

Fabricación aditiva y escaneo 3D para asistir la movilidad canina mediante prótesis paramétricas

Additive manufacturing and 3D scanning to assist canine mobility through parametric prostheses

Diego Bustos¹ Sebastián Cárdenas² Luis Bautista³ Jhohan Morales⁴

¹Autor del ISU Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: dbustos@istct.edu.ec

²Autor del ISU Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: wcardenasr@istct.edu.ec

³Autor del ISU Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: lbautistas@istct.edu.ec

⁴Autor del ISU Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: jbmoralesscasalliglla@istct.edu.ec

RESUMEN

En la presente investigación, se busca lograr posibles soluciones a problemas de movilidad en canes, analizando la biomecánica que tiene el animal, así como las diferentes enfermedades que sufren, siendo una de ellas la displasia de cadera y donde se proponen 3 tipos de diagnósticos por los métodos de Mueller y Saar, de Schnelle y de Piehler.

De igual manera, se estudian las propiedades mecánicas que debe tener la prótesis para que el perro pueda usarla con la mayor ergonomía posible. Mediante la impresión 3D se propone la fabricación de prótesis caninas, experimentando con diferentes materiales que cumplan con la ergonomía y resistencia, a fin de mejorar su estilo de vida, estas prótesis pueden ser fijas o móviles.

Palabras claves: impresión 3D, movilidad, biomecánica, displasia de cadera, prótesis.

ABSTRACT

In this research, the aim is to achieve possible solutions to mobility problems in dogs, analyzing the biomechanics of the animal, as well as the different diseases they suffer, one of them being hip dysplasia, and where 3 types of diagnoses are proposed by the methods of Mueller and Saar, Schnelle and Piehler.

Likewise, the mechanical properties that the prosthesis must have so that the dog can use it with the best possible ergonomics are studied. By means of 3D printing, the manufacture of canine prostheses is proposed, experimenting with different materials that comply with ergonomics and resistance, in order to improve their lifestyle, these prostheses could be mobile or permanent.

Keywords: 3D printing, mobility, biomechanics, hip dysplasia, prosthesis.

1. INTRODUCCIÓN

Las mascotas son seres para la compañía de las personas en un hogar generando emociones como el amor, ya sea por diversas razones llegándose a convertir en un miembro de la familia.

El propósito de esta investigación, es recolectar información sobre metodologías que mejoren la calidad de vida del animal que sufre una discapacidad adquirida o provocada, por lo tanto, con el análisis de la biomecánica, se buscan lograr posibles soluciones a problemas de movilidad en canes utilizando medios de fabricación sofisticados como la impresión 3D.

Mediante el estudio de la cinemática y dinámica que aplica el animal al caminar se analizan aspectos como la biomecánica canina, que influye en el equilibrio y distribución del peso del ser vivo (Ricco, 2018).

Para el efecto se realizaron diferentes prototipos hasta lograr crear una prótesis que cumpla con la comodidad y consiguiendo imitar la morfología del animal permitiendo una adaptabilidad más efectiva.

Otro aspecto importante es el material de fabricación de la prótesis a través de la impresión 3D, ya que su selección se basa en aspectos mecánicos como la resistencia, la flexibilidad y la durabilidad.

2. PRÓTESIS Y ÓRTESIS

2.1. LA PROTÉSTICA Y SU HISTORIA

Los seres humanos poseen la capacidad de buscar soluciones a los problemas, con el objetivo de mejorar su estilo de vida. Por esto mismo, las prótesis u órtesis han evolucionado a lo largo del tiempo, siendo usadas cosméticamente hasta convertirse en aparatos totalmente funcionales. En la Figura 1 se observa la

evolución de la prótesis. (Galli & Pelozo, 2017)

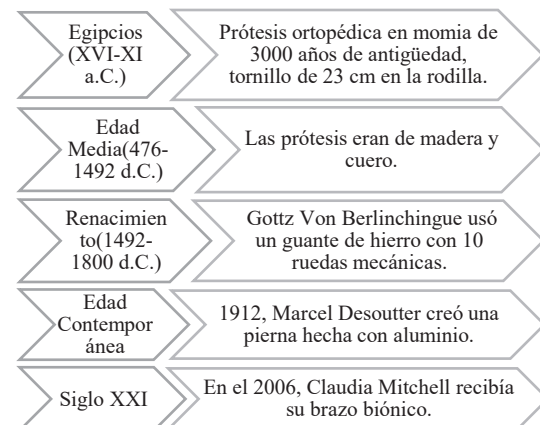


Figura 1 Línea de Tiempo de la Prótesis.
Fuente: (Pardo & Latorre)

Las personas usan e innovan las prótesis, sin embargo, los avances veterinarios se estancaron debido a las pocas opciones que los animales tienen al perder una extremidad, ya sea por eutanasia o amputación total.

