

1. Definiciones de términos clave:

- **Amputación de miembro inferior derecho AK F3:** Esta amputación implica extirpar parte de la pierna superior a la rodilla a la altura del tercio inferior del fémur.
- **Diabetes Mellitus :** Enfermedad crónica que implica niveles altos de glucosa en la sangre
- **Accidente automovilístico:** Consecuencia de una colisión de coche
- **Terapia Preprotésica :** Se prepara a la persona para el manejo de la prótesis

2. Análisis de la temática y/o caso:

2.1 Contexto mundial:

La amputación de miembro inferior es un procedimiento quirúrgico irreversible que consta de la extirpación total o parcial de una extremidad del cuadrante inferior. Estas pueden ser causadas como consecuencia de un accidente o lesión (*Amputación traumática*) o enfermedad (*Amputación no traumática*).[1]

Los niveles de amputación existentes se clasifican de dos formas [2]:

a.- Clasificación anatómica de Oxford:

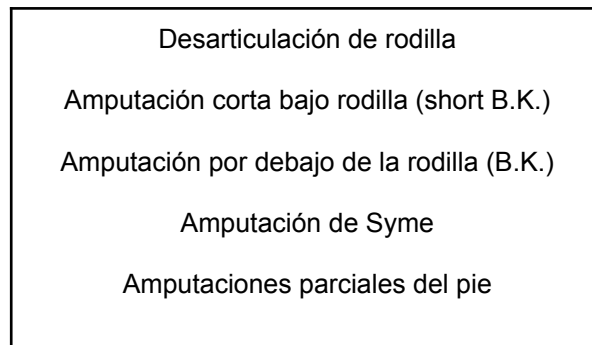
TABLA I
CLASIFICACIÓN ANATÓMICA SEGÚN OXFORD

MIEMBROS INFERIORES
F: Segmento femoral
F1: Tercio superior del fémur
F2: Tercio medio del fémur
F3: Tercio inferior del fémur
T: Segmento tibial
T1: Tercio superior de tibia
T2: Tercio medio de tibia
T3: Tercio inferior de tibia

b.- Clasificación topográfica de Schwartz:

TABLA II
CLASIFICACIÓN SEGÚN SCHWARTZ

MIEMBROS INFERIORES
Hemipelvectomía
Desarticulación de cadera
Amputación por encima de la rodilla (A.K.)



A nivel internacional, la amputación de miembros inferiores es la más común ya que constituye un 65% del porcentaje total de personas amputadas [3]. De esta cifra, el 44,6% está compuesta de pacientes que han sido amputados a nivel por arriba de la rodilla (A.K.). En los países desarrollados la mayor causa de amputaciones son complicaciones de enfermedades preexistentes (*Amputación no traumática*) siendo la diabetes y enfermedades vasculares las mayores originantes, por otro lado, en países subdesarrollados la mayor causa de amputaciones son accidentes o lesiones (*Amputación traumática*) [4].

Una amputación trae consigo consecuencias físicas, funcionales, psicológicas y sociales, es por esto que el tratamiento posterior al procedimiento debe componerse de varias etapas guiadas con la ayuda de distintos especialistas, tales como médicos, fisioterapeutas y psicólogos. El tratamiento post-operatorio consta de 3 etapas [5] :

