

# **Impresoras 3D: el futuro del modelado**

**Carlos Valdivia Miranda**



***Revista Digital de ACTA***

**2020**

**Publicación patrocinada por**



**ACTA representa en CEDRO los intereses de los autores científico-técnicos y académicos. Ser socio de ACTA es gratuito.**

**Solicite su adhesión en [acta@acta.es](mailto:acta@acta.es)**

## **Impresoras 3D: el futuro del modelado**

© 2020, **Carlos Valdivia Miranda**

© 2020, 

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Se autorizan los enlaces a este artículo.

*ACTA no se hace responsable de las opiniones personales reflejadas en este artículo.*

## INTRODUCCIÓN

¿Quién no ha soñado alguna vez con la posibilidad de imprimir, presionando un botón, sus propias piezas a partir de un boceto dibujado en la pantalla de un ordenador? Para los que no tenemos a nuestro alcance un taller de fabricación, la respuesta seguramente es un rotundo ¡Nosotros!

La posibilidad de imprimir objetos sólidos tridimensionales de forma barata y sencilla es una tecnología buscada durante años por diversos fabricantes e investigadores. Afortunadamente esta tecnología es ya una realidad y se conoce como impresión 3D.

Las impresoras 3D están cada día están más presentes en nuestras vidas, especialmente en las distintas industrias de fabricación de todo el mundo. Aunque todavía no han alcanzado el nivel de presencia que tienen las impresoras de chorro de tinta o láser, lo cierto es que ese es el camino que tomarán cuando su coste baje y su uso se extienda. Actualmente, es posible armar nuestra propia impresora 3D a partir de kits por un precio bastante asequible.

Una impresora 3D es una máquina diseñada para crear piezas físicas o maquetas volumétricas, con un ahorro importante en los tiempos y en materiales. Aunque se utilizan habitualmente para realizar prototipos de piezas o componentes en sectores como la arquitectura o el diseño industrial, también podemos encontrar implementaciones de la tecnología de impresión 3D en ámbitos tan distintos como la alimentación, la medicina, la joyería, el calzado, etc.

Sus usos y ventajas son múltiples, aunque también traen de la mano algunos inconvenientes que iremos analizando. Con todo, en tiempos de pandemia por coronavirus están demostrando que, como cualquier otra herramienta bien empleada, su utilidad puede ser inmensa, permitiendo incluso salvar vidas.



Figura 1. Fabricación de una pantalla protectora con una impresora 3D.

## EN QUÉ CONSISTE LA IMPRESIÓN 3D

En un sentido más técnico, se entiende por impresión 3D al proceso de acumulación de material sobre una base. Este proceso de acumulación de material se realiza de forma secuencial, a través de diferentes métodos de fabricación, tales como inyección de aporte, extrusión de material, inyección de aglutinante, cama de polvo, laminación de metal, depósito metálico... En definitiva, se trata de diferentes técnicas destinadas a cumplir un mismo fin: crear un objeto en 3 dimensiones a partir de un diseño dado, dibujado a través de un software especializado.

Por otro lado, para poder diseñar las piezas que vamos a imprimir, es necesario utilizar un software adecuado. Se trata de las denominadas aplicaciones CAD (*Computer-Aided Design*). Hay muchas, algunas gratuitas como Blender®, FreeCAD, OpenSCAD o Autodesk® Tinkercad®, y otras de pago como DraftSight®, Catia®, SolidWorks, Autodesk® Inventor® o Cinema4D.

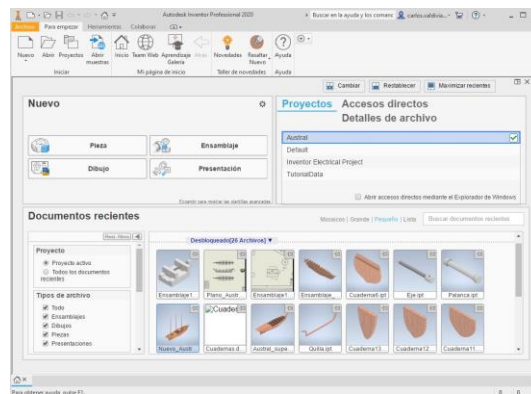


Figura 2. Autodesk® Inventor® es una aplicación CAD muy extendida en el diseño 3D.

Con impresoras 3D los tiempos para la realización de prototipos se reducen al mínimo. Solo hay que concentrarse en el **diseño del objeto**. Una vez diseñada la pieza en una aplicación de CAD, es necesario pasarlo a un lenguaje que entienda la impresora 3D. Para ello, primero se exporta el diseño a un archivo con formato **STL** (*STereoLithography*), que contiene la información geométrica necesaria para representar el modelo digital. El siguiente paso es convertir el modelo digital a una serie de coordenadas que la impresora 3D pueda entender y ejecutar. El código de coordenadas más conocido es **G-code** o RS-274 y es utilizado ampliamente en herramientas de control numérico. Por último, se transfiere la información a la impresora 3D a través de un **cable USB** conectado al PC o guardando el archivo en una **tarjeta de memoria** e insertándola directamente en la impresora.

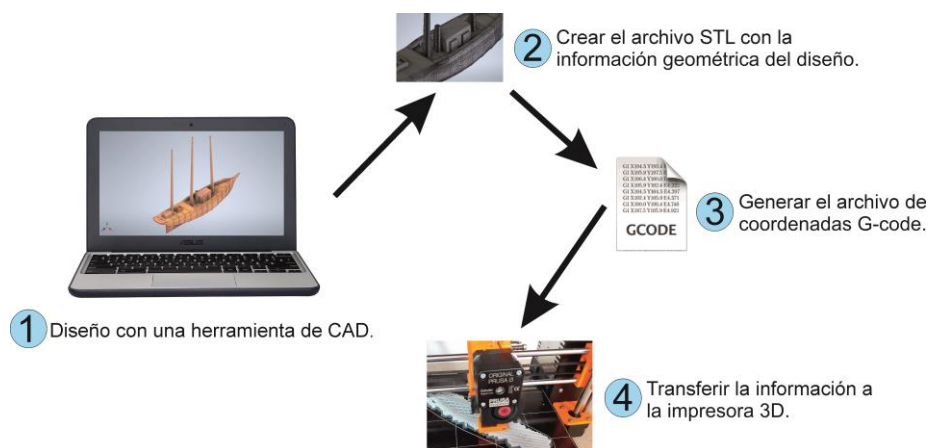


Figura 3. Proceso de impresión 3D.

## Ventajas e inconvenientes de las impresoras 3D

Tradicionalmente, la fabricación de piezas se realiza mediante sistemas de mecanizado como tornos y fresas. Los sistemas de mecanizado se basan en dar forma a un material en bruto. Es decir, esculpen el material partiendo de unas medidas establecidas previamente. Sin embargo, una impresora 3D crea el objeto de la nada. No hace falta un material en bruto, solamente la materia prima. Este cambio de concepto en la fabricación presenta una serie de ventajas e inconvenientes.

