



UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

ENTREGABLE 4

Integrantes:

Almeyda Ochoa, Renato

Arrunategui Vila, Joaquin Alfredo

Campos Zapata, Angélica Gabriela

Castro Lozano, Criss Susan

Castro Saenz, Sarai Louise

Chavesta Plasencia, Ricardo Junior

Docente:

Juan Manuel Zuñiga

Curso:

Fundamentos de Biodiseño



1. Identificación de la necesidad

La necesidad crítica a abordar, en el caso de Orihana, quien recordemos tiene 3 años 10 meses y presenta amputación transfemoral izquierda traumática, es el desarrollo de una marcha funcional y segura mediante una prótesis adecuada y una correcta adaptación a ella. Es considerada necesidad prioritaria porque condiciona directamente su autonomía básica como su participación en actividades de la vida diaria e integración social. Actualmente, es independiente parcialmente respecto a su alimentación, vestido e higiene pero para el desplazamiento está limitado a realizar “saltar” con la pierna sana, lo cual no solo compromete su marcha, sino que aumenta el riesgo de sobrecarga en la otra extremidad y en parte de la columna, lo que puede generar deformidades y dolor a corto y mediano plazo. Además, al no tener un patrón de marcha simétrico se puede limitar en incluirse en los juegos grupales de la escuela u otros entornos, provocando sentimientos de frustración y aislamiento. Y también, lo difícil de llevar sus condiciones pediátricas como el crecimiento acelerado genera cambios constantes en el volumen del muñón y la longitud del cuerpo lo que implica cambios seguidos de la prótesis y riesgo de complicaciones como el sobrecrecimiento óseo.

Por estas razones, la necesidad de tener una prótesis funcional adaptada a su edad, acompañada de un programa de fisioterapia se considera la prioridad central. Debido que no solo busca la recuperación de la marcha, sino también la prevención de complicaciones secundarias, la reducción de la dependencia en actividades cotidianas y en la adaptación y mejoramiento de la confianza del niño y su familia en el proceso de rehabilitación. Por ello, atender esta necesidad le permitirá conseguir autonomía básica, proteger la salud musculoesquelética y tener una adecuada integración social y escolar, lo que son factores esenciales para su calidad de vida a mediano y largo plazo.

PRODUCTOS COMERCIALES

1. Genium X3 (Ottobock) [1]

El **Genium X3** de **Ottobock** es una de las prótesis de rodilla más avanzadas para amputados transfemorales (por encima de la rodilla). Su diseño está enfocado a personas con una vida activa que requieren una prótesis que pueda soportar una



variedad de entornos y actividades, incluyendo deportes, caminatas en terreno irregular y actividades acuáticas.

Características y Beneficios del Genium X3:

* **Tecnología de microprocesador:**

- El **Genium X3** está equipado con un **microprocesador** que ajusta continuamente el movimiento de la rodilla y la cadera en tiempo real. Esto permite una marcha más natural y eficiente, adaptándose a las variaciones en el terreno y el ritmo de caminata del usuario.
- Se ajusta de manera automática para ofrecer la mayor estabilidad, controlando aspectos como la flexión, extensión y la frenada de la rodilla, lo que es especialmente importante en superficies irregulares y durante actividades de alta demanda.

* **Resistencia al agua y robustez:**

- **Impermeable** hasta una profundidad de **3 metros**, lo que permite que los usuarios nadadores o aquellos que se encuentren bajo condiciones de lluvia puedan seguir usando la prótesis sin preocupaciones.
- Es resistente al **agua, polvo y suciedad**, lo que lo hace muy duradero incluso en ambientes difíciles.

* **Funcionalidad en actividades de alto rendimiento:**

- El **Genium X3** es ideal para personas que practican deportes como correr, ciclismo o actividades que requieren velocidad y agilidad. Su capacidad para adaptarse a las diferentes velocidades de marcha y el control preciso sobre los movimientos lo hace perfecto para **atletas paralímpicos** y personas activas.
- También permite realizar movimientos dinámicos como **escalar escaleras, correr** o incluso mantener el equilibrio mientras se está de pie en una pierna.