2.2. LA PRÓTESIS

Es una extensión artificial que reemplaza una parte del cuerpo pérdida por amputación, restaurando parcialmente su centro de gravedad (Lovotti & Mónica, 2015). En la Figura 2 se muestra su clasificación.

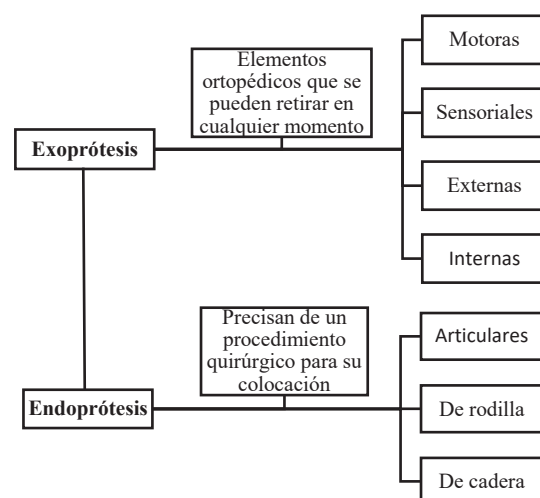


Figura 2 Clasificación de las prótesis.
Fuente: elaboración propia

2.3. LA ÓRTESIS

Es un dispositivo que se adhiere al miembro afectado con el fin de brindar soporte, modificando el sistema neuromusculoesquelético (Lovotti & Mónica, 2015). En la Figura 3 se presenta su clasificación.

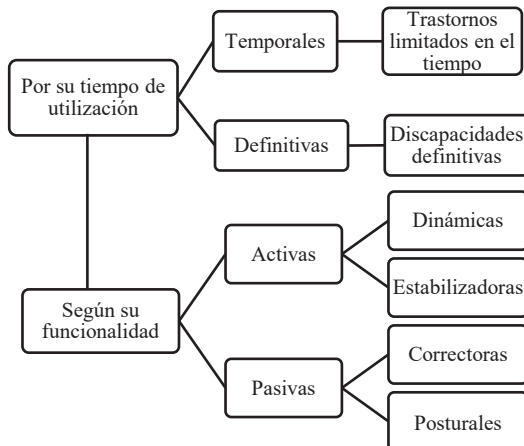


Figura 3 Clasificación de la órtesis.
Fuente: elaboración propia

A modo de análisis, los métodos ortopédicos empleados en animales son similares a los aplicados en humanos, en donde la clasificación de las órtesis rara vez sufren modificaciones, sino que buscan adaptarse a la anatomía del animal.

3. ENFERMEDAD

Es el debilitamiento del organismo de defensa que provoca malestares y limitaciones en el cuerpo. Las principales enfermedades que padece un perro es moquillo, hepatitis canina, rabia y sarna (Veterinaria, 2020).

4. DISCAPACIDAD FÍSICA

Es aquella que limita o impide el desempeño motor del sujeto. (Salud, 2020)

Las causas pueden ser congénitas y por lesiones medulares como consecuencia de problemas del organismo y accidentes. Como se puede observar en la Ilustración 1.



Ilustración 1 Perros con discapacidad
Fuentes: (Morales Laura, 2017)

Los trastornos físicos más comunes en los perros son: amputaciones de extremidades, ceguera, enucleación ocular (extirpación del ojo), sordera o parálisis (Nupec, s.f.).

4.1. CAUSAS

- **Adquiridas:** Influyen factores genéticos y ambientales como alimentación o el ejercicio, que provocan cambios en la funcionalidad y estructura del animal.
- **Provocadas:** Dentro de esta causa intervienen las personas, muchas veces por la imprudencia al conducir un automóvil atropellando al animal, provocando daños medulares que generan parálisis de las extremidades.

