

Inteligencia artificial generativa e impresión 3D aplicadas en el diseño y la producción de una órtesis de agarre adaptativa para personas con parálisis cerebral

Pablo Marcel de Arruda Torres, Mylena Costa Araújo e
Ísis Tatiane de Barros Macedo Veloso⁽¹⁾
Universidade Federal de Campina Grande, UFCG (Brasil)

Resumen: El artículo presenta el desarrollo de una órtesis de agarre adaptativa dirigida a adultos con parálisis cerebral, articulando la Inteligencia Artificial Generativa y la impresión 3D como herramientas integradas de apoyo al proceso de Diseño de Productos. La investigación utiliza IA generativa para la creación de alternativas formales inspiradas en texturas bioinspiradas y manufactura aditiva (FDM). El método incluye: análisis de productos similares, generación de conceptos con IA (*Gemini*, *ChatGPT*, *Copilot*), selección de imágenes, modelado 3D, elección de materiales (PLA, ABS y TPU) y sucesivos prototipos evaluados en cuanto a comodidad, adherencia y versatilidad en el uso de objetos cotidianos como cubiertos, bolígrafos y cepillos. Los resultados indican la adopción de una geometría ovalada, con textura inspirada en ondas naturales, cuerpo en plástico ABS y sistema de fijación en TPU flexible, capaz de acomodar la mano en agarre pasivo y de fijar utensilios de diferentes diámetros por interferencia geométrica, ampliando la autonomía en actividades cotidianas. La combinación entre IA generativa e impresión 3D se ha demostrado prometedora al explorar superficies bioinspiradas, al mejorar la adherencia y optimizar la producción de conceptos y prototipos.

Palabras clave: Inteligencia Artificial Generativa - Impresión 3D - Fabricación aditiva - Órtesis de agarre - Parálisis cerebral

[Resúmenes en inglés y en portugués en las páginas 124-125]

⁽¹⁾ Ver CVs en pág. 125-126

1. Introducción

La parálisis cerebral (PC) puede definirse como un grupo de trastornos permanentes del desarrollo del movimiento y la postura, originados por una lesión no progresiva que ocurre en el período prenatal, perinatal o postnatal, durante la fase crítica del desarrollo cerebral infantil (Almeida *et al.*, 2021). Responsable de limitaciones en la actividad, constituye una de las discapacidades motoras más comunes, afectando significativamente las capaci-

dades funcionales de los individuos afectados (Santana, 2002). Entre las manifestaciones clínicas más relevantes se encuentran las limitaciones en las funciones de agarre manual, que impiden la realización de tareas esenciales de la vida diaria, como la alimentación y la higiene personal.

El agarre es un movimiento resultante de la compleja maduración del sistema nervioso central, que involucra integración sensoriomotora, significativamente comprometida en la parálisis cerebral (Rocha *et al.*, 2007). Los patrones anormales de prensión, a menudo asociados a la espasticidad y a pérdida de control motor selectivo, demandan intervenciones terapéuticas que combinen fisioterapia, terapia ocupacional y tecnologías de asistencia. En este contexto, las órtesis de agarre perfilan como recursos fundamentales, ya que funcionan como dispositivos que no solo estabilizan la mano en una posición funcional, sino que también facilitan la realización de actividades cotidianas.

La impresión 3D (fabricación aditiva) ha revolucionado el desarrollo de tecnologías de asistencia, permitiendo la creación de dispositivos personalizados. Materiales comúnmente utilizados en impresión 3D, como el PLA, el ABS y el PETG, han demostrado propiedades biomecánicas adecuadas para órtesis, presentando ventajas como ligereza, facilidad de higienización y reducción de costos de producción (Torres *et al.*, 2024). Paralelamente, la Inteligencia Artificial Generativa surge como una herramienta transformadora en el ámbito del Diseño de Productos, introduciendo la exploración masiva y paralela del espacio de soluciones, generando y probando virtualmente variantes de diseño de forma simultánea (Weisz *et al.*, 2023).

La integración sinérgica entre Inteligencia Artificial Generativa, impresión 3D y metodologías centradas en el usuario puede cambiar el paradigma del desarrollo de órtesis adaptativas, acelerando la transición del concepto a la validación clínica, personalizando dispositivos para perfiles anatómicos y funcionales específicos, y democratizando el acceso a las tecnologías de asistencia.

