

El co-design en la producción de prótesis: la confluencia entre lo artesanal y las tecnologías digitales

Co-design in the Production of Prosthetics: the Confluence between Craftsmanship and Digital Technologies

Tavares, Monica 

Escuela de Comunicaciones y Artes – Universidad de São Paulo
mbstavares@usp.br

Pai, Chi-Nan 

Escuela Politécnica – Universidad de São Paulo
chinan.pai@usp.br

Henno, Juliana 

Escuela Politécnica – Universidad de São Paulo
julianaharrison@alumni.usp.br

Recibido: 11-02-2025

Aceptado: 26-02-2025

Publicado: 31-03-2025



Citar como: Tavares, Monica; Pai, Chi-Nan; Henno, Juliana (2025). El co-design en la producción de prótesis: la confluencia entre lo artesanal y las tecnologías digitales. *ANIIV - Revista de Investigación en Artes Visuales*, n. 16, p. 147-158, marzo. 2025. ISSN 2530-9986. doi: <https://doi.org/10.4995/aniav.2025.23380>

PALABRAS CLAVES

Co-design; digital craft; prótesis de miembro superior; flujo CAD-CAM.

RESUMEN

Este trabajo pretende mostrar cómo el *co-design*, a partir de la estrategia del *digital craft*, puede favorecer la creación de prótesis personalizadas, contribuyendo al fortalecimiento de la autoestima del usuario y su integración en la sociedad, minimizando así los estigmas sociales.

KEYWORDS

Co-design; digital craft; upper limb prosthesis; CAD-CAM flow.

ABSTRACT

This paper aims to present how co-design, based on the digital craft strategy, can favor the creation of unique prostheses, strengthening the users' self-esteem and their insertion in society, consequently minimizing social stigmas.

INTRODUCCIÓN

En primer lugar, daremos a conocer las premisas involucradas en el proceso de *co-design*, considerándolo como base para el compromiso de los usuarios en el proceso de producción de prótesis. En segundo lugar, mostraremos ejemplos de prótesis de miembro superior que integran al usuario en los procesos de producción, apoyándose en el *digital craft*. En tercer lugar, destacaremos cómo la confluencia entre el flujo CAD-CAM y el *digital craft* puede ser un factor determinante en la creación de prótesis personalizadas, consolidándose, de este modo, como una estrategia para ampliar las formas de *co-design* en la producción de prótesis.

1. La coparticipación como medio para ampliar la experiencia del usuario

Los avances tecnológicos permiten la ampliación de los sentidos del cuerpo, siendo la prótesis crucial, no solo para cumplir la función de reemplazar una habilidad perdida, sino también para permitir la formación de la personalidad de su usuario. En este caso, la simbiosis entre lo natural y lo artificial, el cuerpo y la tecnología, posibilita la redefinición del conjunto de atributos que distinguen su identidad, en la medida en que el usuario colabore en la producción de su propia prótesis.

La ausencia de miembros, tanto superiores como inferiores, puede ser debido a problemas congénitos o a amputaciones como consecuencia de traumas, enfermedades o cirugías. Se estima que, en 2017, aproximadamente 57,7 millones de personas en el mundo habían sufrido amputaciones de miembros debido a causas traumáticas (McDonald et al., 2021).

En general, no existen muchas prótesis de miembro superior que promuevan sentimientos de identificación y pertenencia del usuario con su aparato. Mientras que en dispositivos para deficiencias auditivas y, principalmente, visuales (Harada et al., 2016; Ferraro et al., 2021) se puede observar una participación efectiva de las áreas del arte y el diseño (Brown y Pullin, 2019). Este hecho no es generalizado en lo que respecta al desarrollo de prótesis para miembros superiores (e inferiores). En estos casos, tradicionalmente predominan las áreas de la mecatrónica y medicina, favoreciendo la tendencia de la funcionalidad frente a la estética. En la forma de resolver problemas según la ingeniería y las áreas de la salud (Pullin, 2009), generalmente no se presta suficiente atención a las cualidades formales, y, como resultado, los usuarios de prótesis tienden a no identificarse con estos dispositivos y, al utilizarlos, buscan discreción y esconderlos de la vista de las personas.

