

**Universidad Internacional de las Américas**  
**Escuela de Medicina y Cirugía**

**PRESENTACIÓN DE INFORME PARA EL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR  
POR EL GRADO DE LICENCIADO EN MEDICINA Y CIRUGÍA**

*Informe exploratorio de las aplicaciones de las impresoras 3D en la  
elaboración de extremidades protésicas*

**Estudiante:** Adrián Castillo Velázquez

**Profesor tutor:** Dr. Taciano Lemos Pires

**Director:** Dr. Gean Carlo Galiano Murillo

San José, Costa Rica

I Cuatrimestre – 2017

## Índice general

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Índice general                                                                             | 8  |
| Índice de Tablas                                                                           | 11 |
| Índice de Figuras                                                                          | 13 |
| 1. Resumen                                                                                 | 15 |
| 2. Introducción                                                                            | 17 |
| 3. Planteamiento del problema                                                              | 18 |
| 4. Justificación del tema de estudio                                                       | 18 |
| 4.1. Aporte al Estado del arte                                                             | 18 |
| 4.2. Aporte a la ciencia                                                                   | 18 |
| 4.3. Aporte a las ciencias de la salud                                                     | 18 |
| 4.4. Aporte a la BIO-Ingeniería                                                            | 18 |
| 5. Análisis y tratamiento de consideraciones éticas                                        | 19 |
| 6. Objetivos de la investigación                                                           | 20 |
| 6.1. Objetivo General:                                                                     | 20 |
| 6.2. Objetivos Específicos:                                                                | 20 |
| 7. Marco de referencia                                                                     | 22 |
| 7.1. Marco Epistemológico-Antropológico                                                    | 22 |
| 7.2. Marco teórico                                                                         | 22 |
| 7.2.1. Las impresoras 3D y su uso en la biomedicina.                                       | 22 |
| 7.2.1.1.Desarrollo de la tecnología de impresión 3D.                                       | 22 |
| 7.2.1.2.Aplicaciones de la impresión 3D en la biomedicina animal                           | 24 |
| 7.2.2. Aplicaciones de la impresión 3D en el desarrollo de replazos y prótesis en humanos. | 25 |

|            |                                                                                                                             |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.2.2.1.   | Tecnologías de impresión y materiales utilizados en humanos.....                                                            | 25 |
| 7.2.2.2.   | Instrumentación, equipos auxiliares y educación para el uso de impresión 3D<br>en la cirugía de reemplazos protésicos ..... | 28 |
| 7.2.2.3.   | Educación e instrumentación a partir de impresión 3D en la cirugía de<br>reemplazos protésicos .....                        | 30 |
| 7.3.       | Marco conceptual.....                                                                                                       | 32 |
| 8.         | Propiedad intelectual y derechos de autor que deben ser protegidos debido al alcance de<br>la investigación                 | 33 |
| 9.         | Metodología                                                                                                                 | 34 |
| 9.1.       | Etapa I. Planteamiento del problema .....                                                                                   | 34 |
| 9.1.1.     | Pregunta directriz. ....                                                                                                    | 34 |
| 9.2.       | Etapa II. Formulación de la hipótesis.....                                                                                  | 34 |
| 9.2.1.     | Hipótesis.....                                                                                                              | 34 |
| 9.2.1.1.   | Diseño de hipótesis:.....                                                                                                   | 34 |
| 9.2.1.1.1. | Hipótesis principal:.....                                                                                                   | 34 |
| 9.2.2.     | Tabla de variables.....                                                                                                     | 34 |
| 9.3.       | Etapa III. Levantamiento de la información .....                                                                            | 36 |
| 9.3.1.     | Recolección de datos de fuentes primarias. ....                                                                             | 36 |
| 9.3.2.     | Recolección de datos de fuentes secundarias. ....                                                                           | 36 |
| 9.3.3.     | Productos y Resultados esperados de la Intervención.....                                                                    | 37 |
| 9.3.3.1.   | Oferta de dispositivos, aplicaciones y costos en el mercado para el año 2016<br>37                                          |    |
| 9.3.3.2.   | Tecnologías y casos de éxito en reemplazos protésicos en humanos.....                                                       | 44 |
| 9.3.3.3.   | Avances y no avances en el uso de tecnología 3D para impresión de prótesis<br>47                                            |    |
| 9.3.3.4.   | Biomateriales utilizados en la impresión 3D.....                                                                            | 50 |

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 9.4. Etapa IV. Análisis de datos.....                                                                                            | 51 |
| 9.4.1. Procesamiento y análisis de los datos sobre las tecnologías disponibles para impresión 3D en el mercado.....              | 51 |
| 9.4.2. Procesamiento y análisis de los datos sobre las tecnologías de prótesis de impresión 3D en cirugía ortopédica humana..... | 54 |
| 9.4.2.1. Uso de guías quirúrgicas para reemplazos con tecnología 3D.....                                                         | 54 |
| 9.4.2.2. Reducciones en el tiempo de operación.....                                                                              | 55 |
| 9.4.2.3. ¿Son más costosas o más baratas las prótesis desarrolladas con tecnologías 3D?.....                                     | 57 |
| 9.4.2.4. Implantes personalizados y su impacto quirúrgico.....                                                                   | 58 |
| 9.5. Etapa V. Comprobación de la hipótesis.....                                                                                  | 59 |
| 9.6. Etapa VI. Difusión de resultados.....                                                                                       | 60 |
| 10. Conclusiones                                                                                                                 | 61 |
| 10.1. Conclusiones de la investigación.....                                                                                      | 61 |
| 10.2. Recomendaciones.....                                                                                                       | 63 |
| 10.3. Nuevas líneas de investigación.....                                                                                        | 63 |
| 10.3.1. Implementación de las prótesis en humanos y animales.....                                                                | 63 |
| 10.3.2. Profundizar en el conocimiento sobre la tecnología de impresión 3D de tejidos sintéticos.....                            | 64 |
| 10.3.3. Investigar sobre el uso de la tecnología de impresión 3D como herramienta para la bioingeniería.....                     | 64 |
| 11. Bibliografía                                                                                                                 | 65 |
| 12. Apéndices                                                                                                                    | 70 |
| 12.1. Instrumentos para la validación de la hipótesis planteada.....                                                             | 70 |
| 12.2. Cronograma de actividades.....                                                                                             | 73 |
| 12.3. Borrador de informe para publicación.....                                                                                  | 75 |

## Índice de Tablas

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 9.1. Tabla de Variables                                                                                                                                            | 33 |
| Tabla 9.2. Comparación entre prótesis fabricadas con impresora 3D vs Prótesis estándar                                                                                   | 35 |
| Tabla 9.3. Comparación entre Materiales para la elaboración de las prótesis 3D para uso animal u o aplicación en otras especies                                          | 36 |
| Tabla 9.4. Comparación entre Impresoras 3D                                                                                                                               | 37 |
| Tabla 9.5. Comparación entre Software para Impresoras 3D                                                                                                                 | 38 |
| Tabla 9.6. Tabla de evidencia de aplicaciones quirúrgicas                                                                                                                | 43 |
| Tabla 9.7. Definición de las categorías que identifican las ventajas y desventajas de la impresión 3D en un entorno quirúrgico.                                          | 44 |
| Tabla 9.8. Distribución global de las ventajas reportadas en los 158 estudios realizados por el Dr. Martelli sobre el uso de la impresión 3D en el diseño de prótesis    | 45 |
| Tabla 9.9. Distribución global de las desventajas reportadas en los 158 estudios realizados por el Dr. Martelli sobre el uso de la impresión 3D en el diseño de prótesis | 47 |
| Tabla 9.10. Distribución del material utilizado según la técnica de impresión 3D utilizada en los 158 estudios incluidos por el Dr. Martelli.                            | 48 |
| Tabla 9.11. Evaluación del equipo, material y software óptimos para la elaboración de las prótesis 3D                                                                    | 50 |
| Tabla 9.12. Impacto reportado de la impresión médica 3D en el tiempo de la sala de operaciones                                                                           | 53 |

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla A.01 Comparación entre prótesis fabricadas con impresora 3D versus prótesis estándar           | 66 |
| Tabla A.02 Comparación entre materiales para la elaboración de las prótesis                          | 66 |
| Tabla A.03 Comparación entre impresoras 3D                                                           | 66 |
| Tabla A.04 Comparación entre softwares para impresoras 3D                                            | 67 |
| Tabla A.05 Evaluación del equipo, material y software óptimos para la elaboración de las prótesis 3D | 67 |

## Índice de Figuras

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 7.1. Materiales comúnmente utilizados en impresión tridimensional (3D) y bio-impresión.                                                   | 24 |
| Figura 7.2. A. Prototipo de plástico. B. Instrumento final de acero inoxidable                                                                   | 27 |
| Figura 7.3. La imagen fluoroscópica demuestra la compresión ancha alcanzada a través del sitio de la fractura.                                   | 28 |
| Figura 7.4. Diseño de Prótesis de Rodilla personalizada en donde los prototipos fueron diseñados con impresoras 3D hasta obtener el diseño final | 29 |
| Figura 9.1. Visión general del uso de técnicas de impresión en 3D como porcentaje del número total de trabajos                                   | 41 |
| Figura 9.2. Resumen de trabajos por campo específico                                                                                             | 42 |



## 1. Resumen

La tecnología de la impresión 3D ofrece muchos beneficios para todos los ámbitos de trabajo que desarrolla el ser humano, desde la fabricación de objetos hogareños, ya sean sillas, vasos, platos, mesas, etc; hasta en las ciencias de la salud, permitiendo la elaboración de piezas prostáticas, tanto para personas como para animales.

Dicha tecnología ha sido analizada en este informe para conocer la viabilidad de realizar piezas prostáticas para animales caninos. En este informe exploratorio se documentaron las diferentes máquinas (impresoras 3D, computador, etc.) y materiales (polímeros, resinas, metales, etc.) que se requieren para poder realizar las impresiones 3D y también se analizaron casos reales en los que ya se han implementado prótesis impresas en 3D.

Se hizo uso del método científico para el planteamiento y desarrollo de esta investigación y los resultados de la misma permitieron una comprensión más profunda sobre esta tecnología y sus aplicaciones en la salud animal, también permitieron conocer cuáles son los recursos necesarios para poder implementarla.

Entre los aspectos que se analizaron se encuentran las características generales de las prótesis estándar contra las prótesis impresas en 3D, se compararon diferentes materiales, a modo de conocer cuáles son los más adecuados para elaborar las prótesis; también se estudiaron diferentes modelos de impresoras 3D, analizando su costa y área de impresión como principales factores a la hora de seleccionarlas y finalmente, se compararon varios *software* que existen en el mercado, identificando los requerimientos del computador que se necesita y el nivel de experticia que los usuarios deberían poseer para poder usarlos.

Entre los puntos más notables destaca que las mayores diferencias entre las prótesis estándar y las impresas en 3D se dan en su costo y su disponibilidad (o tiempo de adquisición), ya que en ambos tipos de prótesis los materiales, medio para colocarlos y el tiempo de rehabilitación son muy similares y en algunos casos iguales. Además, se evidencia que incluso para las prótesis impresas en 3D, siempre será necesario contar con la presencia de algún experto en medicina canina para lograr que las prótesis sean adecuadas para el animal.



## 2. Introducción

En este trabajo se realiza una revisión de la capacidad y viabilidad del uso de impresoras 3D para la elaboración de prótesis que permitan a los pacientes recuperar la movilidad parcial o completa que se haya visto afectada a causa de la pérdida de alguna de sus extremidades. Se estudian algunos de los materiales que pueden ser usados para la elaboración de las prótesis, así como las especificaciones que deba tener la impresora 3D que se encargará de fabricar dichas prótesis.

La selección de este tema responde a la curiosidad del autor por conocer más sobre la tecnología de las impresoras 3D, sus aplicaciones e informarse sobre la forma en que esta tecnología puede ayudar tanto a animales como a personas.

La metodología del informe es puramente investigativa y teórica, basada en la investigación y recolección de información de diversas fuentes que permitan un mejor entendimiento del tema desarrollado en este informe. Por lo tanto, el informe presenta un diseño no experimental transversal exploratorio.

Para la elaboración de este informe la principal fuente de información fueron las búsquedas por internet y el acceso a revistas y noticias tanto *online* como físicas.

El presente trabajo está dividido en varios apartados como resumen, introducción y ocho secciones de trabajo principal, cada sección comienza con su respectivo título y en algunas se presentarán varias subsecciones, la sección termina donde inicia el siguiente título. Las ocho secciones son Planteamiento del problema, Justificación del tema de investigación, Aspectos éticos a considerar, Objetivos de la investigación, Marco de referencia, Propiedad intelectual y derechos de autor que deben ser protegidos debido al alcance de la investigación, Metodología y Conclusiones. Seguido de las ocho secciones principales se presentan la bibliografía y las secciones de apéndices.

### **3. Planteamiento del problema**

El principal problema es la falta de apoyo por parte de los entes encargados de la salud para la implementación de la tecnología de las impresoras 3D en el ámbito de las construcciones prostáticas, esto debido a las escasas fuentes de información y el poco desarrollo de dicha tecnología en Costa Rica; y presenta un diseño no experimental transversal exploratorio, para una población constituida por los dispositivos de impresión 3D y una muestra de las impresoras 3D que mejor se adecuen a la elaboración de dispositivos de reemplazo protésico.

### **4. Justificación del tema de estudio**

#### **4.1. Aporte al Estado del arte**

Este informe no presenta algún agregado importante al estado del arte, sino que se desea conocer y profundizar en el tema de la tecnología de las impresoras 3D y cómo estas se pueden utilizar en la medicina de reemplazos protésicos actuales.

#### **4.2. Aporte a la ciencia**

Este informe no presenta ningún aporte mayor al estado de la ciencia, ya que no está proponiendo ninguna nueva tecnología, ni se está exponiendo ningún nuevo descubrimiento.

#### **4.3. Aporte a las ciencias de la salud**

El presente trabajo integra una serie de conocimientos sobre aplicaciones exitosas que se han llevado a cabo en relación con el diseño de prótesis para reemplazos ortopédicos que han sido utilizados en humanos. Lo anterior, genera una base de evidencia científica para las calificaciones de seguridad en relación con el desarrollo de dichos dispositivos para su uso en humanos.

#### **4.4. Aporte a la BIO-Ingeniería**

En este informe se pretende conocer las características técnicas de las impresoras 3D, así como su funcionamiento y los diferentes equipos involucrados en un proyecto de impresión 3D. Se investigarán el *software* y el *hardware* necesario y las interfaces, si es que necesita, para poder diseñar y fabricar las prótesis.

## **5. Análisis y tratamiento de consideraciones éticas**

En este informe se estudiará la posibilidad de elaborar prótesis para humanos y esto es extrapolable a otras especies animales (perros, gatos, etc.) usando las impresoras 3D. Aunque durante el desarrollo de este informe no se trabajará directamente con algún animal o ser humano como parte del proceso de investigación, sí se debe reconocer que el diseño de las prótesis requiere de un modelo de prueba y error hasta conseguir una pieza que se adapte adecuadamente al destinatario, esto puede presentar alguna incomodidad para el paciente durante el tiempo de rehabilitación y en los cambios entre las diferentes piezas que se hayan construido. Sin embargo, en todo el proceso lo que se desea es mejorar el bienestar del paciente, así como aumentar su calidad de vida.

## 6. Objetivos de la investigación

### 6.1. Objetivo General:

- Investigar la viabilidad de la elaboración de prótesis para humanos usando las impresoras 3D para que pueda ser vista como una alternativa a las prótesis estándar actuales.

### 6.2. Objetivos Específicos:

- Investigar sobre las impresoras 3D y algunas de sus aplicaciones para que puedan ser usadas en la medicina actual.
- Investigar algunos de los materiales que pueden ser usados con las impresoras 3D para que la elaboración de las prótesis sea adecuada.
- Comparar y determinar si las prótesis elaboradas con impresoras 3D son mejores que los sistemas de prótesis actuales para que puedan ser tomadas en cuenta por los médicos y expertos.
- Elaborar una tabla comparativa de diversos materiales de impresión 3D para conocer sus características y elegir los más útiles para el diseño de las prótesis.
- Elaborar una tabla comparativa de diferentes modelos de impresoras 3D que permita conocer sus características para analizarlas y seleccionar las que mejor se adecuen a la tarea de fabricar prótesis para reemplazos.
- Elaborar una tabla comparativa de diferentes *softwares* de diseño, modelaje e impresión en 3D para analizar sus características y seleccionar los más óptimos para trabajar las prótesis 3D.
- Elaborar un cuadro comparativo donde se analicen diferentes combinaciones de impresoras 3D con materiales y *software* para analizar el costo y la disponibilidad de las prótesis impresas con cada una de esas combinaciones.

- Investigar casos de éxito en donde se han utilizado prótesis desarrolladas a partir de impresión en 3D para determinar la capacidad de replicación de dichas tecnologías en nuevos pacientes candidatos de un reemplazo protésico.

## 7. Marco de referencia

### 7.1. Marco Epistemológico-Antropológico

Desde los inicios de la humanidad, siempre ha existido el deseo de transmitir la información, ya sea primero con el lenguaje corporal, luego el habla y finalmente la escritura. La impresión de las palabras en un medio físico ha evolucionado mucho durante los años, comenzando con los pictogramas en las cavernas, luego los jeroglíficos en el antiguo Egipto y la escritura en Grecia, hasta los tiempos modernos y así mismo comenzaron las tecnologías para la distribución masiva de las palabras escritas. (Ramírez, E. 2008)

Iniciando esta última con los sellos que se usaban para marcar cartas o documentos importantes, luego en China nació la imprenta primitiva que básicamente constaba de tablillas de madera talladas a mano, luego siguió la tipografía que utilizaba planchas metálicas. Después siguieron las técnicas de huecograbado o rotograbado que utilizaban plantillas con agujeros sobre las cuales se pasaba la tinta con un rodillo, de esta tecnología surgieron las primeras máquinas de imprenta y el auge de la impresión masiva hasta las modernas impresoras capaces de imprimir imágenes a color, fotografía e infinidad de documentos.

Sin embargo, el deseo del hombre por *imprimir* sus ideas y plasmarlas en el mundo real llega a su mayor expresión con las impresoras 3D, las cuales son capaces de convertir cualquier imagen o modelo digital en un objeto tangible en tres dimensiones, desde objetos pequeños como figuras, vasos, herramientas, hasta un automóvil o una bicicleta, e incluso presenta grandes promesas para aplicaciones en la medicina al permitir imprimir tridimensionalmente prótesis y tejidos orgánicos.