El objetivo principal de este artículo es demostrar el desarrollo de una órtesis de agarre adaptativa para personas con parálisis cerebral, utilizando inteligencia artificial generativa y impresión 3D como herramientas integradas de apoyo al proceso de diseño. El trabajo busca explorar el uso de la Inteligencia Artificial Generativa en la etapa de ideación y generación de alternativas formales y texturales, evaluando su potencial para crear superficies bioinspiradas que favorezcan la adherencia y la comodidad de uso de la órtesis. Además, pretende explorar la versatilidad de la impresión 3D para realizar prototipos iterativos y pruebas continuas hasta llegar a la solución final.

2. Fundamentación teórica

2.1. Parálisis Cerebral, agarre y órtesis

La parálisis cerebral (PC) es el resultado de una lesión estática del cerebro inmaduro, que no progresa biológicamente, pero cuyas consecuencias funcionales evolucionan a lo largo

del desarrollo (Santana, 2002). Los individuos con parálisis cerebral presentan características motoras específicas que impactan directamente en la funcionalidad del movimiento de agarre: aumento del tono muscular (espasticidad), pérdida de control motor selectivo, presencia de reacciones primitivas asociadas, limitación del rango de movimiento articular y compensaciones posturales. Particularmente en las formas espásticas, se observa una tendencia al desarrollo de deformidades fijas, incluyendo contracturas en flexión de muñeca y dedos, que comprometen progresivamente la capacidad funcional de agarre (Leite y Prado, 2004).

Por lo tanto, el agarre constituye una competencia motora fundamental para la autonomía en las actividades de la vida diaria de los individuos con PC. La alimentación, la higiene personal, la manipulación de objetos y la comunicación, que a menudo dependen de la interacción manual, sufren restricciones significativas cuando esta función se tiene comprometida. Para las personas con PC, las mejoras funcionales y una mayor independencia en las actividades cotidianas se correlacionan positivamente con el bienestar psicosocial, la autoestima y la participación comunitaria.

Según Iida (2021), la mano está dotada de una gran riqueza funcional, que le proporciona una amplia variedad de posibilidades en posiciones, movimientos y acciones. El agarre es un mecanismo natural realizado por las manos humanas que permite la acción de sujetar y manipular objetos de diferentes tamaños y formas. Sin embargo, factores como trastornos musculoesqueléticos y discapacidades neurológicas pueden afectar la actividad de la mano humana, restringiendo las capacidades individuales de quienes se ven afectados por alguna de estas condiciones.

El trastorno motor en la parálisis cerebral puede estar acompañado de alteraciones sensoriales, perceptivas, cognitivas, de comunicación y de comportamiento, epilepsia y problemas musculoesqueléticos secundarios (Rosenbaum *et al.*, 2007). Los agarres se pueden clasificar en tres grupos: los agarres digitales, los palmares y los centrados (Kapandji, 2007). Los agarres digitales son aquellos realizados con los dedos, los palmares involucran activamente la palma de la mano en el agarre del objeto, mientras que los agarres centrados son aquellos en los que el objeto se sostiene de forma simétrica relación a la mano. Los tipos de agarre más afectados por la parálisis cerebral son los digitales y los centrados, ya que son los que se utilizan en actividades que requieren mayor destreza y precisión (*Ver Figura 1*).

Asimismo, Iida (2021) señala que existen diferentes tipos de manejo, que se reducen a dos tipos básicos: manejo fino y manejo grueso (*Ver Figura 2*). El manejo fino se ejecuta con las yemas de los dedos, mientras que la palma de la mano y la muñeca permanecen relativamente estáticas. Por su parte, el manejo grueso se realiza con movimientos de la muñeca y el brazo, ejecutándose con el centro de la mano, mientras que los dedos realizan la función de agarrar. Aunque ambos tipos de manejo recurren a distintos tipos de agarre, el manejo fino es el más afectado por las personas que han visto comprometida la función de agarre de la mano.