- **Etapla post-quirúrgica:** En esta etapa es primordial la curación de la herida causada por el tratamiento quirúrgico, también se trata de disminuir los dolores y edemas que el paciente pueda sufrir por el mismo. Usualmente se usan vendajes, calcetas, yeso y pomadas. Esta etapa finaliza con la extirpación de los puntos y la cicatrización de la herida. Asimismo en esta etapa se pueden presentar diversas complicaciones con el muñón de las cuales las más frecuentes son las son infecciones en la herida con una presencia del 31.07% en los pacientes, los neuromas con una presencia del 19,64% y la necrosis con una presencia del 32,14%. Por otro lado, otra de las complicaciones más frecuentes es el famoso síndrome de miembro faltante el cual tiene una presencia del 80% y es mayormente causado por factores sociales a los que el paciente se encuentra sometido [6][3].
- **Etapla pre-protésica:** Se desarrolla de 2-3 semanas después de la cirugía y se basa principalmente en la adaptación del paciente a la vida diaria. Asimismo se empieza la confección del “Pilón”, el cual es un molde de yeso el cual es usado para el desarrollo muscular del muñón. Por otro lado, en esta etapa también se empieza a entrenar al paciente para el uso de la prótesis, esto mediante ejercicios de rehabilitación como por ejemplo; Ejercicios de equilibrio, aprender a ponerse la prótesis y prácticas de marcha en distintos terrenos [5].
- **Etapla protésica:** En esta etapa se desarrolla la prescripción de la prótesis considerando las necesidades del paciente. A su misma vez el paciente empieza el proceso de rehabilitación con el uso de la prótesis prescrita mediante técnicas especializadas como el entrenamiento A.V.D [5].

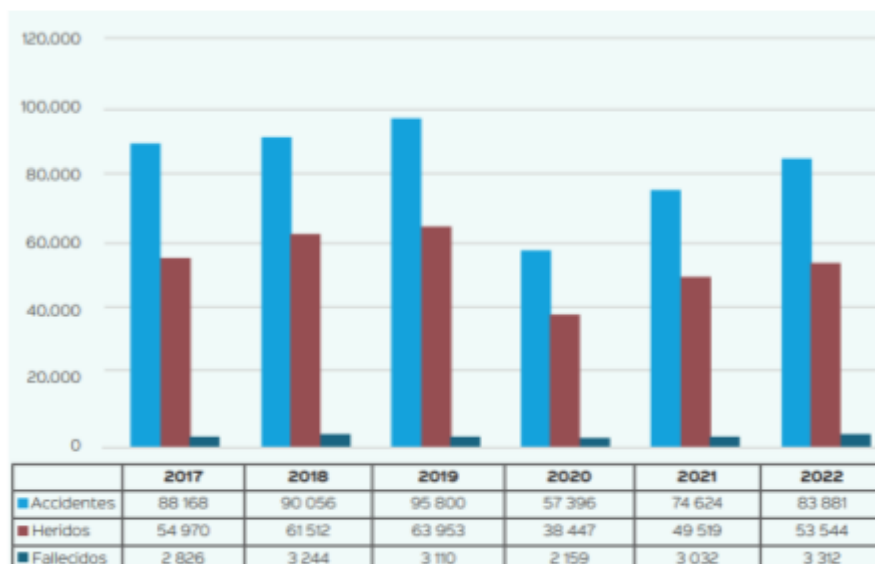
En suma, el objetivo principal del tratamiento al paciente amputado es que este aprenda a usar la prótesis prescrita por su médico, con la finalidad de que este pueda tener una óptima

calidad de vida y reemplazar el miembro faltante. El éxito del tratamiento dependerá de distintos factores relacionados tanto al paciente (edad, el estado físico, la motivación que tenga para con su recuperación y el sistema de apoyo que tenga) como al personal de salud y las terapias usadas para su tratamiento [7].

2.2 Contexto en el Perú:

Desde el 2017 al 2022 la región que registró un mayor número de accidentes de tránsito fue Lima, donde se pudo ver un aproximado de 52% de casos. Durante el 2019 se pudo visualizar una alza de accidentes, presentando así una cantidad de 95 800 a diferencia del 2020 donde se visualizó un descenso de accidentes debido al contexto histórico por el cual estaba pasando el mundo, donde la cantidad de accidentes presentados fue de 57 396. Luego del descenso histórico de accidentes automovilísticos que se pudo ver en el año 2020, en el año 2021 se pudo ver una nueva alza de accidentes donde se presentó 74 624 accidentes, de los cuales hubo 49 519 heridos y 3 032 fallecidos.