Creemos que la transdisciplinariedad¹, cuando se privilegia en las etapas de desarrollo y producción de prótesis, abre la posibilidad de intercambio entre disciplinas creativas como el arte y el diseño, favoreciendo la creación de un entorno de investigación colaborativo e identificando factores críticos para hacer viable la planeación, la implementación y la evaluación de las actividades en desarrollo. De este intercambio surge la posibilidad no solo de resolver el problema, sino también de explorar diferentes formas de abordarlo, sin perder de vista los requisitos tecnológicos y, al mismo tiempo, el papel fundamental del usuario en las etapas de desarrollo del producto.

Los primeros ejemplos de enfoques de *design* participativo fueron desarrollados principalmente por investigadores cuyo objetivo era abrir el diseño de sistemas tecnológicos de información y comunicación a la participación de los usuarios. Hoy en día, el llamado *co-design* abarca un amplio espectro de dominios y emplea diversas herramientas y técnicas en diferentes contextos, como la investigación, el desarrollo comunitario y los ámbitos comerciales (Akach et al., 2021, p. 2145).

La práctica del *design* ha sido influenciada por el cambio de panorama de la investigación, pasando de un enfoque centrado en el ser humano a una perspectiva más colaborativa, como es el diseño participativo. Ya no se trata simplemente de diseñar productos para los usuarios, sino de crear soluciones que contemplen las experiencias futuras de personas, comunidades y culturas que ahora están conectadas e informadas. Se hace evidente que el enfoque del *design* centrado en el usuario no puede abordar la escala ni la complejidad de los desafíos actuales. En definitiva, las prácticas de *design* emergentes han transformado qué se diseña, cómo se diseña y quién diseña. Se pasa del *design* de "productos" al *design* de los propósitos de las personas (Sanders y Stapp, 2008, pp. 10-11).

El cambio del *design* centrado en el usuario al *co-design* ha impactado los roles de los participantes en la creación de productos. Como se muestra en la Figura 1, en el enfoque clásico de *design* centrado en el usuario, este es una figura menos activa en el proceso; el investigador actúa como traductor entre el "usuario" y el *designer*; y este profesional (que también puede desempeñar el papel de investigador) asume la responsabilidad de, al integrar las especificidades de la tecnología, generar de manera creativa ideas, conceptos, soluciones, etc. (Sanders y Stappers, 2008, p. 12).

En el *co-design*, por otro lado, la persona que eventualmente será atendida por el proceso recibe la posición de "especialista de su experiencia" y desempeña un papel importante en el desarrollo del conocimiento, en la generación de ideas y en el desarrollo de

¹ Al explorar un enfoque basado en la transdisciplinariedad –considerada, según Nicolescu (2000, p. 11), como “aquello que está al mismo tiempo entre las disciplinas, a través de las diferentes disciplinas y más allá de cualquier disciplina” (énfasis del propio autor)–, es posible ir en contra de la lógica de la eficacia por la eficacia, privilegiando múltiples dimensiones de la realidad. Este enfoque transdisciplinar favorecerá nuevos puntos de vista sobre un problema, ampliando las perspectivas sobre cómo abordarlo.

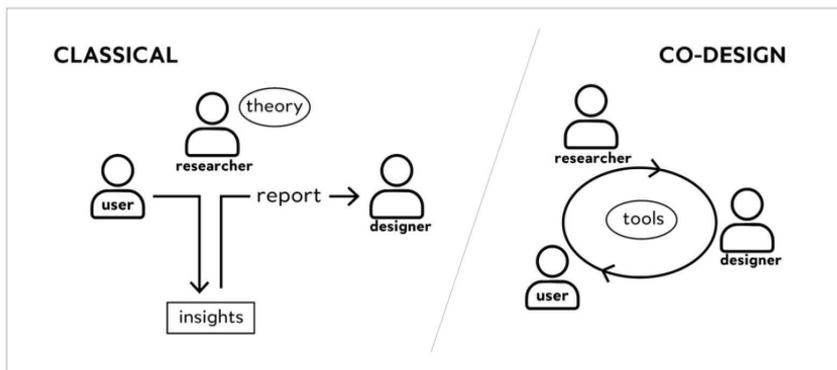


Figura 1. Roles de usuarios, investigadores y *designers* en el proceso clásico de *design* (a la izquierda) y en el *co-design* (a la derecha). Fuente: A partir de Sanders y Stappers, 2008, p. 11.

conceptos (Sanders y Stappers, 2008, p. 12). El investigador asume el papel de facilitador, liderando, orientando, apoyando e incentivando la creatividad de las personas en todos los niveles (Sanders y Stappers, 2008, p. 13). Por su parte, el *designer* se destaca por sus habilidades altamente complejas, inherentes al proceso creativo y a la toma de decisiones necesarias; le corresponde explorar el potencial de las herramientas generativas y traer los lenguajes del *co-design* a su práctica (Sanders y Stappers, 2008, pp. 14-15).