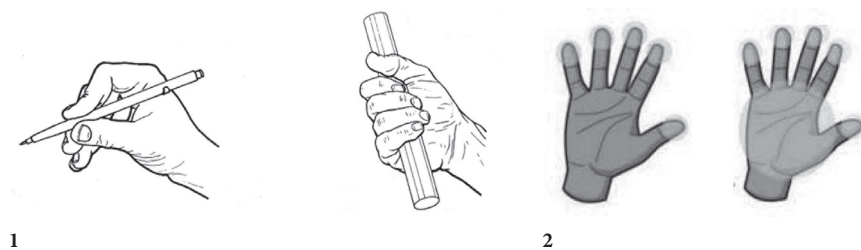


Figura 1. Agarre tridigital de la popa (izquierda) y agarre palmar con toda la mano (derecha) (Fuente: Kapandji (2007: 269). **Figura 2.** Área de fuerza y precisión en el manejo fino (izq.) y el manejo grueso (der.) Fuente: Adaptado de Iida (2021).

En relación con este aspecto, las ortesis bien ajustadas tienen un impacto positivo en la aceptación del dispositivo por parte del usuario. Un estudio realizado por Ireno *et al.* (2019) investigó los efectos de las ortesis en la amplitud de movimiento y las capacidades funcionales, lo que resultó en mejoras significativas en las puntuaciones de autocuidado y movilidad después de un mes de uso adecuado de la ortesis. Esto sugiere que los dispositivos bien ajustados contribuyen a la mejora funcional medida en las actividades de la vida diaria. En este contexto, las tecnologías de asistencia que permiten una mayor personalización, reducción de peso y mejora estética resultan en relevancia clínica.

2.2. Impresión 3D (Fabricación Aditiva) en tecnologías de asistencia

La Fabricación Aditiva, popularmente conocida como impresión 3D, se caracteriza por el proceso de construcción de objetos tridimensionales mediante la adición sucesiva de capas de material. La adición de material permite una mayor libertad geométrica, reducción de residuos y la posibilidad de prototipado rápido con iteraciones ágiles (Volpato y Carvalho, 2017).

Una de las principales técnicas de impresión 3D utilizadas en contextos de salud y dispositivos de asistencia es el Modelado por Deposición Fundida (*Fused Deposition Modeling* o FDM), que extruye filamentos termoplásticos calentados. Para aplicaciones en órtesis y tecnologías de asistencia, la técnica FDM se destaca por su accesibilidad económica, la amplia disponibilidad de *hardware* y la compatibilidad con materiales biocompatibles (Silva, 2020).

Las ventajas de la fabricación de órtesis mediante impresión 3D son múltiples y están bien documentadas: personalización anatómica precisa basada en geometrías específicas; facilidad de higienización por la ausencia de velcros y forros adheridos; reducción del costo de producción, particularmente relevante en contextos de recursos limitados; y tiempo de fabricación reducido, lo que permite iteraciones rápidas de diseño y ajustes funcionales. La

investigación de Florz *et al.* (2025) indica mejoras significativas en la funcionalidad y la autonomía de pacientes sometidos a protocolos de intervención con órtesis personalizadas. Además de las órtesis, la manufactura aditiva ha posibilitado innovaciones en el diseño de componentes de asistencia, como adaptadores para cubiertos, cepillos de dientes y escritura. La posibilidad de tener varias funciones en un solo objeto amplía considerablemente la versatilidad funcional del dispositivo, permitiendo que el paciente utilice diferentes configuraciones según la actividad que se vaya a realizar.

2.3. Inteligencia artificial generativa en el diseño de productos

La Inteligencia Artificial Generativa se refiere a sistemas capaces de crear nuevos contenidos a partir de patrones aprendidos en grandes conjuntos de datos. Estos sistemas analizan las características de los contenidos para los que han sido diseñados, utilizando una gran cantidad de ejemplos reales, generalmente sin necesidad de supervisión, y logran generar nuevos contenidos con esas mismas propiedades (Duarte, 2025). Los recientes avances de esta tecnología, impulsados por modelos capaces de producir textos, imágenes y contenidos multimodales, han provocado cambios significativos en las prácticas de diseño contemporáneas.