* **Comodidad y personalización:**

- Su diseño es ligero y tiene una gran capacidad de ajuste, permitiendo que se adapte a las características individuales del paciente, lo cual es esencial para maximizar la comodidad y la efectividad de la prótesis.

Ventajas del Genium X3:

- **Adaptabilidad total:** Se adapta a diversas actividades, desde caminar hasta hacer deportes acuáticos, garantizando estabilidad y flexibilidad.
- **Mejor marcha:** Gracias al sistema de microprocesador, la marcha se adapta automáticamente, lo que reduce el esfuerzo y mejora la movilidad.
- **Resistencia:** Su construcción robusta y resistente lo hace perfecto para condiciones extremas.
- **Soporte de alta tecnología:** La integración con otros dispositivos electrónicos permite personalizar el comportamiento de la prótesis.

Desventajas del Genium X3:

- **Costo elevado:** Debido a la avanzada tecnología utilizada, es una de las prótesis más caras del mercado.
- **Requiere formación:** El usuario debe aprender a manejar todas las funciones del dispositivo, lo que implica una curva de aprendizaje.
- **Peso:** Aunque es ligero en comparación con otras prótesis, sigue siendo más pesado que las prótesis tradicionales no electrónicas, lo que podría causar incomodidad en algunos casos.



Figura 1: Genium X3



2. Opciones Pediátricas de Ottobock [2]

Ottobock también ofrece soluciones innovadoras para pacientes pediátricos que sufren amputaciones. Las prótesis pediátricas están diseñadas teniendo en cuenta las necesidades específicas de los niños, especialmente en términos de crecimiento y movilidad.

Características de las Prótesis Pediátricas de Ottobock:

*** Adaptación al Crecimiento:**

- Las prótesis pediátricas de Ottobock están diseñadas para adaptarse al **crecimiento** rápido de los niños. A medida que el niño crece, la prótesis puede ajustarse para mantener el confort y la funcionalidad sin tener que ser reemplazada por completo.
- Algunos modelos, como las prótesis **pediátricas personalizadas**, pueden ajustarse a medida que el muñón se desarrolla, lo que asegura que la prótesis siga siendo funcional y cómoda a lo largo del tiempo.

*** Sistemas de amortiguación y absorción de impactos:**

- Para garantizar que los niños puedan jugar y moverse con facilidad, las prótesis incluyen sistemas de **amortiguación** que absorben los impactos. Esto es crucial en las actividades cotidianas de los niños, como correr, saltar o practicar deportes.

*** Diseños divertidos y personalizados:**

- Ottobock ofrece prótesis pediátricas con **diseños personalizados** y accesorios que permiten a los niños elegir estéticas que les resulten atractivas. Esto no solo mejora la funcionalidad, sino que también tiene un impacto positivo en su autoestima.
- Opciones como **pinturas de colores** y **temas personalizados** pueden hacer que la prótesis sea algo más accesible emocionalmente para los niños.



* **Tecnología de rodillas para niños:**

- Las prótesis para niños pueden incluir **rodillas de microporcesador**, similares a las que se usan en los adultos, pero adaptadas a la edad y tamaño del niño. Esto les da una mayor **estabilidad y seguridad** durante la marcha, además de permitirles realizar movimientos más complejos de forma segura.

Ventajas de las Prótesis Pediátricas Ottobock:

- Adaptabilidad al crecimiento:** Son flexibles y se pueden ajustar a medida que el niño crece, evitando la necesidad de una prótesis completamente nueva cada pocos meses.
- Mayor comodidad:** El diseño de las prótesis permite que los niños se muevan con libertad y seguridad, ayudando a la integración social.
- Variedad estética:** Ofrecen opciones personalizables que permiten a los niños elegir modelos que les gusten, lo que mejora su experiencia emocional.