Como dicen Akach et al. (2021, p. 2146): “The shift is then from ‘designing for the user’ to ‘designing with the user’”². Además, para Sanders y Stappers (2008, p. 16), en el *co-design*, a veces, el “usuario” puede (incluso) desempeñar el papel de cocreador, es decir, convertirse en un *co-designer*, pero esto no siempre ocurre. Este hecho, no es tan común, depende del nivel de conocimiento, pasión y creatividad de la persona.

Proyectos que involucran la colaboración del usuario ayudan a impulsar transformaciones psicológicas y culturales, ya que, al incorporar su experiencia personal, refuerzan la diferenciación del producto, agregando valor a su uso.

2. Algunos ejemplos: el usuario como enfoque y agente de decisión

Entre las personas que han perdido algún miembro, algunas optan por convivir con la pérdida, mientras que otras eligen el uso de prótesis. En el caso de la prótesis de miembro superior, muchos usuarios dejan de utilizarlas por diferentes razones, como, por ejemplo: la falta de comodidad, la insatisfacción estética, la falta de expresión, etc. Según Hall y Orzada (2013), el consumidor básico en el área del *design* necesita ser atendido a partir de los siguientes factores: funcional, estético y expresivo.

² El cambio es entonces, de “proyectar para el usuario” para “proyectar con el usuario”.

Se entiende que, desde el punto de vista de un usuario de prótesis, el factor funcional es el más explorado, garantizando la mejor movilidad, comodidad y protección en el uso del dispositivo. El factor estético se explora con menos frecuencia y no necesariamente en conjunto con el factor funcional. Por otro lado, el factor expresivo está prácticamente relegado en las propuestas de prótesis, sin privilegiar las características simbólicas y psicológicas relacionadas con cómo el usuario comunica su sentido de identidad (Kester, 2019, p. 8).

Cabe también señalar que, además de que la mayoría de las prótesis de miembro superior (e inferior) no atienden por completo las necesidades del usuario, existe aún el estigma de la palabra "deficiente", que refuerza un distanciamiento social, por identificación externa, ya que las personas "sin discapacidad" tienden a proyectar miedos, ideas, creencias y a caracterizarlas como personas dependientes que sufren por algo trágico (Taylor, 2005, p. 764).

Funcionalmente, las prótesis son dispositivos médicos creados para reemplazar parcial o totalmente partes ausentes de forma congénita y para proporcionar grados de libertad y funcionalidad similar a un miembro intacto (Neagu, 2023, p. 78). La investigación en tecnología asistiva se ha centrado en dos áreas: mejorar el acceso al computador y mejorar el acceso al mundo a través del Internet de las cosas (IoT). Más recientemente, la investigación se ha ampliado hacia las tecnologías de fabricación (Mankoff et al., 2019, p. 66).

Asimismo, en la medicina, el término "personalización" se refiere a productos ajustados para reflejar la anatomía o fisiología específica de un paciente (Paxton et al., 2022, p. 283). Las tecnologías de imagen médica, como la resonancia magnética y la tomografía computarizada, se han utilizado ampliamente para capturar la morfología del paciente y crear prótesis personalizadas. La digitalización de superficies en 3D ofrece un área emergente para la fabricación rápida, de bajo costo y digitalmente automatizada de prótesis personalizadas (Paxton et al., 2022, p. 284). La personalización en la fabricación de prótesis está desempeñando un papel creciente en la creación de productos más aceptables con resultados eficaces para los pacientes. En general, hay una demanda creciente de soluciones protésicas personalizadas para diversos desafíos de salud, aprovechando tecnologías avanzadas de imagen para capturar la anatomía del paciente de manera económica y eficiente en el tiempo (Paxton et al., 2022, p. 287).

