

Incorporación de la tecnología de impresión 3D a las carreras de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Católica de El Salvador

Giovanni Francisco Acosta Henríquez

Máster en Dirección Estratégica de Ingeniería de Software
Docente investigador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Católica de El Salvador, El Salvador
ghenriquez@catolica.edu.sv

Fecha de recepción: 21-11-2017 / Fecha de aceptación: 12-02-2018

Resumen

La impresión 3D se clasifica dentro de las denominadas tecnologías emergentes, aquellas que se encuentran en desarrollo y poseen un alto potencial de impactar en la vida de las personas, así como lo fue la invención de la televisión, la computadora personal y el internet. Este tipo de impresión permite materializar modelos digitales diseñados en tres dimensiones en objetos físicos, a partir de un software especializado. Las impresoras que manejan este formato tienen diferentes usos y aplicaciones en diversos sectores de la economía mundial, por esto es necesario formar profesionales especialmente de las carreras STEM (siglas en inglés de Science, Technology, Engineering y Mathematics), con competencias en el diseño e impresión 3D.

Durante la investigación se identificaron las asignaturas idóneas para incorporar aplicaciones de impresión 3D, generando una muestra de las aplicaciones que se podrían implementar. Asimismo, se evidenciaron los resultados del estudio de demanda del servicio de diseño e impresión 3D y la manera en que podrían implementarse estos servicios en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Palabras clave: Impresión 3D, modelado 3D, escaneo 3D, aplicaciones de impresión 3D, prototipado rápido

Abstract

3D printing is classified within the so-called emerging technologies, those that are in development and have a high potential to impact people's life, as well as the invention of television, the personal computer and the internet. This type of printing allows to materialize digital models designed in three dimensions in physical objects, from a specialized software. The printers that handle this format have different uses and applications in diverse sectors of the world economy, for this reason it is necessary to train professionals, especially in the STEM majors (acronyms of Science, Technology, Engineering and Mathematics), with competences in designing and 3D print.

During the research, ideal classes were identified to incorporate 3D printing applications, generating a sample of the applications that could be implemented. Likewise, the results of the demand study of the 3D design and printing service and the way in which these services could be implemented in the Engineering and Architecture faculty were evidenced.

Key words: 3D printing, 3D modeling, 3D scanning, 3D printing applications, rapid prototyping.

1. Introducción

La tecnología es posiblemente el factor de cambio más importante en el mundo moderno, ya que los avances tecnológicos prometen soluciones innovadoras a los grandes desafíos mundiales. La tecnología de impresión 3D apunta a convertirse en una de estas tecnologías tal como lo señala en el informe de McKinsey Global Institute (Consultora Estratégica Global) sobre “Tecnologías disruptivas: avances que transformarán la vida, los negocios y la economía global” (Manyika Jame, 2013, p. 20). Esto podría tener un impacto económico de 55,000 millones de dólares en ventas para el año 2025; pudiendo provocar cinco grandes disrupciones que deberían afrontarse: reducción de tiempo de fabricación, nuevas estrategias de fabricación, nuevas fuentes de ingresos, nuevas capacidades y competencia disruptiva.

La impresión 3D ha comenzado a extenderse. Su tecnología está en pleno crecimiento exponencial e incluso se le está llamando la nueva revolución industrial, siendo aprovechada, actualmente, por empresas del sector salud, electrónica, mecánica, aeronáutica, automoción, arte, arquitectura y entre otros.

En un estudio realizado por la Organización Internacional del Trabajo (s.f.) sobre la forma en que la tecnología está afectando los puestos laborales, se señala que “el 60% de las empresas encuestadas estiman que la impresión 3D, la robótica y el Internet de las cosas, son tecnologías positivas para aumentar las ventas, la

productividad laboral y el empleo de trabajadores muy calificados” (Chang Jae-Hee, 2016, p. 20). Aunque dicho estudio corresponde a sectores de la ASEAN (Asociación de Naciones del Asia Sudoriental), la transformación prevista en el estudio es de carácter global, tanto para empresas como para los trabajadores.

Esta nueva necesidad del mercado actual y futuro demanda que los profesionales –especialmente de las carreras STEM (siglas en inglés para carreras que incluyen el estudio de la Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemática)– posean competencias en el diseño e impresión 3D. Dado la falta de estas competencias en los estudiantes de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Católica de El Salvador, fue necesario plantear la incorporación de la impresión 3D en los currículos formativos, aprovechando su potencial transversalidad de materias con grandes expectativas.

Bajo esta premisa, se estudiaron las aplicaciones de la tecnología de impresión 3D dentro de algunas asignaturas de las carreras de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Católica de El Salvador, para apoyar a docentes y estudiantes en la adquisición de esas nuevas capacidades que demanda el futuro profesional.

2. Metodología

La investigación fue de tipo descriptiva-documental, debido a que proporcionó información sobre las asignaturas de las carreras de Ingeniería y Arquitectura idóneas para implementar la impresión 3D. También se llegó a un nivel

aplicativo que involucró la definición de los posibles usos de esta tecnología dentro de las asignaturas escogidas de cada carrera.