### Ventajas de las impresoras 3D:

- **Versatilidad:** La misma impresora 3D es capaz de realizar infinidad de productos distintos. El límite es tu imaginación y la capacidad para representar tus ideas en 3D.
- **Reducción de los tiempos:** El uso de la impresora 3D es muy sencillo, no necesita de muchos conocimientos. Por el contrario, los sistemas de mecanizado requieren de un operador capacitado y la puesta a punto para realizar piezas puede llevar horas. En la impresora 3D es suficiente con saber de diseño y algunas cuestiones relacionadas con la regulación de la máquina.
- **Reducción de costes:** La inversión que hay que hacer en los equipos de mecanizado es enorme, en comparación con el coste de las impresoras 3D.
- **Ahorro en herramientas:** Los equipos de mecanizado requieren de diferentes útiles en función del tipo de tallado que se realice sobre la pieza.
- **Reducción de los materiales:** Las impresoras 3D solo gastan material necesario para crear la pieza (no generan virutas).
- **Repositorios de piezas:** En internet se puede encontrar páginas web (como <https://www.thingiverse.com/>) que permiten la descarga de gran variedad de piezas en formato STL, dando acceso a miles de recursos en todo el mundo. Un diseño en abierto puede ser descargado, modificado e impreso por cualquier persona en cualquier lugar, con un coste mínimo. Lo hemos vivido en el caso de las protecciones sanitarias y demás material médico relacionado con el coronavirus, pero las posibilidades son ilimitadas.

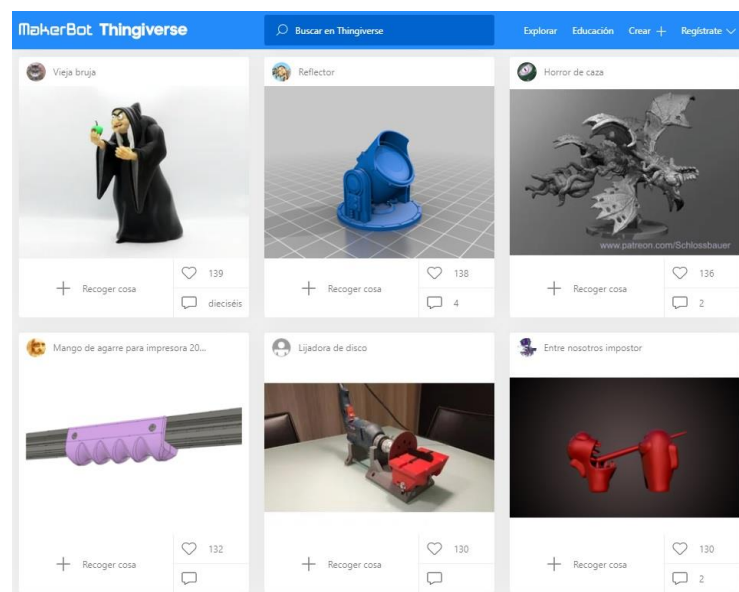


Figura 4. Repositorio de piezas Thingiverse.

## Inconvenientes de las impresoras 3D:

- **Reducida producción:** Las impresoras 3D no son rentables para producciones muy elevadas. Aunque permiten la fabricación rápida de prototipos, su velocidad es muy lenta para producciones elevadas.
- **Calidad de los acabados:** El acabado de las impresoras 3D presenta una superficie escalonada (aunque cada vez menos), mientras que el obtenido con los sistemas de mecanizado es totalmente liso.
- **Materiales que se pueden usar:** Aunque cada día se pueden usar más tipos materiales para la impresión 3D, siguen siendo muchos menos que con los que se pueden trabajar en los sistemas de mecanizado (prácticamente todos).
- **Vulneración de los derechos de autor:** La réplica de objetos con copyright será difícil de controlar. Se pueden distribuir por la red de forma ilícita en formato STL u obtenerlos con un escáner 3D.
- **Usos malintencionados de la tecnología:** Por desgracia, existe la posibilidad de crear objetos tales como armas de fuego, y el peligro de generalizar este tipo de objetos.

En resumen, para la fabricación de productos en serie sigue siendo conveniente invertir en los equipos de mecanizado, ya que la cantidad de productos amortiza la inversión. Sin embargo, para la fabricación de piezas únicas y para la realización de prototipos siempre conviene el uso de una impresora 3D.

## TIPOS DE IMPRESORAS 3D

Una impresora 3D reproduce un objeto sólido tridimensional mediante la adición de material, cuyo diseño se realiza en un ordenador. El proceso de impresión consiste en añadir material capa por capa y desde abajo hacia arriba. Generalmente se utiliza plástico, pero también, se está experimentando con otros materiales como el metal, la cerámica, el vidrio, los tejidos biológicos y el hormigón.

Partiendo de esta idea, los métodos de impresión 3D actuales son muy variados, siendo los siguientes métodos los más comunes:

- Modelado por deposición fundida (FDM, *Fused deposition modeling*).
- Sinterizado selectivo por láser (SLS, *Selective laser sintering*).
- Estereolitografía (SLA, *Stereo Litography*).
- Sistemas de fabricación por compactación.

Cada método de impresión 3D tiene diferentes técnicas, desarrollos, y por supuesto resultados. También, dependiendo del uso que se les dé, se pueden encontrar impresoras 3D de uso aficionado y otras de uso industrial. Las de aficionados se suelen emplear con fines educativos y didácticos, y no están preparadas para trabajar a diario 24 horas como las industriales. Además, las impresoras 3D industriales incorporan más accesorios y sus fabricantes ofrecen muchos más servicios al cliente.

### Modelado por deposición fundida (FDM, *Fused deposition modeling*)

También llamada Fabricación por filamento fundido (FFF, *Fused filament fabrication*). Estas impresoras 3D usan un filamento termoplástico, lo funden y lo extruyen a través de una boquilla en forma de minúsculos hilos. Estos hilos de termoplástico se van solidificando conforme van tomando la forma de cada capa, para ir creando la pieza capa a capa, de abajo a arriba, sobre una plataforma o base.

La resolución está directamente relacionada con el tamaño de la boquilla de extrusión y la precisión de los movimientos del extrusor (ejes X/Y/Z). En este tipo de impresoras 3D es de suma importancia calibrarla correctamente. La boquilla de extrusión suele ser de latón de 0,2 a 0,4 mm y la altura de capa va desde 0,1 a 0,35 mm.