### 7.2. Marco teórico

#### 7.2.1. Las impresoras 3D y su uso en la biomedicina.

##### 7.2.1.1. Desarrollo de la tecnología de impresión 3D.

De acuerdo con los portales Impresoras 3D y 3DSytems la primera tecnología de impresión en 3D fue creada por Chuck Hull, denominada la estereolitografía (SLA), la cual

describe brevemente Hull en su patente *Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography* (1986) como:

Un sistema para generar objetos tridimensionales al crear patrones de secciones cruzadas del objeto a formar en una superficie seleccionada de un medio fluido capaz de alterar su estado físico en respuesta a una apropiada estimulación sinérgica por radiación incidente, bombardeo de partículas o reacción química..., a como son formadas, las láminas sucesivas son integradas automáticamente para definir el objeto tridimensional. (párr. #3)

Años más tarde, entre 1988 y 1990, S. Scott Crump desarrolla el modelado por deposición fundida (MDF), el cual describe Marcos, A. (2013) en su blog de internet Teleco-to-walk como “consistía en la creación de objetos tridimensionales mediante la superposición de capas de material fundido que posteriormente solidificaba con la forma deseada”. (párr. #4)

Posteriormente siguieron surgiendo más avances en el ámbito de la impresión 3D, describe el portal Impresoras 3D (2013) que en 1993 un grupo de estudiantes del MIT conciben la impresión 3D por inyección y en el año 2005 “El Dr Bowyer, de la Universidad de Bath, Reino Unido, desarrolla la primera máquina 3D autorreplicante: la RepRap, que supone un salto adelante en la normalización y acceso a las impresoras tridimensionales” (párr. #4) afirma el portal.

Paralelamente con cada avance se iniciaron proyectos e investigaciones para utilizar la tecnología de impresión 3D en otras áreas como la medicina. Por ejemplo, Russo, H. (2014) publica en el portal Geek’S Room una infografía desarrollada hace ya un tiempo atrás por la organización Computer Science Hub, donde se explica que en 1999 científicos del instituto Wake Forest para medicina regenerativa, desarrollan un órgano en laboratorio y lo implantan en un ser humano, el órgano se creó usando las células del mismo paciente. Y en el 2002 otro grupo de científicos logran crear un riñón en miniatura que funciona como uno real, filtrando sangre y produciendo orina en un animal. También se presentan utilidades de las impresoras 3D en la creación de prótesis tanto para humanos como para animales.

### ***7.2.1.2. Aplicaciones de la impresión 3D en la biomedicina animal***

La compañía Imprimalia (2014) presentó la historia de una aplicación biomédica en medicina veterinaria, en donde un águila calva llamada *Beauty* (Belleza) que había sufrido la pérdida parcial de su pico a causa de un cazador (caso similar al tucán amputado en 2015 en Costa Rica, y que será descrito posteriormente), logra volver a llevar una vida normal gracias a una prótesis de pico que fue elaborada con una impresora 3D y la ayuda de varios especialistas (un equipo de ingenieros, expertos en fauna y hasta un dentista).

Fue necesario tomar radiografías de la cabeza del águila y usaron el programa Solidworks para diseñar una réplica similar a lo que debió ser el pico original de *Beauty*. Posteriormente, se recurrió a una impresora 3D para fabricar una prótesis de plástico. El animal fue sometido a una intervención de dos horas para fijarle la prótesis impresa de forma tridimensional. Una y otra vez, con el águila atada a una mesa, le probaron y ajustaron la prótesis, hasta que finalmente quedó ajustada. Desde entonces, el águila *Beauty* pudo volver a comer, beber y acicalarse a sí misma como cualquier otra rapaz.

El diario El Comercio (2013) relató la historia de Buttercup, un pato que tenía una de sus patas torcidas completamente y le era imposible caminar sin dolor. Los miembros de la organización Feathered Angels Waterfowl Sanctuary amputaron la extremidad del pato y desarrollaron una prótesis creada con silicona en una impresora 3D. Los desarrolladores fabricaron un molde de la pata del animal a partir de una de las extremidades de su hermana, para posteriormente rellenar esta figura con silicona y así crear el accesorio final.

En el caso de Imprimalia (2014) se tiene a TurboRoo, un chihuahua que nació con una malformación que impidió el desarrollo de sus patas delanteras. En este caso el ingeniero mecánico de la empresa 3Dyn Mark Deadrick, con más de 20 años de experiencia en la industria automovilística y aeroespacial, se decidió a intentar diseñar un carro de ayuda para TurboRoo.

Le enviaron fotografías de TurboRoo con las que Mark realizó las mediciones necesarias para modelar en 3D el carro que imprimió en una impresora 3D doméstica, la

Makerbot Replicator. Le añadió unas ruedas de monopatín y envió el primer prototipo a la clínica. Hasta ahora, ha realizado tres versiones a las que les ha incluido algunas mejoras. “De momento TurboRoo se está acostumbrando a su nueva forma de caminar, pero parece que se adapta con rapidez” (párr. #3) afirma el Portal web.

Además, Oyanedel, J. P. (2014) afirma en el portal Fayerwayer, como Derby, un perro que también nació con una deformidad en sus patas delanteras, logró mejorar su vida gracias a unas prótesis hechas a la medida con una impresora 3D. Explica que al principio desearon usar un sistema de ruedas, pero este resultaba incómodo para el animal, entonces la dueña del can Tara Anderson, quien trabaja en una compañía llamada 3D Systems que se dedica al rubro de la impresión 3D, puso a trabajar a su equipo para diseñar un par de prótesis que le permitiesen al perro volver a correr, las cuales son personalizadas y se ajustan a las patas del animal donde son instaladas, y que funcionan mucho mejor que otros sistemas antes vistos.

Finalmente, en el ámbito nacional Soto, M. (2015) presenta en el portal del periódico La Nación, el caso del tucán llamado Grecia que perdió la parte superior de su pico al ser atacada por menores. Según la noticia, cuatro empresas costarricenses, a saber: Elementos 3D, Ewalcorps, Publicidad Web y Grupo Sommerus, representantes de 3D Systems, consideran que el país cuenta con el conocimiento en diseño e ingeniería, además, se tiene la tecnología de impresión en tercera dimensión (3D), por lo que se han unido en un esfuerzo para poder desarrollar una prótesis que le permita al animal, primeramente, alimentarse por sí mismo y más adelante poder regresar a su vida normal.

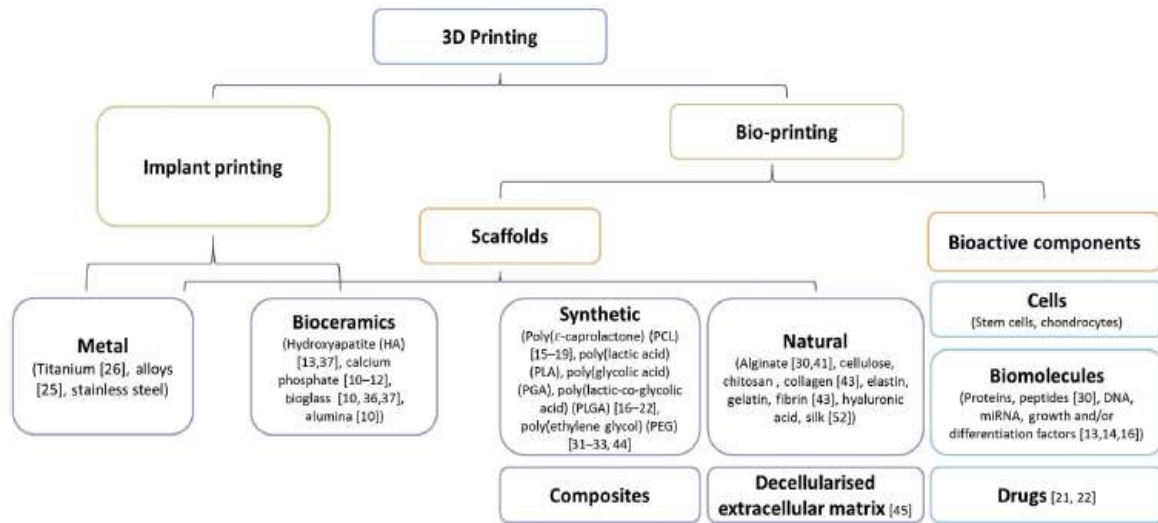
## **7.2.2. Aplicaciones de la impresión 3D en el desarrollo de replazos y prótesis en humanos.**

### ***7.2.2.1. Tecnologías de impresión y materiales utilizados en humanos***

En la década actual la tecnología permite el desarrollo de prótesis que permiten realizar reemplazos articulares a la medida del paciente. Sze-Wing Mok (2016), realiza una exposición de las potencialidades de las impresoras tridimensionales (3D) que pueden crear estructuras complejas basadas en modelos matemáticos.

La combinación de imágenes de diagnóstico médico con la impresión 3D tiene un gran potencial. En la actualidad a nivel clínico y hospitalario, las soluciones ofertadas en el mercado utilizan materiales tales como los descritos en la Figura 7.1, para cirugías del sistema músculo-esquelético.

**Figura 7.1.** Materiales comúnmente utilizados en impresión tridimensional (3D) y bio-impresión.



Fuente: Sze-Wing Mok (2016).

La impresión 3D es utilizada en humanos para crear los implantes a medida, la instrumentación específica del paciente, y ello permite que la regeneración de los tejidos y en particular el hueso y el cartílago sean más eficientes. Los principales factores limitantes para la bio-impresión incluyen la falta de técnicas de impresión con óptima resolución de impresión y materiales, así como las fuerzas mecánicas ideales mientras que mantiene funcionalidad celular. La impresora "puede ser ampliamente aplicada, más investigación y desarrollo en la mejora y optimización de las técnicas de impresión y biomateriales, y conocimientos sobre el desarrollo de técnicas de impresión en tejidos vivos, es esencial para la aplicación clínica futura de esta tecnología", como lo indica Sze-Wing Mok (2016, p. 44).

Importante para el lector comprender cómo se genera un elemento impreso, para poder proseguir con el estudio de sus usos a nivel quirúrgico. La impresión 3D (3DP) es un "proceso de fabricación aditivo", es decir, se agrega nuevo material a la superficie del material existente para construir un modelo físico 3D. Existe una adición de capas o secciones

bidimensionales (2D) de manera similar a las vistas en secciones anatómicas comunes obtenidas al ver datos de tomografía computarizada (TC) e imágenes de resonancia magnética (MRI); a partir de esos modelos anatómicos, los datos de los escáneres CT o MRI se utilizan comúnmente para crear un modelo digital inicial de la anatomía del paciente, según Hammad (2015, p. 516) es posible encontrar la siguiente traducción del texto original:

Hay tres métodos comúnmente usados de agregar el material en capas:

1. El modelado de deposición fundido (FDM) es donde las capas son creadas por la deposición de un polímero suavizado por calor con el uso de una boquilla de extrusión controlada por ordenador. Esta técnica se utiliza en la mayoría de las impresoras de consumo económico y sólo ocasionalmente en aplicaciones médicas.
2. La Sinterización Selectiva del Laser (SLS) implica un lecho fino del polvo de materiales variados tales como nilón o los metales titanio y acero inoxidable. Se utiliza una fuente de energía enfocada (haz de láser o de electrones) para barrer el lecho de polvo, trazando la forma de una rebanada 2D, fusionando y fusionando así áreas del polvo para formar la geometría de cada capa. Finalmente, se añade una nueva capa de polvo fresco y se repite el proceso.
3. La estereolitografía (SLA) utiliza una fuente de energía óptica de luz para escanear sobre una cuba de resina curable por luz, solidificando áreas específicas en la superficie del líquido. El suelo del recipiente de fluido desciende gradualmente, lo que aumenta la profundidad del material a medida que el modelo crece y las capas sucesivas de resina se curan una encima de la otra.

Este método de fabricación descrito se basa en modelos informáticos 3D para la reconstrucción de un objeto 3D mediante la adición de capas de material, tales como yeso, metal, plástico, etc., como se indicó en la Figura 7.1. El concepto de impresión en 3D comenzó realmente como *estereolitografía* (SLA) a principios de los años 80 por Charles W. Hull, quien comenzó a vender las primeras impresoras 3D para aplicaciones comerciales en 1988. Estereolitografía como lo indicó Rengier (2010).

En la creación de un objeto, usualmente curando una resina fotorreactiva con un láser ultravioleta de una manera capa por capa. Desde entonces, diferentes procesos de impresión en 3D se han desarrollado para muchas aplicaciones, en el campo de la medicina, el número de estas aplicaciones se han incrementado dramáticamente desde principios de los años 2000, como fue descrito por Ventola (2010).

En el campo de la salud, el Dr Gross (2014) sugirió tres procesos de impresión en 3D (sinterización selectiva por láser (SLS), modelado por deposición fundida e impresión por inyección de tinta) que casi superan la estereolitografía en términos de frecuencia de uso. El primero de ellos, SLS, utiliza un láser para fusionar selectivamente las partículas de material en polvo dentro de un lecho de polvo.

En un artículo de 2016, un reporte generado por el Dr. Nicolás Martelli y colaboradores, muestran los resultados de un total de 158 estudios que cumplieron con los criterios de inclusión. Se utilizaron imágenes tridimensionales para producir modelos anatómicos (n = 113, 71,5%), guías y plantillas quirúrgicas (n = 40, 25,3%), implantes (n = 15, 9,5%) y moldes (n =), y principalmente en operaciones maxilofaciales (n = 79, 50,0%) y ortopédicas (n = 39, 24,7%).

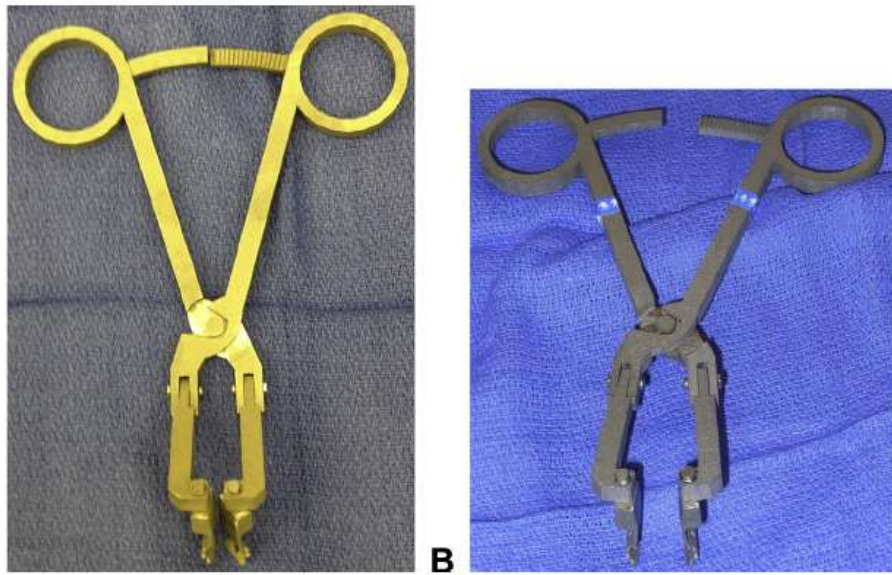
Las principales ventajas señaladas fueron las posibilidades de planificación preoperatoria (n = 77, 48,7%), la precisión del proceso utilizado (n = 53, 33,5%) y el tiempo ahorrado en el quirófano (n = 52, 32,9%); 34 estudios (21,5%) subrayaron que la precisión no era satisfactoria. El tiempo necesario para preparar el objeto (n = 31, 19,6%) y los costos adicionales (n = 30, 19,0%) también se consideraron limitaciones importantes para el uso rutinario de la impresión 3D, según Martelli (2016).

### ***7.2.2.2. Instrumentación, equipos auxiliares y educación para el uso de impresión 3D en la cirugía de reemplazos protésicos***

Existen diferentes productos de ingeniería biomédica para impresoras tridimensionales los cuales también se utilizan como dispositivos implantables; algunos de estos usos son en artroplastia de rodilla, órtesis de vías aéreas y otros procedimientos

quirúrgicos. Aunque al principio es caro y conceptualmente difícil de construir, la impresión tridimensional se está volviendo cada vez más asequible y ampliamente accesible, como lo indican Fuller (2016) y colaboradores.

**Figura 7.2.** A. Prototipo de plástico. B. Instrumento final de acero inoxidable.



**Fuente:** Fuller (2016).

Uno de los ámbitos de acción quirúrgica que han tenido una mejor aceptación es el referente a las cirugías ortopédicas. Un ejemplo es la cirugía ortopédica de la mano en donde serían muy deseables implantes a la medida. También, otras especialidades quirúrgicas como cirugía vascular, maxilofacial, plástica y reconstructiva son usuarias de instrumentos nuevos o modificados para requerimientos particulares que se están comenzando a utilizar. Un ejemplo se encuentra en la Figura 7.2 en donde se muestra cómo el prototipo del instrumento fue generado con impresión 3D y luego de aprobado se pasa a producción industrial en acero inoxidable, instrumental descrito por el Dr. Sam Fuller (2016).

Sin embargo, el costo total de producción restringe su desarrollo. Se presenta la experiencia paso a paso en la creación de una abrazadera de reducción de hueso para las fracturas de los dedos utilizando la tecnología de impresión tridimensional.

Otra aplicación que fue posible desarrollar a través de aplicaciones de *software* gratuito, lo constituyó un modelo tridimensional de una pinza de reducción ósea para fracturas manuales basado en el diseño específico del autor principal (M.V.M.), experiencia previa y preferencias para la fijación de la fractura. Dentro de los requerimientos se debió fabricar y ajustar múltiples prototipos de plástico, lo que proporcionó un modelo de trabajo rápido y de bajo costo de la abrazadera propuesta. En la Figura 7.3. se muestra la aplicación quirúrgica.

**Figura 7.3.** La imagen fluoroscópica demuestra la compresión ancha alcanzada a través del sitio de la fractura.



**Fuente:** Fuller (2016).

Una vez que se obtuvo un diseño viable, una empresa de impresión produjo el prototipo de abrazadera quirúrgica directamente del modelo tridimensional representado en los archivos informáticos. Este prototipo fue utilizado en la sala de operaciones, satisfaciendo las expectativas del cirujano.

### ***7.2.2.3. Educación e instrumentación a partir de impresión 3D en la cirugía de reemplazos protésicos***

Actualmente existe un amplio uso de la tecnología de impresión 3D en ortopedia. La tecnología 3D se puede utilizar en educación, planificación preoperatoria y fabricación a medida. Las aplicaciones de fabricación a medida incluyen guías quirúrgicas, prótesis e

implantes, como lo indica Mulford (2016); y adicionalmente, existen aplicaciones en desarrollo que incluirán aplicaciones biológicas.

