with Additive Manufacturing [3D Printing Media Network] Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: www.3dprintingmedia.network/progressing-orthopedic-implants-additive-manufacturing/

Ramirez, R. et.al. (2015) *Panorama de la impresión 3D*. San Martín, Argentina: INTI Diseño Industrial. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: <http://www-biblio.inti.gob.ar/trabinti/RamirezPanorama2017.pdf>

Sandre, C., Nencansky, K., Ries Centeno, M. y Petzold, G. (2016) Panorama I3D: Ciclo de charlas Hablando de diseño [Archivo de video]

Schoffer, F. (2016) How expiring patents are ushering in the next generation of 3D printing. [Tech] Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: www.techcrunch.com/2016/05/15/how-expiring-patents-are-ushering-in-the-next-generation-of-3d-printing

Secretaría de Planeamiento y Políticas. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (2015). *Impresión 3D en Argentina: acciones, proyectos, actores*. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

Tepper, F. (2017, Abril 7) Adidas' latest 3D-printed shoe puts mass production within sight [Tech] Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: www.beta.techcrunch.com/2017/04/07/adidas-latest-3d-printed-shoe-puts-mass-production-within-sight/?_ga=2.194685480.468764268.1530296049-455392463.1528891471

Valle, J. (2016, Julio 18). *Manufactura Aditiva Aplicada en la Fabricación de Indumentaria*. Buenos Aires, Argentina: INTI Textiles.

Wang, B. (2017, Enero 28) Organovo bioprinting human tissue for drug testing and within 6 years for implanting human livers [Next Big Future] Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: www.nextbigfuture.com/2017/01/organovo-bioprinting-human-tissue-for.html

West, J. y Kuk, G. (2016) The Complementarity of Openness: How Maker Bot Leveraged Thingiverse in 3D Printing. *Technological Forecasting & Social Change* (102) 169-181. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: www.doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.025

Wohlers Associates (2018, Marzo) *3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report*. Wohlers Associates

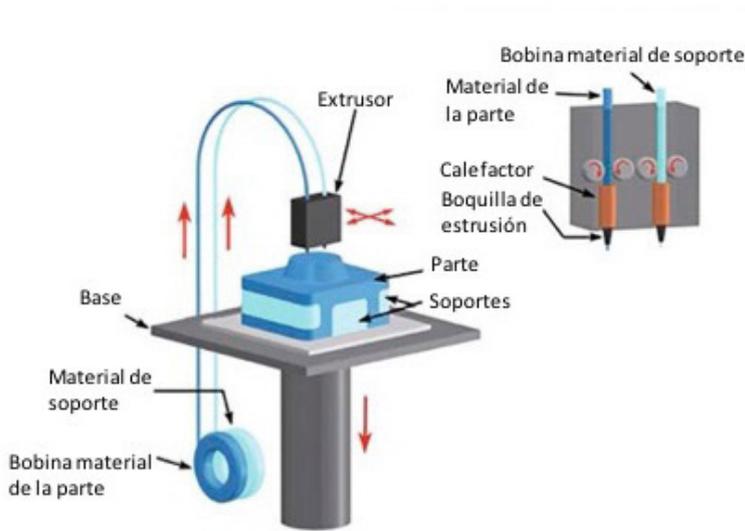
Wohlers Associates (2019) Additive Manufacturing in 2019. Recuperado el 16 de Enero de 2019 a partir de: www.wohlersassociates.com/blog/category/3d-printing

ANEXO I

Principales tecnologías de impresión 3d

Fuente: Acatech y otros, 2017.

FDM™ (Fused Deposition Modelling)



Otras denominaciones: FLM (Fused Layer Manufacturing / Modelling)

Categoría: Extrusión de material

Introducción en el mercado: 1991

Patentada: 1989 Scott Crump (Stratasys)