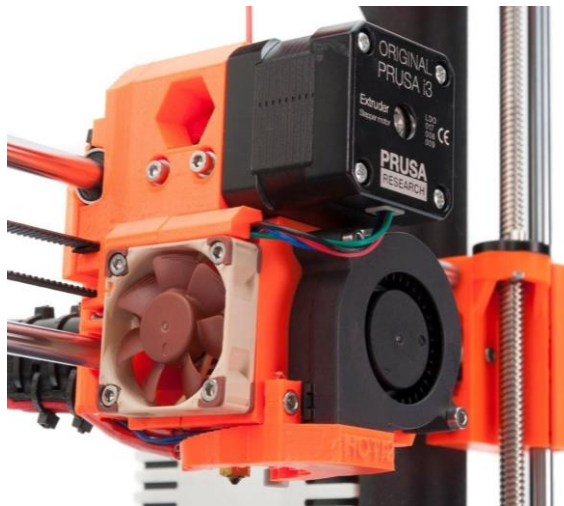


Figura 5. Extrusor de una impresora 3D FDM. (Fuente: [www.prusa3d.es](http://www.prusa3d.es))

El filamento termoplástico se vende en bobinas o rollos en dos diámetros diferentes: 2,85 mm (que normalmente se menciona como 3 mm) y 1,75 mm. Este último es el más empleado en todo el mundo. Las impresoras 3D FDM utilizan principalmente tres tipos de materiales: ABS, PLA y PET/PETG.

En el desarrollo de tecnologías FDM/FFF destacan empresas como Ultimaker, Makerbot o BQ.

Sus mayores inconvenientes son que requieren de una minuciosa calibración para tener modelos con calidad y los detalles de impresión suelen ser menores que en el resto de métodos de impresión 3D.

### Sinterizado selectivo por láser (SLS, *Selective laser sintering*)

La impresión se realiza capa por capa, a partir de polvos fusionados, gracias a la temperatura generada por un láser de CO<sub>2</sub>. Para ello, estas impresoras 3D depositan una fina capa de material en polvo sobre la plataforma, dentro de la cámara de impresión, a una temperatura ligeramente inferior a la de fusión del material. El láser recorre una sección transversal del modelo 3D y calienta el polvo hasta alcanzar la temperatura de fusión del material, provocando que las partículas se fusionen y solidifiquen. Cuando la capa se completa, la plataforma se desplaza hacia abajo, se vuelve recubrir la superficie de material en polvo y se repite el proceso hasta que la pieza se completa.



La pieza terminada queda completamente encapsulada en el polvo y se deja enfriar de manera gradual dentro de la impresora (este proceso puede llevar hasta 12 horas). Cuando la pieza se ha enfriado, se retira la cámara de impresión de la impresora y se limpia con aire comprimido u otro medio, para quitar el exceso de polvo. El polvo no solidificado actúa de material de soporte y puede ser reciclado para posteriores trabajos.

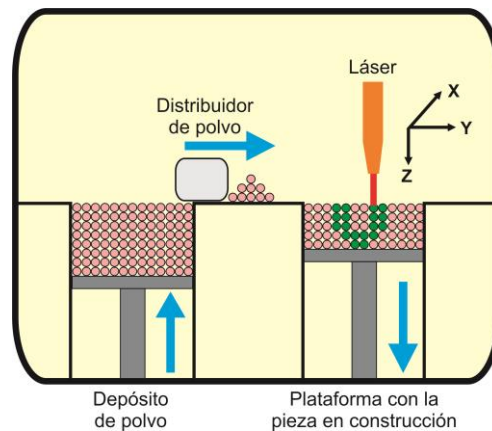


Figura 6. Funcionamiento de una impresora 3D SLS.

Estas impresoras 3D funcionan con una multitud de materiales, incluyendo plástico, metal, vidrio, cerámica y varios materiales compuestos pulverizados. Los sistemas de lecho de polvo más comunes en la actualidad son dos:

- **Basados en material plástico**, que normalmente reciben el nombre de sistemas SLS.
- **Basados en metal**, conocidos como sinterizado directo de metal por láser (DMLS, *Direct metal laser sintering*) o fusión selectiva por láser (SLM, *Selective laser melting*). DMLS utiliza una variedad de aleaciones y las piezas obtenidas son fuertes y duraderas, que pueden usarse como prototipos funcionales o como piezas de producción de uso final.

Hasta hace poco, estas impresoras tenían un coste muy elevado y eran difíciles de manejar. Su uso se limita a piezas de alto valor, como componentes para la industria aeroespacial o dispositivos médicos. El material más común para sinterizado selectivo por láser es el nailon. Este termoplástico es popular por ser ligero, resistente y flexible. Aunque también se puede fabricar con Polipropileno, PEBA, PA11, PEEK, etc. Se puede, igualmente, añadir fibras de otros aditivos a los materiales como fibras de carbono (Carbonmide), vidrio o aluminio (Alumide), mejorando con esto el comportamiento mecánico de las piezas finales.



Figura 7. Pieza impresa por SLS. (Fuente: 3D Natives)



En el desarrollo de tecnologías SLS destacan empresas como 3D Systems, EOS GmbH, Natural Robots o Formlabs.

### Estereolitografía (SLA, *Stereo Litography Apparatus*)

Es el primer método de impresión 3D, sus primeros desarrollos comienzan en 1986. Inicialmente el método consistía en la fotopolimerización de una resina a través de láser (Laser-SLA). El láser describe punto a punto la forma de la primera capa de la pieza en la superficie de la resina fotosensible líquida (como si se dibujara con un lápiz). Luego la plataforma desciende una cierta distancia, sumergiendo la capa curada en la resina líquida y volviéndose a repetir el proceso para la siguiente capa. Finalizada la pieza, se saca de la resina.

Años después surgió la tecnología DLP (*Digital light processing*), basada en la misma técnica, pero utilizando luz generada por un proyector. Consiste en la aplicación de un haz de luz ultravioleta a una resina líquida (contenida en un cubo) sensible a la luz. La luz ultravioleta va solidificando la resina capa por capa, en lugar de punto a punto como el láser. La plataforma se desplaza hacia abajo para volver a aplicar la luz con la forma de la siguiente capa sobre el baño, así hasta finalizar la pieza.

La última tecnología de estas impresoras se denomina LCD (*Liquid-crystal display*). Como su nombre lo indica, es un proyector de cristal líquido, mucho más económico que el ultravioleta.