TABLA III
Accidentes de tránsito, heridos y fallecidos por siniestros viales en el Perú, durante el 2017 - 2022



Las amputaciones traumáticas del miembro inferior que se dan por accidentes de tránsito suelen ser a nivel por encima de la rodilla (A.K), en el Perú las amputaciones de este tipo son una de las más frecuentes con una incidencia del 54%; sin embargo, la amputación no traumática es la que se da con mayor frecuencia con una recurrencia del 55% y la causa en su mayoría es la complicación de la diabetes mellitus (42%).

Aunque un paciente haya sufrido una amputación traumática, el que éste padezca de diabetes será un problema para su tratamiento post-quirúrgico ya que esta enfermedad afecta a la cicatrización debido a que los altos niveles de glucosa en la sangre afectan el flujo sanguíneo ralentizando así el proceso de cicatrización. Lo mencionado influye en la etapa post-quirúrgica del tratamiento del paciente debido a las complicaciones que pueden ocasionarse lo que de la misma forma puede impedir la recuperación de la persona que a su misma vez puede afectar las siguientes etapas de recuperación.

En nuestro país los pacientes amputados solo cuentan con un centro especializado en rehabilitación integral llamado Instituto Nacional de Rehabilitación (INR), el cual está

ubicado en la capital. En el año 2023 se diagnosticó y trató a 101 personas amputadas de nivel A.K en el Departamento de Amputados, Quemados y Trastornos Posturales (AQTP), los cuales representan el 4.3% de un total de 2347 personas.



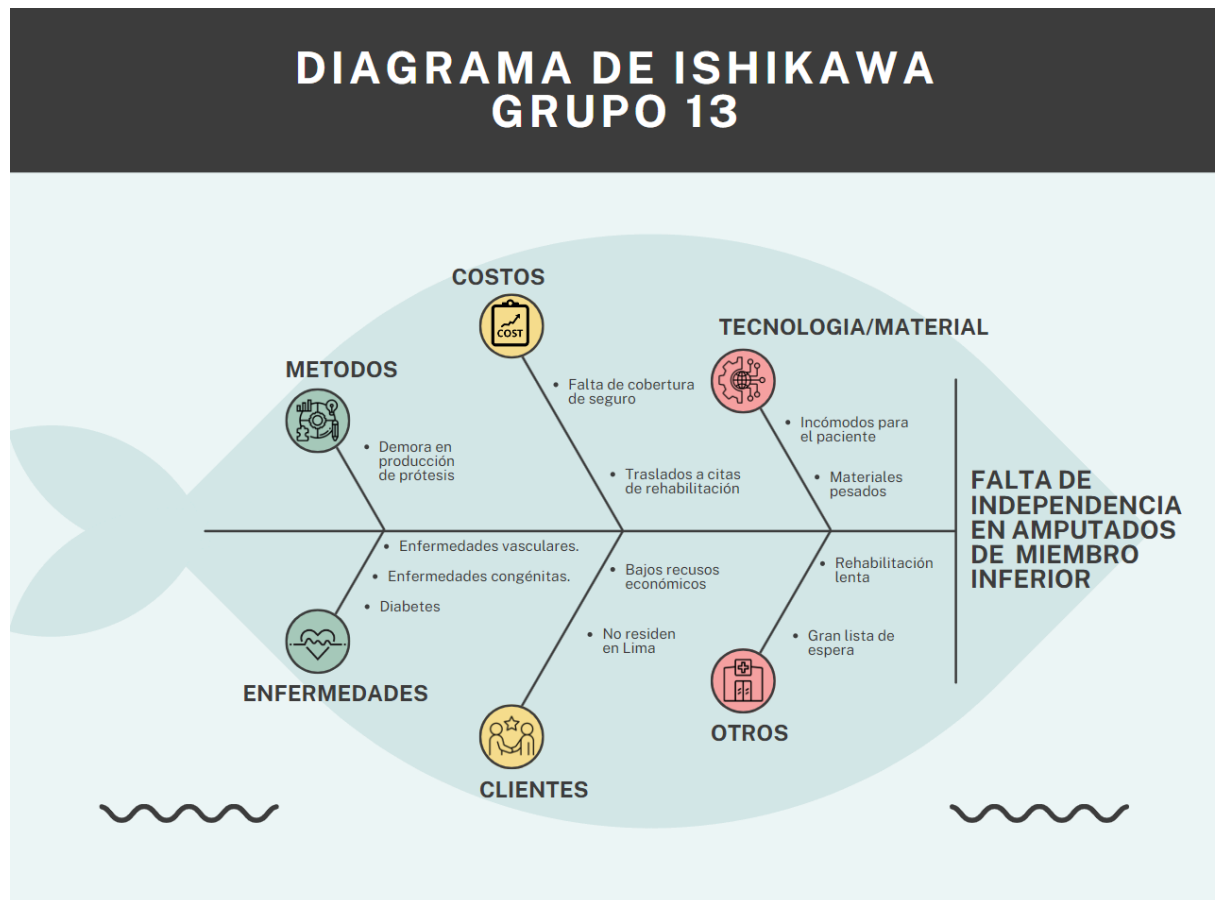
Fig 1: Indicadores hospitalarios anuales 2023