Los modelos impresos en 3D de anatomía han ayudado en la educación de pacientes, estudiantes, aprendices y cirujanos; también ayudan con la planificación quirúrgica de lesiones complejas o anatomía inusual. Un área de entrenamiento quirúrgico novedosa la constituye el uso de las guías quirúrgicas impresas en 3D que pueden simplificar la cirugía, hacer cirugía precisa y reducir el tiempo operatorio.

Los modelos computarizados basados en Resonancia Magnética (RM) o Tomografías Computarizadas (TC) se utilizan para planificar la cirugía y la colocación de los implantes. Las osteotomías complejas se pueden realizar usando guías quirúrgicas impresas en 3D. Esto puede ser particularmente útil alrededor de la rodilla. Una guía impresa en 3D permite perforaciones de osteotomía previa para la fijación de la placa y proporciona una guía de osteotomía para permitir una osteotomía precisa, Mulford (2016).



**Figura 7.4.** Diseño de prótesis de rodilla personalizada en donde los prototipos fueron diseñados con impresoras 3D hasta obtener el diseño final.

**Fuente:** La impresión 3D permite un gran avance en las cirugías de rodilla. Disponible en <http://blog.undos3d.com/2014/02/impresion-3d-en-las-cirugias-de-rodilla/>

La impresión 3D ha permitido la aparición de implantes personalizados. Los implantes personalizados que son específicos para el paciente se han utilizado particularmente para la artroplastia de revisión compleja o para casos muy difíciles con anatomía alterada. Es probable que las aplicaciones futuras incluyan la impresión biológica 3D de los andamios de cartílago y hueso.

### 7.3. Marco conceptual

Impresión 3D: es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material.

- i. **Impresora 3D:** es una máquina capaz de realizar *impresiones* de diseños en 3D, creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador. Surgen con la idea de convertir archivos de 2D en prototipos reales o 3D. Comúnmente se ha utilizado la prefabricación de piezas o componentes en sectores como la arquitectura y el diseño industrial. En la actualidad se está extendiendo su uso en la fabricación de prótesis médicas, ya que la impresión 3D permite adaptar cada pieza fabricada a las características exactas de cada paciente.
- ii. **Prótesis:** aparato o dispositivo destinado a reparar artificialmente la falta de un órgano o parte de él; como la de un diente, un ojo, un brazo, etc.
- iii. **Solidworks:** es un *software* CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes, S.A. (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Permite diseñar y probar piezas tridimensionales antes de su construcción y es uno de los diferentes tipos de *software* que se utiliza en conjunto con las impresoras 3D para la elaboración de piezas 3D.
- iv. **Silicona:** polímero químicamente inerte, utilizado como adhesivo en la fabricación de prótesis y en otras aplicaciones.

## **8. Propiedad intelectual y derechos de autor que deben ser protegidos debido al alcance de la investigación**

En este informe no se hace uso de ninguna tecnología ni herramienta aparte del método científico. Sin embargo, se hace la consideración de que toda la información recabada es de origen externo y se deberá reconocer a los autores de dicha información a través de los enlaces presentados en la bibliografía del presente informe.

## 9. Metodología

### 9.1. Etapa I. Planteamiento del problema

#### 9.1.1. Pregunta directriz.

¿Es viable la elaboración de piezas prostáticas para personas utilizando las impresoras 3D?

### 9.2. Etapa II. Formulación de la hipótesis

#### 9.2.1. Hipótesis.

##### 9.2.1.1. Diseño de hipótesis:

##### 9.2.1.1.1. Hipótesis principal:

Las prótesis para pacientes elaboradas con impresoras 3D estarían hechas a la medida y mejorarían la respuesta post operatoria y la calidad de vida de los pacientes que son sometidos a un reemplazo articular con el uso de esta tecnología.

#### 9.2.2. Tabla de variables

Tabla 9.1 Tabla de variables del informe

| Elemento | Variable                                                 | Tipo          | Componentes                                                    | Instrumento                                                                 | Descripción                                                                                                                                                                                  |
|----------|----------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Elaboración de prótesis para pacientes con impresoras 3D | Independiente | Las prótesis fabricadas versus prótesis estándar en el mercado | Tabla comparativa<br>- Vida útil<br>- Disponibilidad<br>- Acople<br>- Costo | Se utilizará la tabla para describir los aspectos en que se diferencian ambos tipos de prótesis, por ejemplo: el costo, la vida útil, disponibilidad, facilidad para colocarlo, entre otros. |

|  |  |  |                                                    |                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--|--|--|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  | <p>Materiales de fabricación para las prótesis</p> | <p>Tabla comparativa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Durabilidad</li> <li>- Flexibilidad</li> <li>- Disponibilidad</li> <li>- Temperatura de fundición</li> <li>- Temperatura de plataforma</li> <li>- Desechos</li> </ul> | <p>La comparación permitirá determinar cuáles materiales son más adecuados para la elaboración de las prótesis al describir aspectos como: durabilidad, flexibilidad, disponibilidad, temperaturas de trabajo...</p>                                                                              |
|  |  |  | <p>Impresoras 3D</p>                               | <p>Tabla comparativa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Marca</li> <li>- Costos</li> <li>- Disponibilidad</li> <li>- <i>Software</i></li> <li>- Capacidad de impresión</li> <li>- Características de impresión</li> </ul>     | <p>Se utilizará la tabla para conocer algunos de los modelos de impresoras 3D que ofrece el mercado que mejor se adapten al proyecto de imprimir las prótesis.</p>                                                                                                                                |
|  |  |  | <p><i>Software</i> para modelar en 3D</p>          | <p>Tabla comparativa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollador</li> <li>- Grado de dificultad</li> <li>- Compatibilidad con impresoras</li> <li>- <i>Hardware</i> (PC)</li> <li>- Costo de licencias</li> </ul>        | <p>Se utilizará la tabla para describir brevemente los diferentes <i>softwares</i> que existen en el mercado para el modelaje 3D, sus requisitos en cuanto a <i>hardware</i> (computadora e impresora) y el nivel de dificultad para aprender a diseñar las prótesis en cada <i>software</i>.</p> |

|   |                                  |             |                                                 |                                                                                                                              |                                                                                                                  |
|---|----------------------------------|-------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Calidad de vida de los pacientes | Dependiente | Capacidad del canino para caminar o correr      | Publicaciones indexadas de casos de cirugías exitosas de reemplazo articular con uso de prótesis impresas con tecnología 3D. | Publicaciones indexadas.<br><br>Criterio de cirujanos especializados o experto en la medicina de rehabilitación. |
|   |                                  |             | Comodidad y aceptación del canino a la prótesis | Registro visual y testimonio de los familiares de los pacientes                                                              |                                                                                                                  |
|   |                                  |             | Variación en la actividad física del canino     | Registro visual y testimonio de los familiares de los pacientes                                                              |                                                                                                                  |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 9.3. Etapa III. Levantamiento de la información

#### 9.3.1. Recolección de datos de fuentes primarias.

Las fuentes de datos primarias serán noticias, entrevistas y revistas que estén publicadas en portales de internet de referencia científica indexados y cuya información permita conocer aspectos de las impresoras 3D; así como los sitios web de compañías que desarrollen o vendan las prótesis tradicionales o desarrolladas con esta tecnología. Se utilizó esa información para conocer cuáles podían ser las alternativas tecnológicas que mejor se ajustarán a las necesidades de los pacientes, así como las labores de diseño y fabricación de las prótesis para los casos de éxito revisados para esta investigación.

#### 9.3.2. Recolección de datos de fuentes secundarias.

Las fuentes de datos secundarias serán revisiones hechas por comunidades en sitios web que comparen y hagan pruebas con las impresoras 3D, de modo que pueda usar sus

análisis para realizar una mejor comparación entre las diferentes impresoras y los materiales que utilizan.

Adicionalmente, como fuente primaria de datos se cuenta con las hojas de datos de las impresoras 3D para poder determinar las mejores impresoras para la elaboración de las prótesis y conocer los diferentes materiales con que se pueden trabajar.

Con respecto a la aplicación de la impresión 3D en casos de cirugía en humanos, se realizó la búsqueda y selección de casos de éxito de cirugía de reemplazo ortopédico, realizadas con el uso de prótesis de impresión 3D, en donde se indican los principales materiales utilizados en el diseño de prótesis en humanos; y su impacto en el proceso de recuperación del paciente.

### 9.3.3. Productos y Resultados esperados de la Intervención.

#### 9.3.3.1. Oferta de dispositivos, aplicaciones y costos en el mercado para el año 2016

En la Tabla 9.2 se realiza una comparación de cualidades de las prótesis tales como vida útil, disponibilidad, acople, costo, que presenta una prótesis tradicional con respecto a una prótesis desarrollada con la tecnología 3D.

**Tabla 9.2** Comparación entre prótesis fabricadas con impresora 3D versus prótesis estándar

|                  | Prótesis elaboradas con impresora 3D                                                                                                                                                                                                                 | Prótesis estándar                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Vida útil</b> | -Depende del tipo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ortopédica: de 1 a 3 meses</li> <li>• Amputación: no suele aplicarse, depende de valoración del médico y decisión del paciente. De por vida</li> <li>• Parálisis: de por vida</li> </ul> | - Depende del tipo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ortopédica: de 1 a 3 meses</li> <li>• Amputación: no suele aplicarse, depende de valoración del médico y decisión del paciente. De por vida</li> <li>• Parálisis: de por vida</li> </ul> |

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                     |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Disponibilidad</b> | Requiere de trabajo en conjunto con un médico, pero si se poseen los materiales y el conocimiento, cada uno puede elaborarlas.<br><br>También puede ser contra pedido a empresas especializadas.                                                                                          | Solo contra pedido, aprobado por un médico.                                                                         |
| <b>Acople</b>         | Hechas a la medida, requieren de sesiones de terapia y rehabilitación.                                                                                                                                                                                                                    | Hechas a la medida, requieren de sesiones de terapia y rehabilitación.                                              |
| <b>Costo</b>          | Depende de si se poseen o no los materiales, equipo y conocimiento y el grado de la lesión:<br><br>-Si es así, pueden rondar entre los \$200 a \$1000 aproximadamente.<br><br>-Si se contrata una empresa para que la diseñe y fabrique, hay costos desde \$500 a \$1500 aproximadamente. | Desde US\$ 7.000 - US\$ 15.000 o más, depende del grado de la lesión y de la articulación que debe ser reemplazada. |

**Fuente:** Elaboración propia. Información Euroinova, compañía de venta de equipo médico.

En la Tabla 9.3 se realiza una comparación entre materiales para la elaboración de las prótesis 3D para uso animal o el uso de dichos materiales para reemplazo en otras especies y algunos de ellos en cirugía ortopédica humana. El objetivo es poder determinar las alternativas que ofrece el mercado en general, antes de estrechar el espectro a materiales de uso solo en humanos.

**Tabla 9.3** Comparación entre materiales para la elaboración de las prótesis 3D para uso animal o aplicación en otras especies

| Material                                      | Durabilidad | Flexibilidad | Disponibilidad | Temperatura de fundición | Temperatura de plataforma | Desechos                           |
|-----------------------------------------------|-------------|--------------|----------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| <b>ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)</b> | Alta        | Poca o nula  | Muy usado      | 215 - 250°               | 90° - 103°                | - No biodegradable<br>- Reciclable |

|                                                                       |          |             |                         |                  |                    |                                       |
|-----------------------------------------------------------------------|----------|-------------|-------------------------|------------------|--------------------|---------------------------------------|
| <b>PLA (Ácido Poliláctico o Poliláctido)</b>                          | Buena    | Poca nula o | Muy usado               | 160 - 230°       | ambiente hasta 60° | - Biodegradable<br>- Reciclable       |
| <b>Soft PLA (Ácido Poliláctico flexible)</b>                          | Buena    | Alta        | Muy usado               | 200 - 220°       | ambiente hasta 60° | - Biodegradable<br>- Reciclable       |
| <b>PVA (Alcohol Polivinilo)</b>                                       | Muy poca | Poca nula o | Aplicaciones especiales | 180 - 200°       | 50°                | -Biodegradable<br>- Soluble en agua   |
| <b>PC (Policarbonato)</b>                                             | Muy alta | Nula        | Muy usado               | 280 - 305°       | 85° - 95°          | - No biodegradable<br>- Reciclable    |
| <b>HDPE (Polietileno de alta densidad, High density polyethylene)</b> | Alta     | Alta        | Poco usado              | 225 - 230°       | Ambiente           | - No biodegradable<br>-Reciclable     |
| <b>Aluminio (aleación AlSi10Mg)</b>                                   | Muy alta | Nula        | Muy usado               | 570 - 590 °      | 300°               | -No biodegradable<br>- No reciclable  |
| <b>Titanio (aleación ti6al4v)</b>                                     | Muy alta | Nula        | Muy usado               | 1.635° - 1.665 ° | 730°               | - No biodegradable<br>- No reciclable |
| <b>Filaflex</b>                                                       | Alta     | Muy alta    | Muy usado               | 220 - 230°       | Ambiente           | - No biodegradable<br>- Reciclable    |
| <b>TCP FLEX (Co-Poliester Termoplástico)</b>                          | Muy alta | Alta        | Muy usado               | 220 - 260°       | ambiente hasta 60° | - No biodegradable<br>- Reciclable    |
| <b>NinjaFlex</b>                                                      | Alta     | Alta        | Muy usado               | 210 - 225°       | 20 ° - 50°         | - No biodegradable<br>- Reciclable    |

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se han revisado posibles materiales para crear impresiones de 3D, es necesario conocer qué alternativas ofrece el mercado internacional, con respecto a dispositivos físicos de impresión en 3D. En la Tabla 9.4 se realiza la comparación de diferentes opciones donde se estudiarán parámetros tales como modelo de impresora, marca, costo, disponibilidad de *software*, capacidad de impresión, así como las características de impresión de cada uno de los dispositivos. Ello permitirá posteriormente, realizar una comparación en cuanto a cuáles impresoras serán las que mejor se ajusten a los requerimientos de impresión de las prótesis de paciente.

**Tabla 9.4** Comparación entre impresoras 3D

| Modelo de impresora       | Marca   | Costo                      | Disponibilidad              | Software                                                                                                                                                                | Capacidad de impresión                 | Características de impresión                                   |
|---------------------------|---------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Witbox</b>             | Bq      | € 1.690<br><br>US\$ 1.999  | Europa o comprar por Amazon | - Firmware Marlin preconfigurado<br><br>- Hosts compatibles Repetier, Pronterface, Cura, ReplicatorG<br><br>- Slic3r (recomendado y preconfigurado)<br><br>- Skeinforge | - Mono extrusor<br><br>- Monocromático | - Dimensiones : 210x297x200 mm<br><br>- Velocidad: 60-80 mm/s  |
| <b>Mono Extruder</b>      | Builder | € 1.375                    | Europa o tienda online      | - Open source Repetier, (Cura, Kisslicer)                                                                                                                               | - Mono extrusor<br><br>- Monocromático | - Dimensiones : 220x210x170 mm<br><br>- Velocidad: 10-200 mm/s |
| <b>Prusa i3 Hephestos</b> | Bq      | € 499,9<br><br>US\$ 699,99 | Europa o comprar por Amazon | - Firmware derivado de Marlin<br><br>- Entorno recomendado: Cura Software, Slic3r, Repetier, Kisslicer                                                                  | - Mono extrusor<br><br>- Monocromático | - Dimensiones : 220x220x180 mm<br><br>- Velocidad: 40-100 mm/s |

|                                         |         |            |                        |                                           |                                                 |                                                                |
|-----------------------------------------|---------|------------|------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Big Builder – Dual-Feed Extruder</b> | Builder | € 2.495    | Europa o tienda online | - Open source Repetier, (Cura, Kisslicer) | - Extrusor doble<br>- Bicromático, 2 filamentos | - Dimensiones :<br>220x210x66 mm<br>- Velocidad:<br>10-80 mm/s |
| <b>CUBE 3D</b>                          | Cubify  | US\$ 1.099 | Tienda online o Amazon | - CubePro converter software              | - Extrusor doble<br>- Bicromático, 2 filamentos | - Dimensiones :<br>152x152x152 mm<br>- Velocidad:<br>15 mm/s   |
| <b>CUBEPRO</b>                          | Cubify  | US\$ 2.899 | Tienda online o Amazon | - CubePro converter software              | - Mono extrusor<br>- Monocromático              | - Dimensiones :<br>285x230x270 mm<br>- Velocidad:<br>15 mm/s   |

**Fuente:** Elaboración propia.

Para poder realizar la impresión de los modelos anatómicos no es necesario solamente contar con los biomateriales correctos y la impresora 3D adecuada. Es necesario el uso de *software* especializado que permita la impresión por capas en adición como se explicó anteriormente. Existen en el mercado aplicaciones licenciadas y aplicaciones *open source* las cuáles serán las responsables de tomar las imágenes y crear la secuencia de inyección para la creación del prototipo de la prótesis que irá siendo modificada hasta tener la versión final que será implantada en el paciente candidato al reemplazo articular. En la Tabla 9.5 el lector encuentra una tabla comparativa de dichas aplicaciones informáticas para el manejo de las impresoras y equipos de impresión descritos en este trabajo.