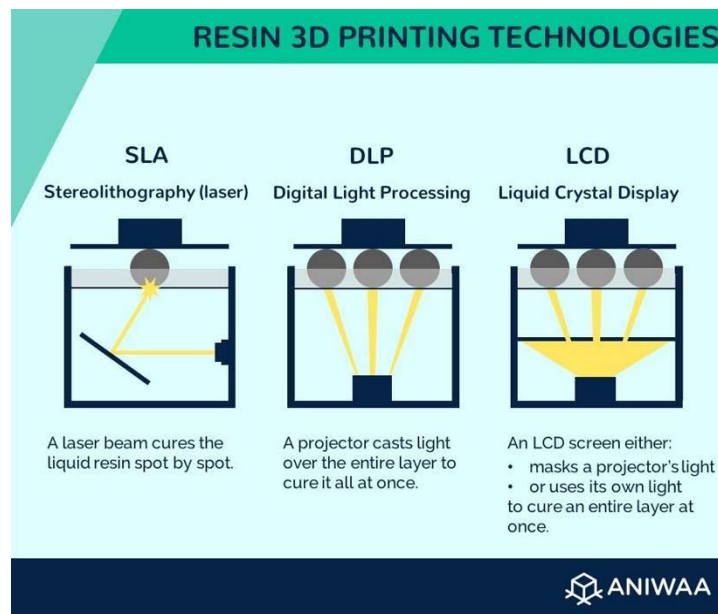


Figura 8. Tecnologías de impresión 3D basadas en resina. (Fuente: [www.aniwaa.com](http://www.aniwaa.com))

En estas impresoras 3D, la resolución está determinada por el punto óptico del láser o proyector. Además, como al imprimir no se aplica fuerza da como resultado superficies mucho más lisas, alcanzando grosores de capa de 0,05 a 0,01 mm.

En el desarrollo de las impresoras de tecnología SLA/DLP/LCD destacan empresas como Formlabs, B9Creations o Carbon 3D.

## Sistemas de fabricación por compactación

Es un método muy similar a la tecnología de impresión por láser. Al igual que la tecnología por SLS, el material está en polvo y a una temperatura ligeramente inferior a la de fusión. La diferencia radica en que, en lugar de emplear un láser, el material se compacta mediante inyección de un aglomerante (tinta). Esta tecnología permite imprimir en color, ya que el aglomerante utilizado puede tener un color u otro.

	Facilidad de uso	Precio del material	Resolución	Aplicación	Precio de la impresora
<b>FDM/FFF</b>	Alta	Bajo	Media (0,35 a 0,1 mm)	Educación y prototipos	>200 EU
<b>SLS</b>	Media	Bajo	Alta (0,2 a 0,05 mm)	Aeroespacial y dispositivos médicos	>10000 EU
<b>SLA</b>	Baja	Alto	Alta (0,05 a 0,01 mm)	Joyería y desarrollos artísticos	>3000 EU

Tabla 1. Comparativa de los métodos de impresión 3D.

## MATERIALES

Según los métodos utilizados para la impresión en 3D, hemos visto que se pueden usar diferentes materiales. Y es que una impresora 3D no puede utilizar cualquier material para imprimir sino que tiene que usar alguno compatible con el tipo de impresora y tecnología utilizada.

Existe una gran variedad de materiales usados para la impresión de objetos en tres dimensiones, desde materiales líquidos, sólidos, flexibles, transparentes, opacos, de colores, etc. Materiales que según sus propiedades pueden satisfacer las necesidades de las piezas u objetos creados a partir de ellos, ya que cada uno dispone de diferentes características y propiedades que permiten la creación de determinados objetos con una determinada resistencia o con una precisión mayor. Entre los materiales más utilizados destacan:

- **Poliácido láctico (PLA, *Polylactic acid*):** Es un polímero constituido por unidades de ácido láctico y con propiedades similares a las del polietilentereftalato (PET). Este termoplástico se obtiene a partir de materias primas naturales y renovables, como el almidón de maíz, la yuca, la mandioca o la caña de azúcar. Se usa mucho menos en la industria que el ABS, pero tiene las ventajas de no emitir gases nocivos, ser biodegradable y se encuentra disponible en una amplia gama de colores. Sin embargo, tiene ciertos inconvenientes respecto al ABS como no resistir las altas temperaturas (se empieza a descomponer a partir de 60°C) y los procesos de mecanizar, pintar, pegar, etc. son mucho más complicados. El PLA es bastante higroscópico, esto quiere decir que tiene la capacidad de absorber la humedad. Su tiempo de vida dependerá de cómo lo conserves. Una vez impreso, el PLA puede durar años en muy buenas condiciones si no lo sometes a inclemencias meteorológicas (como exceso de sol o cambios bruscos de temperatura). Existen otros PLA más resistentes como el PLA 850, capaces de aguantar mejor el paso del tiempo. El PLA se utiliza básicamente en el mercado doméstico y educativo.



Figura 9. El PLA es biodegradable y se usa mucho en la impresión 3D.

- **Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS, *Acrylonitrile butadiene styrene*):** Es un copolímero que se utiliza mucho en carcasas de electrodomésticos, componentes de vehículos, etc. Tiene un punto de fusión alto y a altas temperaturas desprende gases, que en concentraciones altas pueden ser nocivos. El ABS se puede mecanizar, pulir, lijar, taladrar, pintar, pegar, etc. Es muy resistente y algo flexible. Todo esto hace que sea el material idóneo para aplicaciones industriales.
- **Polietilentereftalato con glicol (PETG, *Polyethylene terephthalate glycol*):** Es un termoplástico que combina tanto la simplicidad de la impresión PLA como la resistencia del ABS. Es un plástico amorfo, que puede ser 100% reciclable, y que tiene la misma composición química que el PET (plástico muy utilizado para envases de bebidas). Se le añade glicol para reducir su aspecto frágil y, aumentar su resistencia.
- **LayWoo-D3:** Es un filamento formado por la mezcla de un polímero, similar al PLA, y polvo de madera en diferentes porcentajes. Ofrece un acabado de la superficie y la textura similar a la de la madera. Se puede pintar y lijar fácilmente. Este filamento se usa especialmente para la impresión en 3D de elementos decorativos.
- **Poliestireno de alto impacto (HIPS, *High impact polystyrene*):** Es un copolímero de poliestireno (un polímero bastante frágil a temperatura ambiente) y modificado mediante la adición de polibutadieno para mejorar su resistencia. Su comportamiento es similar al ABS, por lo que es fácil de imprimir. Es un material universal y estable con una alta resistencia térmica, produciendo capas suaves. Es utilizado normalmente en componentes mecánicos impresos.
- **Policarbonato (PC, *Polycarbonate*):** Es un filamento extremadamente fuerte, duradero y resistente al impacto. Al día de hoy es uno de los termoplásticos más extendidos en la fabricación de aparatos electrónicos, carcasas de electrodomésticos, CDs, juguetes, etc. Tiene baja deformación y soporta temperaturas de aproximadamente 100°C. Además, presenta una buena transparencia, se considera un buen aislante eléctrico y soporta estar expuesto a la intemperie y a los rayos solares.
- **Flex:** Es un filamento elástico con una base de poliuretano y otros aditivos que ofrecen en conjunto una gran elasticidad. La impresión con este tipo de material es más lenta, pero es muy útil para determinados objetos como carcasas de teléfono o ruedas de coches RC.