En el ámbito del Diseño, estos sistemas se emplean sobre todo en las fases iniciales del proceso creativo, generando imágenes conceptuales, alternativas formales, descripciones de productos y asociaciones semánticas que apoyan la fase de ideación (Choudhury, 2025; Reynolds, 2024). La creación de conceptos se reconoce como una etapa crítica del diseño, ya que establece direcciones estéticas, funcionales y simbólicas que influyen en todo el desarrollo posterior del proyecto. En este sentido, Abrusci *et al.* (2025) sostienen que la Inteligencia Artificial Generativa permite a los diseñadores explorar rápidamente un gran número de alternativas conceptuales.

Según Choudhury (2025), la Inteligencia Artificial Generativa se ha aplicado en campos como el Diseño de Productos, la Moda y la Arquitectura, principalmente para acelerar ciclos de concepción y explorar tendencias visuales. Diversos investigadores defienden enfoques de co-creación humanos e IA, en los cuales el diseñador actúa como curador crítico de las propuestas generadas, reinterpretando y transformando los resultados (Abrusci *et al.*, 2025). Georgieva (2025) destaca la necesidad de establecer directrices para el uso responsable de la Inteligencia Artificial Generativa en el diseño, incluyendo la documentación de los procesos de generación, la atribución adecuada de autoría y el desarrollo de competencias específicas.

3. Método

La presente investigación se caracteriza, según las clasificaciones metodológicas de Gil (2017) y Lakatos y Marconi (2017), como una investigación aplicada, exploratoria y de enfoque cualitativo. Es aplicada por tener como finalidad el desarrollo de una solución

concreta, una órtesis de agarre, destinada a mejorar la interacción de los usuarios con limitaciones de movilidad manual. Tiene un carácter exploratorio, ya que busca ampliar la comprensión sobre el uso de la inteligencia artificial generativa en el proceso de creación en el diseño, así como investigar alternativas formales y estéticas aún poco sistematizadas en el contexto del diseño.

En cuanto a los procedimientos técnicos, la investigación combina investigación bibliográfica e investigación experimental, conforme a la tipología propuesta por Gil (2017). La investigación experimental se manifiesta a través de la creación iterativa de prototipos, las pruebas estructurales y los ensayos con distintos materiales y configuraciones formales, realizados mediante impresión 3D. El enfoque cualitativo, según Lakatos y Marconi (2017), se evidencia en el análisis interpretativo de los resultados, basado en criterios ergonómicos, funcionales y estéticos, así como en la observación de pruebas con usuarios. Además, la investigación se inscribe en el campo de la Investigación a través del Diseño (*Research Through Design*), ya que el conocimiento se produce a partir del propio proceso de diseño. En este contexto, el uso de la Inteligencia Artificial Generativa se configura como una herramienta de apoyo exploratorio, contribuyendo tanto a la resolución del problema proyectual como a la reflexión metodológica en el campo del Diseño.

Las etapas de desarrollo del proyecto fueron las siguientes:

- Investigación bibliográfica y análisis de productos similares: definición de los requisitos básicos de proyecto a partir de la disponibilidad en la literatura y en el mercado;
- Generación de conceptos con Inteligencia Artificial Generativa: utilización de modelos generativos de imagen para producir variaciones formales y estéticas de la órtesis de agarre a partir de *prompts*. La generación de imágenes se inspiró en superficies de la naturaleza (plantas, agua, paisajes naturales, etc.);
- Selección de imágenes: elección de las imágenes generadas por IA más prometedoras para la producción de la órtesis, teniendo en cuenta los requisitos funcionales y productivos preestablecidos;
- Modelado digital: conversión de las imágenes seleccionadas en mallas digitales 3D mediante el software de modelado *Rhinoceros*;
- Selección de materiales y parámetros de impresión: elección de filamentos (PLA, ABS, TPU) considerando resistencia mecánica, flexibilidad, peso y seguridad, así como definición de parámetros de impresión (altura de capa, relleno, número de capas);
- Prototipado iterativo y evaluación con usuarios: producción de prototipos impresos en 3D, evaluando ajuste, comodidad y estructura, en un proceso iterativo de prototipado, evaluación y perfeccionamiento, incluyendo pruebas funcionales con usuarios hasta la producción del modelo final de la órtesis.

