

Aplicaciones de las Impresoras 3D en el desarrollo de prótesis para cirugía de reemplazo protésico (artroplastias). Uso en caninos

Applications of 3D printers in prosthesis development for prosthetic replacement surgery (Arthroplasties) (arthroplasties). Use in canines

William Gutiérrez-Sandí¹, Taciano Lemos-Pires²,
Gian Carlo Galiano-Murillo³, José Alejandro Madrigal-Lobo⁴

Fecha de recepción: 19 de setiembre de 2017
Fecha de aprobación: 25 de enero de 2018

Gutiérrez-Sandí, W; Lemos-Pires, T; Galiano-Murillo, G; Madrigal-Lobo, J. Aplicaciones de las Impresoras 3D en el desarrollo de prótesis para cirugía de reemplazo protésico (artroplastias). Uso en caninos. *Tecnología en Marcha*. Vol. 31-3. Julio-Setiembre 2018. Pág 131-142.

DOI: 10.18845/tm.v31i3.3908

- 1 Bachiller en Ingeniería Electrónica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Diploma de Estudios Avanzados en Ingeniería de Proyectos. UPC, Barcelona, España. Doctor en Ingeniería de Proyectos UNINI, Puerto Rico, USA. Estudiante de Licenciatura en Medicina y Cirugía. UIA, San José. Costa Rica. Correo electrónico: wgutierrez@hotmail.com.
- 2 Licenciado en Medicina y Cirugía. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Doctor en Medicina y Cirugía. UCR, San José, Costa Rica. Master en Epidemiología y Salud Pública. USAL, Alajuela, Costa Rica. Director General Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia. Coordinador de la Cátedra de Ética. Universidad Internacional de las Américas. Correo electrónico: drtaciano@medicocr.com.
- 3 Licenciado en Medicina y Cirugía. Universidad Internacional de las Américas, San José, Costa Rica. Doctor en Medicina y Cirugía. UIA, San José, Costa Rica. Maestría Académica en Nutrición para la promoción de la Salud y Nutrición Humana. UCR, San José, Costa Rica. Director de la Escuela de Medicina y Cirugía, UIA. Correo electrónico: ggaliano@uia.ac.cr.
- 4 Doctor en Medicina y Cirugía. U. Latina, San José, Costa Rica. Máster en Epidemiología y Salud Pública. UNED, San José, Costa Rica. Fiscal Adjunto, Colegio de Médicos y Cirujanos de Costa Rica. Correo electrónico: amadrigal@medicos.cr.



Palabras clave

Impresión 3D; piezas prostáticas; impresora 3D; polímero; resina; prótesis caninas; tecnologías de reemplazo articular.

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, computadores, 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 ésta 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.

Keywords

3D printing; prostatic parts; 3D printer; polymer; resin; canine prostheses; joint replacement technologies.

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, metal, 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 with resources are necessary to be able to implement it.

Introducción

En este trabajo estudiamos 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 hayan perdido a causa de la pérdida de alguna de sus extremidades. Estudiamos 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 [1].

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 [2].

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 6 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).

La inquietud que se desea resolver la investigación, trata sobre si es viable la elaboración de piezas prostáticas para animales caninos utilizando las impresoras 3D. Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue investigar la viabilidad de la elaboración de prótesis para canes usando las impresoras 3D para ser utilizadas como alternativa a las prótesis estándar actuales.

Para ello, los investigadores decidieron investigar las impresoras 3D disponibles y algunas de sus aplicaciones para ser usadas en la cirugía de animales caninos, algunos de los materiales que pueden ser utilizados con las impresoras 3D para elaborar las prótesis personalizadas y adecuadas a cada paciente, así como comparar los materiales utilizados por las impresoras 3D en la elaboración de prótesis para determinar el rendimiento de cada sistema evaluado para elaborar prótesis caninas de uso quirúrgico.