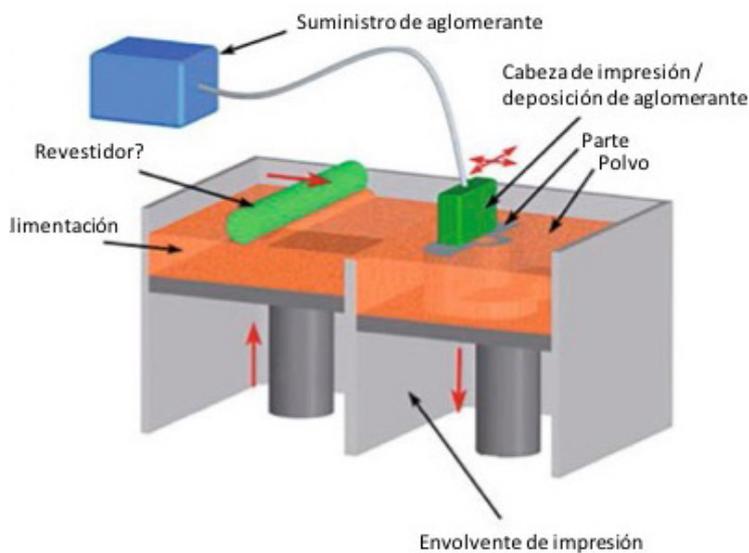
Principio de unión: Material fundido

Conformado de la capa: extrusión de filamento plástico desde una boquilla en movimiento

Materiales: Filamentos de termoplásticos amorfos (ABS, PC, PLA, PI)

Características especiales: Más impresoras vendidas que cualquier otra técnica.

3dp (3d Printing)



Otras denominaciones: Binder 3D printing, ZCorp™, VoxelJet™

Categoría: Chorro de aglomerante

Introducción en el mercado: 1993

Patentada: 1993 Massachusetts Institute of Technology

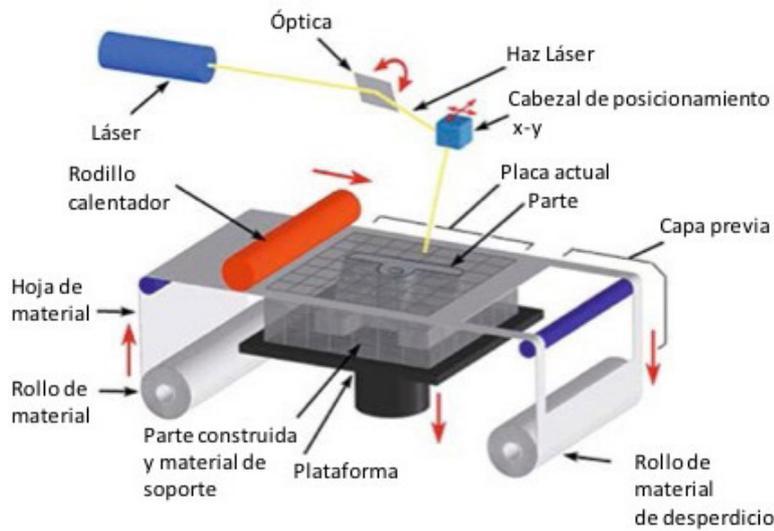
Principio de unión: Partículas de polvo unidas con aglomerante líquido

Conformado de la capa: aglomerante depositado selectivamente mediante una cabeza de impresión de chorro de tinta

Materiales: yeso, almidón, PMMA, arena

Características especiales: El aglomerante puede ser teñido y mezclado mediante varias cabezas impresoras, haciendo posible la impresión de objetos multicolores. Si se utilizan polvos cerámicos se pueden obtener mezclas "verdes" para sinterizar en pasos posteriores. No requiere estructuras de soporte.

LOM™ (Laminated Object Manufacturing)



Otras denominaciones: Laminated Object Modelling™, Layer Laminated Manufacturing (LLM), Sheet Lamination

Categoría: Laminación de capas

Introducción en el mercado: 1991

Patentada: 1987 Michael Feygin

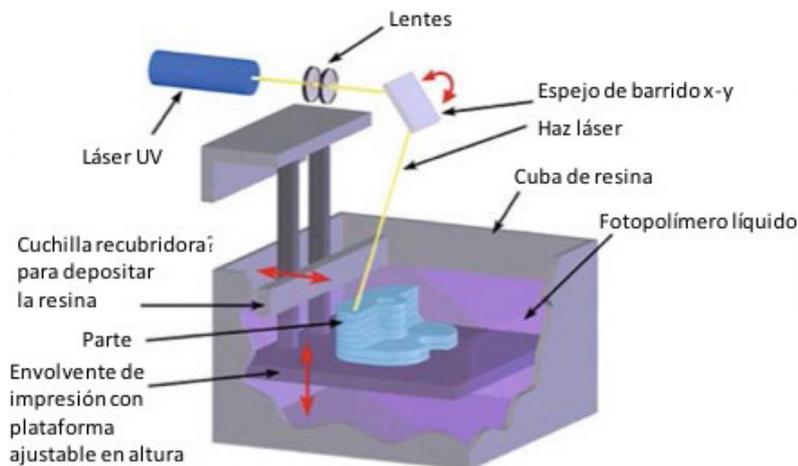
Principio de unión: Pegado de capas de papel o ligado de hojas de PVC mediante adhesivo fundido en caliente