Con base en la investigación bibliográfica y la investigación comparativa con algunos productos disponibles en el mercado, fue posible identificar aspectos relevantes para el producto a desarrollar. Se analizaron tres adaptadores de agarre, todos fabricados a partir de varios tipos de polímeros, que orientaron las primeras fases del diseño. Los productos analizados tenían una forma predominantemente esférica, debido al equilibrio de fuerzas en esta forma y a su buena adaptación universal a las manos. Además, el producto debía

permitir, en un solo objeto, el uso de tantos objetos cotidianos como fuera posible, como bolígrafos, cepillos de dientes, peines y cubiertos, lo que ampliaría la versatilidad funcional del dispositivo. Al mismo tiempo, se establecieron otros requisitos de diseño a partir de esta investigación: (1) ofrecer una adecuada estabilidad biomecánica (función); (2) minimizar el peso para evitar la fatiga del usuario (comodidad); (3) permitir una fácil limpieza (higiene); (4) presentar una estética aceptable (aceptación psicosocial); y (5) ser económicamente viable para la producción mediante impresión 3D (viabilidad).

3.1. Generación de conceptos mediante IA generativa

En la fase de diseño conceptual, se utilizaron sistemas generativos de texto, imagen y 3D con el objetivo de ampliar la cantidad y diversidad de alternativas producidas en un corto intervalo de tiempo, favoreciendo el pensamiento divergente y la experimentación especulativa. Así, con el fin de generar opciones de configuración de la órtesis, a pesar de las limitaciones en la generación de imágenes, se emplearon versiones gratuitas de las siguientes IA: *Gemini (Google)*, *ChatGPT (OpenAI)* y *Copilot (Microsoft)*. Se utilizó el mismo *prompt* en todas las herramientas, redactado en portugués de manera detallada. Este proceso de co-creación humano-máquina que utiliza herramientas generativas se basa tanto en el pensamiento divergente (multiplicación de resultados posibles) como en el pensamiento convergente (refinamiento guiado por restricciones), al tiempo que preserva la capacidad del diseñador de evaluar, editar y rechazar resultados.

Las primeras pruebas con las IA generativas exploraron el formato redondeado (esférico), que cabe en la palma de la mano y permite fijar de forma segura diferentes objetos. Sin embargo, los resultados iniciales fueron demasiado genéricos y no respondían adecuadamente a los requisitos funcionales y productivos establecidos. A partir de ello, se incorporaron nuevos comandos y ajustes en los prompts, aunque los resultados seguían siendo limitados (*Ver Figura 3*).

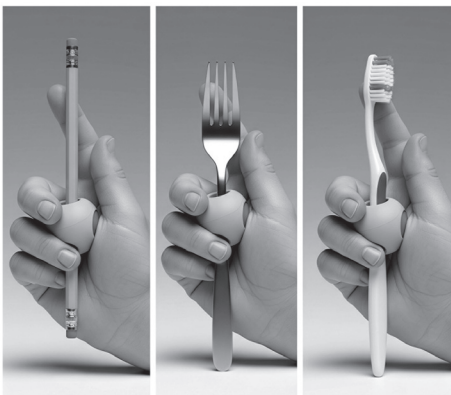


Figura 3. Pruebas iniciales de creación de la órtesis mediante IA generativa (Fuente: autores).

En la búsqueda de una mayor originalidad y de texturas que pudieran aplicarse a la órtesis, tanto para hacerla más funcional (aumentando el *agarre* de las manos con el objeto) como para darle un mayor atractivo visual, la estrategia elegida fue buscar imágenes de la naturaleza y sugerirlas como referencia a las IA para la creación de superficies bioinspiradas. Teniendo en cuenta la adherencia del objeto a la mano, la mayoría de las imágenes de referencia elegidas representan curvas naturales de plantas, dunas y olas del océano. Para explorar aún más las capacidades de estas herramientas, se permitió, además de las fotos seleccionadas de bancos de imágenes en Internet, la creación de imágenes de referencia por parte de los propios *chatbots* de la IA. Las imágenes de la naturaleza elegidas se enviaron a las IA generativas y se aplicaron a una esfera, con el fin de mantener el patrón formal de referencia de la órtesis. Los resultados se presentan en la *Figura 4* y representan una evolución estética y funcional en relación con las primeras imágenes generadas.