Como la mayoría de los trabajos científicos se debió plantear una hipótesis, la misma tenía como premisa: “Las prótesis para perros elaboradas con las tecnologías actuales de impresoras 3D estarían hechas a la medida del paciente entonces serían por su disponibilidad técnica y costo económico accesibles para el desarrollo de cirugías en pacientes caninos”.

Cuando se tuvo definido el problema y la hipótesis sobre la cual giraría la investigación, fue requerido definir las herramientas, métodos por utilizar, las mismas fueron divididas en tres grandes grupos: recolección de fuentes primarias, recolección de fuentes secundarias, así como los elementos o instrumentos utilizados en la intervención.

Recolección de datos de fuentes primarias. El objetivo del trabajo fue conocer si es factible con las alternativas actuales del mercado (año 2015) fabricar prótesis para canes utilizando las impresoras 3D. Para ello, se procedió a investigar empresas que ya hubieran trabajado con esta tecnología; así como el realizar entrevistas de campo a médicos cirujanos veterinarios que ya hubieran tratado a sus pacientes con alguna prótesis fabricada con una impresora 3D.

Recolección de datos de fuentes secundarias. Se utilizó sitios técnicos sobre tecnologías de impresión 3D disponibles en la web; ya que esta tecnología aún no tiene gran presencia a nivel del mercado de Costa Rica.

Para comprender mejor como puede ser ésta tecnología de impresión 3D, se procedió con una revisión bibliográfica con respecto a los documentos técnicos (hojas de especificaciones y datos técnicos) de diversas impresoras 3D y de los materiales que pueden ser usados con las mismas; de manera que los resultados pudiesen ser comparables y permitiendo analizar las características de cada dispositivo de impresión de manera individual [3], [4].

Instrumentos de medición. Se procedió con la creación de cuadros sobre características técnicas, rendimientos, materiales de impresión utilizados, de manera que pudiesen compararse diferentes modelos de impresión seleccionados para el estudio. Ello permitió al investigador definir las características de las prótesis elaboradas con impresoras 3D, compararlas con respecto a algunos tipos de prótesis ya existentes en el mercado. Adicionalmente, se suministran y compararon diferentes modelos de impresoras 3D, las materias primas utilizadas, así como las aplicaciones de software requeridos para su funcionamiento; ello permitió conocer a profundidad los requerimientos mínimos para poder elaborar prótesis y estimar los costos de elaboración de una unidad prostática [5], [6].

Aplicación de los instrumentos de medición. Para esta actividad utilizamos 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 los diferentes cuadros comparativos.

Resultados

Los datos recolectados permiten estimar el uso de las aplicaciones de la tecnología de impresión en 3D; y con esto se logra considerar a ésta tecnología como una alternativa en el uso de las prótesis para la medicina animal en el ámbito de la ortopedia canina, pero que pueden ser extrapolados al ámbito humano también.

Cuadro 1. Comparación entre prótesis fabricadas con impresora 3D vs Prótesis estándar

	Prótesis elaboradas con impresora 3D	Prótesis estándar
Vida útil	<ul style="list-style-type: none"> - Depende del tipo: ortopédica: de 1 a 3 meses • amputación: no suele aplicarse, depende de valoración del médico y decisión del dueño. De por vida • parálisis: de por vida 	<ul style="list-style-type: none"> - Depende del tipo: <ul style="list-style-type: none"> • ortopédica: de 1 a 3 meses • amputación: no suele aplicarse, depende de valoración del médico y decisión del dueño. De por vida • parálisis: de por vida
Disponibilidad	<p>Requiere de trabajo en conjunto con un veterinario, pero si se poseen los materiales y el conocimiento, uno mismo puede elaborarlas.</p> <p>También puede ser contra pedido a empresas especializadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Solo contra pedido, aprobado por un veterinario.
Acople	<p>Hechas a la medida, requieren de sesiones de terapia y rehabilitación</p>	<p>Hechas a la medida, requieren de sesiones de terapia y rehabilitación</p>
Costo	<p>Depende de si se poseen o no los materiales, equipo y conocimiento y el grado de la lesión:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si es así, pueden rondar entre los \$200 a \$1.000 aprox. - Si se contrata una empresa para que la diseñe y fabrique, hay costos desde \$500 a \$1.500 aprox. 	<p>Desde \$2000 o más, depende del grado de la lesión.</p>