Basado en herramientas de 3D *scanning*³, 3D *modelling* y 3D *printing*, combinadas en el universo de la práctica artesanal, el usuario puede definir una configuración individualizada de prótesis, proporcionada por estrategias de compromiso. Estas pueden variar desde la captura de datos antropomórficos del usuario (por ejemplo, mediante la digitalización del cuerpo) hasta la impresión 3D, que garantiza la incorporación de demandas estéticas a través de la definición de colores, detalles y materiales específicos, pasando por la etapa de elección de los elementos componentes del producto que se relacionan con las experiencias del usuario.

³ En el caso de prótesis de miembro superior, es necesario resaltar la importancia del cuerpo (en su conjunto y en sus partes) en su definición. La estructura física, corporal, del receptor será esencial para establecer sus relaciones con el espacio, los cuerpos y objetos.

En esta perspectiva, no se debe olvidar el enfoque del *digital craft*, que se refiere al uso de habilidades y técnicas tradicionales de artesanía aplicadas al mundo digital; en otras palabras, una fusión entre el arte tradicional (hecho a mano) y las tecnologías digitales. Tal enfoque refleja el pensamiento de McCullough (1996), según el cual, el uso de herramientas de *design* computacional también requiere niveles similares de habilidad y sensibilidad a los exigidos en el uso de herramientas más tradicionales. Además, Kolarevic (2008, p. 120), basándose en McCullough, admite la noción de *digital craft* como una configuración emergente de prácticas materiales basadas en medios digitales que involucran tanto el ojo como la mano, aunque de una manera indirecta.

Por su parte, Kermavnar et al. (2021) recuerdan que los modelos CAD para impresión 3D pueden ser creados, ya sea mediante el uso de *software* de modelado 3D, o a través de enfoques de ingeniería inversa⁴, especialmente útil para la reproducción de formas orgánicas y objetos basados en anatomía, ya que permiten el diseño de productos altamente personalizados y ergonómicos hechos a medida. Según Parry-Hill (2019, p. 11), individuos con la misma categoría de miembro afectado presentan geometrías personales muy diferentes. Además, el contexto personal de un individuo, incluyendo su cultura, sus circunstancias de vida y opiniones, puede resultar en una amplia variación en cómo elige utilizar la tecnología asistiva (y agregaríamos, en cómo adapta la prótesis a su forma de expresividad, en resumen, a sus especificidades histórico-culturales).

Así, a pesar de todos estos avances tecnológicos que indudablemente facilitan la colaboración del usuario en el proceso de *design* de prótesis, presentaremos algunos ejemplos en los que la práctica artesanal también es valorada y combinada con los medios digitales, como una vía para asegurar singularidades y, en consecuencia, como una estrategia colaborativa para aumentar la satisfacción del usuario.

Un ejemplo de prótesis diferenciada, realizada con base en el *digital craft*, es la prótesis Synchronized producida por The Alternative Limb Project en Inglaterra. Aunque el proceso de producción de esta prótesis se basa en gran medida en la fabricación artesanal, Synchronized Arm tiene la forma reflejada del antebrazo y la mano de la modelo británica Kelly Knox, obtenida mediante digitalización 3D, tomando como referencia su miembro intacto. Este dispositivo fue desarrollado exclusivamente para la mencionada modelo, quien tuvo un papel importante al aportar sus experiencias y vivencias en el proceso de diferenciación de la prótesis. Su superficie está compuesta por capas superpuestas de acrílico transparente, lo que permite visualizar el mecanismo electrónico, cuya función es leer el pulso de la usuaria, que, a su vez, desencadena un movimiento coordinado de rotación de la mano protética, que no tiene una función específica. El conjunto de la prótesis, de carácter cosmético, fue diseñado para parecerse a un accesorio, privilegiando la estética sobre la funcionalidad (The Alternative Limb Project, s. f.).

⁴ A partir de cualquier objeto físico se puede generar una representación digital de su geometría, dando lugar al proceso de ingeniería inversa (*reverse engineering*). En estos casos, las tecnologías de digitalización generan modelos tridimensionales precisos de los objetos que ya existen. Al comportarse como *bits*, estos objetos virtuales son, por lo tanto, capaces de ser afectados por modelos computacionales generativos e incluso ser representados por máquinas CNC. En la producción de prótesis, es posible digitalizar la anatomía del usuario para permitir la singularidad.