Para ello se recolectaron datos, seleccionaron aplicaciones de impresión 3D para Ingeniería y Arquitectura; se diseñó una guía metodológica y un plan de implementación:

- **Selección de aplicaciones y asignaturas para incorporar la impresión 3D:** se realizó una entrevista escrita a docentes tiempo completo (algunos ex coordinadores de carrera) y docentes hora clase para determinar las aplicaciones, y asignaturas idóneas para incorporar la tecnología de impresión 3D.
- **Muestra de aplicaciones de impresión 3D para Ingeniería y Arquitectura:** luego de seleccionar las aplicaciones y asignaturas para incorporar la impresión 3D, se desarrollaron muestras de aplicaciones de impresión de este tipo para las carreras de Ingeniería y Arquitectura.
- **Estudio de demanda del servicio de modelado e impresión 3D:** para conocer el potencial uso y demanda del servicio de modelado e impresión 3D en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, se realizó entrevista escrita a una muestra de los estudiantes de las carreras en estudio.
- **Propuesta de implementación del servicio de modelado e impresión 3D:** se elaboró una propuesta de inversión, el proceso a seguir para realizar el servicio de modela-

do 3D, pasos a seguir para realizar el servicio de impresión y las formas de costeo del modelado, escaneo e impresión.

3. Resultados

a. Selección de aplicaciones y asignaturas para incorporar la impresión 3D

Para seleccionar las asignaturas idóneas para incorporar la impresión 3D, se realizó entrevista escrita a los docentes tiempo completo de las carreras de Ingeniería: Agronómica (2), Civil (2), Industrial (1), Sistemas Informáticos (1); y a los docentes de la carrera de Arquitectura (2), quienes conocen a profundidad los contenidos programáticos y objetivos que se persiguen en las asignaturas de especialidad.

De la entrevista a docentes tiempo completo, se encontró que el 100% piensa que la impresión 3D es una tecnología muy útil en la actualidad; el mismo porcentaje respondió que este tipo de impresión no está siendo utilizada en la actualidad en ninguna de las asignaturas de sus carreras. Todos ellos consideraron que la impresión 3D debe usarse en algunas asignaturas de sus carreras.

Al consultar cuáles de las aplicaciones de la impresión 3D serían de interés para la carrera, y sobre en cuáles asignaturas podrían implementarse dichas aplicaciones, se obtuvieron los siguientes resultados. (Ver figuras de la 1 a la 5).

Carrera	Aplicaciones	Asignatura (s) seleccionada (s)
Arquitectura	Dibujo técnico (impresión de figuras geométricas, vistas y perspectivas, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Educación Visual • Dibujo y geometría descriptiva • Perspectiva y sombra
	Maquetas	<ul style="list-style-type: none"> • Introducción al diseño arquitectónico I • Diseño arquitectónico I • Diseño arquitectónico II • Diseño arquitectónico III • Taller de maquetas • Diseño arquitectónico IV • Diseño arquitectónico V • Diseño arquitectónico VI
	Prototipado de objetos y mobiliario	<ul style="list-style-type: none"> • Introducción al diseño arquitectónico I • Dibujo digital I • Diseño arquitectónico III • Taller de maquetas • Diseño arquitectónico V • Diseño arquitectónico VI
	Reconstrucción 3D del patrimonio histórico-artístico	<ul style="list-style-type: none"> • Historia de la arquitectura I • Historia de la arquitectura II • Historia de la arquitectura III • Historia de la arquitectura IV
	Geografía (terrenos en 3D)	<ul style="list-style-type: none"> • Topografía
	Estructuras (arquitectónicas, ingeniería, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos estructurales • Diseño arquitectónico V • Técnicas de las instalaciones • Diseño arquitectónico VI • Urbanismo I • Urbanismo II
	Diseño de productos	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño arquitectónico V • Diseño arquitectónico VI

Figura 1. Relación de aplicaciones según asignaturas seleccionadas en Arquitectura.

Carrera	Aplicaciones	Asignatura (s) seleccionada (s)
Ingeniería Industrial	Dibujo técnico (impresión de figuras geométricas, vistas y perspectivas, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Dibujo y geometría descriptiva I • Dibujo y geometría descriptiva II • Investigación de operaciones
	Prototipado rápido	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería de métodos • Investigación de operaciones • Tecnología industrial I • Tecnología industrial II • Administración de la producción I • Formulación y evaluación de proyectos • Administración de la producción II
	Fabricación de moldes para partes	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología industrial I • Tecnología industrial II • Administración de la producción I • Formulación y evaluación de proyectos • Administración de la producción II
	Diseño industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería de métodos • Tecnología industrial I • Distribución en planta • Tecnología industrial II • Formulación y evaluación de proyectos
	Fabricación a baja escala	<ul style="list-style-type: none"> • Administración de la producción I • Formulación y evaluación de proyectos • Administración de la producción II
	Diseño de empaques	<ul style="list-style-type: none"> • Mercadeo • Formulación y evaluación de proyectos • Administración de la producción II

Figura 2. Relación de aplicaciones y asignaturas seleccionadas en Ingeniería Industrial.

Carrera	Aplicaciones	Asignatura (s) seleccionada (s)
Ingeniería Civil	Dibujo técnico (impresión de figuras geométricas, vistas y perspectivas, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> Dibujo y geometría descriptiva I Dibujo y geometría descriptiva II
	Estructuras	<ul style="list-style-type: none"> Diseño estructural I Diseño estructural II
	Diseño de puentes	<ul style="list-style-type: none"> Ingeniería de carreteras Construcción de carreteras
	Geografía (terrenos en 3D)	<ul style="list-style-type: none"> Topografía I Topografía II
	Prototipos de elementos estructurales	<ul style="list-style-type: none"> Mecánica de los sólidos I Mecánica de los sólidos II
	Construcción de viviendas	<ul style="list-style-type: none"> Planeamiento y administración de obras I Planeamiento y administración de obras II
	Geología (minerales en forma: hexagonal, tetragonal, romboédrico, ortorrómbico, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> Geología aplicada
	Modelos para pruebas de resistencia	<ul style="list-style-type: none"> Ingeniería de materiales

Figura 3. Relación de aplicaciones y asignaturas seleccionadas en Ingeniería Civil.

