

## Manufactura Aditiva

### *Additive manufacturing*

Rainer Christoph, Romeo Muñoz, Ángel Hernández  
Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación  
Laboratorio de Nanotecnología

#### RESUMEN

Presentamos los resultados obtenidos durante nuestras investigaciones aplicadas a la temática de manufactura aditiva (impresión 3D) realizada mediante el método de extrusión fundida. Los estudios se efectuaron mediante un enfoque sumamente práctico, dedicado a solventar problemas técnicos en diferentes rubros de aplicación. Mediante la documentación de 7 ejemplos seleccionados demostramos la alta versatilidad de esta tecnología, así como su elevado potencial para contribuir a la innovación de la industria manufacturera del país.

**Palabras clave:** manufactura aditiva, impresión 3D, prototipado rápido, método de extrusión fundida, modelamiento 3D.

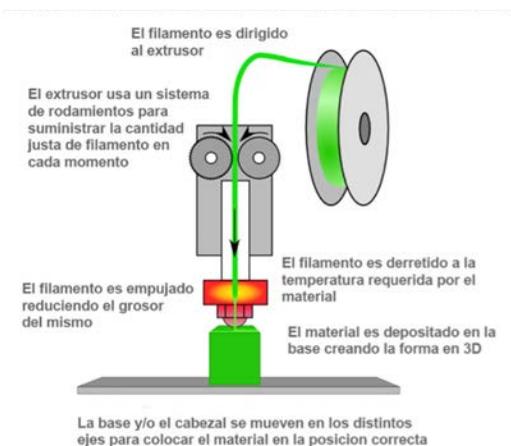
#### ABSTRACT

*We present the results of our applied research activities on fused filament deposition (FDM) for additive manufacturing – also known as 3D printing. In a pragmatic, solution-oriented approach, we have applied the technology in solving specific problems in a range of application areas. Through a selection of 7 different application examples we demonstrate the high versatility of the technology and its high potential for a substantial contribution to the innovation of El Salvador's productive industrial sector.*

**Keywords:** additive manufacturing, 3D printing, fused filament deposition

## Introducción a la manufactura aditiva o impresión 3D

La manufactura aditiva es un método de producción digitalizada que consiste en fabricar objetos previamente modelados, mediante la deposición de capa por capa de material, hasta conformar un objeto tridimensional.



**Figura N.º 1.** Diagrama de impresión por FDM. Funcionamiento de impresión 3D por Método de Extrusión Fundida (Fusion Deposition Modeling, FDM) (Así funciona una impresora 3D, 2015).

Desde la creación de la primera impresora 3D en 1984 por la empresa 3D Systems Corporation, en los Estados Unidos, la propagación de esta tecnología ha sido considerable. En 2015, el mercado mundial para equipos, materiales y servicios relacionados con la manufactura aditiva, comúnmente conocida como la impresión 3D, incrementó un 56% con respecto al año anterior, alcanzando un valor combinado de unos 5,200 millones de dólares. Se estima que

en los siguientes años, la tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) de este sector se mantendrá en un 44% (Canalys, 2015).

El importante crecimiento de la manufactura aditiva se debe principalmente al descubrimiento continuo de nuevos e importantes beneficios específicos que aporta esta tecnología a un creciente número de sectores industriales. A continuación se listan los sectores industriales que han experimentado el mayor impacto de la impresión 3D, junto con los beneficios específicos que proporciona esta para cada sector.

Sector industrial	Beneficios específicos de la impresión 3D para el sector
<b>Automotriz y manufactura industrial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consolidación de muchos componentes en una sola pieza compleja.</li> <li>• Creación de herramientas para la producción.</li> <li>• Producción de componentes y repuestos.</li> <li>• Reducción de los tiempos de desarrollo de productos (Stratasys, s.f).</li> </ul>
<b>Electrónica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricación de circuitos impresos mediante la aplicación de tintas conductoras.</li> <li>• Fabricación de dispositivos electromecánicos a partir de planos tridimensionales (Silva, 2015).</li> </ul>
<b>Aeroespacial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de partes con geometrías complejas, no realizables con métodos de producción convencionales.</li> <li>• Control de propiedades del producto impreso como densidad, rigidez y otras – y la capacidad de distribuirlas en diferentes partes de una pieza.</li> <li>• Creación de partes más livianas, manteniendo la resistencia mecánica (Stratasys, s.f).</li> </ul>