Cuadro 2. Estudio comparativo de posibles materiales utilizados en la elaboración de prótesis caninas

Material	Durabilidad	Flexibilidad	Disponibilidad	Temperatura de fundición	Temperatura de Plataforma	Desechos
ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)	Alta	Poca o nula	Muy usado	215-250°	90-103°	-No biodegradable -Reciclable
PLA (Ácido Poliláctico o Poliláctido)	Buena	Poca o nula	Muy usado	160-230°	ambiente hasta 60°	-Biodegradable -Reciclable
Soft PLA (Ácido Poliláctico flexible)	Buena	Alta	Muy usado	200-220°	ambiente hasta 60°	-Biodegradable -Reciclable
PVA (Alcohol Polivinilo)	Muy poca	Poca o nula	Aplicaciones especiales	180-200°	50°	-Biodegradable - Soluble en agua
PC (Policarbonato)	Muy Alta	Nula	Muy usado	280-305°	85-95°	-No biodegradable -Reciclable
HDPE (Polietileno de alta densidad, High density polyethylene)	Alta	Alta	Poco usado	225-230°	ambiente	-No biodegradable -Reciclable
Aluminio (aleación AlSi10Mg)	Muy Alta	Nula	Muy usado	570-590 °	300°	-No biodegradable -No reciclable
Titanio (aleación ti6al4v)	Muy Alta	Nula	Muy usado	1 635-1 665 °	730°	-No biodegradable -No reciclable
Filaflex	Alta	Muy Alta	Muy usado	220-230°	ambiente	-No biodegradable -Reciclable
TCP FLEX (Co-Poliéster Termoplástico)	Muy Alta	Alta	Muy usado	220-260°	ambiente hasta 60°	-No biodegradable -Reciclable
NinjaFlex	Alta	Alta	Muy usado	210-225°	20-50°	-No biodegradable -Reciclable

Fuente: Elaboración Propia. Elaborado con los datos de [7], [8], [9], [10].

Cuadro 3. Estudio comparativo entre diferentes proveedores y modelos de impresoras 3D disponibles en el mercado internacional.

Modelo de Impresora	Marca	Costo	Disponibilidad	Software	Capacidad de Impresión	Características de Impresión
Witbox	Bq	€1.690 \$1,999	Europa o comprar por Amazon	<ul style="list-style-type: none"> - Firmware Marlin preconfigurado - Hosts compatibles Repetier, Pronterface, Cura, ReplicatorG - Slic3r (recomendado y preconfigurado) - Skeinforge 	-Mono extrusor -monocromático	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones: 210x297x200 mm - Velocidad: 60-80 mm/s
Mono Extruder	Builder	€1.375	Europa o tienda online	<ul style="list-style-type: none"> - Open source Repetier, (Cura, Kisslicer) 	-Mono extrusor -monocromático	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones: 220x210x170 mm - Velocidad: 10-200 mm/s
Prusa i3 Hephestos	Bq	€499,90 \$699.99	Europa o comprar por Amazon	<ul style="list-style-type: none"> - Firmware derivado de Marlin - Entorno recomendado: Cura Software, Slic3r, Repetier, Kisslicer 	-Mono extrusor -monocromático	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones: 220x220x180 mm - Velocidad: 40-100 mm/s
Big Builder – Dual-Feed Extruder	Builder	€2.495	Europa o tienda online	<ul style="list-style-type: none"> - Open source Repetier, (Cura, Kisslicer) 	-Extrusor doble -bicromático, 2 filamentos	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones: 220x210x66 mm - Velocidad: 10-80 mm/s
CUBE 3D	Cubify	\$1099	Tienda online o Amazon	<ul style="list-style-type: none"> - CubePro converter software 	-Extrusor doble -bicromático, 2 filamentos	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones: 152x152x152 mm - Velocidad: 15 mm/s
CUBEPRO	Cubify	\$2899	Tienda online o Amazon	<ul style="list-style-type: none"> - CubePro converter software 	-Mono extrusor -monocromático	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones: 285x230x270 mm - Velocidad: 15 mm/s