Desventajas:

- Costo:** Al igual que las prótesis para adultos, las pediátricas también pueden tener un costo elevado.
- Reemplazo frecuente:** Debido al crecimiento continuo del niño, es probable que la prótesis deba ser reemplazada o ajustada más a menudo.



Figura 2: Prótesis pediátrica



3. C-leg (Ottobock) [3][6][7]

Autor/Institución: Ottobock SE & Co. KGaA

Descripción funcional: Es una rodilla protésica controlada por un microprocesador (microprocessor-controlled knee, MPK) que regula la resistencia a la flexión en tiempo real, lo cual mejora la estabilidad y el patrón de marcha de la persona que presenta amputación transfemoral. Además, utiliza sensores y algoritmos que sirven para ajustar la dinámica de la articulación durante la marcha. Esto facilita tareas como subir o bajar escaleras, rampas y caminar a distintas velocidades.

Ventajas:

- **Mejora de la seguridad:** se muestra reducción de caídas y tropiezos respecto a rodillas no-controladas electrónicamente, lo que se traduce en mayor confianza y autonomía funcional.
- **Eficiencia energética:** varios trabajos reportan menor gasto energético en marcha (en algunos subgrupos), lo que mejora la resistencia al caminar en distancias largas.
- **Adaptabilidad:** capacidad de ajustar comportamiento para modos específicos (velocidad variable, descensos), mejorando desempeño en entornos reales.

Desventajas:

- **Costo y acceso:** el precio y la necesidad de mantenimiento especializado limitan su disponibilidad en contextos con recursos restringidos.
La relación costo-beneficio variaría según el perfil del usuario
- **Peso y consumo:** las MPK requieren baterías y mecanismos electrónicos que aumentan peso/volumen comparado con rodillas pasivas. La autonomía de la batería puede ser una limitación si su uso es prolongado.
- **Complejidad clínica:** requieren ajuste fino por parte de protesistas y entrenamiento del usuario; no todos los candidatos obtienen los mismos beneficios funcionales (dependen de condición física, balance, expectativas)

Imágenes





Figura 3: C-leg (Ottobock)



Figura 4: Prótesis completa de C-leg (Ottobock)

4. Rheo Knee: [4][5]

Autor/Institución: Hugh Herr, Ph.D. de MIT (Massachusetts Institute of Technology), en colaboración con la empresa Össur

Descripción funcional: Es una rodilla protésica con control electrónico, basada en unidades de resistencia variable, usa algoritmos de control y sensores para proporcionar una tarea continua y adaptable durante el proceso de marcha. A diferencia de MPK con control hidráulico variable, Rheo Knee incorpora control de microprocesador principalmente usado para transiciones y respuestas rápidas en escaleras y rampas.

Ventajas:

- **Respuesta dinámica:** ofrece perfiles de resistencia e impedancia que favorecen transiciones suaves en rampas y escalones para ciertos usuarios.
- **Mejora funcional:** usuarios reportan mejoras en confianza durante actividades complejas (escaleras, cambios de ritmo) y algunos parámetros de marcha se acercan a patrones no-amputados en estudios de laboratorio.
- **Opciones de ajuste:** interfaz de programación y modos de respuesta que permiten personalizar el comportamiento según necesidades del usuario.

Desventajas:

- **Variabilidad en resultados:** comparaciones directas con C-Leg y otros MPK muestran que las diferencias en rendimiento dependen mucho del protocolo, la tarea y las características del usuario.
- **Costo y soporte:** similar al C-Leg, el costo y requerimientos de soporte técnico/ajuste pueden limitar su accesibilidad.



- **Necesidad de entrenamiento:** para explotar sus modos adaptativos el usuario requiere ajuste y entrenamiento; en algunos pacientes la transición desde rodillas pasivas es más desafiante.

Imagen:



Figura 5: Prótesis Rheo Knee

PROYECTOS OPEN HARDWARE RECONOCIDOS

5. e-NABLE[8]

Autor/Institución: e-NABLE Community, red global de voluntarios, ingenieros, médicos y usuarios (fundada en 2013).