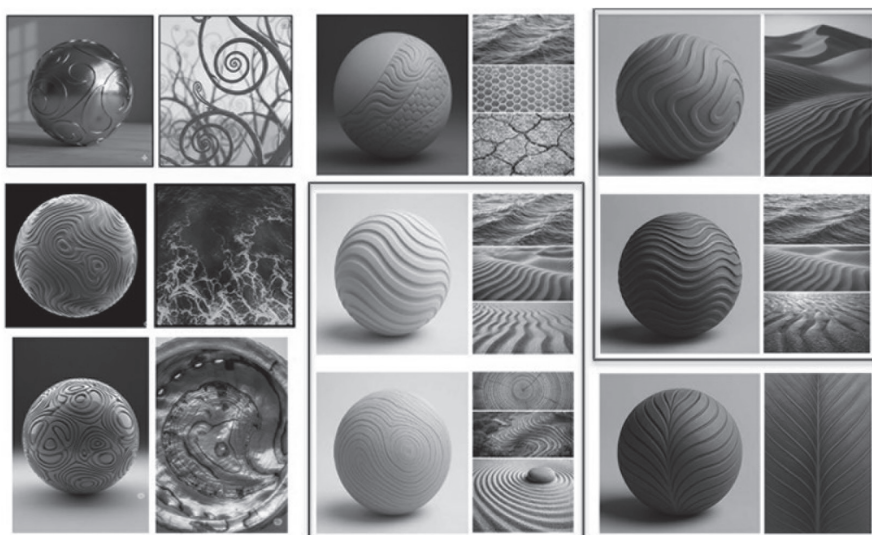


Figura 4. Exploración de conceptos por IA generativa, a través de la sugerencia de imágenes de la naturaleza, y seleccionados (Fuente: autores).

3.2. Selección, modelado y prototipado

Para la selección de las imágenes, se procedió a un análisis comparativo de los modelos visuales generados por la IA generativa, a partir de parámetros morfológicos definidos

según los requisitos funcionales y de fabricación. El objetivo de esta etapa era identificar configuraciones geométricas con potencial para satisfacer la funcionalidad, la ligereza estructural y la comodidad del usuario. Las variaciones se evaluaron en cuanto a la forma, la eficiencia en el uso del material y la posibilidad de mayor adherencia a las manos. En este sentido, evaluamos que las imágenes de texturas más simples y onduladas (destacadas en la *Figura 4*) eran más completas.

A partir de las imágenes seleccionadas, procedimos a la conversión de las imágenes seleccionadas en geometrías tridimensionales mediante modelado digital, utilizando el *software Rhinoceros*. El proceso incluyó la reconstrucción de las superficies, el ajuste de las dimensiones anatómicas y la verificación de los espesores adecuados para la impresión 3D. Esta etapa fue fundamental para garantizar una transición coherente entre las representaciones conceptuales generadas por la IA y los modelos técnicos susceptibles de fabricación, asegurando la precisión geométrica y la continuidad de las superficies (*Ver Figura 5*).

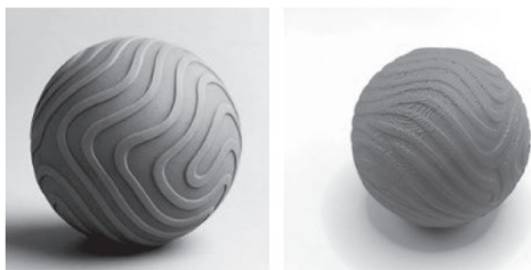


Figura 5. Imagen producida por IA (izquierda) y modelo correspondiente impreso en 3D (derecha) (Fuente: autores).

Con los modelos digitales, la órtesis se sometió a pruebas de impresión con el objetivo de identificar la capacidad de detalle, teniendo en cuenta la cantidad y la calidad de la superficie esférica, así como las texturas y la forma de impresión, que consistió en la división del objeto en dos partes. Las pruebas se imprimieron en PLA y ABS. Las primeras esferas impresas en PLA tenían 6,8 cm de diámetro (*Ver Figura 6, izquierda*) y presentaban una buena calidad superficial en la impresión FDM. También probamos una superficie más simple, con un diámetro de la esfera aumentado a 7,5 cm, con el fin de verificar una mejor adaptación a la mano media, esta vez impresa en plástico ABS (*Ver Figura 6, derecha*).