**Tabla 9.5** Comparación entre *software* para impresoras 3D

| Software | Función | Dificultad de aprendizaje | Compatibilidad con Impresoras | Hardware (PC) | Costo de Licencias |
|----------|---------|---------------------------|-------------------------------|---------------|--------------------|
|----------|---------|---------------------------|-------------------------------|---------------|--------------------|

|                                   |                                                                              |                                                |                                          |                                                                             |                                                                                                                     |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Repetier-Host</b>              | Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code) | Medio<br>- Instrucciones en página de internet | - Alta, sistemas <i>open source</i>      | - Pc alta gamma: procesador i3 o superior<br>- Windows xp o superior        | - Donación mensual de \$5 o licencia ilimitada por \$10<br>- Por montos mayores, funciones y características extra. |
| <b>Pronterface</b>                | Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code) | Alto                                           | - Media, sistemas <i>open source</i>     | - Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior<br>- Windows xp o superior | - Gratis                                                                                                            |
| <b>ReplicatorG</b>                | Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code) | Alto                                           | - Media, sistemas <i>open source</i>     | - Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior<br>- Windows xp o superior | - Gratis                                                                                                            |
| <b>KISSlicer</b>                  | Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code) | Medio                                          | - Alta, sistemas <i>open source</i>      | - Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior<br>- Windows xp o superior | - Básica: gratis<br>- Pro: \$42<br>- Grupal: \$35/licencia. (5 licencias max)<br>- Educativo: \$25/licencia         |
| <b>CubePro converter software</b> | Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code) | Fácil                                          | - Baja, solo sistemas de la marca Cubify | - Pc alta gamma: procesador i3 o superior<br>- Windows 7 o superior         | - Gratis, incluido con la compra de la impresora 3D                                                                 |

|                            |                                  |                                       |                                                   |                                                                                                                                        |                                                                          |
|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cubify Invent</b>       | Diseño y modelaje de archivos 3D | Medio, basado en modelaje CAD         | -Alta<br>-Especial para equipos de la misma marca | -Pc alta gamma: procesador i3 o superior<br>-Windows 7 o superior                                                                      | -Prueba gratis por 14 días<br>-Licencia \$49                             |
| <b>3Dtin</b>               | Diseño y modelaje de archivos 3D | Fácil                                 | - Alta                                            | - Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior<br>- Windows xp o superior<br>- Navegador Google Chrome, Mozilla Firefox o similares. | - Gratis<br>- Aplicación online                                          |
| <b>Tinkercad</b>           | Diseño y modelaje de archivos 3D | Fácil                                 | - Alta                                            | - Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior<br>- Windows xp o superior<br>- Navegador Google Chrome, Mozilla Firefox o similares. | - Gratis<br>- Aplicación online                                          |
| <b>SketchUp</b>            | Diseño y modelaje de archivos 3D | Medio, algunas herramientas complejas | - Alta                                            | - Pc alta gamma: procesador i3 o superior<br>- Windows 7 o superior                                                                    | - Gratis<br>- Pro: \$590, funciones avanzadas y herramientas adicionales |
| <b>Blender</b>             | Diseño y modelaje de archivos 3D | Muy alto                              | - Alta                                            | - Pc alta gamma: procesador i3 o superior<br>- Windows 7 o superior                                                                    | - Gratis                                                                 |
| <b>Solidworks Standard</b> | Diseño y modelaje de archivos 3D | Muy alto                              | - Alta                                            | - Pc alta gamma: procesador i3 o superior<br>- Windows 7 o superior                                                                    | - US\$ 3.995<br>- Versión estudiantil: US\$ 150                          |

Fuente: Elaboración propia.

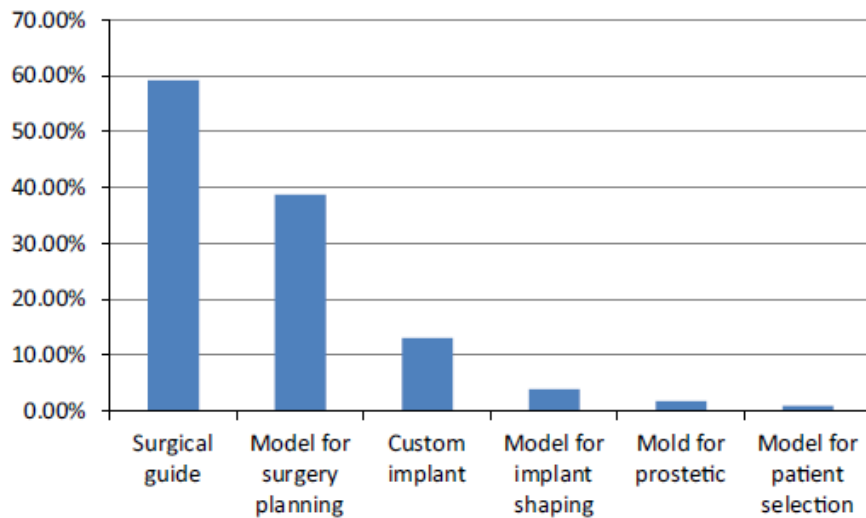
### 9.3.3.2. Tecnologías y casos de éxito en reemplazos protésicos en humanos

Dentro de los resultados publicados sobre impresión 3D, se encuentran los de un meta análisis realizado por el Dr. Tack y colaboradores en el 2016. Allí se muestra que la principal área de avance ha sido en el desarrollo de guías quirúrgicas (60%), seguido de modelos de planificación quirúrgica (38,70%), esto es posible verlo a continuación en la Figura 9.1.

Los resultados del meta-análisis también muestran que existen informes sobre los resultados del uso de la impresión 3D para realizar implantes personalizados (12,17%), moldes para prótesis (3,91%), modelos de modelado de implantes (1,74%) y modelos para la selección de pacientes (0,87%). Obsérvese que algunos papeles usaron técnicas de impresión 3D para múltiples propósitos, resultando en un total mayor al 100%.

Los informes sobre resultados de impresión en 3D se refieren a múltiples dominios quirúrgicos.

**Figura 9.1.** Visión general del uso de técnicas de impresión en 3D como porcentaje del número total de trabajos

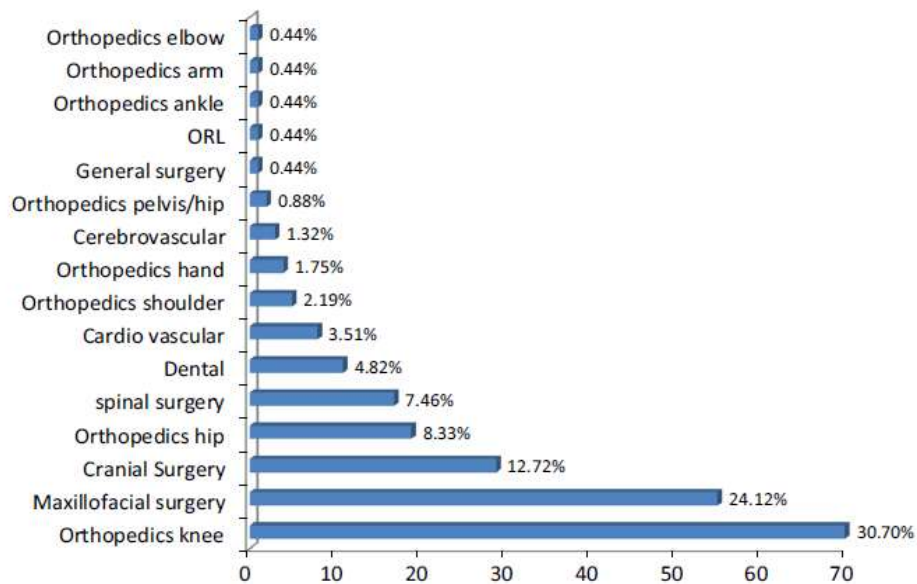


**Fuente:** Philip Tack. (2016, p.5). 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review Tack et al. BioMed Eng OnLine.

En relación con las especialidades quirúrgicas que aprovechan la impresión de 3D para innovar y mejorar el tiempo de planificación, el pre y post operatorio se obtiene que la cirugía ortopédica tiene la mayor proporción, con el 45,18%, distribuido en ortopedia

(30,70%), de cadera (8,33%), de hombro (2,19%) y mano (1,75%), esto como lo muestra la Figura 9.2.

**Figura 9.2.** Resumen de trabajos por campo específico



**Fuente:** Philip Tack. (2016, p.5). 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review Tack et al. BioMed Eng OnLine.

La cirugía maxilofacial también representa una gran proporción (24,12%). Esto es seguido por cirugía craneal y cirugía de la columna vertebral, que representan 12,72% y 7,46%, respectivamente.

**Tabla 9.6.** Tabla de evidencia de aplicaciones quirúrgicas

| Number of studies               | Custom implant | Model for implant shaping | Model for patient selection | Model for surgery planning | Mold for prosthetic | Surgical guides | Total    |
|---------------------------------|----------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|----------|
|                                 | 30             | 9                         | 2                           | 89                         | 4                   | 136             | 270      |
| <i>OR/treatment time</i>        |                |                           |                             |                            |                     |                 |          |
| Not mentioned                   | 11             | 4                         | 2                           | 37                         | 3                   | 68              | 125      |
| Time reduction                  | 17 (4)         | 5 (1)                     | 0                           | 48 (13)                    | 1                   | 53 (28)         | 123 (46) |
| No time difference              | 1 (1)          | 0                         | 0                           | 3 (2)                      | 0                   | 8 (1)           | 12 (4)   |
| Time increase                   | 1              | 0                         | 0                           | 2 (1)                      | 0                   | 7 (5)           | 10 (6)   |
| <i>Accuracy of printed part</i> |                |                           |                             |                            |                     |                 |          |
| Not mentioned                   | 3              | 1                         | 1                           | 4                          | 0                   | 16              | 28       |
| Good/better accuracy            | 26             | 8                         | 1                           | 80 (4)                     | 4                   | 87 (13)         | 205 (17) |
| Average accuracy                | 1              | 0                         | 0                           | 6 (1)                      | 0                   | 23 (3)          | 30 (4)   |
| Bad accuracy                    | 0              | 0                         | 0                           | 0                          | 0                   | 10 (6)          | 10 (6)   |
| <i>Radiation exposure</i>       |                |                           |                             |                            |                     |                 |          |
| Not mentioned                   | 30             | 7                         | 2                           | 77                         | 4                   | 121             | 241      |
| Less radiation                  | 0              | 0                         | 0                           | 8 (1)                      | 0                   | 9               | 17 (1)   |
| equal radiation                 | 0              | 0                         | 0                           | 1                          | 0                   | 2               | 3        |
| Increased radiation             | 0              | 2                         | 0                           | 3                          | 0                   | 4               | 9        |
| <i>Clinical outcome</i>         |                |                           |                             |                            |                     |                 |          |
| Not mentioned                   | 1              | 0                         | 2                           | 10                         | 0                   | 15              | 28       |
| Improved                        | 25 (2)         | 9 (2)                     | 0                           | 73 (8)                     | 4                   | 85 (15)         | 195 (27) |
| Equal                           | 4              | 0                         | 0                           | 7 (1)                      | 0                   | 30 (7)          | 41 (8)   |
| Negative impact                 | 0              | 0                         | 0                           | 0                          | 0                   | 7 (2)           | 7 (2)    |
| <i>Cost</i>                     |                |                           |                             |                            |                     |                 |          |
| Not mentioned                   | 16             | 7                         | 1                           | 52                         | 3                   | 94              | 173      |
| Cheaper                         | 0              | 0                         | 0                           | 4                          | 1                   | 2 (1)           | 7 (1)    |
| Equally expensive               | 0              | 0                         | 0                           | 1                          | 0                   | 1               | 2        |
| More expensive                  | 14 (4)         | 2 (2)                     | 1                           | 32 (21)                    | 0                   | 39 (19)         | 88 (46)  |
| <i>Cost effectiveness</i>       |                |                           |                             |                            |                     |                 |          |
| Cost-effective                  | 1              | 0                         | 0                           | 8                          | 1                   | 10              | 19       |
| Neutral                         | 0              | 0                         | 0                           | 2                          | 0                   | 1               | 3        |
| Not cost-effective              | 0              | 0                         | 0                           | 1                          | 0                   | 6               | 7        |

(x) Number of studies quantifying the data with numbers/statistics

**Fuente:** Philip Tack. (2016, p.6). 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review Tack et al. BioMed Eng OnLine.

Adicionalmente, para un estudio más profundo sobre los resultados de los usos e impacto de la impresión 3D en el ámbito quirúrgico en la Tabla 9.6 se muestran con mayor profundidad las áreas de aplicación. Los datos están organizados por el uso de la tecnología y la disciplina. En cada categoría se da una visión general del número de trabajos.

El total de 270 excede el número total de trabajos, ya que un documento puede tratar múltiples usos de la impresión 3D, lo anterior de acuerdo al trabajo del Dr. Tack y colaboradores (2016). La primera variable de la tabla es el impacto en el tiempo de operación (OR) tiempo / tiempo de tratamiento.

Las reducciones en el tiempo de operación se evalúan como variables. El último de estos, la rentabilidad, sólo se informa cuando los autores mencionan explícitamente la rentabilidad. Una versión más amplia de la tabla de evidencia se puede encontrar en un archivo adicional beneficioso. En segundo lugar, se evalúa la precisión de la pieza impresa. Como se explicó anteriormente, la exposición a la radiación sólo se tiene en cuenta cuando el cambio en la exposición a la radiación se menciona explícitamente en el documento. El resultado médico y el costo son los últimos regulares.

### 9.3.3.3. Avances y no avances en el uso de tecnología 3D para impresión de prótesis

En la Tabla 9.7 se muestran una serie de definiciones que serán utilizadas para el tratamiento de las ventajas y desventajas del estudio realizado por el Dr. Martelli (2016), con respecto al uso de la impresión 3D aplicado al ámbito de la salud y en el medio hospitalario.

**Tabla 9.7.** Definición de las categorías que identifican las ventajas y desventajas de la impresión 3D en un entorno quirúrgico.

| <i>Category</i>                              | <i>Definition</i>                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Accuracy                                     | Ability of 3D printing and image acquisition techniques to reproduce patient anatomy or to design precise shapes                                               |
| Characteristics of the 3D printing technique | Technical properties of the 3D printing technique: materials available, post-processing manipulations, etc                                                     |
| Costs                                        | Increase or decrease of costs resulting from the use of 3D printing (hardware, software, material...)                                                          |
| Feasibility                                  | Ability to be performed in clinical routine                                                                                                                    |
| Indications                                  | Purposes for which 3D printing is helpful or without interest                                                                                                  |
| Intraoperative guidance                      | Ability to guide the surgeon in the operating room, directly at the surgical site                                                                              |
| Library and Replication possibilities        | Ability to establish a databank of objects in STL format and to manufacture them when necessary                                                                |
| Multidisciplinary approach                   | Collaborations between different stakeholders (surgeon, radiologist, engineer, etc)                                                                            |
| Patient education                            | Communication between surgeon and patient to explain the pathology and the surgical procedure                                                                  |
| Patient outcome                              | Aesthetic or functional outcomes of the surgical procedure                                                                                                     |
| Preoperative planning                        | Processes to plan the surgical procedure: definition of the surgical problem, identification of the technical aspects and simulation of the surgical procedure |
| Properties of the 3D object obtained         | Technical features of the 3D object, such as color, height, mechanical or thermal properties                                                                   |
| Revision or reoperation                      | Ability to plan and perform a surgical revision                                                                                                                |
| Risks and complications                      | Increase or decrease in the incurred risks for patient and surgeon, and in the surgical complications for the patient                                          |
| Surgeon's skills and expertise               | Necessity for specific surgeon skills or expertise to perform the surgical procedure                                                                           |
| Teaching and training                        | Tool for training medical students and residents                                                                                                               |
| Time—surgical procedure                      | Increase or decrease of time needed for the surgical procedure                                                                                                 |
| Time—preparation                             | Increase or decrease of time needed to plan the procedure and manufacture 3D objects                                                                           |

3D, 3-Dimensional; STL, standard tessellation language.

**Fuente:** Martelli, Serrano, et al. (2016, p.1.487). Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review.

El tiempo ahorrado podría considerarse como uno de los elementos favorables o beneficiosos, según se muestra en la Tabla 9.8, pero esa podría ser una apreciación subjetiva

y depende de la perspectiva utilizada para evaluar o apreciar el tiempo ahorrado. En términos monetarios, por ejemplo, 10 minutos ahorrados en una sala de operaciones pueden potencialmente tener el mismo valor que una hora de trabajo en el diseño del objeto o su producción, como lo indicó Martelli y sus colaboradores. Esta consideración se abordó en uno de los estudios incluidos en el que el costo de tiempo de operación se estimó como 16 euros por minuto y el costo de un modelo anatómico 3D entre 200 y 250 euros.

**Tabla 9.8. Distribución global de las ventajas reportadas en los 158 estudios realizados por el Dr. Martelli sobre el uso de la impresión 3D en el diseño de prótesis**

| <i>Category</i>                              | <i>n (%)</i> | <i>Advantages</i>                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                              |              | <i>Examples</i>                                                                                                                                                  |
| Preoperative planning                        | 77 (48.7)    | Direct visualization of malformations<br>Better anticipation of anatomic difficulties                                                                            |
| Accuracy                                     | 53 (33.5)    | Precise implant shapes<br>Accurate guides and templates<br>No need for correction or manipulation of the model                                                   |
| Time—surgical procedure                      | 52 (32.9)    | Decreased operating time<br>Increased time-efficiency of the surgical procedure                                                                                  |
| Risks and complications                      | 48 (30.4)    | Decreased incidence of postoperative complications such as blood loss, infection, etc<br>Decreased radiologic exposure of patients during the surgical procedure |
| Intraoperative guidance                      | 38 (24.1)    | Positioning improvement                                                                                                                                          |
| Patient outcome                              | 25 (15.2)    | Better surgical results<br>Minimal posttreatment discomfort<br>Better aesthetic results                                                                          |
| Costs                                        | 24 (15.2)    | Less cost per patient<br>Less cost per implant/guide/model                                                                                                       |
| Teaching and training                        | 19 (12.0)    | Teaching and training tools                                                                                                                                      |
| Feasibility                                  | 16 (10.1)    | No equipment required (external manufacturer)<br>Easy to integrate into the workflow                                                                             |
| Properties of the object obtained            | 15 (9.5)     | Good mechanical and thermal properties<br>Easy to work with                                                                                                      |
| Time—preparation                             | 14 (8.9)     | Faster than conventional techniques for producing implants                                                                                                       |
| Patient education                            | 13 (8.2)     | Improved transfer of information to patients<br>Improved communication with patients                                                                             |
| Characteristics of the 3D printing technique | 10 (6.3)     | Alternative to 3D imaging techniques<br>Automated fabrication                                                                                                    |
| Library and Replication possibilities        | 7 (4.4)      | Creation of model library for replication                                                                                                                        |
| Indications                                  | 5 (3.2)      | Many indications                                                                                                                                                 |
| Surgeon skills and expertise                 | 4 (2.5)      | Less requirement for a surgeon expertise                                                                                                                         |
| Multidisciplinary approach                   | 3 (1.9)      | Better coordination with other specialists allowed                                                                                                               |
| Revision or reoperation                      | 2 (1.5)      | Ease of access for surgical revision or reoperation                                                                                                              |

3D, 3-Dimensional.

**Fuente:** Martelli, Serrano, et al. (2016, p 1.491). Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review.

En este hospital se estimó que el uso del modelo ahorraría un promedio de 25,2 minutos por procedimiento, es decir, 403 euros en términos monetarios. Por lo tanto, en dicho caso, el tiempo ahorrado era probable que contrarrestara el costo del modelo 3D.