Sector industrial	Beneficios específicos de la impresión 3D para el sector
Farmacia / medicina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planificación de cirugías usando modelos anatómicos precisos, elaborados a partir de datos con tomografía (CT) o resonancia magnética (MRI).</li> <li>• Desarrollo de implantes ortopédicos y prótesis adaptados a las necesidades y dimensiones específicas del paciente (prótesis, audífonos, dientes artificiales, injertos óseos).</li> <li>• Uso de partes humanas impresas en 3D para la educación en medicina.</li> <li>• Impresión de tejidos vivos para realizar ensayos relacionados al desarrollo de nuevas medicinas (medicina regenerativa (Vazhnov, 2014).</li> </ul>
Arquitectura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reemplazo de técnicas manuales para la visualización de modelos de edificios de alta precisión (SICNOVA, s.f).</li> </ul>
Venta al por menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de juguetes, joyas, decoraciones de hogar y otros, con diseños únicos.</li> <li>• Elaboración de repuestos, por ejemplo para efectuar reparaciones de carros y hogar</li> <li>• (Márquez, 2015)(Marketing Directo, 2013).</li> </ul>
Deportes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de geometrías y formas de equipos y accesorios que no son posibles fabricar con métodos tradicionales.</li> <li>• Creación de equipos personalizados para mejor ajuste y protección.</li> <li>• Creación de prendas específicas (botines de fútbol) adaptados a los datos biomecánicos del individuo.</li> <li>• Creación de prototipos de materiales y colores múltiples para realizar pruebas de producto (Imprimalia3D, 2015).</li> </ul>

Para El Salvador la manufactura aditiva representa la oportunidad de poder fabricar localmente artículos diseñados conforme a

necesidades reales de nuestra sociedad en cantidades y a costos conformes a nuestro mercado. Esta capacidad frenaría el flujo de divisas salientes del país, las cuales una vez afuera ya no contribuyen al desarrollo. También significa una nueva oportunidad para El Salvador de reinsertarse en la industria de producción de bienes, de la cual, también por ser un país de dimensiones modestas, ha sido prácticamente eliminado por las economías de gran escala.

En términos generales, la manufactura aditiva representa un nuevo camino en cuanto a eficiencia energética, costo efectivo y ahorro de tiempo al producir objetos. Esto se debe a las siguientes razones:

- Fabricando directamente, eliminando los múltiples pasos en fabricación de moldes, yesos y/o formando herramientas para conseguir el mismo producto final, se reducen tiempos y costos de producción.
- Fabricando objetos en una sola pieza, incluyendo aquellos con estructuras complejas y con resolución de detalle de 0.1mm, se reduce el número de partes necesarias para producir un objeto, una ventaja clave para muchas aplicaciones en diversos sectores industriales, ofreciendo una substancial reducción de costos.
- En la manufactura aditiva, contrario a las técnicas de producción mecanizado, (en los cuales se conforma un objeto mediante la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión), se usa solo el volumen de material que conforma el objeto.

Esta reducción drástica de material disminuye la energía necesaria para la producción de un objeto, y por lo tanto, el impacto ecológico de su producción.

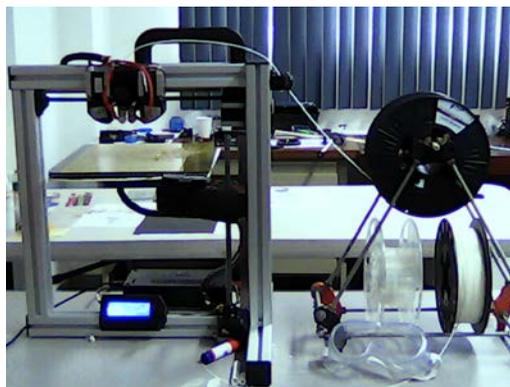
Desde el punto de vista comercial, la manufactura aditiva es especialmente irresistible cuando se producen objetos con alto nivel relativo de complejidad en pequeños números. Además, la impresión 3D ofrece un mayor valor cuando se desea la personalización de un objeto y donde extensos inventarios no son prácticos.

### Aplicaciones específicas de la manufactura aditiva realizadas en El Salvador

En el Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Universidad Francisco Gavidia la primera impresora 3D comenzó operaciones en 2013 (Ver Figura N.º 2), en el marco de un proyecto de investigación dedicado a la manufactura aditiva. La finalidad de este proyecto realizado en el Laboratorio de Nanotecnología fue adquirir los conocimientos necesarios para el manejo de las diferentes tecnologías implicadas y aplicarlos a la solución de diferentes problemáticas específicas de aplicación práctica.

Con este enfoque práctico se persigue, desde su inicio, desarrollar las bases técnicas necesarias para conllevar esta metodología, tanto al sector productivo del país, como a su implementación en proyectos de investigación dedicados a diferentes temáticas de desarrollo sostenible.