Conformado de la capa: corte de la forma con un cuchillo (o cortador laser, que actualmente es obsoleto)

Materiales: Papel, adhesivo, hojas de PVC

Características especiales: El papel puede imprimirse previamente, permitiendo la producción de objetos coloreados que poseen propiedades similares a la madera. No requiere estructuras de soporte

SLA™ (Estereolitografía)



Otras denominaciones: STL

Categoría: Polimerización en cuba, fotopolimerización en una cuba con una fuente de luz láser o luces superficiales controladas

Introducción en el mercado: 1987

Patentada: 1984 Charles Hull

Principio de unión: Fotopolimerización

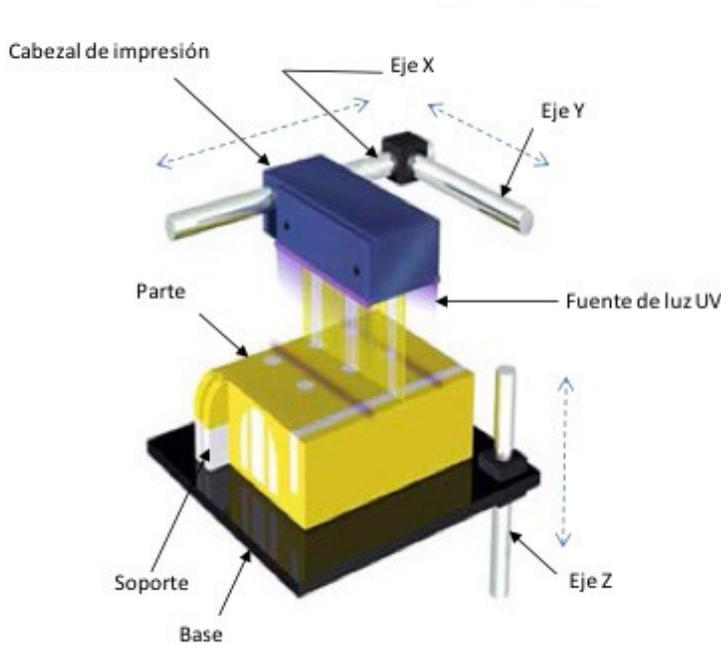
Conformado de la capa: Exposición selectiva a un haz láser dirigido por espejos de barrido o luz incoherente dirigida por arreglos de microespejos (DLP™, similar a los videoproyectores)

Materiales: Plásticos termoendurentes, típicamente acrílicos y resinas epoxi

Características especiales: La mezcla de resinas con polvos cerámicos permite la obtención de formas en "verde" que pueden sinterizarse como proceso posterior



PJM™ (Polyjet Modelling)



Otras denominaciones: Object™

Categoría: Chorro de material

Introducción en el mercado: 2000

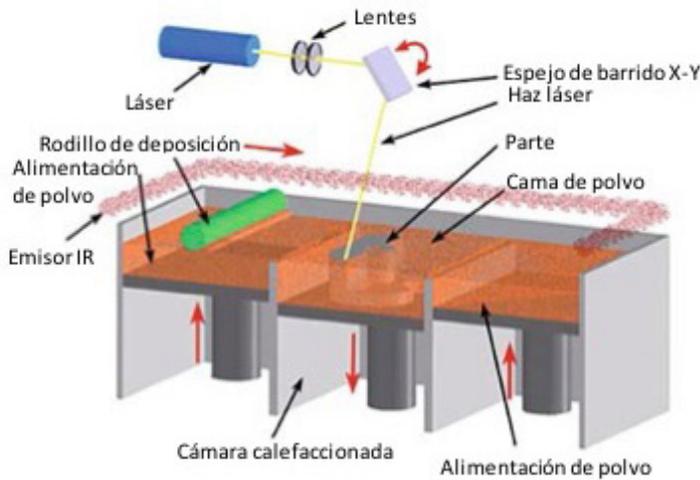
Principio de unión: Fotopolimerización

Conformado de la capa: Disposición selectiva de fotopolímeros usando un cabezal de impresión de chorro de tinta