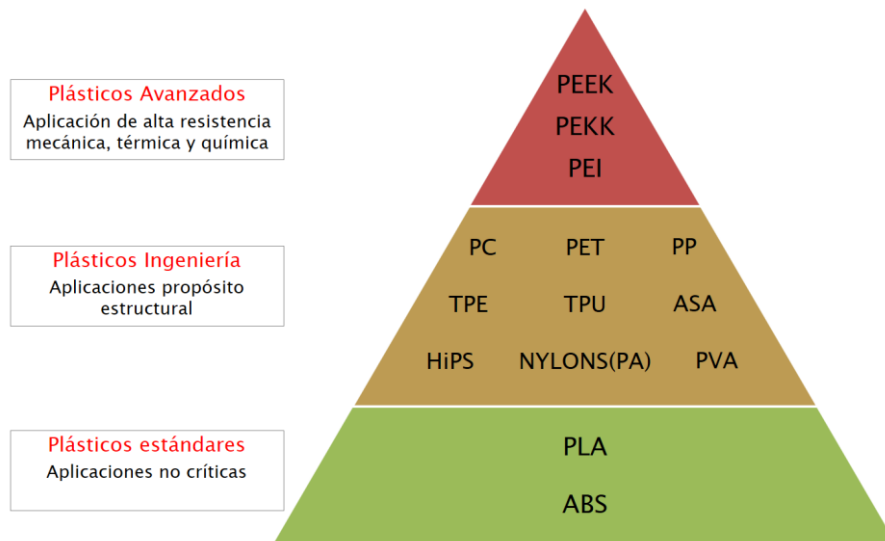


Figura 10. Tipos de filamentos termoplásticos usados en la impresión 3D.

(Fuente: [www.filament2print.com](http://www.filament2print.com))

- **Acetato de polivinilo (PVA, Polyvinyl acetate):** Es un material totalmente soluble en agua y muy interesante para la impresión 3D FDM/FFF. Aprovechando esta característica, con impresoras 3D que poseen doble extrusor se puede imprimir con ABS/PLA y usar PVA para construir estructuras imposibles de hacer sin material de apoyo. Con un baño en agua fría o caliente el PVA se disolverá y quedará como resultado una creación aparentemente "imposible" con una impresora 3D de escritorio FDM/FFF. Además, es muy útil a la hora de imprimir piezas con aplicaciones mecánicas (como rodamientos de bolas, rótulos y mecanismos de engranajes enjaulados).
- **Elastómero termoplástico (TPE, Thermoplastic elastomers):** Es un filamento flexible más elástico y resistente, que vuelve a su forma original después de ser estirado o doblado. Esto es, combina las ventajas de materiales elásticos como las propias gomas y de los materiales plásticos. Además, es un filamento reciclable. Es utilizado en aplicaciones médicas y sanitarias, en aplicaciones de sellantes de estanqueidad y en aplicaciones alimentarias. Otro filamento flexible basado en elastómeros es el poliuretano termoplástico o **TPU** (*Thermoplastic polyurethane*).
- **Nylon:** Es un polímero sintético del grupo de las poliamidas (PA). Se obtiene un material muy duro apto para piezas mecánicas.
- **Polipropileno (PP, Polypropylene):** Es un material flexible y resistente apto para impresión de objetos precisos que requieren flexibilidad, firmeza y persistencia.
- **Acrilonitrilo-estireno-acrilato (ASA, Acrylic styrene acrylonitrile):** Es un material con propiedades similares al ABS, su principal ventaja es la resistencia al impacto incluso en condiciones adversas, como aire, lluvia, frío, calor, etc., y a los rayos UV. Otra ventaja es su estabilidad dimensional. Se suele utilizar en objetos de uso cotidiano que necesitan ser más resistentes, como instalaciones eléctricas, piezas de coches o incluso juguetes.
- **Lay-Brick:** Se trata de un material que resulta de la mezcla de varios materiales plásticos y arenisca. Esto hace que los objetos adquieran un aspecto como de piedra o cerámico y que se puedan pintar y lijar fácilmente. Se usa mucho para las representaciones de edificios y obras arquitectónicas.

- **Materiales compuestos:** Como woodfill, copperfill, bronzefill, glow-in-the-dark, carbono o aramida y otros muchos, consisten de un plástico como material principal y material secundario en forma de polvo o de fibras. Estos materiales tienden a ser muy abrasivos, por lo que es muy recomendable usar una boquilla de acero endurecido.
- **Polieteretercetona (PEEK, PolyEtherEtherKetone):** Es uno de los polímeros con mayores prestaciones del mundo. PEEK tiene excepcionales propiedades mecánicas, térmicas y de resistencia química, lo que lo convierte en un material de uso en algunas de las aplicaciones más exigentes. Está disponible como filamento para impresoras FDM/FFF y se comienza a ver en forma de polvo para procesos SLS. Se utiliza principalmente en la industria aeroespacial, médica y automotriz.

La Tabla 2 lista la temperatura de la boquilla y de la plataforma antes de la impresión según el tipo de material utilizado.

	Temperatura de la boquilla	Temperatura de la plataforma
<b>PLA</b>	215°C	50 - 60°C
<b>ABS</b>	255°C	Entre 80 y 110 °C (mayor tamaño - mayor temperatura)
<b>PET/PETG</b>	240°C	80 - 100°C
<b>LayWoo-D3</b>	180 - 245°C (dependiendo de la tonalidad)	60°C
<b>HIPS</b>	220°C	80 - 110 °C
<b>PC</b>	240 - 250°C	110 °C
<b>Flex</b>	230°C	Entre 50 y 65 °C (mayor tamaño - mayor temperatura)
<b>PVA</b>	175 - 180°C	55°C
<b>TPE y TPU</b>	210 - 250°C	20 - 60°C
<b>Nylon (PA)</b>	240°C	80 - 90°C
<b>PP</b>	254°C	95 - 100°C
<b>ASA</b>	240°C	Entre 80 y 100 °C (mayor tamaño - mayor temperatura)
<b>Lay-Brick</b>	165 - 210°C	20 - 40°C
<b>Materiales compuestos</b>	190 - 210°C	Entre 50 y 70 °C (mayor tamaño - mayor temperatura)
<b>PEEK</b>	400°C	230°C

Tabla 2. Temperaturas para los distintos materiales.