Descripción funcional: e-NABLE desarrolla y distribuye diseños de prótesis mecánicas impresas en 3D bajo licencias abiertas. Los planos CAD, manuales de armado y guías están disponibles en línea para que cualquier persona o institución pueda fabricar prótesis de manos, brazos e incluso adaptaciones de extremidades inferiores. El modelo se basa en colaboración y producción local.

Ventajas:

- Open hardware: diseños, archivos y guías totalmente libres y gratuitos.
- Bajo costo: materiales accesibles (filamento PLA, ABS o PETG).
- Personalización: se pueden ajustar los diseños al tamaño y preferencias del usuario.
- Rápida producción con impresoras 3D comunes.
- Modelo comunitario: fomenta la innovación colaborativa y la inclusión social.

Desventajas:

- Limitaciones mecánicas: no iguala la resistencia ni la durabilidad de prótesis industriales.
- Menor funcionalidad: suelen ser prótesis mecánicas simples, sin electrónica avanzada.
- Necesidad de impresora 3D y cierto nivel de conocimiento técnico para su fabricación.



- No siempre hay soporte médico profesional asociado a su entrega.

6.Smart Transfemoral Prosthetic Socket with Motorized Cable-Driven System[9]

Autor/Institución: Investigadores en Advanced Intelligent Systems Journal (2024).

Descripción funcional: Es un sistema de encaje para el muñón que integra sensores de presión y mecanismos motorizados de ajuste. Permite modificar la compresión y forma del socket en tiempo real según cambios de volumen del muñón, garantizando mayor confort y estabilidad.

- **Ventajas:**

- Mejora el confort diario, evitando rozaduras y puntos de presión.
- Se adapta a los cambios fisiológicos naturales (crecimiento, hinchazón).
- Puede aumentar la vida útil de la prótesis en usuarios pediátricos.

- **Desventajas:**

- Tecnología reciente, limitada disponibilidad comercial.
- Mantenimiento complejo por la electrónica incorporada.
Dependencia de energía (baterías).
- Mayor costo inicial frente a sockets tradicionales.

7.-Design of an open-source transfemoral, bypass socket”[10]

Autor/Institución: Victor Öberg, Alexander Thesleff, Max Jair Ortiz Catalan
Center for Bionics and Pain Research (CBPR), Chalmers University of Technology, en colaboración con Integrum AB (Suecia).

Descripción funcional:

Es un diseño de encaje transfemoral de código abierto (bypass socket) que permite a investigadores y técnicos reproducir, ajustar y probar prótesis para amputación por encima de la rodilla. El socket se puede fabricar mediante impresión 3D y está pensado para ser modular y de bajo costo, facilitando cambios en la forma y el volumen. Aunque inicialmente se desarrolló para estudios experimentales (ej. pruebas de control mioeléctrico en usuarios sin amputación), sus principios permiten diseñar sockets ajustables y personalizables, algo clave en pacientes pediátricos con muñón cambiante por el crecimiento.

Ventajas:

- Diseño open source e imprimible en 3D, lo que facilita la réplica y adaptación en distintos contextos.
- Bajo costo comparado con sockets comerciales, lo que permite reemplazos frecuentes en niños que crecen rápido.
- Modularidad y facilidad de personalización para mejorar el confort y el ajuste del muñón.



Desventajas:

- Fue creado principalmente para investigación, no como producto clínico de uso diario.
- Está pensado para adultos, por lo que habría que adaptar las dimensiones al uso pediátrico.
- Materiales impresos en 3D pueden presentar limitaciones en durabilidad y resistencia bajo condiciones de juego o actividad intensa.

8.-Finite Element Analysis in the Balancing Phase for an Open Source Transfemoral Prosthesis with Magneto-Rheological Damper[11]

Autor/Institución:

Sebastian Muñoz-Vásquez, Zuly Alexandra Mora-Pérez, Paolo Andrés Ospina-Henao, César Hernando Valencia-Niño, Marcelo Becker, Jorge Guillermo Díaz-Rodríguez.