También se deben considerar en este cálculo otras consecuencias de la disminución del tiempo de operación, incluyendo un tiempo de anestesia acortado, que se espera que en general disminuya el requerimiento de analgésicos, el riesgo de infección, y posiblemente, incluso disminuya la necesidad del uso de antibióticos. Sin embargo, es muy difícil generalizar tales cálculos en los hospitales, ya que también se deben considerar muchos otros factores, como el nivel de urgencia, el tipo de procedimiento quirúrgico, el número de casos por año, el país, etc. Los cambios en esta dirección podrían producirse rápidamente con una mejora en la accesibilidad del *software* de modelado 3D.

Con respecto a acciones que pueden considerarse desventajosas como lo muestra la Tabla 9.9, se observa que el costo de la técnica es también una limitación importante reportada en los estudios incluidos, que no es específica de las técnicas de impresión 3D.

De hecho, el componente del costo es muy a frecuentemente una fuente de las preocupaciones cuando se introducen nuevas y costosas tecnologías en la práctica médica. Este punto, sin embargo, es probable que evolucione muy rápidamente en los próximos años con la disminución del costo de la impresión 3D. Este costo no es la única barrera para la implementación ampliada de la técnica en los hospitales.

Además, el impacto de la organización fue un problema para varios equipos quirúrgicos que subrayaron que la cooperación entre muchas partes interesadas era compleja y era un obstáculo para el uso de la técnica.

El componente informático ha representado un escollo, pues el *software* 3D requiere habilidades específicas que la mayoría de los cirujanos no tienen. Teniendo en cuenta la enorme responsabilidad de los cirujanos en la etapa crítica de la planificación preoperatoria para asegurar el resultado de sus pacientes, algunos cirujanos pueden experimentar un miedo de perder el control sobre las decisiones que afectan a sus pacientes. En contraste, los

beneficios percibidos de la impresión 3D a la planificación preoperatoria se informaron en casi la mitad de los estudios incluidos.

**Tabla 9.9. Distribución global de las desventajas reportadas en los 158 estudios realizados por el Dr. Martelli sobre el uso de la impresión 3D en el diseño de prótesis**

| Category                                     | Disadvantages |                                                                                                           |
|----------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                              | n (%)         | Examples                                                                                                  |
| Accuracy                                     | 33 (20.9)     | Possible deviations between the computer 3D model and the physical object (image resolution)              |
| Time--preparation                            | 31 (19.6)     | Additional preoperative planning time<br>Need to anticipate the production in advance                     |
| Costs                                        | 30 (19.0)     | Costs of the equipment (CAD software, 3D printing machine, etc)<br>Additional cost per patient            |
| Properties of the object obtained            | 19 (12.0)     | Poor mechanical properties<br>Low solidity                                                                |
| Risks and complications                      | 11 (7.0)      | Irritation reactions with residual material monomers<br>Increased patient radiologic exposure for imaging |
| Multidisciplinary approach                   | 9 (5.7)       | Complex coordination<br>Too many stakeholders in the process                                              |
| Characteristics of the 3D printing technique | 8 (5.1)       | Less efficiency of technique used compared with other production technique                                |
| Indications                                  | 7 (4.4)       | Limited indications                                                                                       |
| Feasibility                                  | 6 (3.8)       | Supplementary equipment required (internal production)                                                    |
| Patient outcome                              | 5 (3.2)       | Lack of data for determining patient outcome                                                              |
| Surgeon's skills and expertise               | 5 (3.2)       | Results depended on the surgeon's skill and talent                                                        |
| Time--surgical procedure                     | 4 (2.5)       | Additional operating time                                                                                 |
| Preoperative planning                        | 2 (1.3)       | No improvement to diagnosis                                                                               |
| Library and Replication possibilities        | 1 (0.6)       | Low reproducibility of the impression material                                                            |

3D, 3-Dimensional; CAD, computer-aided design; STL, standard tessellation language.

**Fuente:** Martelli, Serrano, et al. (2016, p. 1.492). Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review.

#### 9.3.3.4. Biomateriales utilizados en la impresión 3D

Uno de los elementos evaluados en la investigación de Martelli (2016) fueron los biomateriales utilizados en el ámbito quirúrgico hospitalario. Un total de 158 estudios cumplieron los criterios de selección y fueron adecuados para el análisis completo

El número de estudios publicados mostró un aumento regular año a año entre 2005 y 2011, antes de disminuir ligeramente en 2012, alcanzando un pico en 2013, y disminuyendo de nuevo en 2014.

En la Tabla 9.10 se muestran los principales biomateriales utilizados en la fabricación de prótesis con tecnología 3D para uso en pacientes humanos.

**Tabla 9.10.** Distribución del material utilizado según la técnica de impresión 3D utilizada en los 158 estudios incluidos por el Dr. Martelli.

| Material used                   | 3D printing technique used          |                                  |                        |                                     |                                  |                          | Technique not clearly stated, n (%) |
|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
|                                 | Direct metal laser sintering, n (%) | Fused deposition modeling, n (%) | Inkjet printing, n (%) | Powder depositional modeling, n (%) | Selective laser sintering, n (%) | Stereolithography, n (%) |                                     |
| Acrylonitrile butadiene styrene | 2 (1.3)                             | 13 (8.2)                         |                        |                                     |                                  |                          | 1 (0.6)                             |
| Cobalt chromium molybdenum      | 1 (0.6)                             | 1 (0.6)                          |                        |                                     |                                  |                          |                                     |
| Hydroxyapatite                  |                                     |                                  |                        |                                     |                                  | 2 (1.3)                  |                                     |
| Nylon                           |                                     |                                  |                        |                                     | 4 (2.5)                          |                          | 1 (0.6)                             |
| Plaster                         |                                     |                                  | 5 (3.2)                | 1 (0.6)                             | 2 (1.3)                          |                          | 8 (5.1)                             |
| PMMA                            |                                     |                                  |                        |                                     | 1 (0.6)                          |                          | 2 (1.3)                             |
| Polyamide                       |                                     |                                  |                        |                                     | 12 (7.6)                         |                          |                                     |
| Polybutadiene-styrene resin     |                                     |                                  |                        |                                     |                                  | 3 (1.9)                  |                                     |
| Polycaprolactone                |                                     | 1 (0.6)                          |                        |                                     |                                  |                          |                                     |
| Polycarbonate                   |                                     | 1 (0.6)                          |                        |                                     |                                  |                          |                                     |
| Polylactic acid                 |                                     | 2 (1.3)                          |                        |                                     |                                  |                          |                                     |
| Polypropylene-polyester         |                                     |                                  |                        |                                     |                                  |                          | 1 (0.6)                             |
| Polystyrene                     |                                     |                                  |                        |                                     | 6 (3.8)                          |                          | 1 (0.6)                             |
| Resin (acrylic)                 |                                     |                                  | 6 (3.8)                |                                     | 2 (1.3)                          | 24 (15.2)                | 5 (3.2)                             |
| Silicone                        |                                     |                                  | 2 (1.3)                |                                     |                                  |                          |                                     |
| Starch                          |                                     |                                  | 1 (0.6)                |                                     |                                  | 1 (0.6)                  |                                     |
| Titanium                        | 2 (1.3)                             | 2 (1.3)                          |                        |                                     | 2 (1.3)                          |                          | 3 (1.9)                             |
| Wax                             |                                     |                                  |                        |                                     |                                  |                          |                                     |
| Material not clearly stated     |                                     | 5 (3.2)                          | 16 (10.1)              | 1 (0.6)                             | 8 (5.1)                          | 15 (9.5)                 | 24 (15.2)                           |

Material distribution not equalling 100% can be explained by some studies reporting the use of several materials. PMMA, Polymethylmethacrylate.

**Fuente:** Martelli, Serrano, et al. (2016, p.1.490). Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review.

Como se observa las resinas acrílicas son las que cuentan con un mayor uso para la impresión de las prótesis con un 15,2%; y otro grupo importante lo constituyen los materiales no claramente indicados para esta industria o en experimentación con un porcentaje igual.

Esto refleja que todavía la tecnología que se compone de tres pilares: dispositivos de impresión, aplicaciones de *software* y materiales de impresión para creación de las prótesis se encuentra en desarrollo.

## 9.4. Etapa IV. Análisis de datos

### 9.4.1. Procesamiento y análisis de los datos sobre las tecnologías disponibles para impresión 3D en el mercado.

Como puede verse en la Tabla 9.2, ambas prótesis poseen características muy similares siendo las grandes diferencias primeramente el costo, ya que las prótesis estándar

van desde 2000 dólares o más, dependiendo de la lesión y el tiempo de la rehabilitación, mientras que con las prótesis impresas en 3D, sea que se coticen a una empresa externa o las elabore cada persona, tienen un costo mucho menor.

Cabe destacar que esto es válido para prótesis que puedan colocarse de forma externa, para las prótesis internas como placas, pines, estructuras para huesos como la pelvis o el fémur, siempre requerirán de la aprobación e intervención de un cirujano y esto incrementará el costo, dejándolo muy parecido a la estándar, ya que ambas se elaboran con materiales metálicos como el titanio.

El segundo aspecto similar es la disponibilidad, en ambos casos se debe trabajar con un médico especializado en ortopedia y se deben conseguir a contra pedido en alguna empresa especializada en la elaboración de dichas prótesis. La diferencia de las prótesis impresas en 3D, es que, si se poseen los conocimientos y los equipos, cada persona puede elaborar las prótesis, teniéndolas de manera inmediata y pudiendo realizarles modificaciones conforme avanza el proceso de rehabilitación.

En la Tabla 9.3 se encuentra una comparación entre diferentes materiales que pueden ser utilizados para elaborar las prótesis. Para asegurar que la comparación fuera lo más real posible, se utilizaron datos provistos por las hojas de datos de los productores de cada material, esto permitió identificar cuáles materiales son más adecuados para elaborar prótesis funcionales y duraderas.

En el mercado existen una gran variedad de impresoras 3D; sin embargo, si se desea fabricar prótesis para cualquier raza canina, es necesario que la impresora cumpla ciertos criterios, especialmente en el tamaño de la figura que puede imprimir, por lo que los datos de algunas de las impresoras que mejor se adaptan a esta tarea fueron tabulados en la Tabla 9.4.

En la Tabla 9.5 se presenta una lista de diferentes aplicaciones de *software* que son necesarios para poder, primero, diseñar y modelar la prótesis y luego un segundo *software* que es el que se encarga de convertir el archivo del modelo en un archivo para impresión. En la tabla se especificaron las funciones de cada *software*, junto con los requerimientos de

*hardware* y los costos de las licencias, lo que permitió analizar cuáles son los más adecuados a utilizar si se desea como un pasatiempo o para un trabajo más serio.

**Tabla 9.11** Evaluación del equipo, material y *software* óptimos para la elaboración de las prótesis 3D

| Impresora                 | Material                              | Software                                                           |
|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>Prusa i3 Hephestos</b> | TCP FLEX (Co-Poliester Termoplástico) | - Diseño: Tinkercad<br>- Impresión: KISSlicer                      |
| <b>Witbox</b>             | HDPE                                  | - Diseño: SketchUp<br>- Impresión: Repetier-Host                   |
| <b>CUBEPRO</b>            | NinjaFlex                             | - Diseño: Cubify Invent<br>- Impresión: CubePro converter software |

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 9.11, existen diferentes combinaciones de impresoras con materiales y *software*, estas combinaciones están seleccionadas de acuerdo con el costo, siendo la primera la combinación más barata y la última la más cara. En esta tabla no se toman en consideración los materiales metálicos, ya que las impresoras para estos materiales son de un costo muy elevado, de la misma forma, tampoco se tomó en cuenta el *software* Solidworks por su alto costo.

En la primera combinación se cuenta con la impresora Prusa i3 Hephestos, la más barata de las impresoras, junto con los *softwares* de trabajo cuyas licencias son gratis y el precio del material no es muy elevado. El *software* de diseño le permite a la persona diseñar sus propias piezas y ya que el precio de las impresoras y el material no es muy alto, los familiares pueden elaborar sus propias prótesis para sus mascotas. Sin embargo, deberán buscar asistencia de algún médico para asegurar que el diseño sea adecuado para el paciente.

En la segunda combinación está la Witbox, esta permite un área de impresión mayor y mejor compatibilidad de *software* y materiales de impresión. El *software* de impresión requiere de la compra de una licencia, pero el costo es muy bajo y el *software* posee mejores herramientas. Sin embargo, es compatible con otros *softwares* incluyendo aquellos que son

gratis. El *software* de modelado también es gratis, pero posee mejores herramientas de modelado, además tiene una versión *pró* que agrega funciones adicionales por la compra de la licencia. El material es más fuerte que el anterior y los acabados son más profesionales.

La tercera combinación presenta la impresora CubePro, esta es la más cara, pero ofrece la mayor área de trabajo, así como su propio *software* dedicado a modelado e impresión. Esta impresora es bastante cara por lo que no muchas personas podrían conseguirla. Sin embargo, es posible que empresas que se dediquen a la impresión 3D la adquieran. El material ofrece las mejores características para elaborar una prótesis y el *software* de diseño posee herramientas de modelado más complejas para que los modelos sean lo más precisos posible.

Como se puede apreciar las impresoras 3D ofrecen diferentes combinaciones de sistemas, materiales y *software*, por lo que tanto familiares como empresas pueden elaborar las prótesis a su medida y con los elementos que crean necesarios, siempre teniendo en cuenta la supervisión de un experto tal como lo es un médico ortopedista, por ejemplo.

#### **9.4.2. Procesamiento y análisis de los datos sobre las tecnologías de prótesis de impresión 3D en cirugía ortopédica humana.**

##### **9.4.2.1. Uso de guías quirúrgicas para reemplazos con tecnología 3D**

Los datos recolectados a partir de los artículos de revisión permiten concluir que las guías quirúrgicas están bien incorporadas en cirugía ortopédica, cirugía espinal, cirugía maxilofacial y cirugía dental, con más de la mitad de los estudios seleccionados de esta revisión mencionando el uso de guías, lo anterior según se encontró en los artículos de los doctores Fuller (2016), Tack (2016) y Martelli (2016).

Los cirujanos de rodilla parecen estar más interesados en el uso de guías. Los resultados positivos únicos de los papeles ortopédicos de rodilla a partir de 2012, dieron lugar a resultados más neutrales años después, lo que sugiere que la emoción inicial se moderó cuando la tecnología se hizo más común.

Estudios más recientes no mencionan diferencias sustanciales en el resultado clínico entre las guías específicas del paciente y la instrumentación estándar para la artroplastia total de rodilla. (Martelli, 2016). El aumento de la complejidad de los procedimientos y los cirujanos de bajo volumen con menos experiencia, favorecen el uso de guías quirúrgicas. Aparte de los resultados clínicos, las guías específicas del paciente reducen el número de bandejas quirúrgicas necesarias y reducen ligeramente el tiempo de operación.

Como resultado de las mejoras en la técnica quirúrgica gracias al uso de las guías, se tiene una reducción en el tiempo destinado al acto quirúrgico, lo anterior cuando los cirujanos se han acostumbrado más al procedimiento guiado, de acuerdo con uno de los trabajos seleccionados. La rentabilidad sigue siendo probada, pero estudios recientes que mencionan la rentabilidad de las guías de rodilla sugieren que la tecnología no ofrece suficientes ventajas para cubrir los costos adicionales asociados con las guías.

Por lo tanto, las guías quirúrgicas parecen reducir el tiempo de la sala de operaciones y mejorar los resultados médicos. Por lo menos así quedó demostrado en los datos suministrados por el Dr. Martelli y colaboradores en su informe para la cirugía espinal y craneal. Esto se debe a la simulación en modelos y a la traducción exacta de la cirugía preliminar por medio de guías.

#### ***9.4.2.2.Reducciones en el tiempo de operación***

Uno de los beneficios que ha sido posible identificar con el uso de prótesis generadas a partir de impresión en 3D es el tiempo de la sala de operaciones. Lo anterior, siempre ha sido uno de los principales argumentos para la impresión médica en 3D.

De los 227 artículos, 42 describieron el impacto preciso del uso de la tecnología de impresión 3D en el tiempo sala de operaciones. Para la mayoría de las aplicaciones, la impresión 3D resultó en ahorros de tiempo. Los resultados se presentan en la Tabla 9.12.

Tabla 9.12. Impacto reportado de la impresión médica 3D en el tiempo de la sala de operaciones

|                              |                                   | Count | Average (in min) | Standard deviation |
|------------------------------|-----------------------------------|-------|------------------|--------------------|
| Cranial surgery              | Custom implant                    | 4     | -69.16           | 92.62              |
| <i>Cranial surgery</i>       | <i>Custom implant</i>             | 3     | -15.81           | 7.74               |
| Maxillofacial surgery        | Model for implant shaping         | 1     | -42              |                    |
| Cerebrovascular              | Model for surgery planning        | 1     | -30              |                    |
| Maxillofacial surgery        | Model for surgery planning        | 5     | -5.8             | 78.52              |
| <i>Maxillofacial surgery</i> | <i>Model for surgery planning</i> | 4     | -43.5            | 24.52              |
| Orthopedics hip              | Model for surgery planning        | 2     | 0.75             | 6.75               |
| Spinal surgery               | Model for surgery planning        | 2     | -45.5            | 17.5               |
| Maxillofacial surgery        | Surgical guide                    | 6     | -60.33           | 61.85              |
| Orthopedics ankle            | Surgical guide                    | 1     | -12              |                    |
| Orthopedics hip              | Surgical guide                    | 4     | -0.025           | 5.72               |
| Orthopedics knee             | Surgical guide                    | 20    | -6.73            | 13.68              |

*Italic text* outlier correction (outlier defined as study with a highly different outcome compared to the average of the remaining studies within the group)

**Fuente:** Tack. (2016, p.6). 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review Tack et al. BioMed Eng OnLine.

El uso de aplicaciones 3D (*software* de control de impresión), las guías quirúrgicas para la cirugía maxilofacial, los modelos para la planificación quirúrgica espinal y maxilofacial y los modelos para moldear implantes utilizados en cirugía maxilofacial, parecen beneficiarse más de la tecnología, como fue descrito en la Tabla 9.6.

El Dr. Hong Cai del departamento de Cirugía Ortopédica del Peking University Third Hospital, Beijing, China; sugiere que las técnicas de impresión 3D pueden ser utilizadas con éxito para imprimir directamente el implante final, más comúnmente en la cirugía craneal. Los implantes craneales personalizados parecen ser precisos y disminuir el tiempo en la sala de operaciones, mientras que están asociados con mejores resultados clínicos en casi todos los estudios considerados, como lo indicó Hong Cai (2015).