## APLICACIONES

Como podemos imaginar, las aplicaciones de la impresión 3D son múltiples y muy variadas, gracias a las diferentes técnicas y materiales que se pueden utilizar en función del tipo de objeto, la precisión de los detalles y la resistencia. Algunos de los ámbitos de aplicación de la impresión de objetos en tres dimensiones son:

- **Medicina y salud:** Se está logrando crear ciertas estructuras biológicas del cuerpo humano mediante impresoras 3D y que son totalmente tolerables por el organismo. En el ámbito de las prótesis y otras especialidades, como la odontología, es donde hay más aplicaciones. Eso sin olvidar la gran ventaja de poder crear piezas o aparatos sanitarios con gran rapidez.
- **Educación y formación:** La opción de poder crear réplicas exactas de conceptos muy abstractos, hace que la visualización y entendimiento mejoren considerablemente. Además, permite a los alumnos llevar a la realidad sus ideas y proyectos de una forma sencilla y rápida.
- **Industrial:** No hay duda de que en el sector industrial supone un gran ahorro de tiempo y costes el poder crear prototipos de diferentes materiales de forma rápida.
- **Arqueología:** En este sector, la impresión 3D supone muchas ventajas poder replicar objetos reales, delicados e insustituibles. Los arqueólogos pueden manipular estas réplicas exactas sin miedo a dañar la pieza original.
- **Moda y tejidos:** Numerosas firmas internacionales se aprovechan de la impresión 3D para la fabricación de zapatillas, ropa, bolsos, accesorios y joyas.
- **Arquitectura:** Permite la fabricación rápida y fidedigna de maquetas y prototipos a una escala previamente establecida. Esto ayuda al arquitecto tanto a diseñar sus proyectos, como a comunicar sus ideas a un cliente.
- **Comida y alimentación:** Existen impresoras capaces de sustituir algunos procesos culinarios y personalizar los ingredientes, tanto en forma como en composición. Por ejemplo, destaca la creación de comida elaborada con masas de microalgas, aunque los ingredientes más usados son el chocolate y el azúcar, permitiendo elaborar postres increíbles. Foodini y ChefJet son las impresoras 3D más conocidas en alimentación.



Figura 11. Dulces creados por impresión 3D.

En definitiva, son múltiples los usos que se le puede dar a una impresora 3D en los diferentes ámbitos de nuestra vida, incluso a nivel doméstico. Puede ser muy útil para la fabricación de juguetes, la réplica de antigüedades, la réplica de proyectos de arquitectura, etc. A continuación, analizaremos los dos mayores avances conseguidos en la impresión 3D: la bioimpresión de tejidos vivos y la construcción de edificios.

### **Bioimpresión 3D**

Todos sabemos que la demanda de trasplantes aumenta cada año, siendo la cantidad de personas en la lista de espera mucho mayor que la cantidad de donantes. La solución parece ser apuntar hacia la bioimpresión 3D. El objetivo de la bioimpresión 3D es obtener con éxito un órgano humano completamente funcional. Gracias a las técnicas de impresión 3D, las células y los biomateriales se pueden combinar y depositar capa por capa para crear desarrollos biomédicos que tienen las mismas propiedades que los tejidos vivos. Durante este proceso, se pueden usar varios bioenlaces para crear estas estructuras similares a tejidos, que tienen aplicaciones en los campos de la ingeniería médica y de tejidos.

En abril de 2019, un equipo de investigadores de la Universidad de Tel-Aviv (TAU) imprimió con éxito un corazón en 3D usando células humanas. Aunque el tamaño del corazón impreso era del tamaño de un corazón de conejo, este coincidía completamente con las propiedades inmunológicas, celulares y anatómicas de un paciente humano. Este logro se ha convertido en un hito para la medicina y abre un inmenso abanico de posibilidades.



*Figura 12. Corazón bioimpreso en 3D por los investigadores israelíes. (Fuente: [www.nbcnews.com](http://www.nbcnews.com))*

El desarrollo de nuevos materiales de impresión es otro aspecto clave en estos procesos. Por ejemplo, recientemente se ha diseñado un material muy similar a la piel humana que puede utilizarse para realizar reconstituciones en caso de accidentes graves. Se trata de un tejido formado por miles de gotas de agua conectadas y encapsuladas dentro de películas de lípidos, capaz de desarrollar algunas funciones celulares y de interactuar con los demás tejidos de nuestro cuerpo.

Actualmente las técnicas para bioimpresión 3D se dividen en cuatro categorías diferentes:

- **Bioimpresión de inyección de tinta:** Se basa en modificar las impresoras 3D con tecnología FDM/FFF para lograr el mismo proceso desde una perspectiva biológica. Consiste en depositar capas de biomateriales (también llamados biotintas) sobre un sustrato de hidrogel o placas de cultivo. Durante la impresión, el extrusor de la impresora se deforma mediante un actuador térmico o piezoeléctrico y se comprime para generar gotas de biotinta (1 a 100 picolitros de 10 a 50  $\mu\text{m}$  de diámetro) sobre el sustrato. Algunas empresas utili-



zan esta técnica para crear tejidos humanos funcionales. Por ejemplo, reproducir tejido del hígado humano. El tejido obtenido se implanta en la parte dañada del hígado para prolongar la vida del órgano hasta que se encuentre un donante.

- **Bioimpresión 3D asistida por láser (LAB):** Se basa en el principio de la transferencia directa inducida por láser (inicialmente desarrollado para transferir metales). Utiliza un láser pulsado como fuente de energía para depositar los biomateriales en un receptor (sustancia). La técnica consta de tres partes: una fuente láser, una cinta recubierta con materiales biológicos que se depositan sobre una película y un receptor. Los rayos láser irradian la cinta, haciendo que los materiales biológicos líquidos se evaporen y lleguen al receptor en forma de gotas. El receptor contiene un biopolímero que mantiene la adhesión celular y ayuda a las células a comenzar a crecer. En comparación con otras tecnologías, la bioimpresión asistida por láser tiene ventajas únicas, incluyendo un proceso libre de contacto, impresión celular de alta resolución y precisa, control de gotitas de bio tinta, etc.
- **Bioimpresión por extrusión:** Se basa en la extrusión de biomateriales para crear patrones 3D y construcciones celulares. La biotinta se inserta, generalmente, en jeringas de plástico desechables y es dispensada de forma neumática o mecánicamente sobre un sustrato estacionario. Después de la aplicación capa por capa se completan los patrones 3D, y tendremos una construcción. Las ventajas de esta tecnología incluyen el procesamiento de temperatura ambiente, la incorporación directa de células y la distribución celular homogénea. Algunas de las bioimpresoras más populares de mercado utilizan esta técnica, que se considera una evolución de la inyección de tinta, como la Bioplotter de EnvisionTec o la bioimpresora 3D de Allevi.
- **Esterolitografía:** Es una nueva técnica de impresión basada en la tecnología SLA. Se emplea luz y bioenlaces fotosensibles. El proyector ilumina el patrón de la imagen a curar sobre una capa. Solo las áreas expuestas a luz blanca de alta intensidad reciben suficiente energía para curar. De esta forma, se forma una capa de construcción de tejido sólido. La bioimpresión estereolitográfica ofrece varias ventajas sobre las técnicas anteriores. La más importante es que no importa la complejidad del patrón en una capa, el tiempo de impresión permanece constante porque todo el patrón se proyecta sobre el plano de impresión. Como resultado, se consigue la resolución espacial más alta de todos los métodos de bioimpresión existentes, porque la resolución de impresión se define por el tamaño de píxel del proyector, que a menudo es inferior a 50  $\mu\text{m}$ . Sin embargo, su mayor inconveniente es su capacidad limitada de imprimir múltiples materiales simultáneamente.