4.2. DISPLASIA DE CADERA

Displasia coxofemoral (DCF) o también llamada displasia de cadera es definida por la Federación Canófila Internacional (FCI) como un trastorno del desarrollo óseo de la cadera que genera una inestabilidad en la articulación entre la cabeza femoral y el acetábulo, deformando ambas superficies provocando enfermedades degenerativas articulares (EDA) como displasia y artrosis. En la Ilustración 2 se observan los tipos de displasia en canes y, en la Figura 4 se presentan las causas y

síntomas de la displasia. (Villalobos, 2018)

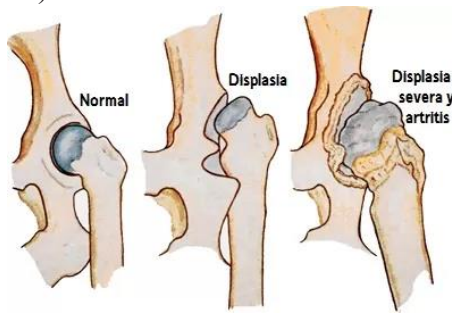


Ilustración 2 Displasia de cadera en perros.
Fuente: (Formación, 2014)

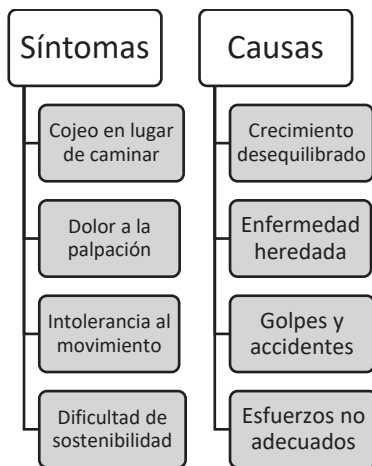


Figura 4 Causas y Síntomas de la Displasia Coxofemoral.
Fuente: elaboración propia

4.3. CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DCF

Para obtener una valoración sobre el tipo de displasia de cadera se realizan pruebas radiológicas como el TAC (Tomografía Computarizada) y la RMN (Resonancia Magnética Nuclear) que permitan determinar un diagnóstico médico por imágenes. (Tarrago, 2001)
Existen tres formas estandarizadas para realizar el diagnóstico:

1. **Método de Schnelle (1954):** Indica la alteración en la articulación estableciendo 4 grados distintos como se presenta en la Figura 5 y 6. (Muentes Mendoza, 2021)

Grado 1	• Cabeza del fémur demasiado pequeña en comparación al acetábulo provocando congruencia demasiado grande.
Grado 2	• Acetábulo aplanado, la cabeza no es totalmente esférica
Grado 3	• Cabeza del fémur subluxada
Grado 4	• Cabeza del fémur luxada

Figura 5 Clasificación del grado de DCF por el método Schnelle.
Fuente: elaboración propia

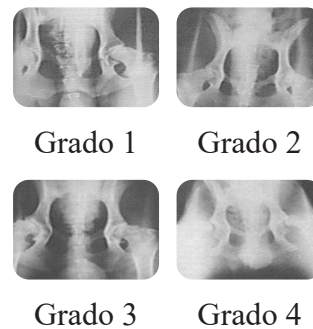


Figura 6 Grados de displasia según Schnelle.
Fuente: (Muentes Mendoza, 2021)

2. **Método de Mueller y Saar (1966):** Propusieron 5 grados DFC y la FCI en 1978 describió cada uno de ellos como se observa en la Figura 7. (Muentes Mendoza, 2021)

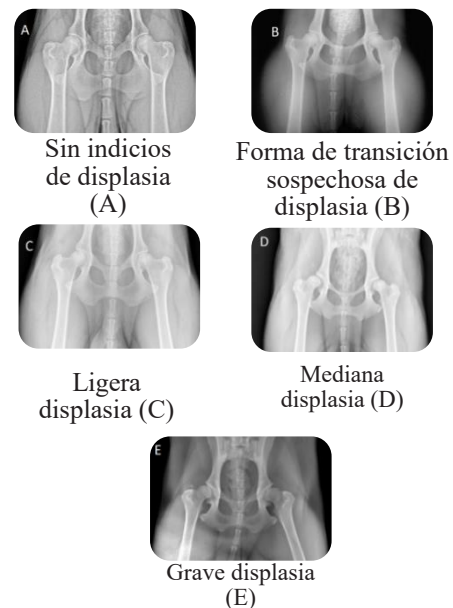


Figura 7 Grados de Displasia según Mueller y Saar.
Fuente: (Ansoleaga, 2018)

3. **Método de Piehler (1967):** Se usa para medir la profundidad del acetábulo mediante la longitud de los centros y se relacionan mediante la siguiente fórmula. (Muentes Mendoza, 2021)

$$\frac{x_1 * 100}{X_3} = Y_2 \%$$

Donde:

- x1: Distancia puntos profundos.
- X3: Centros de techos del acetábulo.
- Y2%: Porcentaje de grado DCF.