El modelo de prótesis Snake Arm, también desarrollado por The Alternative Limb Project, fue un proyecto diseñado para la atleta paralímpica inglesa Jo-Jo Cranfield. La prótesis, de carácter cosmético, fue realizada en base a las medidas anatómicas de la atleta. Hecha de silicona y representando una escena improbable de ocurrir, su apariencia sugiere una serpiente que se desliza desde un orificio del antebrazo y se enrosca en partes del miembro superior. Paradojalmente, su artificialidad se enfrenta a su realismo, favorecido por el hecho de que las medidas del antebrazo y la mano se basan en las medidas obtenidas del miembro presente de la atleta, y también, dada la opción de un acabado de silicona incorporado. Las características morfológicas precisas de los dedos, uñas y piel fueron obtenidas a partir del miembro intacto para que el modelo resultante pareciera realista (The Alternative Limb Project, s. f.). La siguiente afirmación de Jo-Jo Cranfield reitera la importancia de la prótesis para fortalecer su autoconfianza y también sugiere su toma de decisión en la definición de la apariencia del brazo alternativo:

I've never seen the interest in having a prosthetic arm, they are heavy, uncomfortable and not at all practical. I like to be different and I love the fact that having one arm makes me effortlessly different to the majority of people - however, an alternative limb is something entirely different; / wanted people to have to look at me twice with amazement. My alternative limb is so different to any other prosthetic limb I have ever had. / Wear it with pride. I've never seen a two-armed person with snakes crawling into their skin, and even if I did, I don't think it would be so comfy! My alternative arm makes me feel powerful, different and sexy! (The Alternative Limb Project, s. f.)⁵

Otro modelo de prótesis, resultado de un proceso colaborativo entre los agentes del *design*, es la prótesis Materialise, también desarrollada por The Alternative Limb Project, personalizada para la ya mencionada Kelly Knox. Además de la personalización obtenida en la precisión de detalles anatómicos, este modelo de prótesis es personalizable al tener partes que pueden ser encajadas según la elección de la usuaria. Una división longitudinal marca dos partes de la prótesis. De un lado, en la mitad medial (lado del dedo meñique) de la prótesis, se presenta un realismo, tanto para el antebrazo como para la mano, con un acabado de material siliconado que representa la piel de manera que imita el cuerpo humano, como en una prótesis cosmética. Del otro lado, en la mitad lateral (lado del pulgar) de la prótesis, se muestra una segmentación de partes, que se encajan mediante imanes. El material de estas partes fue definido a partir de diferentes aspectos emocionales y espirituales de la personalidad de la modelo. Tomando como referencia las medidas anatómicas obtenidas del miembro presente de la usuaria, la producción de la prótesis utilizó una combinación de impresión 3D, fresado CNC, grabado manual y escultura, utilizando acero, roca, tierra, madera, musgo, aceite, corcho, lana, bronce, rodio y oro (The Alternative Limb Project, s. f.).

⁵ Nunca he visto el interés de tener un brazo protésico, son pesados, incómodos y nada prácticos. Me gusta ser diferente y me encanta el hecho de que tener un solo brazo me hace fácilmente diferente a la mayoría de las personas; sin embargo, un miembro alternativo es algo completamente distinto. Quería que la gente tuviera que mirarme dos veces con asombro. Mi miembro alternativo es tan diferente a cualquier otra prótesis que haya tenido. Lo llevo con orgullo. Nunca he visto a una persona con dos brazos con serpientes deslizándose por su piel, y aunque lo hiciera, ¡no creo que fuera tan cómodo! ¡Mi brazo alternativo me hace sentir poderosa, diferente y sexy! (The Alternative Limb Project, s. f., traducción propia).

Por lo tanto, tales ejemplos de prótesis, aquí presentados, buscan señalar el papel de importancia que asume el usuario en la definición de sus prótesis, ya que revelan experiencias, vivencias y percepciones de vida.

Las prótesis aquí mencionadas, al utilizar el concepto de ingeniería inversa, pueden relacionarse con el concepto de *augmented sculpting*, según Adzhiev et al. (2003, p. 211). Los autores destacan la importancia de este enfoque creativo, ya que el objeto digitalizado (el propio cuerpo del usuario) pasa a existir como modelo en el computador, pudiendo ser manipulado y fabricado digitalmente (sin embargo, producido artesanalmente) como resultado de un trabajo colaborativo.