Fuente: Elaboración Propia. Elaborado con los datos de [11], [12], [13], [14].

Cuadro 4. Estudio comparativo entre las aplicaciones software requeridas para el uso de las impresoras 3D

Software	Función	Dificultad de aprendizaje	Compatibilidad con Impresoras	Hardware (PC)	Costo de Licencias
Repetier-Host	Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code)	Medio - Instrucciones en página de internet	- Alta, sistemas "open source"	- Pc Alta gamma: procesador i3 o superior - Windows xp o superior	- Donación mensual de \$5 o licencia ilimitada por \$10 - Por montos mayores, funciones y características extra.
Pronterface	Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code)	Alto	- Media, sistemas "open source"	- Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior - Windows xp o superior	- Gratis
ReplicatorG	Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code)	Alto	- Media, sistemas "open source"	- Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior - Windows xp o superior	- Gratis
KISSlicer	Convertor de archivos 3D, (.stl, .obj, .3Ds) a formato de impresión (G-code)	Medio	- Alta, sistemas "open source"	-Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior -Windows xp o superior	- Básica: gratis - Pro: \$42 - Grupal: \$35/licencia. (5 licencias máximo) - Educativo: \$25/licencia
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 - Windows 7 o superior	- Gratis, incluido con la compra de la impresora 3D
Cubify Invent	Diseño y modelaje de archivos 3D	Medio, basado en modelaje CAD	- Alta - Especial para equipos de la misma marca	- Pc Alta gamma: procesador i3 o superior - Windows 7 o superior	- Prueba gratis por 14 días - Licencia \$49
3Dtin	Diseño y modelaje de archivos 3D	Fácil	- Alta	- Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior - Windows xp o superior - Navegador Google Chrome, Mozilla Firefox o similares.	- Gratis - Aplicación online

Continúa...

Continuación

Software	Función	Dificultad de aprendizaje	Compatibilidad con Impresoras	Hardware (PC)	Costo de Licencias
Tinkercad	Diseño y modelaje de archivos 3D	Fácil	- Alta	<ul style="list-style-type: none"> - Pc estándar: procesador Pentium, i3 o superior - Windows xp o superior - Navegador Google Chrome, Mozilla Firefox o similares. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gratis - Aplicación online
SketchUp	Diseño y modelaje de archivos 3D	Medio, algunas herramientas complejas	- Alta	<ul style="list-style-type: none"> - Pc Alta gamma: procesador i3 o superior - Windows 7 o superior 	<ul style="list-style-type: none"> - Gratis - Pro: \$590, funciones avanzadas y herramientas adicionales
Blender	Diseño y modelaje de archivos 3D	Muy Alto	- Alta	<ul style="list-style-type: none"> - Pc Alta gamma: procesador i3 o superior - Windows 7 o superior 	<ul style="list-style-type: none"> - Gratis
Solidworks Standard	Diseño y modelaje de archivos 3D	Muy Alto	- Alta	<ul style="list-style-type: none"> - Pc Alta gamma: procesador i3 o superior - Windows 7 o superior 	<ul style="list-style-type: none"> - \$3995 - versión estudiantil: \$150

Fuente: Elaboración Propia. Elaborado con los datos de [7], [8], [9], [10], [15], [16], [17].