Carrera	Aplicaciones	Asignatura (s) seleccionada (s)
Ingeniería Agronómica	Piezas para maquinaria agrícola	<ul style="list-style-type: none"> Maquinaria agrícola
	Creación de piezas para sistemas de riego	<ul style="list-style-type: none"> Riegos y drenajes
	Fabricación de drones para monitoreo de cultivos	<ul style="list-style-type: none"> Maquinaria agrícola Mercadotecnia de productos agropecuarios
	Trampas para insectos (fabricados con impresión 3D)	<ul style="list-style-type: none"> Entomología
	Hidropónicos impresos en 3D	<ul style="list-style-type: none"> Horticultura
	Construcción de modelos de moléculas	<ul style="list-style-type: none"> Química general Biología general Genética general
	Prótesis para animales (impresos en 3D)	<ul style="list-style-type: none"> Bovinocultura Avicultura Porcinocultura
	Modelos para jardinería (impresos en 3D)	<ul style="list-style-type: none"> Cultivo de pastos y forrajes

Figura 4. Relación de aplicaciones y asignaturas seleccionadas en Ingeniería Agronómica.

Carrera	Aplicaciones	Asignatura (s) seleccionada (s)
Ingeniería en Sistemas Informáticos	Prototipado rápido	<ul style="list-style-type: none"> • Proyectos de informática • Tecnologías emergentes
	Impresión de partes para domótica	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologías emergentes
	Impresión de partes para robótica	<ul style="list-style-type: none"> • Programación I • Programación II
	Impresión de carcasas para equipos electrónicos	<ul style="list-style-type: none"> • Electricidad y magnetismo • Principios de electrónica • Circuitos lógicos y de computación • Microprocesadores y ensambladores
	Prototipos funcionales	<ul style="list-style-type: none"> • Proyectos de informática • Tecnologías emergentes

Figura 5. Relación de aplicaciones y asignaturas seleccionadas en Ingeniería en Sistemas Informáticos.

Al consultar a docentes hora clase de las asignaturas seleccionadas sobre el tema de impresión 3D, se encontró que el 32% de los docentes ha oído sobre el tema, el 31% ha leído sobre él, solo el 25% ha visto funcionar una impresora 3D. Únicamente el 6% ha realizado una impresión de este tipo, y otro 6% no sabe nada sobre el tema.

Con respecto al manejo, el 12% posee mucho conocimiento para diseñar los modelos 3D que se requieran imprimir, mientras que el 50% posee pocos conocimientos y un 38% considera que no posee conocimientos para diseñar modelos de este tipo.

En cuanto a utilidad, el 75% de ellos piensa que esta impresión es muy útil, el 12% la considera poco útil y un 13% manifiesta otras opiniones. Actualmente no se utiliza la impresión 3D en ninguna asignatura de las carreras de Ingeniería y Arquitectura, pero al preguntar en qué activi-

dades de la clase podrían utilizarse las impresoras de este tipo, el 35% respondió demostraciones, el 29% proyectos, el 24% prototipado y el 12% experimentos.

Al 100% de los docentes entrevistados les gustaría contar con software para diseño gráfico en 3D; también, desean contar con repositorios de componentes en 3D relacionados con la asignatura que imparten, los cuales se encuentren listos para imprimir. De ahí que a todos les gustaría contar con el servicio de diseño e impresión en 3D dentro de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, por considerar que sería de mucho apoyo para sus asignaturas.

Al preguntar sobre porqué la impresión 3D podría atraer la participación de los alumnos, el 100% consideran que sí atraería la participación de los alumnos, porque el 50% lo considera novedoso, el 40% lo cataloga como tecnología de punta y el 10% lo clasifica como

algo que está de moda. El 87% de los docentes considera que la impresión 3D podría utilizarse como herramienta didáctica en la asignatura que imparten, frente a un 13% que considera su implementación costosa.

b. Muestra de aplicaciones de impresión 3D para Ingeniería y Arquitectura

Como parte de la investigación, se desarrollaron muestras de aplicaciones de impresión 3D para algunas de las asignaturas de las carreras de Ingeniería y Arquitectura seleccionadas.

Aplicación A: Maquetas en 3D, para la asignatura de diseño arquitectónico y otras asignaturas de Arquitectura. (Ver figura 6).

Aplicación B: Dibujo técnico (impresión de figuras geométricas, vistas y perspectivas, etc.) para la asignatura Dibujo y geometría descrip-

tiva I de las carreras de Arquitectura, Ingeniería Civil e Ingeniería Industrial. (Ver figura 7).

Aplicación C: Maquetas topográficas para la asignatura Topografía I de las carreras de Arquitectura e Ingeniería Civil. (Ver figura 8).

Aplicación D: Prototipado rápido para la asignatura de Tecnología industrial de la carrera de Ingeniería Industrial. (Ver figura 9).

Aplicación E: Impresión de carcasas para equipos electrónicos dentro de las asignaturas de Principios de electrónica y Circuitos lógicos y de computación, de la carrera de Ingeniería en Sistemas Informáticos. (Ver figura 10).