A continuación se presenta una selección de siete diferentes ejemplos de aplicación realizados en el contexto de este estudio.



**Figura N.º 2.** Equipo de impresión 3D utilizado para el presente estudio. El modelo Félix Printers 3.1 trabaja con el método por extrusión fundida y es de arquitectura abierta. Especificaciones en FélixPrinters, s.f.

### Ejemplo 1. Adaptador de cámara para microscopio

Los experimentos desarrollados en el Laboratorio de Nanotecnología parten de la observación de muestras por medio del microscopio; sin embargo, su manipulación y observación dependen de una persona a la vez, lo que impide que otros investigadores vean los objetos enfocados por el manipulador en turno.

Para solventar la problemática se creó un adaptador que permite mostrar en una pantalla los objetos enfocados con el microscopio.

Luego del trabajo de modelado e impresión 3D se obtiene el adaptador montado y funcionando en el microscopio (ver Figura N.º 2). Iniciando con las primeras pruebas observamos, a través del monitor, un recipiente de 15mm de diámetro, utilizado para derretir plástico (ver Figura N.º 3) (Boletín Nanotecnia, 2015).



**Figura N.º 3.** Adaptador de *webcam* para microscopio.

Adaptador de *webcam* instalado en el lente de un microscopio Zeiss Stemi 200-C, fabricado con plástico biodegradable PLA. En la imagen se puede ver la cámara insertada en el adaptador que luego es conectada a la computadora para la reproducción en vivo de la imagen. Usando el *software* de la *webcam* se pueden tomar fotos y vídeos de lo que se está captando en el microscopio. Es perfecto para la recolección de datos al momento de realizar un experimento a microescala. Este adaptador está compuesto por dos piezas impresas, las piezas son ensambladas junto a la *webcam* y luego se puede poner y quitar del microscopio fácilmente. El tiempo de impresión fue de 2:20 horas y se imprimieron 115 capas en total.



**Figura N.º 4.** Experimento con nanocelulosa.

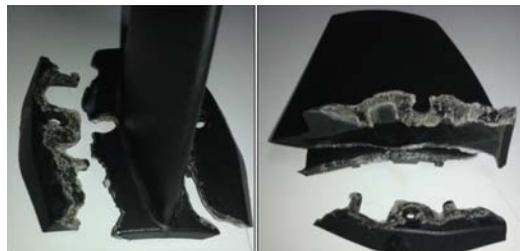
Imagen de monitor reflejando lo capturado por la *webcam* usando el adaptador impreso. Secuencia de experimento con nano celulosa probando su resistencia a altas temperaturas, de izquierda a derecha, pasando desde temperatura ambiente

hasta los 100° C. La muestra fue elaborada a partir de algodón, por su alto contenido de celulosa, dentro de las instalaciones del Laboratorio de Nanotecnología del ICTI, UFG.

### Ejemplo 2. Quilla para embarcación

En El Salvador, el uso de motores eléctricos fuera de borda representa una gran oportunidad para el desarrollo sostenible de la población dedicada a la pesca artesanal. Estos nuevos propulsores no consumen combustibles fósiles, sino que pueden ser recargados mediante energía solar, por lo cual los costos de operación se reducen considerablemente.

El problema radica en la adquisición de repuestos originales cuando una pieza, en nuestro caso de estudio la quilla (ver Figura N.º 5) se daña; los costos de importación para su reemplazo resultan demasiado caros, es por ello que se fabricó un repuesto mediante el modelado e impresión 3D. Tomando las medidas del objeto original se diseñó el modelo que luego fue impreso (ver Figura 5); la pieza impresa resultante reemplazó perfectamente a la pieza dañada; luego de un año de uso aún sigue funcionando (Boletín Nanotecnia, 2015).



**Figura N.º 5.** Quilla proporcionada por la empresa Farallones Consultores.

Imágenes de quilla dañada que sirvió como base para diseñar y fabricar una quilla de repuesto. Los costos y el tiempo de reposición por importación, se estiman en aproximadamente 100 dólares y 3 semanas.



**Figura N.º 6.** Imagen de quilla fabricada en el Laboratorio de Nanotecnología.

Imagen de quilla fabricada mediante manufactura aditiva. Izquierda: detalle de la estructura de relleno de la quilla (red tridimensional, rellenando el 40% del interior del objeto); el tiempo de impresión total fue de 6 horas y se han impreso 840 capas para finalizar esta pieza.