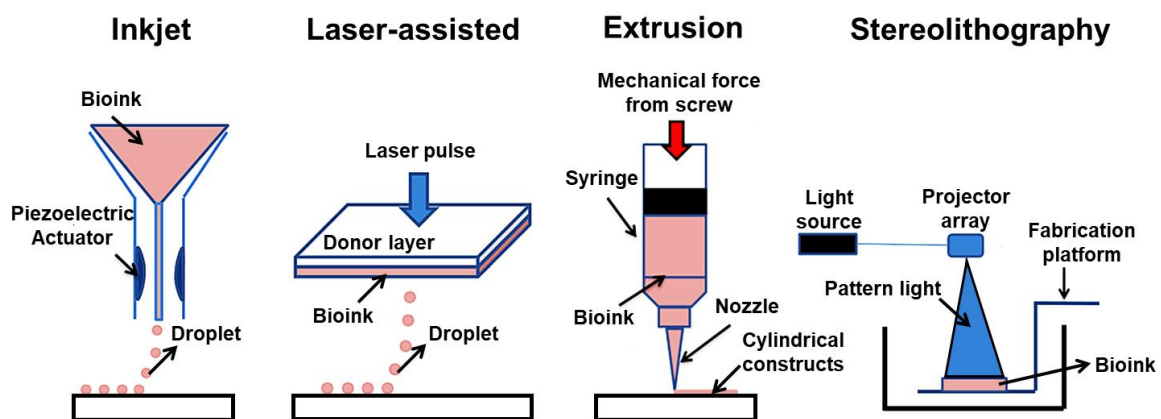


Figura 13. Las cuatro principales de técnicas de bioimpresión. (Fuente:Hapres)

Además de las técnicas de bioimpresión anteriormente descritas, en los últimos años han surgido muchas más técnicas nuevas, dos de ellas son:

- **Bioimpresión por ondas acústicas:** Es una técnica desarrollada por la Universidad Carnegie Mellon, la Universidad Estatal de Pensilvania y el MIT. Utiliza unas pinzas acústicas, un dispositivo microfluídico (donde se pueden manipular células o partículas individuales) y ondas acústicas superficiales. Se emiten las ondas acústicas superficiales desde los tres ejes y se encuentran en un punto. En estos puntos de encuentro, las ondas formarán un nodo de captura tridimensional. Las células individuales o los conjuntos completos de ellas se recogen para poder crear patrones 2D y más tarde en 3D. Esta técnica proporciona movimientos precisos de una manera no invasiva.
- **SWIFT (*Sacrificial writing into functional tissue*):** Es una técnica desarrollada por investigadores del instituto Harvard Wyss. Permite la bioimpresión de vasos sanguíneos en tejidos vivos. Todos los órganos necesitan vasos sanguíneos para suministrar nutrientes a sus células, pero la mayoría de los órganos cultivados en laboratorio carecen de una vasculatura de apoyo. Aquí es donde entra en juego SWIFT, que imprime canales vasculares 3D en tejidos vivos. En lugar de tratar de imprimir en 3D las células de un órgano entero, SWIFT se enfoca en imprimir solo los vasos necesarios para soportar una construcción de tejido vivo que contiene grandes cantidades de células madre. El tejido vivo obtenido se puede usar para reparar o reemplazar órganos humanos dañados. En un experimento, los tejidos específicos de órganos que se imprimieron con canales vasculares incrustados usando SWIFT permanecieron vivos, mientras que los tejidos cultivados sin estos canales experimentaron la muerte celular en 12 horas.

### Construcción 3D

Las aplicaciones de la impresión 3D no tienen límites. Desde hace unos años se está empezando a utilizar esta tecnología en el ámbito la construcción. Las impresoras 3D de casas son realmente diversas, ya sean impresoras montadas en un pórtico o robots móviles. Son capaces de extruir hormigón o plástico, que permiten construir diferentes estructuras de diversa complejidad, desde casas hasta puentes y rascacielos. Es tal su potencial que, tanto la ESA (*European Space Agency*) como la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), están estudiando su uso para la colonización de la luna y de marte.



Figura 14. Bloque de impresión 3D usando polvo lunar simulado como materia prima. (Fuente:ESA)

Uno de los principales obstáculos para la colonización de otros planetas y satélites consiste en la limitada capacidad de carga de los cohetes actuales. Para construir una base en otro cuerpo celeste es indispensable trasladar grandes cantidades de material de construcción. Por lo tanto, la viabilidad de la colonización espacial está en tecnologías que aprovechen los recursos que ya se encuentran disponibles en el espacio. Actualmente se está trabajando en métodos de impresión en 3D con una "tinta" de material conformado en un 70% por regolito artificial (similar a la composición del regolito lunar) y un 30% de aditivos. Este método tiene una simplicidad tecnológica que lo hace apto para ser usado en condiciones lunares y marcianas.

A continuación, veremos los algunos de los principales fabricantes de impresoras 3D en el sector de la construcción:

- **Apis Cor:** Es una empresa rusa que ha desarrollado una impresora 3D que podría construir una casa en tan solo 24 horas, todo en condiciones climáticas extremas. Esta impresora mide 4 x 1,6 x 1,5 metros y pesa dos toneladas. Está equipada con una herramienta de autonivelación horizontal, que permite que la impresora sea operada por solo dos trabajadores. Es una impresora 3D muy fácil de transportar y que extruye hormigón en una superficie de impresión de 132 m<sup>2</sup>, con una precisión de posicionamiento repetida de 0,1 a 0,2 mm y una velocidad máxima de trabajo de 1 a 10 m/min. La compañía ha desarrollado su propio software y un programa de control para facilitar el trabajo de construcción. Esta empresa ha creado en Dubái el edificio más grande (hasta la fecha) impreso en 3D, con una superficie de 640 m<sup>2</sup> y una altura de 9,5 metros (dos alturas). Llevo un total de 17 días de impresión.



*Figura 15. Construcción del edificio más grande mediante impresión 3D. (Fuente: 3D Natives)*

- **Be More 3D:** Es una empresa española que surge de una *startup* de la Universidad Politécnica de Valencia. Se especializa en la fabricación aditiva de hormigón y esta tecnología les ha permitido el desarrollo de varios proyectos. Por ejemplo, en el marco del certamen Solar Decathlon África 2019 (SDA 2019), celebrado en el Green Energy Park de Ben Guerir (Marrakech, Marruecos), construyó una vivienda de 32 m<sup>2</sup> en 12 horas. Actualmente, la empresa trabaja en el diseño de una construcción en la ciudad de Mallorca, embebido en un entorno natural.