Aplicación F: Diseños de hidropónicos para la asignatura de Horticultura de la carrera de Ingeniería Agronómica. (Ver figura 11).

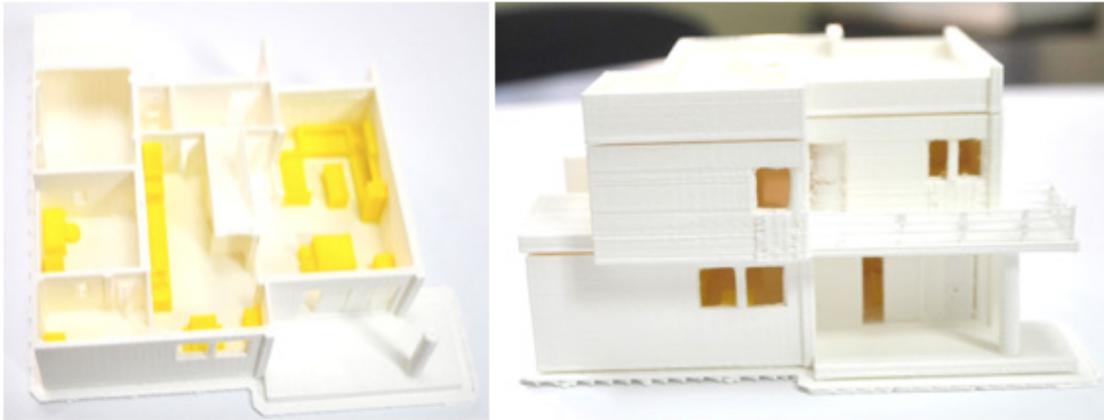


Figura 6. Maqueta de vivienda en 3D impresa en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Unicaes.

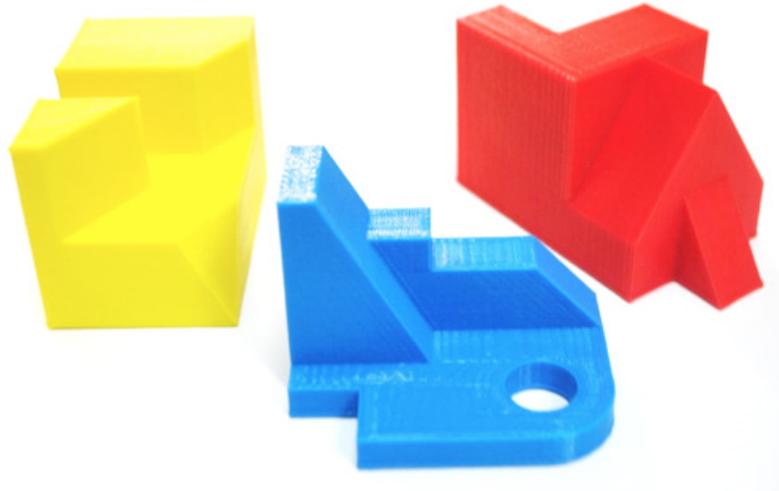


Figura 7. Isométricos en 3D impresos en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Unicaes.

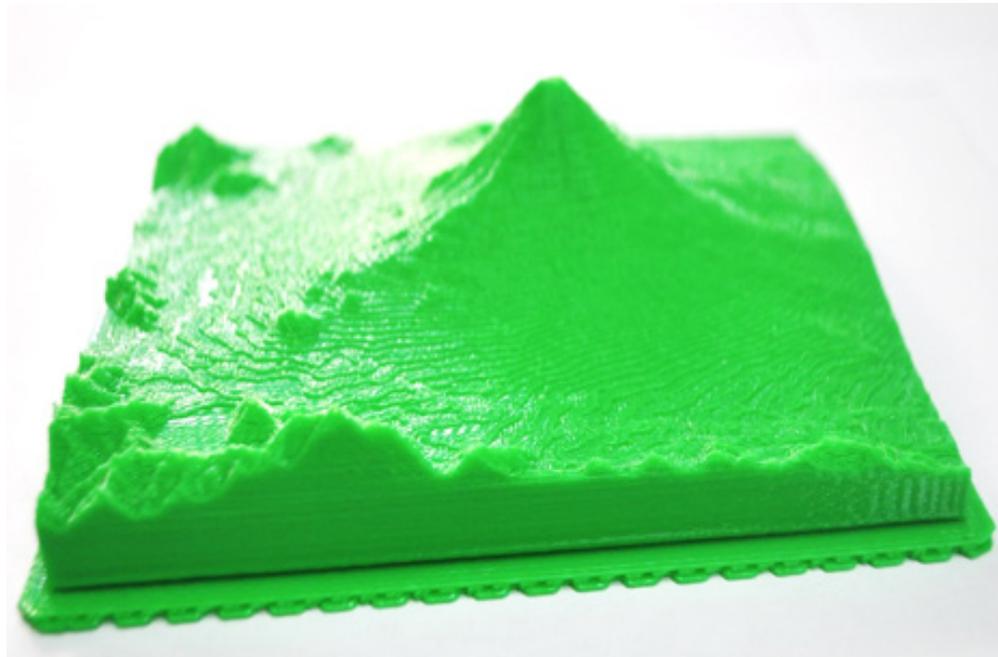


Figura 8. Maqueta topográfica en 3D impresa en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Unicaes.