3. Cuadro médico

Prevención	Diagnóstico	Tratamiento	Monitoreo
<p>Para caso de antecedente de Diabetes mellitus:</p> <p>Ante posible úlcera isquémica con infección, la gangrena digital y la necrosis tisular (motivos para amputación mayor)[12], se recomienda tratamiento preventivo [13]:</p> <p>- Cuidado del pie con educación a pacientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Calzado adecuado * Higiene adecuada * Cuidado de heridas y corta de uñas * Ejercicio físico: Disminuir la presión máxima y aumentar el rango de movimiento del pie y tobillo. <p>- Evaluaciones periódicas de riesgos (signos):</p>	<p>Amputación de miembro inferior derecho por accidente automovilístico</p>	<p>Radiografía del muñón, exámenes de laboratorio control (hemograma, hemoglobina glicosilada, perfil lipídico. Se prescribe terapia física, ocupacional. Psicología y servicio social.</p>	<p>El 5 de enero del 2022 se procede con la realización de baremo para elaboración de certificado de discapacidad. Luego de 2 meses, le indican uso de prótesis AK modular, socket de resina, con cinturón silesiano, rodilla monocéntrica, y pie SACH. En noviembre, inicia el entrenamiento de marcha al practicar con pilón de yeso, siendo previo a la prótesis definitiva. En ese momento se encontraba en espera de cobertura de seguro para su prótesis. Un año después, acude a control y su prótesis pasa a ser elaborada en biomecánica. Se indica terapia física y ocupacional para alineamiento protésico.</p>

<ul style="list-style-type: none"> * Revisión de historial clínico: Presencia de enfermedad renal en etapa terminal y de limitaciones físicas * Análisis del pie en color, temperatura y deformidades * Presencia de lesiones como hallux valgus, atrofia muscular, deformidad de Charcot, eritema, ampollas, callosidades, fisuras, tinea pedis y uñas encarnadas. * Pérdida de pulso pedio dorsal o sensación protectora. * Control glucémico - Atención adecuada a úlceras/heridas: <ul style="list-style-type: none"> * Descarga * Uso de yeso de contacto total * Técnicas quirúrgicas: Tenotomía del tendón flexor digital, Alargamiento del tendón de Aquiles, tenosuspensión de Jones * Desbridamiento (infección) * Revascularización * Terapia de heridas con presión negativa 			<p>Finalmente, 3 meses después se realiza el alta de la prótesis AK modular, socket resina, cinturón silesiano, rodilla con freno de fricción y pie SACH. Se prescribe un bastón canadiense.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------


4. Diagrama de Ishikawa






5. Definición del problema

“La falta de independencia en amputados de miembro inferior a nivel AK F3”