3. El flujo CAD-CAM y el *digital craft*: una confluencia necesaria

En referencia a lo expuesto hasta aquí, es patente que el uso del sistema CAD/CAM (Computer-Aided Design - Diseño Asistido por Computadora y Computer-Aided Manufacturing - Fabricación Asistida por Computadora) ha potenciado el surgimiento de soluciones creativas innovadoras, que reivindican una tendencia a fabricar objetos únicos. Curiosamente, tal categoría de creación destaca una vocación hacia el proceso de *digital craft*, en el que la práctica artesanal se ve intrínsecamente aliada con los sistemas digitales de fabricación.

El proceso de estructuración sintáctica que sustenta la creación de esculturas digitales (en nuestro caso, de las prótesis mencionadas anteriormente) parte de un modelo geométrico digital (viabilizado por la digitalización 3D), que, en un flujo de información CAD/CAM con la máquina, transmite los datos necesarios para su producción en el plano físico (Mitchel y McCullough, 1995, p. 417).

En la creación de estas prótesis, se incorporan las restricciones determinadas por las propiedades derivadas del flujo CAD-CAM, ya que la correlación directa entre lo que puede ser creado digitalmente y lo que puede ser construido físicamente delimita las características del dispositivo, definidas colaborativamente por el equipo. De ahí la importancia de saber combinar y adecuar las especificidades técnicas de la digitalización 3D, el modelado 3D y la impresión 3D al *digital craft*, que se basa en un conocimiento obtenido a través de los sentidos y emociones.

Desde esta perspectiva, Nitsche et al. (2014, p. 726) aportan una contribución al considerar la artesanía digital no solo como un campo práctico que permite la producción crítica de tecnología, sino también como un ámbito que enfatiza la expresión personal⁶.

Explorar la artesanía digital no se trata simplemente de un compromiso neutral con el conocimiento técnico, sino que implica un proceso que integra memorias y conjuntos de habilidades tácitas y personales de manera fundamental. El *digital craft* explora los elementos de la práctica/producción material, de la autoexpresión y el desarrollo personal. Los autores refuerzan esta argumentación al destacar la importancia y la necesidad de asociaciones y colaboraciones como un elemento esencial para su desarrollo

⁶ A partir del análisis de las prácticas de los estudiantes en el ámbito de la artesanía digital, los autores destacan enfoques viables y prácticos de este nuevo campo.

(Nitsche et al., 2014, p. 726). Lo que aquí se entiende es, precisamente, la perspectiva del intercambio de conocimientos en el desarrollo del producto. En este sentido, se pone de relieve el papel de los distintos agentes —principalmente el del usuario— y de las diversas disciplinas que pueden intervenir en el *digital craft*.

Los autores resaltaron dos observaciones principales con respecto al *digital craft*: a) El primer punto clave se refiere a la relevancia de la *thingness* (la "cosa") en cualquier enfoque de artesanía digital, (lo que equivale a la necesidad de una representación tangible del objeto); b) El segundo punto destaca la no neutralidad de la práctica de la artesanía digital. Al incluir expresión, desarrollo y particularidades, las elecciones se vuelven personales, no impulsadas únicamente por la funcionalidad o la optimización de procesos, sino también por el gusto y la historia individual (Nitsche et al., 2014, pp. 726-727).

Así, también vale la pena mencionar la prótesis Erik (aún en fase de prototipo) para evidenciar la colaboración intrínseca entre los agentes del proceso de *design* y la interacción entre el flujo CAD-CAM y el *digital craft*. La prótesis Erik fue desarrollada por Anders Lindén Døvikén y Jørgen Wallerud (2023); en su proceso de producción, el usuario fue incluido en todas las etapas junto con un equipo de *designers* e ingenieros ortopedistas. Su participación en el proceso de creación y su reciprocidad con el equipo de profesionales aumentaron las posibilidades de obtener un modelo de prótesis que representara la identificación y el sentido de pertenencia del dispositivo al usuario, así como un símbolo de unicidad y singularidad (Døvikén y Wallerud, 2023).