Figura 9. Prototipos de herramientas en 3D impresas en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Unicaes.

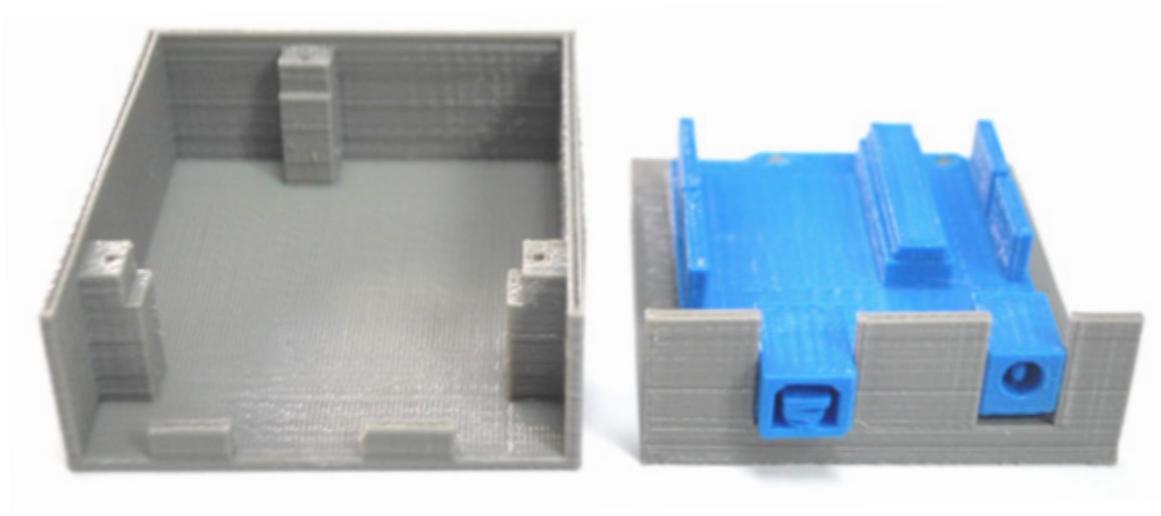


Figura 10. Carcasas en 3D para circuitos electrónicos impresas en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Unicaes.



Figura 11. Modelos de hidropónicos en 3D impresos en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Unicaes.

c. Estudio de demanda del servicio de modelado e impresión 3D

Para conocer el potencial uso y demanda del servicio de impresión 3D en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Unicaes, se realizó una entrevista escrita a una muestra de 142 estudiantes, desglosados de la siguiente manera: 21% pertenecientes a Arquitectura, 21% a Ingeniería Industrial, 15% a Ingeniería Civil, 21% a Ingeniería Agronómica y 21% a Ingeniería en Sistemas Informáticos aproximadamente.

Al consultar si conocían algo sobre el tema de impresión 3D, el 41% manifestó haber escuchado algo sobre el tema, el 26% había leído

sobre el tema, el 24% había visto funcionar una impresora 3D; el 5% no conocía nada y solamente el 4% había realizado impresiones de este tipo.

Sobre la impresión 3D, el 64% opinó que es novedosa, el 23% la cataloga como tecnología de punta, el 9% como algo que está de moda, y solamente el 4% opinó que no es relevante. Al preguntar sobre qué tan importante sería el uso de la impresión 3D en alguna de las asignaturas que cursaban, el 69% opinó que sería muy importante, el 27% lo calificó de poco importante y solo un 4% opinó que eso sería nada importante.

Entre las aplicaciones de la impresión 3D que más les gustaría que se incorporarán en la carrera que estudian, el 64% expresó que en maquetas y modelos 3D, el 21% en fabricación de partes y el 15% prototipado rápido.

Ante la consulta, sobre si ha necesitado alguna vez de un modelo o maqueta en 3D, el 55% de los alumnos respondió que sí, frente a un 45% que dijo que no lo ha necesitado. Sin embargo, al preguntarles si utilizarían alguna vez un servicio de impresión, el 79% respondió afirmativamente y que no le importaría el costo; el 11% contestó que lo usaría si el precio es accesible, el 8% casi nunca lo utilizaría y, únicamente el 2% opinó que nunca.

Respecto a si le gustaría contar con el servicio de diseño en 3D (digitalización de componen-

tes) en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, el 89% de los alumnos respondió que les gustaría contar con el servicio de modelado; mientras que el 86% respondió les gustaría contar con el servicio de impresión 3D.

d. Propuesta de implementación del servicio de modelado e impresión 3D

La iniciativa propone como servicio principal que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura brinde la impresión de objetos en 3D; y de manera secundaria, el servicio de modelado 3D o escaneado en 3D. Estos servicios estarían dirigidos a docentes y estudiantes en general.

Para implementar ambas actividades, se plantea realizar la siguiente inversión, cuyos equipos tendrán una vida útil de cinco años:

Tabla 1. Presupuesto para inversión de equipo de modelado e impresión en 3D

Descripción	Cantidad	Precio	Subtotal
Impresora 3D (Replicator Z18 Large 3D Printer)	1	\$8,120	\$8,120
Impresora 3D (Replicator+ Desktop 3D Printer)	2	\$3,124	\$6,248
Computadora (Core i5, RAM 8GB)	1	\$670	\$670
Computadora (Core i7, RAM 16GB)	1	\$1,400	\$1,400
Stock de consumibles (Large 10-Pack PLA Filament)	10	\$521	\$5,210
Stock de repuestos (Smart Extruder+ for MakerBot Replicator)	2	\$220	\$440
Stock consumibles (lubricantes, franelas, otros)	-	\$500	\$500
Software libre	1	---	---
Total			\$22,588*

* Se omiten los costos de oficina y mobiliario que serían provistos por la Universidad.