Universidad Santo Tomás (Colombia), Universidad Industrial de Santander (Colombia) ,Universidade de São Paulo (Brasil)

Descripción funcional:

Se trata de un prototipo de prótesis transfemoral abierta que integra una rodilla con amortiguador magnetorreológico (MR damper). Este sistema permite modificar la resistencia y el comportamiento de la articulación durante la fase de apoyo y balance de la marcha. El proyecto incluye un análisis por elementos finitos para validar que el diseño soporte cargas reales y ofrezca mayor estabilidad y control dinámico. La idea es que sea open hardware, de bajo costo comparado con prótesis electrónicas comerciales, pero con un nivel funcional superior a las rodillas mecánicas simples.

Ventajas:

- Incorpora una rodilla activa con amortiguador magnetorreológico, mejorando estabilidad y control dinámico en la marcha.
- Uso de análisis por elementos finitos que valida resistencia y seguridad estructural.
- Diseñado como open hardware, con posibilidad de replicación y ajustes en entornos académicos o clínicos.

Desventajas:

- Incorpora una rodilla activa con amortiguador magnetorreológico, mejorando estabilidad y control dinámico en la marcha.
- Uso de análisis por elementos finitos que validan resistencia y seguridad estructural.



- Diseñado como open hardware, con posibilidad de replicación y ajustes en entornos académicos o clínicos.

INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

9. Sockets pediátricos impresos en 3D [12]

Nombre del producto o artículo:

Structural integrity of 3D-printed prosthetic sockets: Experimental study for paediatric applications

Autor, empresa o institución responsable:

Marinopoulos, Anglin & Theodoros. Publicado en *Journal of Materials Research and Technology*, 2023.

Breve descripción funcional:

Este estudio analiza el uso de **impresión 3D** para fabricar sockets pediátricos en materiales como PLA y nylon reforzado con fibra de carbono. El objetivo es ofrecer un sistema económico, rápido y adaptable al crecimiento, cumpliendo con estándares internacionales de resistencia para niños.

Ventajas:

- Bajo costo de producción en comparación con sockets convencionales.
- Fabricación rápida y personalización mediante escaneo digital.
- Adaptabilidad al crecimiento del niño (recambios más simples).
- Cumplimiento de cargas mínimas de seguridad en actividades diarias.

Desventajas:

- Fragilidad del PLA en actividades intensas como correr o saltar.
- Materiales más resistentes (nylon reforzado) requieren equipos avanzados y elevan los costos.
- Necesidad de técnicos especializados en impresión 3D.
- Reemplazos frecuentes debido al crecimiento acelerado.

Imágenes

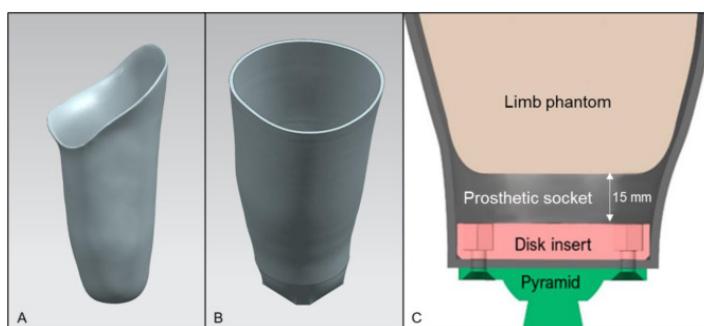




Figura 6: (A) Diseño original del socket. (B) Diseño del socket utilizado para pruebas mecánicas. (C) Detalles del mecanismo de fijación del socket.