### Ejemplo 3. Repuesto de propela para bomba de agua de motocicleta

La manufactura aditiva puede utilizarse para la fabricación de repuestos a medida, como es el caso de una propela de agua para el motor de una motocicleta fabricada en el laboratorio con impresión 3D. El material utilizado es un polímero llamado ABS, cuyas propiedades lo hace un material muy resistente y es muy utilizado en la industria automotriz, así como en otros usos (ver Figura N.º 7).



**Figura N.º 7.** Propela para repuesto de bomba de agua de motocicleta.

Impresa en ABS color azul. Sus dimensiones son: 40mm de diámetro x 11mm de alto. Para realizar esta pieza se partió de la propela original hecha por el fabricante, la cual tiene un costo elevado.

La pieza original tenía graves daños en las aspas que la conforman, se procedió entonces a tomar medidas de todas sus dimensiones geométricas y luego, al modelado en 3D para, finalmente, imprimirla con la impresora 3D Félix 2.0.

Tras varias pruebas con diferentes materiales se concluye que esta pieza impresa con ABS es de gran calidad y duración; su construcción toma 45 minutos y está compuesta por 150 capas.

Como acabado final esta pieza impresa fue sometida a lija y acetona, con el fin de eliminar fisuras, asperezas y obtener una superficie muy lisa que beneficiará su movimiento en el agua y evitará su desgaste acelerado.

#### Ejemplo N.º 4. Bomba semiautomática de jeringa

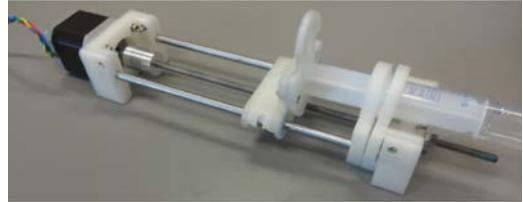
En el ámbito de la medicina, la dosificación de algunos pacientes es continua, y debe suministrarse en lapsos de tiempo específicos. Es por ello que se construyó una bomba semiautomática de jeringas convencionales que permite administrar dosis exactas de medicamento en determinados periodos de tiempo por el médico, esto libera de carga a las enfermeras, que pueden aprovechar el tiempo y atender a otros pacientes más delicados.

El mecanismo principal fue desarrollado por el Departamento de Materiales, Ciencia e Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Michigan, Estados Unidos, y en su diseño original la bomba es controlada con una placa raspberry Pi, la cual se configura a través de un servidor web; por lo tanto, para utilizarse es necesario conectar en red la raspberry Pi y un dispositivo con navegador web (PC, portátil, celular) (Wijnen B, 2014).

En este caso el dispositivo sigue utilizando el chasis plástico impreso en 3D, diseñado por Joshua M. Pearce, pero como placa de control se utiliza un Arduino Nano, el cual está dotado de una pantalla y un teclado, con lo cual se gana autonomía, pues no se necesita una red ni otra computadora para su configuración y uso, ya que tenemos el control remoto con el que se pueden establecer todos los parámetros necesarios, como la cantidad a administrar y el tiempo de suministro.

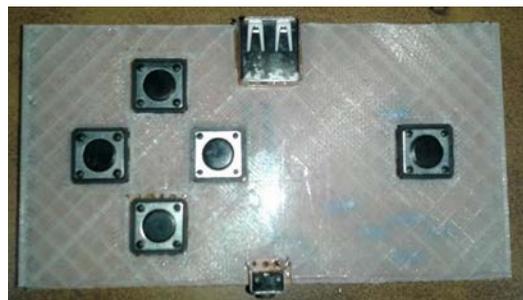
Otros dispositivos similares y comerciales tienen costos que rondan los \$ 700. El chasis del aparato fue impreso con plástico biodegradable

PLA (ver Figura N.º 8), del mismo material fue fabricado el control de manejo de la bomba (ver Figura N.º 9) (Boletín Nanotecnía, 2015).



**Figura N.º 8. Bomba para jeringa.**

Chasis principal de la bomba para jeringa construido con diez piezas impresas en 3D incluyendo dos rodamientos lineales fabricados completamente en plástico, varillas lisas de 6mm de diámetro, una varilla roscada de 6mm de diámetro y tornillos varios. Aquí se puede ver la jeringa instalada, este elemento se conecta y desconecta del circuito de control. El tiempo de impresión de todas las piezas plásticas que componen el chasis fue de 3 horas, y se imprimieron 435 capas hasta completarlas todas.