Respecto al personal capacitado, se requiere contratar a un diseñador de modelos 3D y a un técnico para la impresión de objetos. En ambos casos, este personal podría ser, ya sea, externo o involucrar a estudiantes en servicio social, o en pasantía.

A continuación, se presenta una propuesta respecto al proceso a seguir cuando un cliente potencial solicite la creación de un modelo en 3D. (Ver figura 12).

Por otra parte, esta es una propuesta de proceso a seguir cuando un cliente potencial solicite la impresión de un objeto en 3D. (Ver figura 13).

En cuanto al precio de venta, para el modelado, escaneo e impresión 3D, se sugieren los siguientes formatos y sus respectivos costos. (Ver Tabla 2).

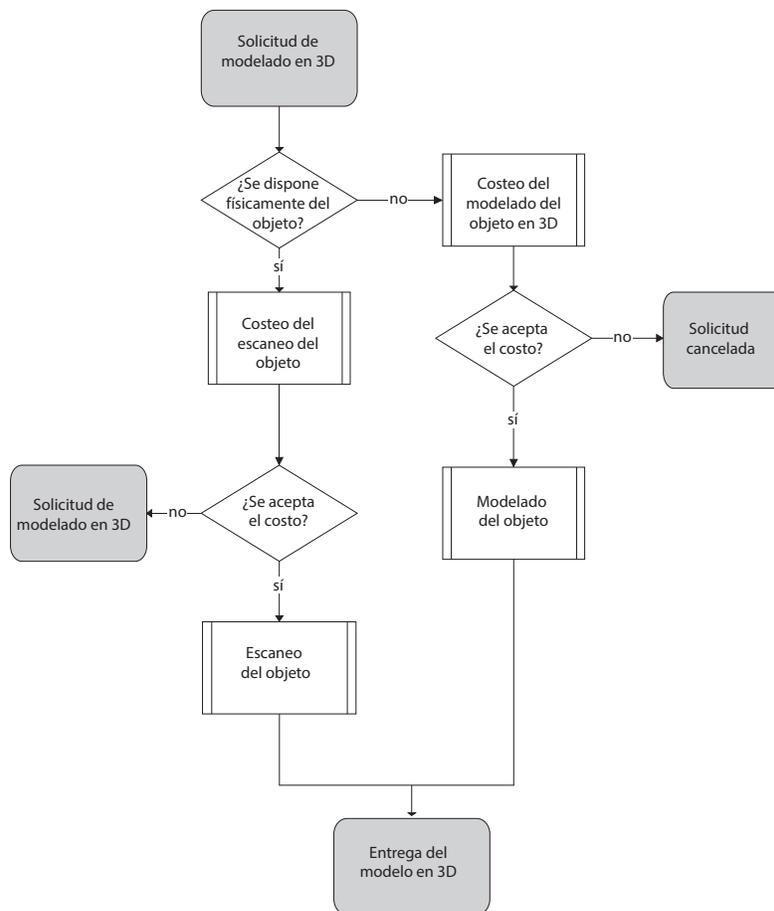


Figura 12. Proceso a seguir para el modelado de objetos en 3D.