En primer lugar, el usuario presentó temas de interés vinculados a las siguientes categorías: casual, llamativo (*flashy*), formal y ciborg (*robotech*). Se le mostró un mapa visual y diferentes bocetos, de los cuales eligió el modelo basado en la anatomía humana, que pudiera representar, de manera análoga, los músculos de la superficie del antebrazo. Se eligió una paleta de colores que reprodujera el tono del rojo con el objetivo de provocar un impacto, es decir, una impresión o efecto muy fuerte dejado por la apariencia mimética de la prótesis (Døvikén y Wallerud, 2023).

Una vez definidos el formato y la configuración visual de la prótesis, se digitaliza el molde de yeso del muñón amputado, creando un modelo digital de base paramétrica con las medidas del usuario. A partir del cual se diseña la estructura funcional y la parte de recubrimiento. Esta última se divide en dos mitades que encajan con precisión sobre la estructura funcional de la prótesis (Døvikén y Wallerud, 2023).

El prototipo final de la superficie de revestimiento de la prótesis se imprime en 3D, requiriendo varias etapas de acabado artesanal para asegurar la semejanza con la apariencia visual de los músculos. En primer lugar, las cubiertas fueron lijadas y recibieron capas de pintura preparatoria para nivelar posibles imperfecciones y permitir la posterior aplicación de pintura en aerosol, principalmente en color rojo. Luego, los detalles de la musculatura fueron pintados a mano con pintura acrílica, imitando la apariencia del músculo según la anatomía humana (Døvikén y Wallerud, 2023).

En definitiva, la artesanía digital combina medios digitales, computación física y enfoques tradicionales de las artes. En este proceso, no se privilegia el dominio de un área sobre otra; el supuesto fundamental es el equilibrio entre disciplinas y la convivencia armoniosa entre los agentes involucrados.

CONSIDERACIONES FINALES

La producción de prótesis de miembro superior, que utiliza las tecnologías CAD/CAM en confluencia con el *digital craft*, se presenta como una conquista creativa, ya que permite alcanzar soluciones personalizadas basadas en las selecciones del propio usuario y en las competencias de los demás involucrados. En este enfoque, las necesidades y experiencias del usuario son directrices fundamentales en la fabricación del dispositivo.

FINANCIACIÓN

Beca #2022/06183-9, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Beca #2022/409948, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Beca #2023_2_042, Fundo Patrimonial Amigos da POLI.

Beca #2024, Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação da Universidade de São Paulo.

FUENTES REFERENCIALES

Adzhiev, V., Comninos, P. y Pasko, A. (2003). Augmented Sculpture: Computer Ghosts of Physical Artifacts. *Leonardo*, 36(3), 211–219. <https://doi.org/10.1162/002409403321921433>

Akach, J., Osanjo, L. y Maina, S. (2021) Co-Design: Tools, Methods and Techniques for Designing with Users. *Africa Habitat Review* 15(1), 2145-2156. <http://uonjournals.uonbi.ac.ke/ojs/index.php/ah>.

Brown, K. y Pullin, G. (2019). Uncovering Nuance: Exploring Hearing Aids and Super Normal Design. *The Design Journal*, 22(sup1), 589–599. <https://doi.org/10.1080/14606925.2019.1595440>

Døvikén, A. L. y Wallerud, J. (2023). *Expressive Prostheses: A case study through interdisciplinary collaboration*. Master's Thesis. Department of Product design. Oslo Metropolitan University. Recuperado de https://oda.oslomet.no/oda-xmlui/bitstream/handle/11250/3104736/D%C3%B8vikén_Wallerud_mapd2023.pdf?sequence=1. Accedido el 28 de enero de 2025.

Ferraro, V., Ferraris, S. y Rampino, L. (2021). The body as an artifact: a case of hand prosthesis. En: *Design Culture(s) Cumulus Conference Proceedings Roma, 2021*. Volume #2. <https://hdl.handle.net/11311/1186123>

Hall, M. L. y Orzada, B. T. (2013). Expressive prostheses: meaning and significance. *Fashion Practice* 5(1), 9-32. <https://doi.org/10.2752/175693813X13559997788682>

Harada, F. J. B., Chaves, I. G., Crolius, W. A., Fletcher, V. y Schor, P. (2016). O Design Centrado No Humano aplicado: A utilização da abordagem em diferentes projetos e etapas do design. *Revista D. Design, Educação, Sociedade e Sustentabilidade*, 8(2), 87-107. <https://doi.org/10.5151/despro-ped2016-0107>