**Figura N.º 9. Teclado de control de bomba para jeringa.**

Este es el teclado con el cual se envían los comandos requeridos para configurar

la velocidad de inyección y la cantidad en mililitros, entre otros parámetros y funciones. Este se conecta a la placa de control por medio de un cable USB tipo A. La carcasa del control está impresa con plástico PLA biodegradable y se compone de dos piezas que cubren los circuitos internos del teclado. El tiempo de impresión fue de 35 minutos y se imprimieron un total de 112 capas.

#### Ejemplo N.º 5. Modelo de embarcación pesquera

Para el desarrollo de nuevos navíos es necesario elaborar una maqueta que sirva de referencia para la acomodación de los suministros y demás aditamentos con los que se planea equipar el barco. El problema radica en que los costos y el tiempo para la elaboración de un modelo a escala son elevados; pero mediante tecnología de impresión 3D estos valores son reducidos considerablemente. Se trabajó en conjunto con la empresa Farallones Consultores, que facilitó una copia de los planos navales de la embarcación; y partiendo de estos, se realizó el modelo 3D en la computadora, utilizando Rhinoceros v5; después pasó a ser impreso con la impresora Felix Printers 3.0 hasta lograr el resultado final, tal como muestra la Figura N.º 10 (*Boletín Nanotecnía, 2016*).



**Figura N.º 10. Modelo a escala 1:20 de embarcación**

Resultado final: Modelo a escala 1:20 de embarcación “Bartender” de 29’, fabricado en

PLA. Esta pieza consta de 423 capas y fue impresa en 7 horas y 30 minutos aproximadamente, el número de instrucciones (gcode) para la impresión fue de 1, 089,053 líneas de código.

#### Ejemplo N.º 6. Escáner 3D

El aditamento perfecto para la impresión 3D es un escáner que facilita el proceso de modelado. Las impresoras 3D son perfectas para la fabricación de repuestos especiales cuyos costos son demasiado elevados; aun así el proceso de modelamiento del repuesto significa un tiempo considerable si este contiene detalles y formas complejas; es por ello que un escáner 3D resulta de gran utilidad para la reproducción de objetos (BQ, s.f). El chasis fue fabricado con PLA y la electrónica a mando de un Arduino Nano. El resultado es tal y como se muestra en la Figura N.º 11.

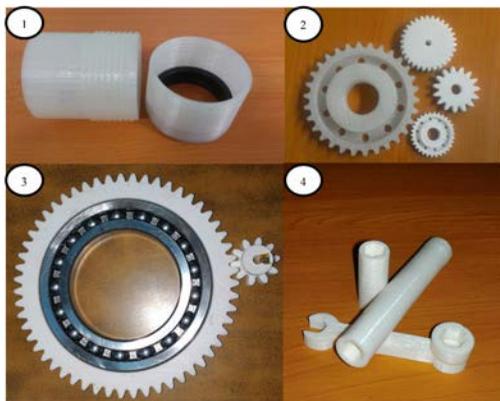


**Figura N.º 11. Escáner 3D “Ciclop bq”.**

Escáner 3D fabricado en el laboratorio usando los planos del modelo “Ciclop bq”. Los planos fueron desarrollados por la empresa BQ y se encuentran bajo las licencias CC-BY-SA y GPL. Su construcción es de hardware libre, lo que permite a cualquier interesado su construcción.

### Ejemplo N.º 7. Roscas, engranes y otras herramientas

En el laboratorio se está experimentando la fabricación de roscas y engranes que pueden ser utilizados como repuestos económicos a las piezas originales, pero igualmente funcionales. En la Figura N.º 12 se observan algunos ejemplos impresos en el laboratorio de nanotecnología; todas las piezas fueron fabricadas con plástico biodegradable PLA. Las dimensiones del diámetro externo de los engranajes mostrados varían desde 3 cm a 14 cm; sin embargo, las especificaciones de la impresora limitan el tamaño a 18 cm de diámetro. Además de roscas y engranajes se ha utilizado la tecnología de manufactura aditiva para fabricar diversas herramientas de uso cotidiano.



**Figura N.º 12.** Roscas, engranes y otras herramientas impresas

n.º 1: las dos piezas de la rosca que se utilizará para sujetar el filtro de un manta trawl, es el mismo que se utiliza para la recolección de microplásticos en las costas marinas; n.º 2: pruebas de diferentes tipos de engrane, con las

cuales validamos la capacidad de la impresión 3D de crear este tipo de piezas, n.º 3: engranajes que se acoplan perfectamente y serán utilizados para mejorar el escáner 3D; dicha adaptación pretende mejorar la estabilidad de la plataforma giratoria en el escáner y n.º 4: herramientas que se utilizan para apretar tuercas de diferentes medidas impresas PLA.