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

Impresora	Material	Software
Prusa i3 Hephestos	TCP FLEX (Co-Poliéster Termoplástico)	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño: Tinkercad - Impresión: KISSlicer
Witbox	HDPE	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño: SketchUp - Impresión: Repetier-Host
CUBEPRO	Ninja Flex	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño: Cubify Invent - Impresión: CubePro converter software

Fuente: Elaboración Propia. Elaborado con los datos de [18], [19], [20].

Análisis de resultados

Opciones de Sistema de impresión 3D para la fabricación de prótesis para cirugía ortopédica en caninos.

El cuadro 5 muestra las diferentes combinaciones de impresoras, materiales y software que resultan como más acertadas para el diseño y fabricación de prótesis para caninos; lo anterior con base en la información generada en los cuadros 1, 2, 3 y la comparación de cualificaciones técnicas generada en el cuadro 4. La selección de las 3 opciones está basada en la combinación de criterios costo, siendo la primera la combinación más barata y la última la más cara.

Se realizó la comparación de acuerdo al costo, ya que es el rubro donde las prótesis elaboradas en 3D tienen mayor diferencia con las prótesis estándar. En el cuadro 5 que realiza la integración y comparación de opciones de fabricación; sin embargo, no se tomó en consideración los materiales metálicos ya que las impresoras para estos materiales son de un costo muy elevado. De manera análoga no se consideró el software solidworks que es uno de los líderes del mercado por el alto costo de sus licencias.

Opción 01 para Sistema de impresión de prótesis 3D. En la primera combinación tenemos la impresora Prusa i3 Hephastos, con una capacidad de impresión de monoextrusor y monocromático, y utiliza como material para impresión el TCP FELX como se muestra en la cuadro 5; además, presenta el precio más accesible con respecto a las impresoras del estudio con un valor de US\$ 699.99, junto con los software de trabajo cuyas licencias son gratis (Firmware derivado de Marlin, Entorno recomendado: Cura Software, Slic3r, Repetier, Kisslicer) y el precio del material no es muy elevado. El software de diseño le permite a la persona diseñar sus propias piezas (prótesis) y ya que el precio de las impresoras y el material no son muy altos como se muestra en el cuadro 3. Los dueños pueden elaborar sus propias prótesis para sus mascotas. Sin embargo, deberán buscar asistencia de algún veterinario para asegurar que el diseño sea adecuado para el can.



Figura 1. Prótesis de extremidad inferior canina con impresión 3 D.

Fuente: www.hashem-alghaili.com/#science/3dprintdods



Opción 02 para Sistema de impresión de prótesis 3D. En la segunda combinación tenemos la Witbox con un precio de US\$ 1.690 a US\$ 1.999, esta permite un área de impresión mayor y mejor compatibilidad de software (Firmware Marlin preconfigurado, Hosts compatibles Repetier, Pronterface, Cura, ReplicatorG, Slic3r (recomendado y preconfigurado), Skeinforge) y materiales de impresión (Mono extrusor, monocromático) y utiliza como material para impresión el HDPE, como se muestra en el cuadro 5. El software de impresión requiere de la compra de una licencia, pero el costo es muy bajo y el software posee mejores herramientas de diseño e impresión. Sin embargo, la impresora es compatible con otros softwares, incluyendo aquellos que son gratis, lo cual puede generar una ventaja comparativa para si el fabricante tiene una limitación con respecto a los costos de inversión. El software de modelado también es gratis, pero posee mejores herramientas de modelado que los disponibles para la impresión de la Opción 01 (Prusa i3 Hephastos y sus licencias). Además, tiene una versión "PRO" la cual le permite agregar funciones adicionales por la compra de la licencia; lo cual le permitiría al fabricante ir realizando una inversión escalonada en su equipo de fabricación 3D. El material es más fuerte que el presentado en la opción 01 y los acabados son más profesionales.