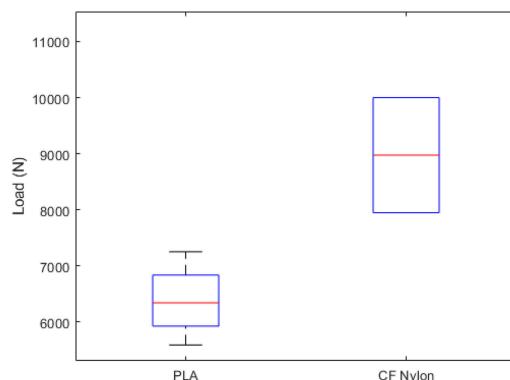


Figura 7: Carga máxima soportada (PLA vs. Nylon con fibra de carbono).



Figura 8: Mecanismo de fallo típico en sockets impresos en 3D.

10. Sockets protésicos ajustables [13]

Nombre del producto o artículo:

Adjustable prosthetic sockets: a systematic review

Autor, empresa o institución responsable:

Baldock, Head & Laszczak. Publicado en *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2023.

Breve descripción funcional:

Este artículo presenta una revisión sistemática de diferentes modelos de **sockets ajustables**, diseñados para modificar el volumen interno y adaptarse al crecimiento del paciente o a cambios diarios del muñón. Los mecanismos incluyen correas, paneles móviles y cámaras inflables, buscando mejorar la comodidad y prolongar el uso de la prótesis.

Ventajas:

- Ajuste dinámico que previene lesiones cutáneas y mejora el confort.



- Menor frecuencia de recambios completos, reduciendo costos a largo plazo.
- Mayor eficiencia funcional en actividades físicas.
- Posibilidad de acompañar el crecimiento infantil sin sustituir toda la prótesis.

Desventajas:

- Costo inicial más alto que sockets convencionales.
- Algunos diseños son más pesados por incorporar sistemas adicionales.
- Acceso limitado en contextos con pocos recursos o seguros restringidos.
- Requiere supervisión técnica para un ajuste seguro y correcto.

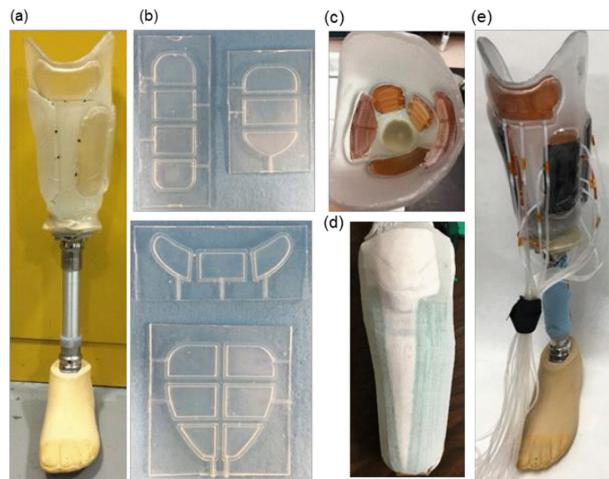


Figura 9: Ejemplo de socket protésico con cámaras inflables para ajuste

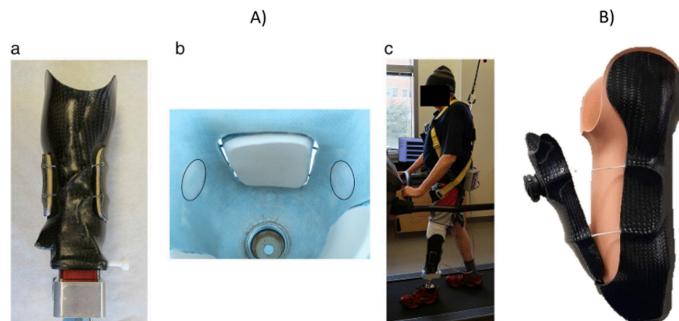


Figura 10: Diseños con paneles móviles y aplicación en paciente.





Figura 11: Socket Ottobock con sistema de longitud variable.