### Conclusiones

Durante los últimos dos años, nuestro continuo desarrollo de actividades relacionadas con la manufactura aditiva nos ha proporcionado una serie de valiosas lecciones aprendidas. A continuación compartimos esta experiencia a nivel práctico, así como nuestra visión referente a la aplicación de dicha tecnología para fines prácticos:

Como principales áreas de conocimiento necesarias para el manejo de la manufactura aditiva identificamos el uso de los equipos; el modelamiento tridimensional de los objetos a fabricar mediante programas CAD; el uso de diferentes materiales y técnicas de fabricación.

Con referencia a los equipos (ver Figura N.º 2), tanto el ensamblaje y la puesta en marcha de impresoras las 3D adquiridas, se han logrado realizar siguiendo las instrucciones del fabricante. Confirmamos que la curva de aprendizaje para el manejo de esta tecnología tiene una pendiente muy favorable; pero constatamos al mismo tiempo que esto aplica solamente cuando el desempeño de los equipos es óptimo.

Para lograr este estado de funcionamiento idóneo a mediano y largo plazos, es necesario implementar un programa de mantenimiento

y disponer de las piezas necesarias de recambio necesarias. Para el caso de El Salvador, los fabricantes y distribuidores generalmente no proporcionan este tipo de servicio – prefieren vender equipos nuevos –, por lo cual el operador se ve obligado a profundizarse en el funcionamiento específico de cada uno de los componentes del equipo para poder recambiar cualquier pieza del equipo que presente desperfectos como desgaste. Recomendamos por ende, la utilización de equipos de manufactura aditiva con arquitectura lo suficientemente abierta para poder realizar las operaciones de mantenimiento necesarias en forma autónoma. Para el caso de El Salvador, es indispensable contar con un stock de repuestos específicos que no se pueden adquirir a corto plazo. Para evitar tiempos de interrupción de producción hemos tenido que recurrir a adquirir un equipo adicional “*stand-by*”, listo para entrar en operación cuando la impresora de producción presente alguna falla.

Como programas de modelamiento 3D (CAD), el mercado ofrece diferentes variantes de *software* CAD, tanto libres como comerciales (Libres: FreeCAD, OpenScad, Blender; Comerciales: Google Sketchup, AutoCAD, Rhinoceros3D, Autodesk, etc.). Prácticamente en todos los casos hemos observado compatibilidad con los requerimientos de formato STL del código de instrucciones que utilizan las impresoras 3D comerciales. Cabe destacar que cada uno de los diferentes *softwares* de diseño tiene sus fortalezas y debilidades; por lo cual, parte de la formación del diseñador deberá ser capacitarlo en el manejo de más de un solo *software* de diseño específico.

Hoy en día el mercado ofrece una creciente variedad de materiales de fabricación. Entre los

materiales con los que se ha experimentado en el laboratorio están el ácido poliláctico (PLA), ABS, Laywood y Flexible PLA. A continuación se destacan las propiedades principales de estos materiales, que a su vez hoy son los más utilizados a nivel mundial para la manufactura aditiva.

**Ácido poliláctico (PLA).** Es un poliéster alifático termoplástico derivado de recursos renovables, de productos tales como almidón de maíz (en los Estados Unidos), tapioca (raíces o almidón, principalmente en Asia) o caña de azúcar (en el resto de mundo). Se pueden biodegradar bajo ciertas condiciones, como la presencia de oxígeno, aunque es difícil de reciclar. Para este material recomendamos los siguientes parámetros de fabricación: temperatura de extracción idónea de 180°C grados, temperatura de plataforma 60°C, apertura de extrusor 0.03mm y velocidad de impresión 4.4 mm<sup>3</sup>/s.

**ABS.** Estas son las siglas con que se conoce a una familia de termoplásticos. Se le llama plástico de ingeniería debido a que su elaboración y procesamiento son más complejos que los plásticos comunes, como las poliolefinas (polietileno, polipropileno). Las siglas indican los tres monómeros utilizados para producirlo: acrilonitrilo, butadieno y estireno. Por estar constituido por tres monómeros diferentes se le denomina terpolímero (copolímero compuesto de tres bloques). El bloque de acrilonitrilo proporciona rigidez, resistencia a ataques químicos y estabilidad a alta temperatura, así como dureza. El bloque de butadieno, que es un elastómero, proporciona tenacidad a cualquier temperatura. Esto es especialmente interesante para aplicaciones en ambientes fríos, en los cuales otros plásticos se vuelven quebradizos. El bloque

de estireno aporta resistencia mecánica y rigidez. Para este material recomendamos los siguientes parámetros de fabricación: temperatura de extracción idónea de 230°C grados, temperatura de plataforma de 60°C, apertura de extrusor de 0.03 mm, velocidad de impresión 4.4 mm<sup>3</sup>/s. Sugerimos aplicar este material sólo en casos que requieran de una rigidez excepcional del objeto fabricado, ya que es un material no biodegradable y su uso desmesurado representa graves riesgos para el medio ambiente (*Momento-Revista de Física, 2015*).