6. Estado del arte/ contexto científico

<p><u>PIE SACH</u></p>	<p>Prótesis sin articulaciones en forma de pie, diseñada para brindar soporte .[14]</p> 
-------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><u>ORION3</u></p>	<p>Prótesis transfemoral que permite a los usuarios replicar el movimiento natural de sus extremidades [14]</p>  <p>A black, sleek, and modern prosthetic leg with a curved design. The brand name 'Blatchford' is visible on the side.</p>
<p><u>PLIE</u></p>	<p>Prótesis con microprocesador, capaz de soportar hasta 125 Kg.[14]</p>  <p>A black prosthetic leg with a more complex, mechanical appearance. The brand name 'PLIE3' is visible at the bottom.</p>
<p><u>GENIUM</u></p>	<p>Prótesis basada en microprocesador cuya batería dura más de 2 días. [14]</p>  <p>A silver and black prosthetic leg with a complex, mechanical design. The brand name 'genium' is visible on the side.</p>
<p><u>RHEO KNEE</u></p>	<p>Sistema controlado por microprocesador, analiza y se adapta a</p>

	<p>tus movimientos para brindar más estabilidad a la marcha [14]</p>  A black, sleek prosthetic leg with a textured surface. It features a small circular sensor or port on the side and the text "RHO KNEE" and "ROSS" visible on its side.
<p><u>POWER KNEE</u></p>	<p>Prótesis transfemoral capaz de soportar hasta 165 Kg y que promete reducir el tiempo de adaptación de los pacientes.[14]</p>  A black prosthetic leg with a more complex, mechanical design than the RHO KNEE. It has a prominent circular joint at the hip and a textured, possibly carbon fiber, lower section.

- También se ha encontrado en un artículo de investigación un sistema de control de prótesis transfemoral basado en redes neuronales. En este se consideraron factores como altura peso y edad del usuario. Además, se utilizó una metodología mecatrónica basada en el modelo V (de requerimientos a producto), con pruebas de predicción de movimientos de flexión y extensión de la pierna en base a la adquisición de datos musculares con sensores específicos como un acelerómetro y sensores MyoWare AT-04-001 con electrodos colocados en bíceps y cuádriceps femorales. Estos alimentan a una red neuronal formada de una capa de 3 entradas con 12 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida que corresponde a la posición final y terminó siendo comparada con datos reales. Este producto terminó con un error del 20% a pesar de presentar coincidencias en el ángulo de movimiento [15].

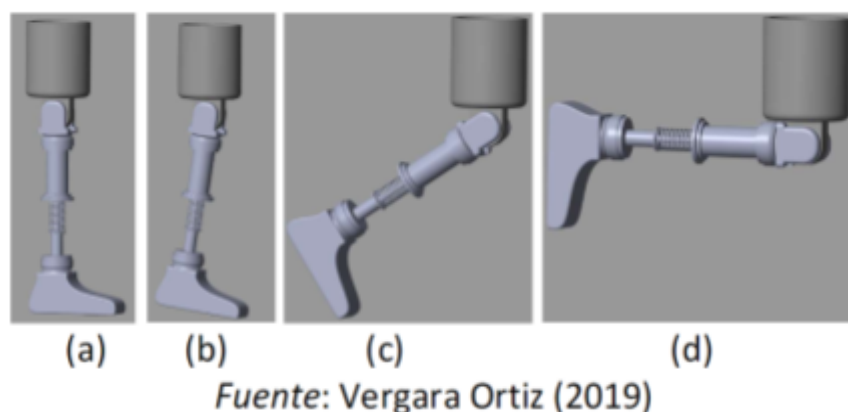


Fig 2: Simulación de flexión y extensión de Prótesis Transfemoral basado en Redes Neuronales