Materiales: Plásticos termoestables, típicamente acrílicos y resinas epoxi

Características especiales: Se pueden combinar gotas de diferentes plásticos termoendurentes para crear colores ajustados al usuario, así como áreas duras y de consistencia flexible en una misma pieza

SLS™ (Selective Laser Sintering)



Otras denominaciones: Polymer Laser Sintering

Categoría: Fusión en cama de polvo

Introducción en el mercado: 1992

Patentado: 1986 Carl Deckard

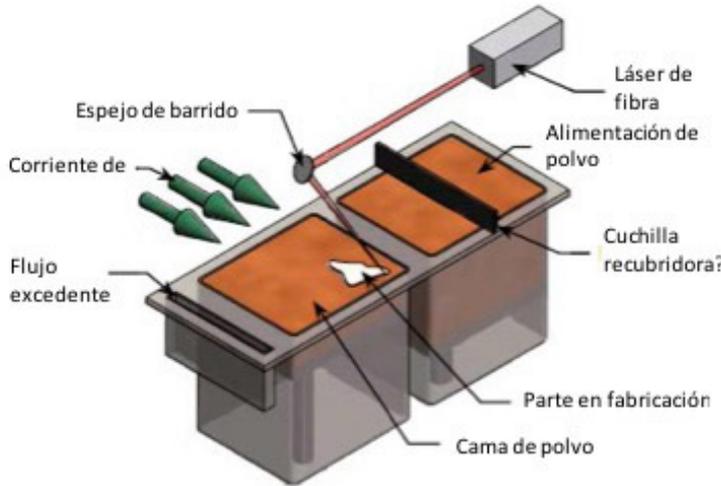
Principio de unión: Sinterización en fase líquida

Conformado de la capa: Exposición selectiva a un haz láser de CO₂ dirigido por espejos de barrido

Materiales: Termoplásticos semicristalinos, típicamente PA 12, PA 11, PAEK

Características especiales: No requiere estructuras de soporte

SLM™ (Selective Laser Melting)



Otras denominaciones: DMLS™ (Direct Metal Laser Sintering), LaserCUSING™, LMF™ (Laser Metal Fusion), DMP™ (Direct Metal Printing), LBM (Laser Beam Melting), Direct Metal Laser Melting

Categoría: Fusión en cama de polvo

Introducción en el mercado: 1999

Patentado: 1996 Wilhelm Meiners

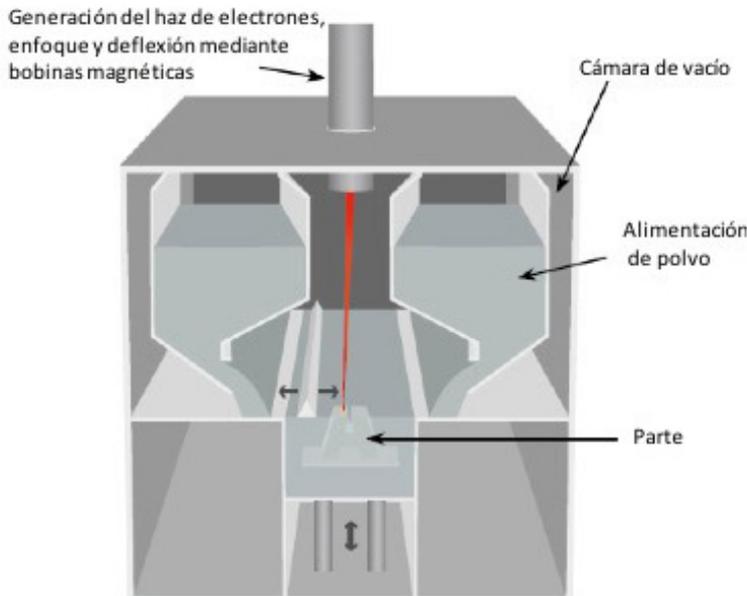
Principio de unión: Soldado por fusión

Conformado de la capa: Soldado selectivo mediante un láser de estado sólido dirigido por espejos de barrido

Materiales: Metales soldables y aleaciones metálicas en polvo

Características especiales: Los materiales tienen las mismas propiedades que en el procesamiento convencional

EMB™ (Electron Beam Melting)