Asimismo, las bandejas impresas 3D y las placas de fijación mejoran los resultados médicos y reducen el tiempo de la sala de operaciones para la cirugía maxilofacial. Además, un estudio seleccionado presentó la ventaja adicional de mejorar la formación ósea y la angiogénesis con el uso de implantes personalizados.

Algunas reducciones de tiempo en sala de operaciones son demasiado pequeñas para resultar en beneficios relevantes. Aunque la reducción del tiempo de operación es una ventaja importante que podría contribuir a una reducción financiera significativa, rara vez se considera el aumento del tiempo necesario para la planificación quirúrgica. Pocos estudios mencionaron explícitamente el aumento del tiempo de preparación de la cirugía.

#### **9.4.2.3. ¿Son más costosas o más baratas las prótesis desarrolladas con tecnologías 3D?**

El costo de las piezas impresas en 3D depende en gran medida de los costos asociados a la instalación de los equipos de fabricación. Las impresoras 3D de escritorio permiten modelos y guías en 3D baratos, pero tienen menos aprobaciones y controles de calidad que los fabricantes comerciales, que deben cumplir con los estándares de alta calidad. Adicionalmente, los costos informados de las partes auto-impresas varían de autor a autor, y pocos mencionan los costos directos de preparación como los generados por la parte de imágenes médicas (CT, RM), impresiones múltiples, *software* y computadora; así como el costo de tiempo involucrado en el diseño del modelo.

La heterogeneidad de estas partes impresas evita un análisis más profundo a la fecha de 2016 en que se realiza esta investigación, lo anterior como fue extraído de las publicaciones de los doctores Fuller (2016), Tack (2016) y Martelli (2016).

El 7% de los autores consultados indica que la rentabilidad es cuestionable, pues concluyen que el uso de la impresión 3D no es rentable. Varios autores mencionan que la complejidad de los casos puede justificar el coste adicional de las guías quirúrgicas. Cada vez es más importante que los médicos e investigadores consideren los aspectos económicos de las nuevas tecnologías y técnicas, pues como se indicó en el párrafo anterior existen muchos costos que no son considerados. Para evaluar la aceptabilidad de la tecnología, se necesitarían estudios más completos de rentabilidad, tanto en casos complejos como en casos de rutina mediante la impresión 3D, lo anterior según Martelli (2016).

#### ***9.4.2.4.Implantes personalizados y su impacto quirúrgico***

Los expertos internacionales que han sido consultados para este trabajo indican que los modelos anatómicos pueden utilizarse como moldes para la fabricación de prótesis; así como fue mostrado en los resultados de los doctores Fuller (2016) y el Dr. Tack (2016) y sus respectivos colaboradores. Además de la cirugía ortopédica que es en la que se muestra mayor desarrollo, también se observaron aplicaciones en cirugía craneal, de oído, cirugía de aumento de mentón, se han utilizado moldes protésicos impresos en 3D específicos de pacientes.

Dichos diseños impactaron en una disminución del tiempo quirúrgico y un mejor resultado estético debido a la coincidencia del perfil personal. Esto es especialmente cierto para los hospitales que deciden producir implantes personalizados en casa, no sólo en términos de los equipos necesarios, sino también la experiencia técnica no necesariamente disponible dentro de su institución.

Como resultado, la impresión 3D parece ser externalizada con frecuencia a una empresa externa para esta aplicación, utilizando a menudo costosas y complejas técnicas que los hospitales pueden no ser capaces de pagar en el actual entorno financiero. Como parte de esta revisión, se observa, por ejemplo, que una empresa externa fabricaba mallas de titanio personalizadas usando sinterización directa de láser de metal, lo cual es un proceso muy costoso. Además, algunas consideraciones regulatorias en el diseño y fabricación de dispositivos implantables que son impresos con tecnología en 3D siguen siendo muy difíciles para los hospitales, como lo indica Martelli (2016).

De hecho, los controles de calidad que probablemente impondrán las autoridades sanitarias para garantizar la seguridad y la sostenibilidad de los productos impresos en 3D aumentarán la presión sobre los hospitales con el fin de fabricar implantes internos que cumplan los estándares reglamentarios. La Administración de Drogas y Alimentos (FDA) está explorando actualmente maneras de desarrollar nuevos estándares que tomarían en cuenta las diferencias entre la fabricación tradicional y aditiva (impresión 3D), y también la cuestión de la fabricación interna en hospitales.

## 9.5. Etapa V. Comprobación de la hipótesis

De acuerdo con los datos recabados en las tablas 9.2 a 9.9, junto con el análisis de la Tabla 9.6, se puede comprobar que efectivamente se puede validar la hipótesis.

Los materiales para realizar las prótesis poseen características similares a los usados en las prótesis comunes, con valores de durabilidad y flexibilidad similares o iguales y en algunos casos mayores.

También la facilidad de algunos *softwares* de diseño permite elaborar prótesis tanto funcionales, como estéticas que se acoplarían más fácilmente al paciente, ya que se pueden diseñar basándose en la forma de la extremidad o la parte donde se ubicará la prótesis.

Otro aspecto a destacar es que los mismos familiares serán capaces de realizar las prótesis, requiriendo solamente el consejo de algún experto en medicina para el proceso de rehabilitación. Gracias a esto los tiempos de prueba y error, así como las modificaciones de las prótesis se darán en periodos de tiempo más cortos.

Finalmente, en caso de que no se puedan conseguir las impresoras o no se posea el conocimiento para manejar los *softwares* de modelado, ya existen empresas que trabajan la tecnología del modelado e impresión en 3D, estando entre las más conocidas 3Dsystems, la cual participó en la creación de un par de prótesis para un perro llamado Derby, o también empresas dedicadas exclusivamente a la elaboración de prótesis con impresoras 3D.

Ciertamente la tecnología de la impresión en 3D permite elaborar prótesis de manera rápida y eficiente, hechas a la medida y a un costo menor que las prótesis tradicionales, manteniendo las mismas características medicinales que tienen las prótesis estándar y en la mayoría de los casos, la calidad de vida de los animales tratados con prótesis 3D es mejor que cuando tenían las prótesis estándar.

## **9.6. Etapa VI. Difusión de resultados**

La difusión de los resultados de la investigación hecha se realizará mediante la confección de un informe de trabajo final de graduación (Tesis) y la creación de un borrador de artículo de publicación para ser remitido a una revista de línea biomédica indexada.

Dicho artículo puede ser encontrado en la sección de apéndices punto 12.3. por parte del lector.

## 10. Conclusiones

### 10.1. Conclusiones de la investigación

El fin primario de esta investigación era valorar si el uso de la tecnología 3D para la creación de prótesis es viable, y ayuda a mejorar la calidad de vida de los pacientes. A consideración del autor, el objetivo principal sí se cumple y fue satisfecha la hipótesis principal planteada.

Las impresoras 3D sirven para hacer prótesis a la medida de los pacientes, ya que se comprobó que los materiales utilizados para esta tecnología, como el ninjaflex o el TCP flex, poseen características de flexibilidad y durabilidad adecuados para la elaboración de las mismas. Además, las impresoras de tamaños amplios como la Cubepro o la Prusa i3 hephestos permiten elaborar prótesis ya sean grandes o pequeñas para los pacientes.

En relación con los resultados de uso de impresión 3D para el desarrollo en general de prótesis, tanto para humanos como animales, los resultados mostraron que los costos y disponibilidad de las prótesis son menores que las prótesis fabricadas de la manera estándar. Sin embargo, como lo indicó el Dr, Cai (2015) los resultados de la impresión con impresión Ad Hoc en medio hospitalario con impresoras normales, no es la misma calidad a la producida cuando las prótesis son creadas a través de aplicaciones y maquinaria industrial.

Es posible afirmar que existen casos de éxito a nivel de cirugía en especies animales y en humanos, donde las prótesis creadas con tecnología 3D se adaptaron de manera correcta a las estructuras del receptor (paciente). Estas prótesis ya fueron implementadas con éxito en las historias de Derby y TurboRoo, los cuales fueron tratados con prótesis impresas en 3D y gracias a los registros tomados por sus familiares y los médicos veterinarios que han trabajado con ellos, se evidenció una gran mejoría en los mismos.

Existe por parte de la industria médica y de ingeniería biomédica, un alto interés en desarrollar de manera masiva esta tecnología, de manera que sea posible el disminuir los costos y que con ello se pudiese realizar la creación de un nuevo segmento comercial; el suministro para uso hospitalario de prótesis a la medida creadas con biomateriales de inyección multi-capa. Esto se puede afirmar a partir de los desarrollos hechos por empresas

como Orthopets que se dedican a la fabricación de prótesis para pacientes usando la tecnología de impresión en 3D.

A partir de los resultados mostrados por Martelli (2016) y Fuller (2016) sobre el uso de la impresión 3D, es posible afirmar que las técnicas en cirugía ortopédica han cambiado y continuarán cambiando en el corto y mediano plazo para esta especialidad quirúrgica.

Un mejor conocimiento de la anatomía 3D específica del paciente es ofrecida al cirujano por la impresión 3D, mediante la cual le permite a los cirujanos anticiparse a los posibles problemas que pudieran surgir durante el procedimiento quirúrgico. Por lo tanto, es potencialmente posible mejorar el resultado esperado del acto quirúrgico al paciente que es sometido a un reemplazo protésico.

Parece ser importante en este campo continuamente evolutivo y altamente especializado, que los cirujanos aceptan el apoyo de técnicos externos sin temer la pérdida de su liderazgo. Lo anterior gracias a que una función de esta tecnología es proporcionar modelos seguros, reproducibles y confiables a los cirujanos, y con ello se tiene un tiempo operatorio reducido, así como una mejora en los resultados de los pacientes en comparación con las técnicas quirúrgicas tradicionales.

Sin embargo, es necesario un seguimiento a largo plazo de las técnicas para determinar su relación de costo/beneficio, esto a partir de una comparación estadística de los pacientes sometidos a una intervención quirúrgica con el uso de esta tecnología.

Un punto que también está sujeto a mejoras y mayor control en los años próximos es referente a los controles de calidad en la producción de los dispositivos protésicos generados a partir de la impresión 3D. De acuerdo con la información obtenida sobre la posición de la FDA, dicha organización está explorando actualmente maneras de desarrollar nuevos estándares que tomarían en cuenta las diferencias entre la fabricación tradicional y aditiva (impresión 3D), así como los estándares para fabricación de prótesis de manera interna en hospitales, para garantizar que el dispositivo creado (personalizado) sea de calidad similar a los existentes, a los dispositivos estándar que son de venta regular en el mercado.

Por tanto, se puede concluir que esta es una tecnología que está actualmente en desarrollo y deben darse mayores resultados de casos para tener más evidencia científica al respecto.

## **10.2. Recomendaciones**

Si se desea abordar más en el tema de las prótesis para animales y pacientes humanos, se recomienda contar con la asesoría de algún experto en el tema como un cirujano especializado en ortopedia, por ejemplo.

Aprovechando la ayuda del experto se podrían conocer otros aspectos en los que la tecnología 3D pudiera influir en la salud humana; y se podrían abordar otros temas como el desarrollo de placas, pines, estructuras de soporte para huesos, etc, generados con tecnología de impresión 3D.

## **10.3. Nuevas líneas de investigación**

### **10.3.1. Implementación de las prótesis en humanos y animales.**

Debido al carácter investigativo de este proyecto, el conocimiento de que las prótesis impresas en 3D funcionan en los pacientes se obtuvo gracias a las historias de perros como Derby y Turboroo, los cuales fueron tratados exitosamente con las prótesis 3D; como los reemplazos articulares desarrollados por el doctor Fuller y colaboradores.

Sin embargo, para lograr un enfoque más significativo se espera que a futuro como una nueva línea de investigación, otros investigadores puedan reunirse con expertos y puedan implementar alguna prótesis para tratar a algún paciente y así lograr que esta tecnología tome un mayor impulso en el país. Lo anterior cumpliendo con los requerimientos del nuevo reglamento de investigación médica que volvió a estar activo en Costa Rica.

### **10.3.2. Profundizar en el conocimiento sobre la tecnología de impresión 3D de tejidos sintéticos.**

Como otra nueva línea de investigación, se puede profundizar en si los tejidos sintéticos que se están desarrollando con la impresión 3D, también pueden ser usados para tratar a los animales. Esto serviría para enriquecer más las aplicaciones de las prótesis e incluso podría ayudar a tratar otros tipos de lesiones que sufren los pacientes.

### **10.3.3. Investigar sobre el uso de la tecnología de impresión 3D como herramienta para la bioingeniería.**

Otra nueva línea de investigación que se puede tomar, sería en el hábito de la bioingeniería, investigar cómo esta tecnología de impresión en 3D puede usarse para desarrollar aparatos y órganos que mejoren la calidad de vida de los seres vivos.

## 11. Bibliografía

1. 3Dilla. (2014). *La impresora 3d y el metal*. En 3Dilla. Consultado el 27 de noviembre del 2016. Recuperado de <http://es.3Dilla.com/materiales/metal/>.
2. BQ (2014). *BQ 777-1005 Prusa i3 Hephestos, Yellow*. En Amazon. Consultado el 26 de marzo del 2015. Recuperado de [http://www.amazon.com/BQ-777-1005-Prusa-Hephestos-Yellow/dp/B00TOO7PSS/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1427425912&sr=8-1&keywords=Prusa+i3+Hephestos](http://www.amazon.com/BQ-777-1005-Prusa-Hephestos-Yellow/dp/B00TOO7PSS/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1427425912&sr=8-1&keywords=Prusa+i3+Hephestos).
3. Builder. (2014). *3D Printer – Big Builder – Dual-Feed Extruder (Red)*. En 3Dprinter4u. Consultado el 26 de octubre del 2016. Recuperado de <http://3Dprinter4u.nl/shop/3D-printers/big-builder-dual-feed-extruder/>.
4. Builder. (2014). *3D Printer – Builder – Mono Extruder (Red)*. En 3Dprinter4u. Consultado el 26 de octubre del 2016. Disponible en <http://3Dprinter4u.nl/shop/3D-printers/3D-printer-builder-mono-extruder/>.
5. Burón, D. (2013). *Impresión 3D: Qué materiales usar y dónde comprarlos*. En siliconWeek. Consultado el 25 de noviembre del 2016. Recuperado de <http://www.siliconweek.es/workspace/impresión-3D-que-materiales-usar-y-donde-comprarlos-50135>.
6. Cubify. (2014). *Compare design software*. En Cubify. Consultado el 31 diciembre del 2016. Recuperado de <http://cubify.com/en/compare/software>.
7. Cubify. (2014). *Cubepro*. En Cubify. Consultado el 31 de diciembre del 2016. Recuperado de <http://cubify.com/en/cubepro/techspecs>.
8. El Comercio. (2013). *Un pato volvió a caminar gracias a prótesis hecha en impresora 3D*. En El Comercio. Consultado el 2 de enero de 2017. Recuperado

de<http://elcomercio.pe/tecnología/actualidad/pato-volvio-caminar-gracias-protesis-hecha-impre-sora-3D-noticia-1598632>.

9. Formizable. (2014). *Guía de plásticos y otros materiales para impresión 3D*. En *formizable*. Consultado el 25 de octubre del 2016. Recuperado de <http://formizable.com/2014/09/02/guia-de-plasticos-y-otros-materiales-para-impresion-3D/>.
10. Gross BC, Erkal JL, Lockwood SY, Chen C, Spence DM. (2014). *Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences*. *Anal Chem* 2014; 86:32, 40-53.
11. Hammad H. Malik, Alastair R.J. Darwood, et al. (2015). *Three-dimensional printing in surgery: a review of current surgical applications*. *journal of surgical research*. 2015; 199, 512 – 522.
12. Hong Cai. (2015). *Application of 3D printing in orthopedics: status quo and opportunities in China*. Department of Orthopedics, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China. Editorial. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2305-5839.2015.01.38>
13. Hull, C. (1986). *Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography*. En Free patents online. Consultado el 14 de noviembre de 2016. Recuperado de <http://www.freepatentsonline.com/4575330.pdf>.
14. Impresoras 3D. (s. f.). *Historia de las impresoras 3D*. En Impresoras 3D. Consultado el 4 de enero de 2017. Recuperado de <http://www.impresoras-3D.info/historia-de-las-impresoras-3D/>.
15. Impresoras3D. (2014). bq *Witbox*. En Impresoras3D. Consultado el 26 de octubre del 2016. Recuperado de <http://www.impresoras3D.com/tienda/producto/bq-witbox/>.

16. Impresoras3D. (2014). *Builder Mono Extruder*. En Impresoras3d. Consultado el 26 de octubre del 2016. Recuperado de <http://www.impresoras3D.com/tienda/producto/builder-mono-extruder/>.
17. Impresoras3D. (2014). *Kit Prusa i3 Hephestos*. En Impresoras3d. Consultado el 26 de octubre del 2016. Recuperado de <http://www.impresoras3D.com/tienda/producto/kit-prusa-i3-hephestos/>.
18. Imprimalia 3D. (2014). *El águila que recuperó su pico gracias a la impresión 3D*. En Imprimalia 3D. Consultado el 23 de noviembre de 2016. Recuperado de <http://www.imprimalia3D.com/noticias/2014/04/09/001983/guila-que-recuper-su-pico-gracias-impresi-n-3D>.
19. Imprimalia 3D. (2014). *La impresión 3D permite crear implantes y prótesis para nuestras mascotas*. En Imprimalia 3D. Consultado el 24 de noviembre de 2016. Recuperado de <http://www.imprimalia3D.com/noticias/2014/03/06/001530/implantes-impresos-3D-perros>.
20. Jonathan Mulford, N. MacKay, S. Babazadeh. Three Dimensional Printing in Orthopaedic Surgery: A Review Of Current and Future Applications. *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2016; 4 (2) (Suppl. 1). Disponible en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>
21. Kisslicer (2014). *KISSlicer*. En Kisslicer. Consultado el 18 de noviembre del 2016. Recuperado de <http://www.kisslicer.com/>.
22. Marcos, A. (2013). *La historia del futuro industrial: cómo surgió la impresión 3D*. En Teleco-To-Walk. Consultado el 14 de noviembre de 2016. Recuperado de <https://telecotowalk.wordpress.com/2013/11/01/la-historia-del-futuro-industrial-como-surgio-la-impresion-3D/>.
23. Martelli, N., Serrano, C. et al. (2016). *Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review*. *Cross Mark Surgery*.