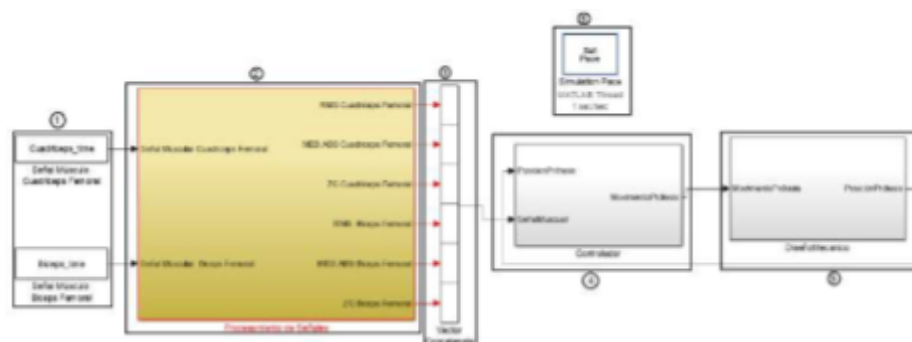
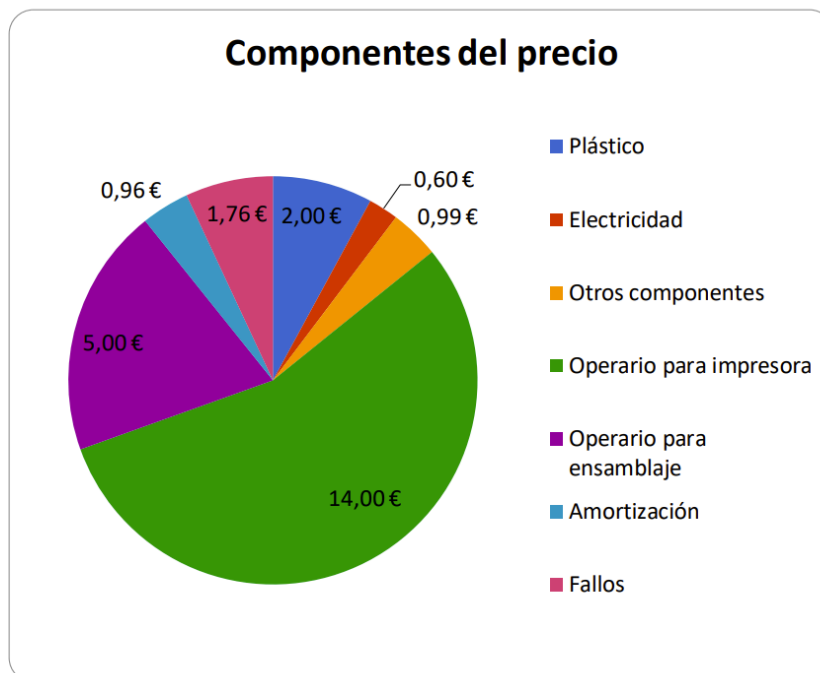


Fig 3: Integración de subsistemas mecánico y control de Prótesis Transfemoral basado en Redes Neuronales

- **Materiales usados para el proceso de fabricación de prótesis con impresora 3D**
Manufactura aditiva: Es el proceso por el cual a través de un programa se puede personalizar un prototipo para luego mandarlo a imprimir a una impresora 3D.

Material	Descripción
Acido Polilactico (PLA)	Buena resistencia a la tracción e ideal para modelos y prototipos que mejoran la calidad de la superficie. requieren detalles estéticos y ser respetuosos con el medio ambiente [17]
Poliuretano Termoplástico (TPU)	Excelente resistencia al desgarro Flexibilidad excepcional (es decir y al desgaste, alto impacto, alargamiento a la rotura) y resistencia fuerza y dureza a la corrosión para muchos productos químicos y aceites industriales comunes. Material altamente versátil con propiedades de caucho y plástico para una variedad de aplicaciones industriales. [17]

Los beneficios de la tecnología aditiva de la impresión 3d es que mejora notablemente el tiempo de fabricación puesto a que con solo el diseño digital ya se puede empezar a crear la impresión. Además esta innovadora tecnología aplicada al campo de las prótesis usa materiales más amigables con el medio ambiente y que también presentan un menor coste de producción (como se muestra en la tabla).