Opción 03 para Sistema de impresión de prótesis 3D. La tercera combinación presenta la impresora CubePro, esta es la opción más cara con un valor de US\$ 2.899, pero ofrece la mayor área de trabajo, así como su propio software dedicado de modelado (Cubify Invent) e impresión (CubePro converter software). El material ofrece las mejores características para elaborar una prótesis y el software de diseño Cubify Invent posee herramientas de modelado más complejas para que los modelos sean lo más precisos posible, para ello utiliza como material para impresión el Ninja Flex, como se muestra en el cuadro 5.

Como podemos apreciar las impresoras 3D ofrecen diferentes combinaciones de sistemas, materiales y software, por lo que tanto dueños 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 veterinaria, como lo es el médico veterinario, de preferencia especialista en Cirugía Ortopédica Canina, por ejemplo.

Por lo tanto, a partir de la información recolectada y analizada en el presente estudio; cada vez que se desee realizar la elaboración de una prótesis con el uso de impresoras 3D se tendrá que estudiar los materiales por utilizar, ya que para realizar las prótesis deben de poseer características específicas de acuerdo al modelo de impresora y aplicación de software seleccionadas.

Sin embargo, si la selección es adecuada, las unidades fabricadas serán similares usadas en las prótesis comerciales, con valores de durabilidad y flexibilidad similares.

Implementación de las prótesis en animales. Debido al alcance exploratorio de esta investigación, el conocimiento de que las prótesis impresas en 3D funcionan en los canes se obtuvo gracias a las historias de perros como Derby y Turboroo, los cuales fueron tratados exitosamente con las prótesis 3D. Sin embargo, no se realizó la revisión de casos de estudio para pacientes a nivel de Costa Rica. Se espera que, en un futuro cercano nuevas líneas de investigación puedan reunir datos sobre la aplicación de la tecnología descrita en casos fabricación y cirugía ortopédica veterinaria en Costa Rica. Lo anterior desarrollado por parte de expertos y especialistas en el área, quienes puedan complementar los datos de uso práctico a esta revisión de tecnologías disponibles para el uso de impresión 3D en asistencia ortopédica. Un ejemplo en Costa Rica fue la prótesis generada en el año 2015 al Tucán de Grecia [21], [22].

Conclusiones

La facilidad de algunas aplicaciones de software para diseño de modelos 3D, permiten elaborar prótesis tanto funcionales, como estéticas que se acoplarían más fácilmente al can ya que se pueden diseñar basándose en la forma de la extremidad o la parte donde se ubicará la prótesis.

Un aspecto por destacar es que los mismos propietarios de los sistemas de fabricación 3D, serán capaces de realizar las prótesis, requiriendo el acompañamiento de un profesional en medicina veterinaria y/o fisioterapia canina 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. Pues los dispositivos de impresión permitirán tiempos más cortos de recuperación para los pacientes caninos que las utilicen.

Finalmente, en caso de que no se puedan conseguir las impresoras o no se posea el conocimiento para manejar el(los) software(s) 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.

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. Ciertamente, manteniendo las mismas características estructurales que tienen las prótesis estándar [22].