**LAYWOOD.** Es un filamento hecho con un 40% de madera reciclada combinada con polímeros, lo que le permite ser fundido y extruido como si fuera un material de impresión convencional, tal como el ABS o el PLA. Además, una vez que es impreso, el objeto tendrá el clásico tacto y el olor de la madera, permitiendo además tener diferentes tonalidades, debido a que cambia con la temperatura. Para este material recomendamos los siguientes parámetros de fabricación: temperatura de extracción idónea de 185°C grados, temperatura de plataforma: ambiente, apertura de extrusor 0.05mm, velocidad de impresión 4.4 mm<sup>3</sup>/s.

**El PLA Flexible.** Se utiliza de la misma manera que los otros tipos de PLA, aunque su punto de fusión y de extrusión sea más bajo. El resultado obtenido es un objeto impreso que tiene la propiedad de ser elástico. Esta elasticidad conviene para objetos que se llevan y se tienen que adaptar a un tamaño (accesorios o joyería), elementos mecánicos o arquitectónicos que soportan fuerzas y prototipos que requieren flexibilidad (Fred Muscinési, 2013). Para este material recomendamos los siguientes

parámetros de fabricación: temperatura de extracción idónea de 180°C grados, temperatura de plataforma 50°C, apertura de extrusor 0.03 mm, velocidad de impresión 4.4 mm<sup>3</sup>/s.

En resumen, la manufactura aditiva ofrece grandes beneficios, entre los cuales podemos mencionar estos:

- En el ámbito de las ciencias aplicadas, la manufactura aditiva representa una herramienta extremadamente útil para realizar activadores, propulsores, medidores, así como prototipos de sistemas específicos para investigaciones experimentales. Este aporte es especialmente útil para realizar investigaciones en un país como El Salvador, ya que no siempre se dispone de la tecnología y los equipos adecuados. Aquí la manufactura aditiva permite al investigador elaborar los componentes específicos necesarios para realizar su investigación mediante una reducción significativa de tiempos y costos. Resulta muy difícil hoy en día imaginarse un laboratorio moderno de investigación que no cuente con el recurso de la manufactura aditiva.
- La tecnología es factible para su introducción en muchas empresas productivas salvadoreñas, tomando en cuenta sus costos de adquisición y materiales relativamente bajos, y el hecho de que ya existen distintos tipos de impresoras, como de materiales que pueden ser utilizados dependiendo de la necesidad de la pieza a fabricar. Es importante mencionar que para dominar esta tecnología existe una curva de aprendizaje relativamente corta, y que a medida de la experiencia en el uso de los materiales y las aplicaciones específicas, se aprende a trabajar con sus particularidades.

Para la enseñanza de este tipo de tecnología ya se encuentra disponible mucha información en internet, muy útil para aquellos que quieran aprenderla de forma autodidacta. Para la propagación masiva se lograría obtener un efecto multiplicador mucho más pronunciado si algunas instituciones nacionales impulsaran la creación de talleres especializados de manufactura aditiva donde la tecnología pueda ser presentada y enseñada a un amplio público.

- Las aplicaciones factibles, con potencial de éxito comercial en El Salvador son muchas, entre ellas podemos mencionar estas: fabricación de repuestos de todo tipo, elaboración de prótesis a medida, fabricación de maquetas arquitectónicas, piezas para robótica, fabricación de herramientas especiales, así como aplicaciones personalizadas en la decoración de interiores, reproducción de esculturas y otras obras de arte, bustos, etc.