Materiales termoplásticos comúnmente usados para la fabricación de sockets	
Materiales Termoplástico	Descripción
Polipropileno (PP)	El polipropileno es el plástico más ligero utilizado en prótesis, se caracteriza por su alta resistencia, a la tracción, rigidez y dureza. Entre sus limitantes se resalta su sensibilidad a la deformación y deterioro por calor [19]
Polietileno (PE)	Se caracteriza por su flexibilidad y también por ser liviano esto ayuda a la fabricación de dispositivos que requieren flexibilidad para usuarios con poco recubrimiento de muñón. [19]

Los materiales termoplásticos son los que son comúnmente usados para la elaboración de prótesis por las buenas propiedades ya mencionados sin embargo presenta algunas desventajas como su sensibilidad a las altas temperaturas. Cabe recalcar que el tiempo de vida útil es corto por lo que no es un material de uso ecoamigable. Sin embargo siguen siendo una opción viable para la elaboración de prótesis.

7.- Referencias bibliográficas:

- [1] "Amputación | San Diego Hospital, Healthcare,Ucsd.edu, 2024. <https://myhealth.ucsd.edu/Spanish/TestsProcedures/Cardiovascular/92.P09333> (accessed Aug. 27, 2024).
- [2] "A Manual for Above-Knee (Trans-Femoral) Amputees"; Rehabilitation Press, Topping, 1996.
- [3] "Beginning Your New Journey Above-Knee Amputation." Accessed: Aug. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.amputee-coalition.org/wp-content/uploads/2024/08/Above-Knee-Amputation-English.pdf>
- [4] T. Kaylor, R. Supervisor, and P. Ennion, "INCIDENCE AND COMMON CAUSES OF MAJOR LOWER LIMB AMPUTATION AT A HOSPITAL IN A SUB-DISTRICT OF THE CITY OF CAPE TOWN MUNICIPALITY. Student Researcher," 2023. Accessed: Aug. 29, 2024. [Online]. Available: https://etd.uwc.ac.za/xmlui/bitstream/handle/11394/10643/kaylor_chs_m_2024.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [5] "Etapas de tratamiento," Argentina.gob.ar, Nov. 08, 2019. <https://www.argentina.gob.ar/inareps/guia-atencion-pacientes-amputados/etapas> (accessed Aug. 29, 2024).
- [6] "Vista de Características clínicas y epidemiológicas de los pacientes amputados en el Hospital General de Ciego de Ávila | Mediciego," Revmediciego.sld.cu, 2024. <https://revmediciego.sld.cu/index.php/mediciego/article/view/632/1171> (accessed Aug. 29, 2024).
- [7] M. Dra et al., "Protocolo de actuación en la rehabilitación de pacientes amputados de miembro inferior Protocol of action in rehabilitation of patients with lower limbs amputees," Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación, vol. 8, no. 1, pp. 33–43, 2016, Available: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubmedfisreah/cfr-2016/cfr161d.pdf>
- [8] "Cifra de diabéticos aumentaría a más de 1'700,000 en 2024," www.gob.pe, 2024. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/32832-cifra-de-diabeticos-aumentaria-a-mas-de-1-700-000-en-2024> (accessed Aug. 29, 2024).
- [9] INEI, "Instituto Nacional de Estadística e Informática," Inei.gob.pe, 2020. [https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/el-399-de-peruanos-de-15-y-mas-anos-de-edad-tiene-al-menos-una-comorbilidad-12903/#:~:text=En%20el%20a%C3%B1o%202020%2C%20el%204%2C5%25%20de%20la,inferior%20\(1%2C9%25\)](https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/el-399-de-peruanos-de-15-y-mas-anos-de-edad-tiene-al-menos-una-comorbilidad-12903/#:~:text=En%20el%20a%C3%B1o%202020%2C%20el%204%2C5%25%20de%20la,inferior%20(1%2C9%25)) (accessed Aug. 29, 2024).
- [10] "REPORTE DE EVIDENCIAS N°4 PRESCRIPCIÓN DE PRÓTESIS DE MIEMBRO INFERIOR," 2018. Accessed: Aug. 29, 2024. [Online]. Available: https://www.essalud.gob.pe/ietsi/pdfs/guias/RE_Prescripcion_de_Protesis_Final.pdf
- [11] K. Amaya Solis, L. Farro Uceda, and R. Lazarte Hesse, "Evolución De La Calidad De Vida Del Amputado De Miembro Inferior Atendido En El Instituto Nacional De Rehabilitación <<Dr. Adriana Rebaza Flores>> AMISTAD