De acuerdo al resultado Y₂ se clasifica el grado como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1
Clasificación del grado DCF según el método Piehler.

Articulación sana	55 a 69 %
DCF grado 1	70 a 73
DCF grado 2	74 a 79
DCF grado 3	> a 80

Fuente: elaboración propia

5. BIOMECÁNICA

Se define como la ciencia y tecnología de los movimientos que pueden ejercer los seres vivos. Tomando en cuenta su composición ósea, pueden presentar deformaciones elásticas y plásticas dependiendo de sus factores mecánicos. (Ricco, 2018)

5.1. DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS

El cuerpo de un cuadrúpedo está compuesto por un 40% de su peso en la parte posterior de su cuerpo y el 60% de su peso en la parte anterior de su cuerpo debido a la posición de su cabeza como se observa en la Ilustración 3. (Ricco, 2018)

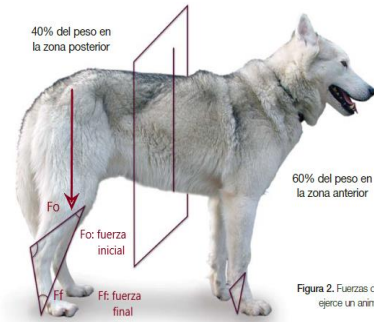


Ilustración 3 Distribución de fuerzas en un cuadrúpedo.

Fuente: (Ricco, 2018)

Es importante observar las fuerzas que ejercen los perros en las patas traseras y delanteras debido a que su diferencia radica en el flexionamiento de las posteriores.

5.2. CÁLCULO DE PALANCAS

Consiste en una barra rígida apoyada en uno de sus puntos al que se llama fulcro. Para un ortopedista es importante conocer las palancas que tiene un organismo animal, porque en función de éstas se construyen los aparatos ortopédicos. (Ricco, 2018)

Sirven también para reconocer los movimientos y fuerzas al caminar, siendo útil a la hora de calcular la fuerza que un animal ejerce para moverse con un aparato ortopédico.

5.2.1. EJEMPLO DE CÁLCULO N°1

Calcular los esfuerzos que el animal aplica sobre una órtesis al caminar.

Donde:

- Hipotenusa: peso ejercido por el aparato ortopédico en kgf.
- A: seno 40° = 0,6428
- Cateto Opuesto: peso del miembro = 6kg

Aplicación de la siguiente fórmula de trigonometría:

$$\text{Sen } 40^\circ = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Hipotenusa}}$$

$$0,6428 = \frac{6 \text{ kg}}{H}$$

$$H = 9.3 \text{ kgf}$$

El peso ejercido de la órtesis es de 9,3 kgf siendo el peso mínimo que debe soportar el aparato. En la Ilustración 4 se presenta la configuración de los ángulos de la articulación. (Ricco, 2018)



Ilustración 4 Ejemplo de cálculo de pata trasera.
Fuente: elaboración propia

5.2.2. EJEMPLO DE CÁLCULO N°2

Calcular la fuerza que ejerce el aparato ortopédico al caminar si la órtesis tiene una masa de 0,140 kg.

Donde:

- Fr= 0,140 kg
- Br= 18 cm
- Fp= ¿? kgf
- Bp= 13 cm

$$\begin{aligned} \text{Fórmula: } Fr \times Br &= Fp \times Bp \\ 0,140 \text{ kg} \times 18 \text{ cm} &= X \text{ kgf} \times 13 \text{ cm} \\ Fp &= 0,140 \text{ kg} \times \frac{18 \text{ cm}}{13 \text{ cm}} \\ Fp &= 0,193 \text{ kgf} \end{aligned}$$

La fuerza empleada por el animal es de 0.193 kgf, valor dentro del rango para que el animal pueda caminar sin dificultad. Como se observa en la Ilustración 5, la representación de una palanca interpotente en el miembro anterior. (Ricco, 2018)

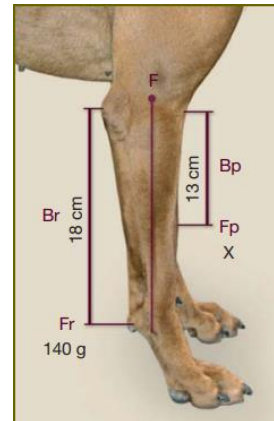


Ilustración 5 Ejemplo de cálculo de pata delantera.
Fuente: (Ricco, 2018)