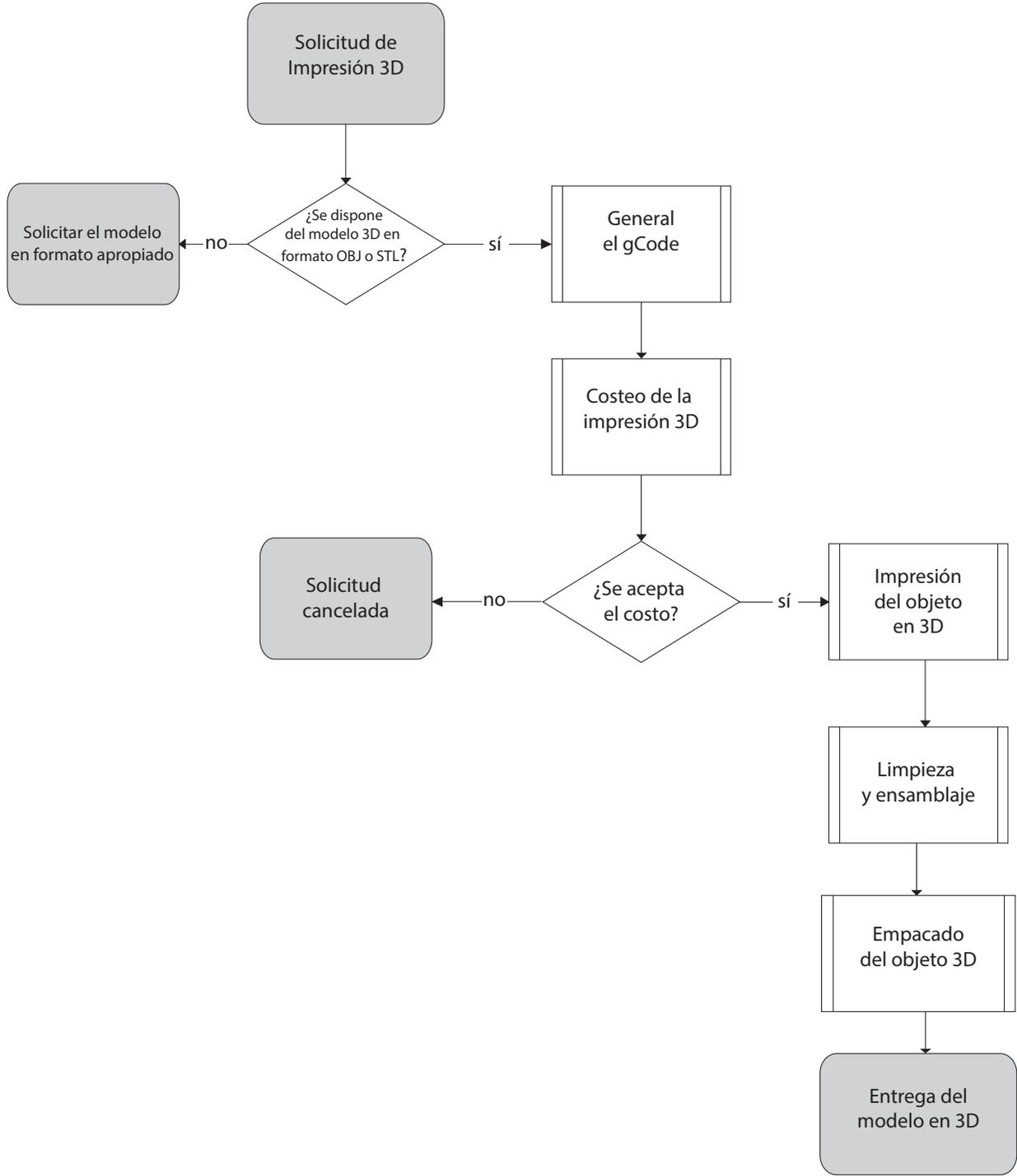


Figura 13. Proceso a seguir para impresión de objetos en 3D.

Tabla 2. Precios de venta por línea de servicio

Línea de servicio	Precio de venta
Modelado en 3D	\$20.00*
Escaneo de objetos en 3D	Será por volumen y duración del escaneo (Ver tabla 3)
Impresión en 3D	Será por material (filamento) y duración (Ver tabla 4)

* El costo sería por hora de diseño y el tiempo requerido lo establecerá el diseñador gráfico.

Tabla 3. Costo de escaneo de un objeto en 3D

Costos de material (filamento)		Fórmulas
Tiempo de escaneo (horas)	#	
Depreciación de escáner 3D		
Precio escáner 3D	\$	
Vida útil (años)	#	
Subtotal depreciación de equipo (\$)	\$	$\frac{\text{Precio de escáner 3D}}{\text{Vida útil} \times \text{Tiempo de escaneo}}$
Consumo de electricidad		
Tarifa de electricidad (\$/kWh)	\$	
Potencia del escáner 3D (Watts)	#	
Subtotal consumo de energía (\$)	\$	$\left(\frac{\text{Potencia del escáner 3D}}{\text{Tiempo de escaneo}} \right) \times \text{Tarifa de electricidad}$
Costo por reparaciones		
Costo de reparación (%)	%	
Subtotal costo de reparación	\$	$\left(\left(\frac{\text{Precio escáner 3D}}{\text{Vida útil}} \right) \times \text{Tiempo de escaneo} \right) \times \% \text{ Reparación}$
Tiempo de personal		
Salario mensual (\$)	\$	
Salario por hora (\$)	\$	
Subtotal tiempo personal	\$	Hora de salario \times tiempo de escaneo
Costo total de escaneo 3D		
Utilidad total (%)	%	
Total utilidad	\$	
Costo escaneo 3D (sin IVA)	\$	
IVA (13%)	\$	
Total escaneo 3D (\$)	\$	Σ Subtotales

Tabla 4. Costo por impresión de un objeto en 3D

Tiempo de escaneo		Indicadores o fórmulas
Cantidad de filamento (gramos)	#	
Costo filamento (gramo)	\$	
Subtotal consumo filamento (\$)	\$	Cantidad de filamento \times Costo filamento
Depreciación de impresor 3D		
Precio impresor 3D	\$	
Vida útil (años)	#	
Subtotal depreciación de equipo (\$)	\$	$\frac{\text{Precio de impresor 3D}}{\text{Vida útil} \times \text{Tiempo de impresión}}$
Tiempo de impresión		
Tiempo de impresión (horas)	#	
Consumo de electricidad		
Tarifa de electricidad (\$/kWh)	\$	
Potencia del impresor 3D (Watts)	#	
Subtotal consumo de energía (\$)	\$	$\left(\frac{\text{Potencia del impresor 3D}}{\text{Tiempo de impresión}} \right) \times \text{Tarifa de electricidad}$
Costo por reparaciones		
Costo de reparación (%)	%	
Subtotal costo de reparación	\$	$\left(\left(\frac{\text{Precio impresor 3D}}{\text{Vida útil}} \right) \times \text{Tiempo de impresión} \right) \times \% \text{ Reparación}$
Tiempo de personal		
Salario mensual (\$)	\$	
Salario por hora (\$)	\$	
Subtotal tiempo personal	\$	Hora de salario \times Tiempo de impresión
Costo total de impresión 3D		
Utilidad total (%)	%	
Total utilidad	\$	
Costo impresión 3D (sin IVA)	\$	
IVA (13%)	\$	
Total impresión 3D (\$)	\$	Σ Subtotales

El costo de escaneo 3D sería resultaría de: sumatoria del costo de depreciación del escáner 3D más el costo por consumo de electricidad, más el costo por reparaciones del escáner, más el costo por tiempo del personal, más un porcentaje de utilidad más IVA. Esto se puede observar a detalle en la tabla 3.