- Kermavnar, T., Shannon, A. y O'Sullivan, L. W. (2021). The application of additive manufacturing / 3D printing in ergonomic aspects of product design: A systematic review. *Applied Ergonomics*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103528>
- Kester, A. (2019). *Artful Bionics: Pushing the Limits of Visual Expression in Prosthetic Design* (Honors Undergraduate Theses). University of Central Florida. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/249336345_Transdisciplinaridade. Accedido el 28 de enero del 2025.
- Kolarevic, B. (2008). The (risky) craft of digital making. En: Kolarevic, B. y Klinger, K. R. (Eds.), *Manufacturing Material Effects: Rethinking design and making in architecture* (pp. 119-129). Routledge.
- Mankoff, J., Hofmann, M., Chen, X. 'A.', Hudson, S. E., Hurst, A. y Kim, J. (2019). Consumer-grade fabrication and its potential to revolutionize accessibility. *Communications of the ACM*, 62(10), 64-75. <https://doi.org/10.1145/3339824>
- McCullough, M. (1996). *Abstracting craft: the practiced digital hand*. The MIT Press.
- McDonald, C. L., Westcott-McCoy, S., Weaver, M. R., Haagsma, J. y Kartin, D. (2021). Global prevalence of traumatic non-fatal limb amputation. *Prosthetics and Orthotics International*, 45(2), 105-114. <https://doi.org/10.1177/0309364620972258>
- Mitchel, W. J. y McCullough, M. (1995). *Digital Design Media*. Van Nostrand Reinhold.
- Neagu, A. (2023). 3D and 4D printing of assistive technology. En: Neagu, A. (Ed.), *Towards 4D Bioprinting* (pp. 53-68). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818653-4.00008-5>
- Nicolescu, B. (2000). Um novo tipo de conhecimento – transdisciplinaridade. En: Nicolescu, B. et al. (Eds.) *Educação e transdisciplinaridade* (pp. 9-25). UNESCO. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000127511>. Accedido el 28 de enero de 2025.
- Nitsche, M., Quitmeyer, A., Farina, K., Zwaan, S. y Nam, H. Y. (2014). Teaching digital craft. En: CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (pp. 719-730). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2559206.2578872>
- Parry-Hill, J. (2019). *e-NABLE: DIY-AT Production in a Multi-Stakeholder System*. (PhD Thesis), Rochester Institute of Technology. Recuperado de <https://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=11145&context=theses>. Accedido el 28 de enero 2025.
- Paxton, N. C., Nightingale, R. C. y Woodruff, M. A. (2022). Capturing patient anatomy for designing and manufacturing personalized prostheses. *Current Opinion in Biotechnology*, (73), 282–289. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2021.09.004>
- Pullin, G. (2009). *Design meets disability*. The MIT Press.
- Sanders, E. y Stappers, P. (2008). Co-creation and the new landscapes of design, *CoDesign*, 4(1), 5-18. <https://doi.org/10.1080/15710880701875068>

Taylor, M. (2005). Self-identity and the arts education of disabled young people. *Disability & Society*, 20(7), 763-778. <https://doi.org/10.1080/09687590500335782>

The Alternative Limb Project. (s.f.). *Site by Nemonolio*. Recuperado de <https://thealternativelimbproject.com>. Accedido el 28 de enero de 2025.

BIOGRAFÍA

Monica Tavares es doctora en Artes por la Escuela de Comunicaciones y Artes de la Universidad de São Paulo (ECA-USP) y máster en Multimedia por el Instituto de Artes Unicamp (IA-UNICAMP). Actualmente, es profesora senior en la ECA-USP y becaria PQ 2 (CNPq).

Chi-Nan Pai tiene formación en Medicina y en Ingeniería Mecatrónica, ambas por la Universidad de São Paulo. Es doctor en Ingeniería por el Tokyo Institute of Technology, Japón. Actualmente, es profesor de Ingeniería Mecatrónica en la Universidad de São Paulo (USP).

Juliana Henno es doctora y máster en Artes Visuales por la Escuela de Comunicaciones y Artes de la Universidad de São Paulo (ECA-USP). Actualmente, es posdoctoranda en la Escuela Politécnica de la USP.