6. DISEÑO

6.1. ESCÁNER 3D

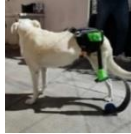



Para facilitar la producción de un objeto en formato digital es necesario un escáner 3D. Proceso que permite capturar y analizar la forma, textura y color mediante un sensor infrarrojo, luego modificarlo en un software de ser requerido. (Cardoso, Torres, & Bustos, 2022)

6.2. IMPRESIÓN 3D

En la década de los 80, el método de impresión 3D fue implementado con el fin de crear objetos usando resinas líquidas fotopoliméricas. La tecnología que utiliza, son el diseño asistido por computadora (CAD) y la manufactura asistida por computadora (CAM). (Tecnología de los plásticos, 2013)

La impresión 3D de sillas de ruedas y prótesis para canes a nivel global, ha llamado la atención de desarrolladores interesados en este tipo de proyectos, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2
Diseño de sillas y prótesis 3D hecho por diferentes desarrolladores.

PROYECTOS PREVIOS			
Empresa	País	Diseño	Material
Hurakan Tecnocenter	México		Fibra de Carbono
Propaw Lab	Argentina		PET
CULTS 3D	E.E.U.U.		PLA
Magia 3D	España		PLA

Fuente: elaboración propia

6.3. MATERIALES PARA IMPRESIÓN 3D

Los materiales más utilizados para la impresión de prótesis y sillas son el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y el ácido poliláctico (PLA) por las características descritas en la Tabla 3. (Bordignon, Iglesias, & Hahn, 2018)

Tabla 3
Materiales de impresión 3D para prototipo

Material	Propiedades	Temperatura de impresión
ABS	Tracción: 27,6 – 55,2 Mpa.	Extrusor entre 220 y 250 °C
	Compresión: 31 - 82,2 Mpa.	
PLA	Tracción: 27 - 41 Mpa.	Extrusor entre 180 y 230 °C
	Compresión: 66 Mpa.	

Fuente: elaboración propia

7. CASOS PRÁCTICOS

7.1. CASO 1

En la Ilustración 6 se observa una prótesis con dos tipos de materiales; plástico en el cuerpo y material compuesto en la zona del muñón.



Ilustración 6 Ejemplo de caso 1.
Fuente: (Fernández, 2019)

Tiene un apoyo vertical directo con una guía en la articulación, que ejerce una acción correctiva sobre el codo. (Fernández, 2019)

7.2. CASO 2

En este caso, el modelo de la prótesis es muy similar al anterior caso; con la diferencia que su estructura posee un apoyo en forma de balancín, mejorando los niveles de ergonomía y facilitando la tracción del animal como se observa en la Ilustración 7. (Fernández, 2019)



Ilustración 7 Ejemplo de caso 2.
Fuente: (Fernández, 2019)

Su geometría es ligera y tiene la capacidad de absorber las deformaciones producidas por el peso del animal.

7.3. CASO 3

Se presenta una silla de ruedas como método de tratamiento de miembros posteriores en canes de raza pequeña de hasta 4 Kg, cuando el animal ha perdido la motricidad del tren posterior, como se observa en la Ilustración 8.



Ilustración 8 Ejemplo de caso 3.
Fuente: (Tecnología de los plásticos, 2013)

8. RESULTADOS

- La generación de prótesis mediante la impresión 3D, permite realizar cambios de geometría y valorar la resistencia de los materiales para su puesta en uso.
- Los escáneres 3D también son una herramienta para obtener información gráfica sobre los canes, lo que permite realizar cambios geométricos y evaluar la durabilidad del material.
- Utilizar materiales poliméricos como se muestran en la tabla 3, tienen mayor resistencia a la tracción, sin embargo, el diseño de las prótesis se basa en la compresión, con lo cual el filamento PLA y el ABS presentan características similares.

9. DISCUSIONES

- Varios portales web (thingiverse) y laboratorios de fabricación digital (fablabs) presentan prótesis tanto para humanos como animales, sin embargo, tras la generación de órtesis caninas se requiere una adaptación individual en cada caso.
- Gilmarp, propone una silla de ruedas canina para un perro amputado sus extremidades posteriores, cuyo diseño es bastante rígido, mediante el diseño generativo se propone mejorar las cualidades de ergonomía y adaptación del modelo.
- A través de la técnica de impresión en 3D, la variación de la geometría en la fabricación de prótesis mejora mediante la simulación de las piezas al utilizar software CAD/CAM, esto aumenta la eficiencia en el proceso productivo.