Figura 16. Modelo de casa de la startup Be More 3D. (Fuente: <https://bemore3d.com/>)

- **CyBe:** Es una compañía holandesa que ha diseñado dos impresoras de hormigón 3D, Cybe RC 3Dp (impresora 3D móvil) y Cybe R 3Dp (impresora 3D fija). También ha desarrollado un material patentado (CyBe MORTAR), basado en una mezcla de hormigón. Ambas impresoras 3D alcanzan una velocidad máxima de 60 cm/s y alturas de capa de 1 cm a 5 cm, lo que permite fabricar estructuras de hormigón rápidamente. Entre los últimos trabajos de la empresa encontramos *Meet House*, una casa 3D en el Parque SRTI (*Sharjah research, technology and innovation*), y *G+7 apartment complex*, un complejo de apartamentos en la India. La tecnología de Cybe se considera como una de las formas más innovadoras y confiables de construir una unidad residencial integrada mediante el uso de maquinaria digital a bajo coste.



Figura 17. Proyecto MEET House de la empresa CyBe. (Fuente: <https://cybe.eu/>)

## EL MOVIMIENTO “MAKER”

La revolución que está ocasionando la aparición de impresoras 3D de uso doméstico, permite a los usuarios un sinfín de posibilidades para crear todo tipo de piezas y diseños adaptados a sus necesidades. A estos nuevos usuarios se les llaman **makers** y están convencidos en que existe otra forma de fabricación. Es una invitación, a personas no profesionales o no expertas en una técnica, a la construcción de sus propios dispositivos e ideas.

El movimiento *maker* ("házte-lo tú mismo") está integrado por personas que quieren crear o modificar objetos de forma artesanal, pero abiertos a usar cualquier tipo tecnología y cualquier tipo de herramienta. A la cabeza de este movimiento se encuentra Mark Hatch (cofundador de TeChShop) con su conocido Manifiesto del movimiento *maker*. Las claves de este manifiesto son:

- **Hacer:** Hacer es fundamental para el ser humano. Para sentirnos completos debemos hacer, crear y expresarnos. Hay algo único en hacer cosas físicas. Estas cosas son como pedacitos de nosotros y parecen encarnar porciones de nuestras almas.
- **Compartir:** Compartir con los demás lo que has hecho y lo que se sabe hacer es el método por el cual el *maker* logra su mayor satisfacción. No puedes hacer y no compartir.
- **Regalar:** No hay cosa más desinteresada y satisfactoria que regalar algo que hayas construido tú mismo. El acto de hacer pone un pequeño pedazo de ti en el objeto. Dar eso a otra persona es como darle a alguien un pedazo pequeño de ti mismo. Tales cosas son a menudo los objetos más queridos que poseemos.
- **Aprender:** Debes aprender para hacer. Debes empujarte a aprender nuevas técnicas, materiales y procesos. Construir un camino para el aprendizaje a lo largo de la vida te garantiza una vida rica y reconfortante en el hacer y, lo que es más importante, permite compartir.
- **Trabajar con herramientas:** Debes tener acceso a las herramientas adecuadas para el proyecto en el que estás trabajando. Invierte y consigue el acceso a lo que necesitas para hacer las cosas que quieres. Las herramientas para hacer nunca han sido más fáciles de usar, baratas y potentes.
- **Jugar:** Juega y experimenta con lo que estás haciendo. Te sorprenderás, emocionarás y estarás orgulloso de lo que descubras.
- **Participa:** Únete al Movimiento *maker* y contacta con otros que están descubriendo su pasión por crear. Organiza fiestas, eventos, días, ferias (*Maker Faire*), exposiciones y clases, con y para los otros *makers* de tu comunidad.
- **Apoyo:** Este es un movimiento y requiere apoyo emocional, intelectual, financiero, político e institucional. Nosotros somos la mejor esperanza para mejorar el mundo y somos responsables de crear un futuro mejor.
- **Cambio:** Acepta los cambios, ya que ocurrirán de forma natural según recorres tu camino *maker*. En base al espíritu del hacer, te recomiendo enfervorecidamente que tomes este manifiesto, hagas tus cambios y que lo hagas tuyo. ¡Esa es la clave del movimiento *maker*!

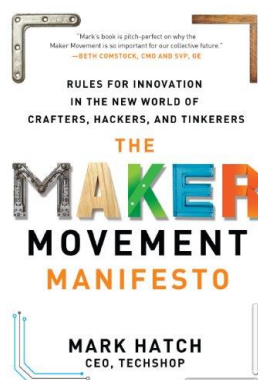


Figura 18. Manifiesto del movimiento maker escrito por Mark Hatch.

Es imposible saber exactamente el futuro que tendrá el movimiento *maker*, pero en el ámbito de la educación el estudiante se convierte en el protagonista de su propio aprendizaje, que sucede derivado su acción (*learning by doing*). La aplicación del movimiento *maker* a espacios de educación formal viene, normalmente, de la mano del Aprendizaje basado en proyectos (ABP). Es decir, el proyecto de construcción de un artefacto tecnológico se aprovecha como un reto que permite materializar el proceso de aprendizaje en la solución de un problema auténtico.

Para realizar estas actividades se necesita de una infraestructura, espacios físicos donde los usuarios pueden realizar sus prototipos (FabLabs<sup>1</sup>). Los FabLabs suelen estar equipados con diversas tecnologías artesanales y digitales: sierras para maderas, soldadores, cortadoras láser, tarjetas digitales y, por supuesto, impresoras 3D.

Existen ejemplos concretos de la aplicación del aprendizaje *maker* en diferentes tramos de la enseñanza, desde infantil hasta la universidad. Esperemos que estos espacios de creatividad, comunicación, colaboración e innovación se vayan extendiendo, gracias en gran medida a las impresoras 3D.



Figura 19. MakerSpace de la Universidad Carlos III de Madrid.

---

<sup>1</sup> <https://www.fablabs.io/labs/map>

## BIBLIOGRAFÍA

Si quieres conocer más sobre la impresión 3D y mantenerte informado, te recomiendo que consultes las siguientes webs:

<https://www.3dnatives.com/>

<https://impresora-3d.online/>

<https://formlabs.com/es/>

<https://www.prusa3d.com/>

<https://ultimaker.com/es/>

<https://filament2print.com/es/>

<https://3dprint.com/>

<https://www.fabbaloo.com/>

<https://www.3dprintingmedia.network/>

<https://all3dp.com/>

<https://3dadept.com/es/>

<https://makerfaire.com/>