Para la comercialización directa de esta tecnología hoy vemos las siguientes dos posibilidades:

1. Talleres de servicio. Actualmente ya encontramos empresas que inician con servicios de impresión 3D para clientes que les envían sus propios diseños 3D para luego ser impresos. Entre ellas podemos mencionar Smilodon 3D Printer (<https://www.facebook.com/smilodon3d/>) y Smart 3D Print (<https://www.facebook.com/ploteo3d/>) ambas ubicadas en San Salvador. Este servicio es muy útil para aquellos que no cuentan con los recursos necesarios para adquirir una impresora ni con los materiales para su funcionamiento. El cliente envía el
2. Centros de producción dedicados. Tomando en cuenta las peculiaridades del mercado vemos posible enfocarse en la producción de objetos específicos con alto valor agregado. Esto podría ser, por ejemplo, la fabricación de repuestos específicos para vehículos de una marca determinada o de otras, repuestos que por razones de tamaño de mercado no se encuentran en el país y cuyos costos de adquisición, transporte e importación son muy elevados. Esto permitiría abrir un mercado dedicado a piezas fabricadas en el país con precio de producto final reducido – contribuyendo así a la innovación de la industria y a la reducción del flujo de capital hacia el exterior del país.

## Referencias

Boletín Nanotecnia. (2015). Construcción de bomba semiautomática para jeringa. Recuperado de <http://nanotecnia.ufg.edu.sv/uploads/newsletters/2015-11-01.pdf>

Boletín Nanotecnia. (2015). Impresión 3D de adaptador de webcam para microscopio. Recuperado de <http://nanotecnia.ufg.edu.sv/uploads/newsletters/2015-05-01.pdf>

Boletín Nanotecnia. (2015). Impresión 3D de repuesto de quilla para propulsor eléctrico de embarcaciones. Recuperado de <http://nanotecnia.ufg.edu.sv/uploads/newsletters/2015-03-01.pdf>

- Boletín Nanotecnia. (2016). Impresión 3D a escala de embarcación pesquera. Recuperado de <http://nanotecnialab.ufg.edu.sv/uploads/newsletters/2016-01-01.pdf>
- BQCiclop. (s.f). Escaner 3D BQCiclop Ver para crear. Recuperado de <http://www.bq.com/es/ciclop>
- Canalys Consulting. (2015). 3D Printing Analysis. Recuperado de <http://www.canalys.com/what-we-do/3d-printing-analysis>
- FelixPrinters. (s.f). Felix Printer modelo 3.1. Recuperado de <http://www.felixprinters.com/3d-printer-felix-3-1-assembled>
- Fred Muscinési. (2013). Nuevos filamentos: PLA flexible y Material de soporte para doble extrusión. Recuperado de <http://ultra-lab.net/blog/nuevos-filamentos-pla-flexible-y-material-de-soporte-para-doble-extrusi%C3%B3n>
- Imprimalia3D. (2015). Adidas aplica la impresión 3D a las zapatillas deportivas. Recuperado de <http://www.imprimalia3d.com/noticias/2015/10/09/005320/adidas-aplica-impresi-n-3d-zapatillas-deportivas>
- Marketing Directo. (2013). 7 impresionantes usos “marketing” de las impresoras 3D. Recuperado de <http://www.marketingdirecto.com/actualidad/checklists/7-impresionantes-usos-marketeros-de-las-impresoras-3d/>
- Márquez, S. (2015). Evolución de las tecnologías de fabricación aditiva / 3D Printing. Recuperado de <http://www.amec.es/evento/evolucion-de-las-tecnologias-de-fabricacion-aditiva-3d-printing/>
- Momento-Revista de Física. (2015). Aspectos nano de los derechos de plástico. Rainer Christoph, Romeo Muñoz, Ángel Hernández, Jonathan Ventura. ISSN Impreso: 0121-4470
- Plaza, J. (2015). Así funciona una impresora 3D. Recuperado de <http://tlife.guru/profesional/asi-funciona-una-impresora-3d/>
- SICNOVA 3D. (s.f). El impacto de la impresión 3D en la arquitectura. Recuperado de <http://sicnova3d.com/blog/el-impacto-de-la-impresion-3d-en-la-arquitectura/>
- Silva, M. (2015). Voxel8 te permite imprimir el cuerpo de un objeto y además su circuito eléctrico. Recuperado de <https://www.fayerwayer.com/2015/01/voxel8-la-impresora-3d-que-graba-circuitos-electricos/>
- Stratasys. (s.f). Impresión en 3D de herramientas y prototipos precisos que abre nuevos caminos. Recuperado de <http://www.stratasys.com/es/industrias/automotriz>
- Vazhnov, A. (2014). Mover Materia en el Espacio: Impresión 3D en Medicina, Construcción y Alimentación. Recuperado de <http://institutobaikal.com/libros/impresion-3d/mover-materia-en-el-espacio/>
- Wijnen, B., Hunt, E.J., Anzalone, G.C., Pearce, J.M. (2014). Open-Source Syringe Pump Library: PLoS ONE 9(9):e107216. doi:10.1371/journal.pone.0107216