- Elsevier Inc.* Disponible: Descargado de ClinicalKey.es desde Biblioteca Nacional de Salud y Seguridad Social, BINASSS octubre 31, 2016. Recuperado de <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-surgical-education/most-cited-articles>
24. Oyanedel, J. P. (2014). *Prótesis impresas en 3D ayudan a perro discapacitado a correr de nuevo*. En Fayerwayer. Consultado el 23 de diciembre de 2016. Recuperado de <https://www.fayerwayer.com/2014/12/protesis-impresas-en-3D-ayudan-a-un-perro-discapacitado-para-volver-a-correr/>.
25. Philip Tack. (2016). 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review Tack et al. *BioMed Eng OnLine* (2016) 15:115
26. Ramírez, E. (2008). *Evolución y Funcionamiento de los diversos sistemas de impresión*. En Slideshare. Consultado el 3 de enero del 2017. Recuperado de <http://www.slideshare.net/Evelyn ejovita/evolucion-de-los-sistemas-de-impresion>.
27. Rengier F, Mehndiratta A, von Tengg-Kobligk H, Zechmann CM, Unterhinninghofen R, Kauczor H-U, et al. (2010). 3D printing based on imaging data: review of medical applications. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2010; 5, 335-41.
28. Repetier (2014). *Repetier-Host Documentation*. En Repetier. Consultado el 27 de diciembre del 2016. Recuperado de <http://www.repetier.com/documentation/repetier-host/rh-installation-and-configuration/>.
29. Replicat (2012). *ReplicatorG*. En Replicat. Consultado el 29 de octubre del 2016. Recuperado de <http://replicat.org/start>.
30. Russo, H. (2014). *Impresoras 3D: historia, cómo trabajan y algunas de las impresoras más populares*. En Geek'S Room. Consultado el 14 de noviembre de 2016. Recuperado de <http://geeksroom.com/2014/02/impresoras-3D/82881/>.

31. Sam M. Fuller, MD, Daniel R. Butz, et al. (2014). Application of 3-Dimensional Printing in Hand Surgery for Production of a Novel Bone Reduction Clamp. *Surgical Technique Review*. 2014; 39(9): 1840 - 1845. Descargado de Elsevier Inc; ClinicalKey.es desde Biblioteca Nacional de Salud y Seguridad Social, BINASSS octubre 31, 2016.
32. Soto, M. (2015). *Costa Rica cuenta con tecnología para hacer prótesis de tucán*. En La Nacion. Consultado el 21 de diciembre de 2016. Recuperado de [http://www.nacion.com/vivir/ambiente/Costa-Rica-cuenta-tecnologia-protesis\\_0\\_1469053103.html](http://www.nacion.com/vivir/ambiente/Costa-Rica-cuenta-tecnologia-protesis_0_1469053103.html).
33. Sze-Wing Mok, Razmara Nizak, Sai-Chuen Fu, et al. (2016). From the printer: Potential of three-dimensional printing for orthopaedic applications. *Journal of Orthopaedic Translation*. 2016; 6, 42 - 49.
34. Ventola CL. (2014). *Medical applications for 3D printing: current and projected uses*. P T 2014; 39:70 4 - 11.

## 12. Apéndices

### 12.1. Instrumentos para la validación de la hipótesis planteada

A continuación se suministran los instrumentos utilizados para el levantamiento de la información de campo.

**Tabla A.01** Comparación entre prótesis fabricadas con impresora 3D versus prótesis estándar

|                | Prótesis elaboradas con impresora 3D | Prótesis estándar |
|----------------|--------------------------------------|-------------------|
| Vida útil      |                                      |                   |
| Disponibilidad |                                      |                   |
| Acople         |                                      |                   |
| Costo          |                                      |                   |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla A.02** Comparación entre materiales para la elaboración de las prótesis

| Materia l | Durabilida d | Flexibilida d | Disponibilida d | Temperatur a de fundición | Temperatur a de plataforma | Desecho s |
|-----------|--------------|---------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|-----------|
|           |              |               |                 |                           |                            |           |
|           |              |               |                 |                           |                            |           |
|           |              |               |                 |                           |                            |           |
|           |              |               |                 |                           |                            |           |

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla A.03** Comparación entre impresoras 3D

| Modelo de Impresora | Marca | Costo | Disponibilidad | <i>Software</i> | Capacidad de Impresión | Características de impresión |
|---------------------|-------|-------|----------------|-----------------|------------------------|------------------------------|
|                     |       |       |                |                 |                        |                              |
|                     |       |       |                |                 |                        |                              |
|                     |       |       |                |                 |                        |                              |
|                     |       |       |                |                 |                        |                              |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla A.04** Comparación entre softwares para impresoras 3D

| Software | Función | Dificultad de aprendizaje | Compatibilidad con impresoras | <i>Hardware</i> (PC) | Costo de licencias |
|----------|---------|---------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|
|          |         |                           |                               |                      |                    |
|          |         |                           |                               |                      |                    |
|          |         |                           |                               |                      |                    |
|          |         |                           |                               |                      |                    |
|          |         |                           |                               |                      |                    |

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla A.05** Evaluación del equipo, material y *software* óptimos para la elaboración de las prótesis 3D

| Impresora | Material | <i>Software</i> |
|-----------|----------|-----------------|
|           |          |                 |
|           |          |                 |
|           |          |                 |

**Fuente:** Elaboración Propia

## 12.2. Cronograma de actividades

| Nro | Actividad Semanal                                                                                                                                    | Tiempo Setiembre 2016 – Diciembre 2016 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
|     |                                                                                                                                                      | 1                                      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1   | Selección del tema de investigación.                                                                                                                 | x                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 2   | Presentación de los rublos de la metodología de trabajo por parte del profesor.                                                                      |                                        | X |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 3   | Introducción al tema seleccionado e inicio de la investigación.                                                                                      |                                        |   | x |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 4   | Entrega del primer avance del informe                                                                                                                |                                        |   |   | x |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 5   | Formulación de la pregunta de intervención, redacción de objetivos y formulación de las hipótesis. Recolección de información para el marco teórico. |                                        |   |   |   | x | x |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 6   | Entrega del segundo avance del informe.                                                                                                              |                                        |   |   |   |   |   | x |   |   |    |    |    |    |    |    |
| 7   | Se realiza el diseño de la investigación, se delimitan la población y la muestra y se diseñan los instrumentos para realizar la investigación.       |                                        |   |   |   |   |   |   | x | x |    |    |    |    |    |    |
| 8   | Entrega del tercer avance del informe.                                                                                                               |                                        |   |   |   |   |   |   |   |   | x  |    |    |    |    |    |
| 9   | Comienza el levantamiento de la información y los datos de campo. Se realiza la comprobación de la hipótesis.                                        |                                        |   |   |   |   |   |   |   |   |    | x  |    |    |    |    |
| 10  | Entrega del cuarto avance del informe.                                                                                                               |                                        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | x  |    |    |    |
| 11  | Se afinan el cronograma y el presupuesto, se redacta un borrador para informe de publicación y se entrega el quinto avance del informe.              |                                        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | x  |    |    |

|    |                                                                                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|
| 12 | Se completa la información del marco teórico, se afina la introducción y se cierra la investigación. Se entrega el informe de investigación final. |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | x | x |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|

**Fuente:** Elaboración Propia

**12.3.Borrador de informe para publicación**

Informe exploratorio de las  
aplicaciones de las impresoras 3D en la  
elaboración de extremidades  
prostáticas para animales caninos

TEM. Adrián Castillo Velázquez

*Fecha de recepción: 10 de enero del 2017*

*Fecha de aceptación:*

Técnico en Emergencias Médicas, UCR. San José, Costa Rica.  
Estudiante de Medicina y Cirugía. UIA, San José. Costa Rica.  
Teléfono: 8703 1925  
Correo electrónico: [adrian1cr@icloud.com](mailto:adrian1cr@icloud.com)

## **Resumen**

La tecnología de la impresión 3D ofrece muchos beneficios para todos los ámbitos de trabajo que desarrolla el ser humano, desde la fabricación de objetos hogareños, ya sean sillas, vasos, platos, mesas, etc., hasta en las ciencias de la salud, permitiendo la elaboración de piezas prostáticas, tanto para personas, como para animales.

Dicha tecnología ha sido analizada en este informe para conocer la viabilidad de realizar piezas prostáticas para animales caninos. En este informe exploratorio se documentaron las diferentes máquinas (impresoras 3D, computadora, etc.) y materiales (polímeros, resinas, metales, etc.) que se requieren para poder realizar las impresiones 3D y también se analizaron casos reales en los que ya se han implementado prótesis impresas en 3D.

Se hizo uso del método científico para el planteamiento y desarrollo de esta investigación y los resultados de la misma permitieron una comprensión más profunda sobre esta tecnología y sus aplicaciones en la salud animal, así como también, permitieron conocer cuáles son los recursos necesarios para poder implementarla.

### **Palabras clave**

Impresión 3D, piezas prostáticas, impresora 3D, polímero, resina.

## **Abstract**

The technology of 3D printing offers several benefits for all the ambits in which the human being develops, from the fabrication of home objects like chairs, drinking glass, dishes, tables, etc. to the health sciences allowing the elaboration of prosthetic pieces for both human and animals.

Such technology has been analyzed in this report to known the viability of making prosthetic pieces for canine animals. In this explorative report were documented the several machines (3D printers, computers, etc.) and materials (polymers, resins, metals, etc.) that are required to be able to make the 3D impressions and were also analyzed real cases in which the 3D printed prosthesis were already implemented. The scientific method was used for the planning and development of this investigation and its results allowed a deeper understanding about this technology and its applications on animal health, just as they allowed to known witch resources are necessary to be able to implement it.

### **Key words**

3D printing, prosthetic pieces, 3D printer, polymer, resin.

## **Introducción**

En este trabajo se estudia la capacidad y viabilidad del uso de impresoras 3D para la elaboración de prótesis que permitan a animales, en este caso a perros, recuperar la movilidad parcial o completa que se haya visto afectada a causa de la pérdida de alguna de sus extremidades. Se estudian algunos de los materiales que pueden ser usados para la elaboración de las prótesis, así como las especificaciones que deba tener la impresora 3D que se encargará de fabricarlas.

La selección de este tema responde a la curiosidad del autor por conocer más sobre la tecnología de las impresoras 3D, sus aplicaciones y conocer más sobre la forma en que esta tecnología puede ayudar tanto a animales como a personas.

La metodología del informe es puramente investigativa y teórica, basada en la investigación y recolección de información de diversas fuentes que permitan un mejor entendimiento del tema desarrollado en este informe. Por lo tanto, el informe presenta un diseño no experimental transversal exploratorio.

Para la elaboración de este informe la principal fuente de información fueron las búsquedas por internet y el acceso a revistas y noticias tanto *online* como físicas.

### **Materiales y métodos**

Para el desarrollo de este informe se utilizó el método científico, el cual es un proceso sistematizado para recolectar información, documentarla y analizarla para su posterior validación. El desarrollo del trabajo consta de seis etapas las cuales se explican a continuación (la sexta etapa no será mencionada, pues está relacionada

con la difusión del informe, o sea, el presente artículo de publicación).

### **Etapas I. Planteamiento del problema**

En esta etapa se plantea el problema o la inquietud que se desea resolver, se define y presenta el problema y luego explica detalladamente cuáles serán los componentes que forman parte de este problema.

**Pregunta de intervención:** ¿Es viable la elaboración de piezas prostáticas para animales caninos utilizando las impresoras 3D?

**Objetivo General:** Investigar la viabilidad de la elaboración de prótesis para pacientes usando las impresoras 3D para que pueda ser vista como una alternativa a las prótesis estándar actuales.

#### **Objetivos Específicos:**

1. Investigar sobre las impresoras 3D y algunas de sus aplicaciones para que puedan ser usadas en la medicina animal.
2. Investigar algunos de los materiales que pueden ser usados con las impresoras 3D para que la elaboración de las prótesis sea adecuada.
3. Comparar y determinar si las prótesis elaboradas con impresoras 3D son mejores que los sistemas de prótesis caninas actuales para que puedan ser tomadas en cuenta por los médicos y expertos.

### **Etapas II. Formulación de la hipótesis**

En esta sección se plantea la hipótesis que se usará para desarrollar el informe. Se debe trabajar con una hipótesis principal y algunas hipótesis alternativas

que servirán para abarcar nuevas líneas de trabajo en caso de que la hipótesis principal no pueda ser validada.

**Hipótesis principal:** Las prótesis para perros elaboradas con impresoras 3D estarían hechas a la medida y mejorarían la calidad de vida de los perros.

### **Etapa III. Levantamiento de la información**

**Recolección de datos de fuentes primarias:** Ya que el objetivo del trabajo es conocer si es válido fabricar prótesis para pacientes utilizando las impresoras 3D, se procedió a investigar a empresas que ya hubieran trabajado con esta tecnología, además de testimonios de personas que ya hubieran tratado a sus mascotas con alguna prótesis fabricada con una impresora 3D. Para entender mejor cómo puede ser implementada la tecnología de impresión 3D, se procedió a investigar hojas de datos de diversas impresoras 3D y de los materiales que pueden ser usados con las mismas y como instrumento de evaluación, los datos fueron tabulados en varias tablas comparativas que permitieron analizar las características de cada elemento.

**Recolección de datos de fuentes secundarias:** Para este apartado se utilizó principalmente el internet, ya que esta tecnología aún no tiene gran presencia a nivel nacional. Entre los documentos investigados se encuentran noticias y revistas en versiones electrónicas.

**Instrumentos de medición:** Se emplearon tablas comparativas que permitían definir las características de las prótesis elaboradas con impresoras 3D en contra de las que existen actualmente en el mercado, también en otras tres tablas se compararon diferentes modelos de

impresoras 3D, materiales y *software*, respectivamente, para conocer a profundidad los requerimientos mínimos para poder fabricar las prótesis y poder analizar de acuerdo con los costos y utilidad si es viable o no el uso de las impresoras 3D en esta aplicación.

**Aplicación de los instrumentos de medición:** Para esta actividad se utilizan los datos presentados en las hojas de datos de las diferentes impresoras y materiales analizados, así como las especificaciones presentadas por los *softwares* en sus páginas de internet oficiales para poder completar cada uno de los rubros montados en las diferentes tablas comparativas. También se realizó la visita a un médico especializado en ortopedia animal para poder conocer las características de las prótesis ya existentes en el mercado y poder realizar una mejor comparación con las prótesis impresas en 3D, esto también permitió conocer la reacción del experto sobre si es válido o no el uso de la tecnología 3D para realizar las prótesis.

### **Etapa IV. Análisis de datos**

**Procesamiento y análisis de los datos:** Para esta sección ya se han aplicado los instrumentos de medición, por lo que se comienzan a analizar todos los datos para que la información sea presentada de forma más accesible y amena.

Los datos obtenidos permitieron un conocimiento más profundo sobre las aplicaciones de la tecnología de impresión en 3D y con esto se logra comprobar que esta tecnología de verdad permite competir en gran medida con las prótesis existentes en el mercado, abriendo nuevas puertas para la medicina animal en el ámbito de la ortopedia canina.



**Tabla 1.** Comparación entre prótesis fabricadas con impresora 3D versus prótesis estándar

|                | Prótesis elaboradas con impresora 3D                                                                                                                                                                                                                                              | Prótesis estándar                                                                                                                                                                         |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vida útil      | -Depende del tipo:<br>*Ortopédica: de 1 a 3 meses<br>*Amputación: no suele aplicarse, depende de valoración del médico y decisión del paciente.<br>De por vida<br>*Parálisis: de por vida                                                                                         | -Depende del tipo:<br>*Ortopédica: de 1 a 3 meses<br>*Amputación: no suele aplicarse, depende de valoración del médico y decisión del paciente.<br>De por vida<br>*Parálisis: de por vida |
| Disponibilidad | Requiere de trabajo en conjunto con un médico, pero si se poseen los materiales y el conocimiento, cada persona puede elaborarlas. También puede ser contra pedido a empresas especializadas.                                                                                     | Solo contra pedido, aprobado por un médico                                                                                                                                                |
| Acople         | Hechas a la medida, requieren de sesiones de terapia y rehabilitación                                                                                                                                                                                                             | Hechas a la medida, requieren de sesiones de terapia y rehabilitación                                                                                                                     |
| Costo          | Depende de si se poseen o no los materiales, equipo y conocimiento y el grado de la lesión:<br>-Si es así, pueden rondar entre los \$200 a \$1000 aproximadamente.<br>-Si se contrata una empresa para que la diseñe y fabrique, hay costos desde \$500 a \$1500 aproximadamente. | Desde \$2000 o más, depende del grado de lesión.                                                                                                                                          |

Fuente: Elaboración propia. Información por Dr. Wilberth Núñez Sandoval, número de médico 973.