Categoría: Fusión en cama de polvo

Introducción en el mercado: 2004

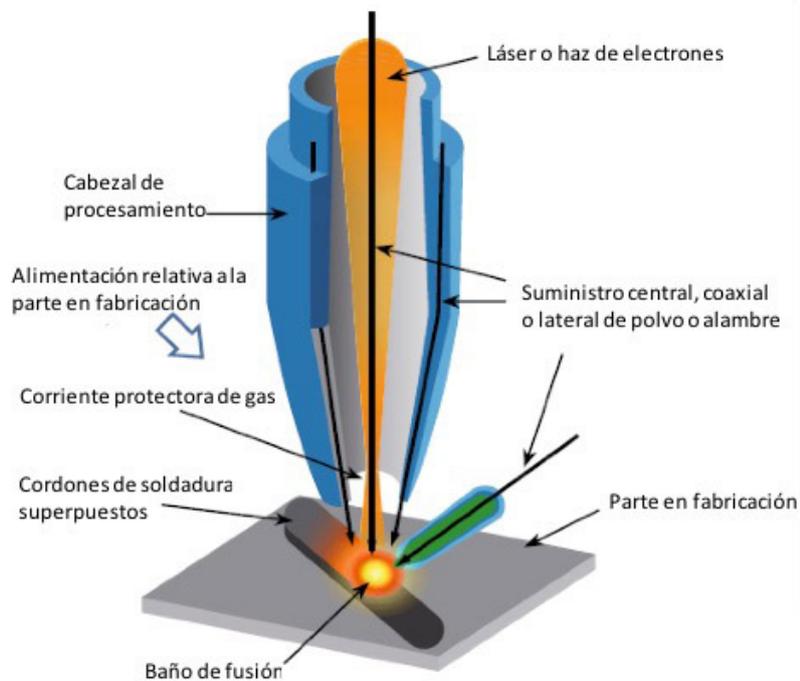
Principio de unión: Soldadura por fusión

Conformado de la capa: Soldadura selectiva mediante un haz de electrones dirigido por campos magnéticos

Materiales: Metales soldables y sinterizables y aleaciones metálicas en polvo

Características especiales: Los materiales tienen las mismas propiedades que en el procesamiento convencional. El polvo circundante a la pieza debe ser ligeramente sinterizado para disipar la carga eléctrica de manera controlada. Esto hace más difícil remover el polvo excedente de las cavidades que en la tecnología SLM™, lo que da como resultado superficies más rugosas.

LDM (Laser Metal Deposition)



Otras denominaciones: Láser Cladding, DMD™ (Direct Metal Deposition), LENS™ (Laser Engineered Net Shaping), EBAM™ (Electron Beam Additive Manufacturing)

Categoría: Deposición directa de energía

Introducción en el mercado: 1997

Principio de unión: Soldadura por fusión utilizando láser o haz de electrones

Conformado de la capa: Óptica y tobera o cable de alimentación guiado por robots de eje lineal o de brazo articulado

Materiales: Metales y aleaciones metálicas soldables, partículas cerámicas de refuerzo

Características especiales: Puede consistir en la soldadura de polvo metálico arrastrado a la zona de fusión por una corriente de gas, o de un cable de metal guiado por láser o un haces de electrones; es posible la fabricación de formas libres; la composición del material puede variarse fácilmente entre capas.

ANEXO II



Entrevistas realizadas

1. Santiago Scaine (Director de Replikat) 24/10/17
2. David Cimino (CEO de Chimak) 2/11/17
3. Ernesto Poschenrieder (Gerente de Calidad de EXO SA) y Pablo Bolaños (Diseño Industrial EXO SA) 8/11/17
4. Nicolás Berenfeld (Socio Fundador de TRIDEO) 8/11/17



INTI



Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

Dirección Técnica de Industria 4.0

Teléfono (54 11) 4724 6200

Interno 6322

industria4_0@inti.gov.ar

**NUESTROS CENTROS
FORMAN PARTE DE
LA RED NACIONAL DE
INNOVACIÓN, SOPORTE
A LA CALIDAD Y
DESARROLLO
TECNOLÓGICO
PARA LA INDUSTRIA.**

ISBN 978-950-532-418-7



9 789505 1324187

0800 444 4004

consultas@inti.gov.ar

www.inti.gov.ar

 INTIArg

 @INTIargentina

 INTI

 @intiargentina

 canalinti