Referencias

- [1] BQ. (2016, Julio 14). *Prusa i3 Hephestos*. [online]. Disponible: <https://www.bq.com/es/printbot-evolution>.
- [2] 3Dilla. (2016, Agosto 25). *LA IMPRESORA 3D Y EL METAL*. [online]. Disponible: <http://es.3dilla.com/materiales/metal/>.
- [3] Formizable. (2016, Marzo 25). *Guía de plásticos y otros materiales para impresión 3D*. [online]. Disponible: <http://formizable.com/category/impresoras-3d/tutorial/>
- [4] D. Burón. (2013, Diciembre 04). *Impresión 3D: Qué materiales usar y dónde comprarlos*. [online]. Disponible: <http://www.silicon.es/impresion-3d-que-materiales-usar-y-donde-comprarlos-50135>
- [5] BQ. (2016, Agosto 19). *BQ 777-1005 Prusa i3 Hephestos, Yellow*. [online]. Disponible: http://www.amazon.com/BQ-777-1005-Prusa-Hephestos-Yellow/dp/B00T007PSS/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1427425912&sr=8-1&keywords=Prusa+i3+Hephestos.
- [6] BQ. WitBox (2016, Agosto 19). *BQ WitBox 777-1000 3D Printer, Black*. [online]. Disponible: http://www.amazon.com/BQ-WitBox-777-1001-Printer-White/dp/B00T008FPU/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1427419371&sr=8-1&keywords=bq+witbox.
- [7] Repetier. (2016, Agosto 19). *Repetier-Host Documentati on*. [online]. Disponible: <http://www.repetier.com/documentation/repetier-host/rh-installation-and-configuration>.
- [8] Replicat. (2016, Julio 30). *ReplicatorG*. [online]. Disponible: <http://replicat.org/start>
- [9] A. Soriano. (2016, Julio 30). *Why sketchup?* [online]. Disponible: <http://www.sketchup.com>
- [10] K. Yanev. (2016, Julio 30). *Printrun*. [online]. Disponible: <http://www.pronterface.com>.
- [11] J. P. Oyanedel. (2016, Junio 27). *Prótesis impresas en 3D ayudan a perro discapacitado a correr de nuevo*. [online]. Disponible: <https://www.fayerwayer.com/2017/01/polaroid-lanza-su-linea-de-impresoras-3d-economicas-ces2017/>.
- [12] Impresoras3D. (2016, Mayo 13). *BQ Witbox*. [online]. Disponible: <https://impresoras3d.com/products/bq-witbox-2>.
- [13] Impresoras3D. (2016, Mayo 13). *Builder Mono Extruder*. [online]. Disponible: <https://impresoras3d.com/pages/servicio-de-impresion-3d>.



- [14] Impresoras3D. (2016, Mayo 13). *Kit Prusa i3 Hephestos*. [online]. Disponible: <https://impresoras3d.com/pages/servicio-de-diseno-3d>.
- [15] J. Carballo (2016, Junio 27). *Filamento flexible para impresora 3D NinjaFlex*. [online]. Disponible: <http://enthings.com/consumibles-3D/comprar-filamento-flexible-para-impresora-3D-ninjaflex/>.
- [16] J. Coppinger. (2014, Noviembre 24). *Before You Purchase SolidWorks*. [online]. Disponible: <https://www.thoughtco.com/before-you-purchase-solidworks-485240>.
- [17] F. Gordillo. (2014, Noviembre 28). *Así son los filamentos termoplásticos para impresoras 3D*. [online]. Disponible: <http://www.teknlife.com/reportaje/asi-son-los-distintos-y-nuevos-filamentos-termoplasticos-para-impresoras-3D/>.
- [18] Kisslicer. (2016, Agosto 04). *KISSlicer*. [online]. Disponible: <http://www.kisslicer.com/>.
- [19] N. Parks. (2016, Mayo 21). *How to Use Repetier-Host*. [online]. Disponible: <http://makezine.com/projects/repetierhost/>.
- [20] Cubify. (2016, Agosto 30). *Cubepro*. [online]. Disponible: <http://www.3dsystems.com/shop?redirectFrom=cubify>
- [21] Imprimalia 3D. (2014, Abril 10). *El águila que recuperó su pico gracias a la impresión 3D. En Imprimalia 3D*. [online]. Disponible: <http://www.imprimalia3d.com/noticias/2014/04/09/001983/guila-que-recuper-su-pico-gracias-impresi-n-3D>.
- [22] Imprimalia 3D. (2014, Agosto 27). *La impresión 3D permite crear implantes y prótesis para nuestras mascotas. En Imprimalia 3D*. [online]. Disponible: <http://www.imprimalia3d.com/noticias/2014/03/06/001530/implantes-impresos-3D-perros>.