PERÚ-JAPÓN, 2024,” Ministerio De Salud, Sep. 13, 2023. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5729586/5088554-rd-009-2024-sa-dg-inr.pdf> (accessed Aug. 29, 2024).

[12] O. Escalante Padrón, A. Hernández Varela, J. L. Valdés Nápoles, y R. J. Álvarez Hidalgo, "Factores pronósticos de amputación mayor en pacientes con pie diabético sometidos a cirugía," *Rev. Cubana Angiol. Cir. Vasc.*, vol. 21, no. 3, 2020. [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1682-00372020000300005&script=sci_arttext&tlng=pt

[13] E. Talaya-Navarro, L. Tarraga-Marcos, F. Madrona-Marcos, J. M. Romero-de Avila, y P. J. Tárraga-López, "Prevención de amputaciones relacionadas con el pie diabético," *Journal of Negative and No Positive Results*, vol. 7, no. 2, pp. 235-265, 2022. [Online]. Available:

https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S2529-850X2022000200005&script=sci_arttext

[14] J. F. Maldonado-Moreno, J. S. Martínez-Castañeda, Y. D. Beltrán-Malaver, I. C. Riveros-Pineda, and G. D. Tovar-Hernández, "Metodología de producción de prótesis de miembro inferior: una revisión exhaustiva," *Rev. UIS ing.*, vol. 23, no. 2, pp. 167–186, Jun. 2024. [Online]. Available:

<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/14789>

[15] S. Vergara, G. Mosquera, V. Bonilla, M. Sánchez, y C. Rueda, "Diseño de un sistema de control de prótesis transfemoral basado en redes neuronales," *Revista Mutis*, vol. 13, no. 2, pp. 1-12, Julio 2023. [Online]. Available: <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/disenio-sistema-control-pr-otesis-transfemoral>

[16] Serrano-Cinchilla, Luis; Bustamante-Góez, Liliana; Villarraga-Ossa, Junes Influencia de la densidad y de los parámetros de relleno en las propiedades mecánicas compresivas de probetas fabricadas en manufactura aditiva de PLA *Revista UIS ingenierías*, vol. 21, núm. 2, 2022, Abril-Junio, pp. 107-114 Universidad Industrial de Santander DOI: <https://doi.org/10.18273/revuin.v21n2-2022009>

[17] M. León , M. Fernández, and J. Rodríguez Hernández, "Impresión 3D Con Materiales Elastoméricos ,” *Csic.es*, Jan. 01, 2019. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/203003/1/777537.pdf> (accessed Aug. 29, 2024).

[18] G. Gómez Blázquez, "Proyecto de diseño de una prótesis a partir de fabricación aditiva (impresión 3D)," *Proyecto Final de Máster Oficial, UPC, Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa*, 2019. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/173993>

[19] Quintero, C. Zasúlich, V. (2019) "Vista de Materiales en interfaces y encajes ortoprotésicos de miembro inferior: evolución y problemas dermatológicos asociados | *Revista de la Facultad de Medicina*," *Rev. Fac. Med.* Vol. 67 No. 1: 117-25. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/64470/71001> (accessed Aug. 29, 2024).