El costo de impresión de un objeto en 3D sería: la sumatoria del costo de material (filamento) más el costo por depreciación del impresor, más el costo por consumo de electricidad, más el costo por reparaciones del impresor, más el costo por tiempo del personal, más un porcentaje de utilidad más IVA. Ver tabla 4.

4. Discusión

El estudio presentado en este proyecto de investigación permitió identificar las asignaturas y aplicaciones idóneas para incorporar la tecnología de impresión 3D en las carreras de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Católica de El Salvador, desarrollando muestras de las aplicaciones que podrían implementarse y la manera en que podría ofrecerse el servicio de modelado e impresión 3D en la facultad a la cual corresponden estas carreras.

Es evidente que existe gran disposición por parte de docentes tiempo completo y hora clase de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura en incorporar la impresión 3D como herramienta didáctica en algunas asignaturas, sobre todo para lo relacionado a maquetas, prototipado rápido y fabricación de partes. Además, existe gran aceptación por parte de los estudiantes de dichas carreras en incorporar aplicaciones de impresión 3D en algunas asignaturas. Esto se comprobó al estudiar la demanda del producto, pues a gran parte de la población estudiantil de Ingeniería y Arquitectura le gustaría contar con el servicio de modelado e impresión en 3D en la facultad.

El modelado e impresión 3D promueve la innovación, fomenta la creatividad, la colaboración y la capacidad de resolver problemas de los estudiantes a la hora de desarrollar proyectos, experimentos, demostraciones y prototipado, de acuerdo a lo señalado por los docentes. Como proyecto futuro podría crearse un repositorio de modelos 3D dentro de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, para que los diseños estén disponibles para la comunidad académica de la Universidad y la sociedad en general.

Dentro de la propuesta, las impresoras 3D que se tienen pensadas son de escritorio o personales. Su costo de adquisición es bajo en comparación con las impresoras 3D profesionales e industriales; por lo mismo requieren de más tiempo para elaborar un objeto en 3D y, además, no disponen de variedad de materiales.

La impresión 3D, en impresoras de escritorio o personales, es muy útil para el prototipado rápido, para obtener objetos personalizados de carácter demostrativo y experimental; pero no así para la impresión de objetos de consumo a gran escala. Para esto último se requiere de impresoras 3D profesionales o industriales, como la tecnología de Modelado de fusión por deposición (FDM).

5. Referencias

- American Society of Testing Materials (2013). Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. Recuperado de <http://web.mit.edu/2.810/www/files/readings/AdditiveManufacturingTerminology.pdf>
- ATKearney (2015). 3D Printing a Manufacturing Revolution. Recuperado de <https://www.atkearney.com/documents/10192/5992684/3D+Printing+A+Manufacturing+Revolution.pdf/bf8f5c00-69c4-4909-858a-423e3b94bba3>

- Chang J. (2016). ASEAN in Transformation: How technology is changing jobs and enterprises. Recuperado de http://www.ilo.org/public/english/dialogue/actemp/downloads/publications/2016/asean_in_transf_2016_r1_techn.pdf
- Chua, C. K. y Leong, K. F. (2015). 3D printing and additive manufacturing principles and applications. Recuperado de <https://books.google.com.sv/books?id=Gy88DQAAQBAJ>
- Deloitte (2016). Disruptive manufacturing The effects of 3D printing. Recuperado de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ca/Documents/insights-and-issues/ca-en-insights-issues-disruptive-manufacturing.pdf>
- Ford, S. L. N. (2014). Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U.S. Manufacturing Competitiveness. Recuperado de https://www.usitc.gov/journals/Vol_VI_Article4_Additive_Manufacturing_Technology.pdf
- Gartner (2016). Worldwide shipments of 3D printers to double by end of 2016: Gartner. <http://www.gartner.com/newsroom/id/3139118>
- Gibson, I.; Rosen, D. y Stucker, B. (2010). Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing, Springer US. Recuperado de <https://books.google.com.sv/books?id=OPGbBQAAQBAJ>
- Manyika, J.; Chui, M.; Bughin, J.; Dobbs, R.; Bisson, P. y Marrs, A. (2016). Tecnologías disruptivas: avances que transformarán la vida, los negocios y la economía global. Recuperado de <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/disruptive-technologies>
- MakerBot (2016). User manual MakerBot. Recuperado de http://download.makerbot.com/replicator/MB_Replicator_UserManual.pdf
- Micallef J. (2015). Beginning Design for 3D Printing. Recuperado de https://books.google.com.sv/books?id=_YfDCgAAQBAJ
- Ramas F. (2015). TIC en educación, escenarios y experiencias. Recuperado de <https://books.google.com.sv/books?id=nhe5BgAAQBAJ>
- World Economic Forum (2015). The Global Information Technology Report 2015. Recuperado de http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_IT_Report_2015.pdf
- World Economic Forum (2016). The Global Competitiveness Report 2015–2016. Recuperado de http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/Global_Competitiveness_Report_2015-2016.pdf
- Zukas, V. y Zukas, J. (2015). An Introduction to 3D Printing. Recuperado de https://books.google.com.sv/books?id=LT_-CAAQBAJ