**Tabla 2.** Comparación entre materiales para la elaboración de las prótesis

| Material                                        | Durabilidad | Flexibilidad | Disponibilidad | Temperatura de fundición | Temperatura de plataforma | Desechos                         |
|-------------------------------------------------|-------------|--------------|----------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| ABS<br>(Acrilonitrilo<br>Butadieno<br>Estireno) | Alta        | Poca o nula  | Muy usado      | 215-250°                 | 90-103°                   | -No biodegradable<br>-Reciclable |

|                                                                |          |             |                         |               |                    |                                     |
|----------------------------------------------------------------|----------|-------------|-------------------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|
| PLA (Ácido Poliláctico o Poliláctido)                          | Buena    | Poca o nula | Muy usado               | 160-230°      | ambiente hasta 60° | -Biodegradable<br>-Reciclable       |
| Soft PLA (Ácido Poliláctico flexible)                          | Buena    | Alta        | Muy usado               | 200-220°      | ambiente hasta 60° | -Biodegradable<br>-Reciclable       |
| PVA (Alcohol Polivinilo)                                       | Muy poca | Poca o nula | Aplicaciones especiales | 180-200°      | 50°                | -Biodegradable<br>- Soluble en agua |
| PC (Policarbonato)                                             | Muy alta | Nula        | Muy usado               | 280-305°      | 85-95°             | -No biodegradable<br>-Reciclable    |
| HDPE (Polietileno de alta densidad, High density polyethylene) | Alta     | Alta        | Poco usado              | 225-230°      | ambiente           | -No biodegradable<br>-Reciclable    |
| Aluminio (aleación AlSi10Mg)                                   | Muy alta | Nula        | Muy usado               | 570-590 °     | 300°               | -No biodegradable<br>-No reciclable |
| Titanio (aleación Ti6Al4V)                                     | Muy alta | Nula        | Muy usado               | 1 635-1 665 ° | 730°               | -No biodegradable<br>-No reciclable |
| Filaflex                                                       | Alta     | Muy Alta    | Muy usado               | 220-230°      | Ambiente           | -No biodegradable<br>-Reciclable    |

|                                             |          |      |           |          |                       |                                  |
|---------------------------------------------|----------|------|-----------|----------|-----------------------|----------------------------------|
| TCP FLEX<br>(Co-Poliester<br>Termoplástico) | Muy alta | Alta | Muy usado | 220-260° | ambiente<br>hasta 60° | -No biodegradable<br>-Reciclable |
| NinjaFlex                                   | Alta     | Alta | Muy usado | 210-225° | 20-50°                | -No biodegradable<br>-Reciclable |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.** Comparación entre impresoras 3D

| Modelo de impresora | Marca   | Costo             | Disponibilidad                | Software                                                                                                                                                | Capacidad de impresión           | Características      |
|---------------------|---------|-------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Witbox              | bq      | €1.690<br>\$1,999 | Europa o comprar por Amazon   | -Firmware preconfigurado Marlin<br>-Hosts compatibles Repetier, Pronterface, Cura, ReplicatorG<br>-Slic3r (recomendado y preconfigurado)<br>-Skeinforge | -Mono extrusor<br>-Monocromático | Dim: 210-<br>-V: 60- |
| Mono Extruder       | Builder | €1.375            | Europa o tienda <i>online</i> | -Open source Repetier, (Cura, Kisslicer)                                                                                                                | -Mono extrusor<br>-Monocromático | Dim: 220-<br>-V: 10- |

|                                            |         |                    |                                   |                                                                                                        |                                                  |                             |
|--------------------------------------------|---------|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|
| Prusa i3<br>Hephestos                      | bq      | €499,9<br>\$699.99 | Europa o<br>comprar por<br>Amazon | -Firmware derivado de Marlin<br>-Entorno recomendado: Cura<br>Software, Slic3r, Repetier,<br>Kisslicer | -Mono extrusor<br>-Monocromático                 | Dim<br>220<br><br>-V<br>40- |
| Big Builder<br>– Dual-<br>Feed<br>Extruder | Builder | €2.495             | Europa o<br>tienda <i>online</i>  | -Open source Repetier, (Cura,<br>Kisslicer)                                                            | -Extrusor doble<br>-Bicromático, 2<br>Filamentos | Dim<br>220<br><br>-V<br>10- |
| CUBE 3D                                    | Cubify  | \$1099             | Tienda <i>online</i><br>o Amazon  | -CubePro converter software                                                                            | -Extrusor doble<br>-Bicromático, 2<br>Filamentos | Dim<br>152<br><br>-V<br>1   |
| CUBEPRO                                    | Cubify  | \$2899             | Tienda <i>online</i><br>o Amazon  | -CubePro converter software                                                                            | -Mono extrusor<br>-Monocromático                 | Dim<br>285<br><br>-V<br>1   |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.** Comparación entre softwares para impresoras 3D

| <i>Software</i> | Función                                                                      | Dificultad de aprendizaje                         | Compatibilidad con impresoras       | <i>Hardware (PC)</i>                                                          | Costo de licencia                                                                                 |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Repetier-Host   | Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code) | Medio<br><br>-Instrucciones en página de internet | -Alta, sistemas <i>open source</i>  | -Pc alta gamma: procesador i3 o superior<br><br>-Windows xp o superior        | -Donación mensual o licencia ilimitada \$10<br><br>-Por montos extra funciones y características. |
| Pronterface     | Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code) | Alto                                              | -Media, sistemas <i>open source</i> | -Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior<br><br>-Windows xp o superior | -Gratis                                                                                           |
| ReplicatorG     | Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code) | Alto                                              | -Media, sistemas <i>open source</i> | -Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior<br><br>-Windows xp o superior | -Gratis                                                                                           |

|                            |                                                                              |                               |                                                       |                                                                                                                                             |                                                                                            |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| KISSlicer                  | Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code) | Medio                         | -Alta, sistemas <i>open source</i>                    | -Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior<br><br>-Windows xp o superior                                                               | -Básica: gratis<br>-Pro: \$42<br><br>-Grupal: \$35/licencias max)<br><br>-Educativo: \$25. |
| CubePro converter software | Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code) | Fácil                         | -Baja, solo sistemas de la marca Cubify               | -Pc Alta gamma: procesador i3 o superior<br><br>-Windows 7 o superior                                                                       | -Gratis, incluida compra de la 3D                                                          |
| Cubify Invent              | Diseño y modelaje de archivos 3D                                             | Medio, basado en modelaje CAD | -Alta<br><br>-Especial para equipos de la misma marca | -Pc Alta gamma: procesador i3 o superior<br><br>-Windows 7 o superior                                                                       | -Prueba gratis por<br><br>-Licencia \$49                                                   |
| 3Dtin                      | Diseño y modelaje de archivos 3D                                             | Fácil                         | -Alta                                                 | -Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior<br><br>-Windows xp o superior<br><br>-Navegador Google Chrome, Mozilla Firefox o similares. | -Gratis<br><br>-Aplicación <i>online</i>                                                   |

|                     |                                  |                                       |       |                                                                                                                                             |                                                                  |
|---------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Tinkercad           | Diseño y modelaje de archivos 3D | Fácil                                 | -Alta | -Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior<br><br>-Windows xp o superior<br><br>-Navegador Google Chrome, Mozilla Firefox o similares. | -Gratis<br><br>-Aplicación <i>online</i>                         |
| SketchUp            | Diseño y modelaje de archivos 3D | Medio, algunas herramientas complejas | -Alta | -Pc alta gamma: procesador i3 o superior<br><br>-Windows 7 o superior                                                                       | -Gratis<br><br>-Pro: \$590, avanzadas y herramientas adicionales |
| Blender             | Diseño y modelaje de archivos 3D | Muy alto                              | -Alta | -Pc alta gamma: procesador i3 o superior<br><br>-Windows 7 o superior                                                                       | -Gratis                                                          |
| Solidworks Standard | Diseño y modelaje de archivos 3D | Muy alto                              | -Alta | -Pc alta gamma: procesador i3 o superior<br><br>-Windows 7 o superior                                                                       | -\$3995<br><br>-versión estudiantil                              |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5.** Evaluación del equipo, material y *software* óptimos para la elaboración de las prótesis 3D

| Impresora          | Material                              | <i>Software</i>                                |
|--------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|
| Prusa i3 Hephastos | TCP FLEX (Co-Poliéster Termoplástico) | -Diseño: Tinkercad<br>-Impresión: KISSlicer    |
| Witbox             | HDPE                                  | -Diseño: SketchUp<br>-Impresión: Repetier-Host |

|         |           |                                                                  |
|---------|-----------|------------------------------------------------------------------|
| CUBEPRO | NinjaFlex | -Diseño: Cubify Invent<br>-Impresión: CubePro converter software |
|---------|-----------|------------------------------------------------------------------|

Fuente: Elaboración propia.

## Etapa V. Comprobación de la hipótesis

Para comprobar la hipótesis se analizaron los datos de las tablas y se contrastaron los pros y contras de elaborar las prótesis usando impresoras 3D contra las prótesis estándar, siendo los aspectos más relevantes el costo y la disponibilidad de cada una.

### Discusión de resultados y validación de la hipótesis

Como puede verse en la Tabla 1, ambas prótesis poseen características muy similares siendo las grandes diferencias primeramente el costo, ya que las prótesis estándar van desde 2000 dólares o más, dependiendo de la lesión y el tiempo de la rehabilitación, mientras que con las prótesis impresas en 3D, sea que se coticen a una empresa externa o las elabore cada persona, tienen un costo mucho menor. Cabe destacar que esto aplica para prótesis que puedan colocarse de forma externa, para las prótesis internas, como placas, pines, estructuras para huesos como la pelvis o el fémur, siempre requerirán de la aprobación e intervención de un médico y esto incrementará el costo, dejándolo muy parecido al estándar, ya que ambas se elaboran con materiales metálicos como el titanio.

El segundo aspecto similar es la disponibilidad, en ambos casos se debe trabajar con un médico especializado en ortopedia y se deben conseguir a contra pedido, a alguna empresa especializada en la elaboración de dichas prótesis. La diferencia de las prótesis impresas en 3D, es que si se posee el conocimiento y los

equipos, cualquier persona puede elaborarlas, teniéndolas de manera inmediata y pudiendo realizarles modificaciones conforme avanza el proceso de rehabilitación.

En la Tabla 2 se encuentra una comparación entre diferentes materiales que pueden ser utilizados para elaborar las prótesis. Para asegurar que la comparación fuera lo más real posible, se utilizaron datos provistos por las hojas de datos de los productores de cada material, esto permitió identificar cuáles materiales son más adecuados para elaborar prótesis funcionales y duraderas.

En el mercado existen una gran variedad de impresoras 3D; sin embargo, si se desean fabricar prótesis para cualquier raza canina, es necesario que la impresora cumpla ciertos criterios, especialmente en el tamaño de la figura que puede imprimir, por lo que los datos de algunas de las impresoras que mejor se adaptan a esta tarea fueron tabulados en la Tabla 3.

En la Tabla 4 se presenta una lista de diferentes *softwares* que son necesarios para poder, primero, diseñar y modelar la prótesis y luego un segundo *software* que es el que se encarga de convertir el archivo del modelo en un archivo para impresión. En la tabla se especificaron las funciones de cada *software*, junto con los requerimientos de *hardware* y los costos de las licencias, lo que permitió analizar cuáles son los más adecuados a utilizar si se desea como un pasatiempo o para un trabajo más serio.

Finalmente, como se observa en la Tabla 5, se muestran diferentes combinaciones de impresoras con materiales y *software*, estas combinaciones están seleccionadas de acuerdo con el costo, siendo la primera la combinación más barata y la última la más cara. Se realizó la comparación de acuerdo con el costo, ya que es el rubro donde las prótesis elaboradas en 3D tienen mayor diferencia con las prótesis estándar.

En esta tabla no se toman en consideración los materiales metálicos, ya que las impresoras para estos materiales son de un costo muy elevado, de la misma forma, tampoco se tomó en cuenta el *software* Solidworks por su alto costo.

En la primera combinación se encuentra la impresora Prusa i3 Hephestos, la más barata de las impresoras, junto con los *softwares* de trabajo cuyas licencias son gratis y el precio del material no es muy elevado. El *software* de diseño le permite a la persona diseñar sus propias piezas y ya que el precio de las impresoras y el material no es muy alto, los familiares pueden elaborar sus propias prótesis para sus mascotas. Sin embargo, deberán buscar asistencia de algún médico para asegurar que el diseño sea adecuado para el paciente.

En la segunda combinación está la Witbox, esta permite un área de impresión mayor y mejor compatibilidad de *software* y materiales de impresión. El *software* de impresión requiere de la compra de una licencia, pero el costo es muy bajo y el *software* posee mejores herramientas. Sin embargo, la impresora es compatible con otros *softwares*, incluyendo aquellos que son gratis.

El *software* de modelado también es gratis, pero posee mejores herramientas

de modelado, además tiene una versión *pro* que agrega funciones adicionales por la compra de la licencia. El material es más fuerte que el anterior y los acabados son más profesionales.

La tercera combinación presenta la impresora CubePro, esta es la más cara, pero ofrece la mayor área de trabajo, así como su propio *software* dedicado de modelado e impresión. Esta impresora es bastante cara por lo que no muchas personas podrían conseguirla. Sin embargo, es posible que empresas que se dediquen a la impresión 3D la adquieran. El material ofrece las mejores características para elaborar una prótesis y el *software* de diseño posee herramientas de modelado más complejas para que los modelos sean lo más precisos posible.

Como se puede apreciar las impresoras 3D ofrecen diferentes combinaciones de sistemas, materiales y *software*, por lo que tanto familiares como empresas pueden elaborar las prótesis a su medida y con los elementos que crean necesarios, siempre teniendo en cuenta la supervisión de un experto en medicina, como un médico ortopedista, por ejemplo.

## Conclusiones

Los materiales para realizar las prótesis poseen características similares a los usados en las prótesis comunes, con valores de durabilidad y flexibilidad similares o iguales y en algunos casos mayores.

También la facilidad de algunos softwares de diseño permite elaborar prótesis tanto funcionales, como estéticas que se acoplarían más fácilmente al paciente, ya que se pueden diseñar basándose en la forma de la extremidad o la parte donde se ubicará la prótesis.

Otro aspecto a destacar es que los mismos familiares serán capaces de realizar las prótesis, requiriendo solamente el consejo de algún experto en medicina para el proceso de rehabilitación. Gracias a esto los tiempos de prueba y error, así como las modificaciones de las prótesis se darán en periodos de tiempo más cortos.

Finalmente, en caso de que no se puedan conseguir las impresoras o no se posea el conocimiento para manejar los *softwares* de modelado, ya existen empresas que trabajan la tecnología del modelado e impresión en 3D, siendo entre las más conocidas 3Dsystems, la cual participó en la creación de un par de prótesis para un perro llamado Derby, o también empresas dedicadas exclusivamente a la elaboración de prótesis con impresoras 3D como la empresa Orthopets.

Ciertamente, la tecnología de la impresión en 3D permite elaborar prótesis de manera rápida y eficiente, hechas a la medida y a un costo menor que las prótesis tradicionales, manteniendo las mismas características medicinales que tienen las prótesis estándar y en la mayoría de los casos la calidad de vida de los animales tratados con prótesis 3D es mejor que cuando tenían las prótesis estándar.

**Implementación de las prótesis en animales:** Debido al carácter investigativo de este proyecto, el conocimiento de que las prótesis impresas en 3D funcionan en los pacientes se obtuvo gracias a las historias de perros como Derby y Turboroo, los cuales fueron tratados exitosamente con las prótesis 3D, sin embargo, para lograr un enfoque más significativo se espera que a futuro como una nueva línea de investigación, otros investigadores puedan reunirse con expertos y puedan implementar alguna

prótesis para tratar a algún animalito y así lograr que esta tecnología tome un mayor impulso en el país.

**Profundizar en el conocimiento sobre la tecnología de impresión 3D de tejidos sintéticos:** Como otra nueva línea de investigación, se puede profundizar en si los tejidos sintéticos que se están desarrollando con la impresión 3D, también pueden ser usados para tratar a los animales y esto serviría para enriquecer más las aplicaciones de las prótesis e incluso podría ayudar a tratar otros tipos de lesiones que sufren los animales.

**Investigar sobre el uso de la tecnología de impresión 3D como herramienta para la bioingeniería.** Otra nueva línea de investigación que se puede tomar, sería en el hábito de la bioingeniería, investigar como esta tecnología de impresión en 3D puede usarse para desarrollar aparatos que mejoren la calidad de vida de los seres vivos.

## Recomendaciones

Si se desea abordar más en el tema de las prótesis para animales, se recomienda contar con la asesoría de algún experto en el tema como un médico especializado en ortopedia, por ejemplo. Aprovechando la ayuda del experto se podrían conocer otros aspectos en los que la tecnología 3D pudiera influir en la salud animal y se podrían abordar otros temas que no fueron descritos en este informe, como las prótesis que se colocan al paciente en el interior del animal (placas, pines, estructuras de soporte para huesos...).

## Bibliografía

1. 3Dilla. (2014). *La impresora 3d y el metal*. En 3Dilla. Consultado el 27 de noviembre del 2016. Recuperado de <http://es.3Dilla.com/materiales/metal/>.
2. BQ (2014). *BQ 777-1005 Prusa i3 Hephestos, Yellow*. En Amazon. Consultado el 26 de marzo del 2015. Recuperado de [http://www.amazon.com/BQ-777-1005-Prusa-Hephestos-Yellow/dp/B00TOO7PSS/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1427425912&sr=8-1&keywords=Prusa+i3+Hephestos](http://www.amazon.com/BQ-777-1005-Prusa-Hephestos-Yellow/dp/B00TOO7PSS/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1427425912&sr=8-1&keywords=Prusa+i3+Hephestos).
3. Builder. (2014). *3D Printer – Big Builder – Dual-Feed Extruder (Red)*. En 3Dprinter4u. Consultado el 26 de octubre del 2016. Recuperado de <http://3Dprinter4u.nl/shop/3D-printers/big-builder-dual-feed-extruder/>.
4. Builder. (2014). *3D Printer – Builder – Mono Extruder (Red)*. En 3Dprinter4u. Consultado el 26 de octubre del 2016. Disponible en <http://3Dprinter4u.nl/shop/3D-printers/3D-printer-builder-mono-extruder/>.
5. Burón, D. (2013). *Impresión 3D: Qué materiales usar y dónde comprarlos*. En siliconWeek. Consultado el 25 de noviembre del 2016. Recuperado de <http://www.siliconweek.es/workspace/impresión-3D-que-materiales-usar-y-donde-comprarlos-50135>.
6. Cubify. (2014). *Cubepro*. En Cubify. Consultado el 31 de diciembre del 2016. Recuperado de <http://cubify.com/en/cubepro/techspecs>.
7. Formizable. (2014). *Guía de plásticos y otros materiales para impresión 3D*. En formizable. Consultado el 25 de octubre del 2016. Recuperado de <http://formizable.com/2014/09/02/guia-de-plasticos-y-otros-materiales-para-impresion-3D/>.

8. Impresoras3D. (2014). *bq Witbox*. En Impresoras3D. Consultado el 26 de octubre del 2016. Recuperado de <http://www.impresoras3D.com/tienda/producto/bq-witbox/>.
9. Impresoras3D. (2014). *Builder Mono Extruder*. En Impresoras3d. Consultado el 26 de octubre del 2016. Recuperado de <http://www.impresoras3D.com/tienda/producto/builder-mono-extruder/>.
10. Impresoras3D. (2014). *Kit Prusa i3 Hephestos*. En Impresoras3d. Consultado el 26 de octubre del 2016. Recuperado de <http://www.impresoras3D.com/tienda/producto/kit-prusa-i3-hephestos/>.
11. Kisslicer (2014). *KISSlicer*. En Kisslicer. Consultado el 18 de noviembre del 2016. Recuperado de <http://www.kisslicer.com/>.
12. Oyanedel, J. P. (2014). *Prótesis impresas en 3D ayudan a perro discapacitado a correr de nuevo*. En Fayerwayer. Consultado el 23 de diciembre de 2016. Recuperado de <https://www.fayerwayer.com/2014/12/protesis-impresas-en-3D-ayudan-a-un-perro-discapacitado-para-volver-a-correr/>.
13. Repetier (2014). *Repetier-Host Documentation*. En Repetier. Consultado el 27 de diciembre del 2016. Recuperado de <http://www.repetier.com/documentation/repetier-host/rh-installation-and-configuration/>.
14. Replicat (2012). *ReplicatorG*. En Replicat. Consultado el 29 de octubre del 2016. Recuperado de <http://replicat.org/start>.