10. CONCLUSIONES

- El uso de la prótesis en canes depende de diferentes factores; como se observa en el apartado 4.1 en donde la prótesis delantera debe tener una geometría que permita absorber los impactos de reacción al caminar, mientras que las prótesis traseras basan su movimiento en el equilibrio del can.
- El diseño paramétrico ayuda a modificar el tamaño de la prótesis, obteniendo la capacidad de adaptar la forma geométrica de diferentes animales, con lo cual se facilita la producción aditiva mediante tecnologías de impresión 3D.

- Finalmente, para recalcar la fase de prueba de campo en animales con limitaciones de movilidad, la valoración veterinaria sugiere que cada caso sea tratado individualmente; sin embargo, los diseños generativos permiten incursionar su aplicación unipersonal, de esta manera se mejora la calidad de vida del animal.

11. REFERENCIAS

- Ansoleaga, A. B. (2018). *Displasia de Cadera Canina. Prevalencia en la raza Bulldog*. España: Universidad de Zaragoza (Facultad de Veterinaria).
Obtenido de <https://zaguan.unizar.es/record/76362/files/TAZ-TFG-2018-4656.pdf>
- Bordignon, F., Iglesias, A. A., & Hahn, Á. (Octubre de 2018). *Diseño e impresión de objetos 3D*. Buenos Aires: UNIPE: Universidad Pedagógica Nacional .
- Cardoso, B. Á., Torres, S. R., & Bustos, D. X. (Noviembre de 2022). *Análisis de los parámetros lumínicos en la digitalización dimensional de objetos de volumen de hasta 1m3, mediante el uso de un escaner infrarrojo*. Quito, Ecuador: Instituto Superior Universitario "Central Técnico".
- Fernández, C. S. (Julio de 2019). *Diseño y Cálculo de una prótesis canina*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Formación, C. (12 de Septiembre de 2014). *Qué es la displasia de cadera en perros*. Obtenido de CIM Grupo de formación: <https://www.cimformacion.com/blog/veterinaria/displasia-de-cadera-en-perros-que-es-que-provoca-y-como-se-trata/>
- Galli, K., & Pelozo, S. (2017). *Órtesis y prótesis*. Auditoria Medica.
- Lovotti, V., & Mónica, O. (2015). *Órtesis y Prótesis herramientas para rehabilitación*. En V. Lovotti, & O. Mónica, *Órtesis y Prótesis herramientas para rehabilitación* (págs. 18-20; 208-209). Santa Fé: Universidad Nacional del Litoral.
- Muentes Mendoza, J. A. (Septiembre de 2021). *Evaluación radiológica de la degeneración en articulaciones coxofemorales, en perros geriátricos, atendidos en la Clínica Veterinaria Dr.Pet, en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. doi:<http://201.159.223.180/bitstream/3317/17209/1/T-UCSG-PRE-TEC-CMV-104.pdf>
- Nupec. (s.f.). *Discapacidades físicas que sufren los perros más comúnmente*. Obtenido de NUPEC: <https://nupec.com/blog-nupec/discapacidades-fisicas-que-sufren-los-perros-mas-comunmente/>
- Pardo, M. A., & Latorre, J. I. (s.f.). *Diseño de una prótesis canina para extremidades delanteras*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- Ricco, R. R. (2018). *Biomecánica*. Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón.
- Salud, D. (8 de Abril de 2020). *El concepto de Discapacidad: diferencias entre discapacidad, deficiencia y minusvalía*. Obtenido de Deusto Salud :

<https://www.deustosalud.com/blog/tercera-edad/concepto-discapacidad-diferencias-entre-discapacidad-deficiencia-minusvalia>

Tarrago, R. A. (2001). *Displasia de Cadera*. Instituto Veterinario de Ortopedia y Traumatología (IVOT).

Tecnología de los plásticos. (13 de Febrero de 2013). *Tecnología de los plásticos*. Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2013/02/impresion-3d.html>

Veterinaria, E. d. (5 de Agosto de 2020). *Principales enfermedades en los perros*. Obtenido de Ised: <https://www.ised.es/veterinaria/principales-enfermedades-en-los-perros/>

Villalobos, A. (2018). *Displasia Coxofemoral (DCF)*. Federación Canófila Mexicana.