Reflexión:

El análisis del caso de Orihana nos permitió reconocer que las prótesis no deben evaluarse únicamente por su nivel tecnológico, sino por cómo se ajustan a las necesidades reales del paciente y a su entorno. Si bien existen dispositivos muy avanzados, su costo y la frecuencia de cambios que requieren los niños en crecimiento hacen difícil su acceso. Por eso, alternativas pediátricas más simples, adaptables y de bajo costo adquieren un gran valor al equilibrar funcionalidad con accesibilidad.

Asimismo, comprendemos que la rehabilitación no se limita al uso de una prótesis, sino que también depende del acompañamiento familiar, el entorno social y las oportunidades de inclusión. El verdadero objetivo es que Orihana logre autonomía en sus actividades y pueda desarrollarse plenamente, disfrutando de una infancia activa y con calidad de vida.

Bibliografía:

- [1] Ottobock. (n.d.). *3B5-3-61070*. Ottobock. Recuperado de <https://www.ottobock.com/en-us/product/3B5-3-61070>
- [2] Amputee Coalition. (n.d.). *Pediatric Prosthetics*. Amputee Coalition. Recuperado de <https://www.amputee-coalition.org/>
- [3] M. J. Highsmith, J. T. Kahle, D. R. Bongiorni, B. S. Sutton, S. Groer and K. R. Kaufman, “Safety, energy efficiency, and cost efficacy of the C-Leg for transfemoral amputees: a review of the literature,” *Prosthetics and Orthotics International*, vol. 34, no. 4, pp. 362-377, 2010.
- [4] M. J. Highsmith, J. T. Kahle, M. M. Wernke, S. L. Carey, R. Miro *et al.*, “Effects of the Genium knee system on functional level, stair ambulation, perceptive and economic outcomes in transfemoral amputees,” *Technology & Innovation*, vol. 18, no. 2-3, pp. 139-150, 2016.
- [5] S. Kestur, S. Zhou, G. O’Sullivan, A. Young *et al.*, “Comparing the lower limb joint biomechanics of the Power Knee, C-Leg and Rheo Knee during ramp and stair ambulation,”
- [6] A. Segal, “Kinematic and kinetic comparisons of transfemoral amputee gait using C-Leg and Mauch SNS prosthetic knees,” 2006.
- [7] J. T. Kahle, M. J. Highsmith, D. R. Bongiorni *et al.*, “Perceived differences between the Genium and the C-Leg microprocessor prosthetic knees in prosthetic-related function and quality of life,”
- [8] e-NABLE, *Enabling the Future – The e-NABLE Community*. 2025. [Online]. Available: <https://enablingthefuture.org/>



[9] S. A. Ahmadi, M. S. Mahdavian y M. H. Korayem, “Smart transfemoral socket with motorized cable-driven adjustable panels and sensors,” *Advanced Intelligent Systems*, vol. 6, no. 8, p. 2400995, Aug. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1002/aisy.202400995>

[10] Öberg, V., Thesleff, A., & Ortiz-Catalan, M. J. (2021). *Design of an open-source transfemoral bypass socket*. Center for Bionics and Pain Research, Chalmers University of Technology. Recuperado de <https://research.chalmers.se/publication/528827>

[11] Muñoz-Vásquez, S., Mora-Pérez, Z. A., Ospina-Henao, P. A., Valencia-Niño, C. H., Becker, M., & Díaz-Rodríguez, J. G. (2023). Finite element analysis in the balancing phase for an open source transfemoral prosthesis with magneto-rheological damper. *Inventions*, 8(1), 36. MDPI. <https://doi.org/10.3390/inventions8010036>

[12] T. Marinopoulos, C. Anglin, and M. Theodoros, “Structural integrity of 3D-printed prosthetic sockets: Experimental study for paediatric applications,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 23, pp. 5836–5846, 2023. doi: 10.1016/j.jmrt.2023.03.192.

[13] C. Baldock, J. R. Head, and P. J. Laszczak, “Adjustable prosthetic sockets: a systematic review,” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 20, no. 1, 2023, Art. no. 97. doi: 10.1186/s12984-023-01270-0.