Figura 6. Pruebas de impresión de las esferas a partir de imágenes generadas por IA generativa (Fuente: autores).

Durante las pruebas realizadas con filamento ABS, se observó que el relleno podía comprometer la calidad de la impresión. Probamos el relleno tipo *Gyroid*, con una densidad del 5% (Ver Figura 7, izquierda), que resultó frágil y comprometió incluso las paredes externas de la esfera. La prueba con el relleno tipo *rejilla*, con una densidad del 20% (Ver Figura 7, derecha), permitió obtener una estructura más resistente y un mejor acabado superficial.

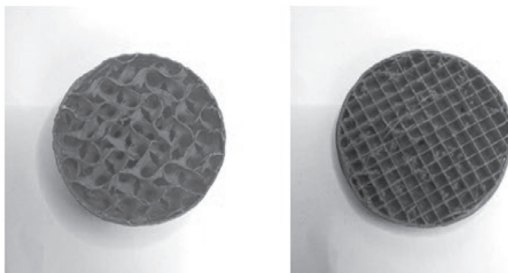


Figura 7. Pruebas de relleno en la impresión de las esferas (Fuente: autores).

3.3. Pruebas con usuarios

Aunque el proyecto se concibió con un enfoque más universal, su aplicación se dirigió a personas adultas, lo que permitió realizar pruebas destinadas a verificar la adaptación de la forma y el volumen de la órtesis a la anatomía de la mano. La participación del usuario resultó fundamental en la configuración del dispositivo, ya que fue posible obtener comentarios sobre las dimensiones antropométricas y la adecuación volumétrica del modelo propuesto.

Durante las pruebas, se verificó que el diámetro inicialmente adoptado comprometía la eficiencia del agarre, especialmente en el caso de la geometría esférica de mayor volumen (*Ver Figura 8, derecha*). Por el contrario, la esfera de menor diámetro (*Ver Figura 8, izquierda*) presentó una mejor conformidad y comodidad en el encaje. Además, observamos que la mano no era tan simétrica como una esfera perfecta. Basándonos en estas observaciones empíricas, se procedió a redimensionar el cuerpo principal de la órtesis, reduciendo su diámetro y sustituyendo la forma esférica por una geometría ovalada, con el fin de optimizar la adaptación de la órtesis a la mano.

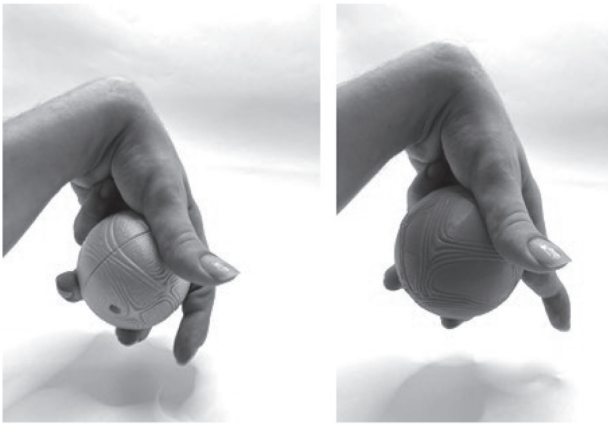


Figura 8. Prueba de los primeros modelos con usuarios (Fuente: autores).

3.4. Estructura de fijación de objetos en la órtesis

Uno de los principales requisitos del proyecto era que el producto permitiera el uso del mayor número posible de objetos cotidianos, como bolígrafos, cepillos de dientes, peines y cubiertos, lo que ampliaría la versatilidad funcional del dispositivo. Así, en lugar de una órtesis para cada objeto o un adaptador modular que se ajustara a un cuerpo principal, buscamos un fijador de objetos que se adaptara al máximo de variaciones posibles en una sola pieza, teniendo en cuenta que un cubierto, un bolígrafo y un cepillo tienen diferentes grosores.

Con ello, diseñamos un corte en forma de asterisco (*Ver Figura 9, izquierda*), con una estructura flexible, capaz de adaptarse a los diferentes objetos cotidianos. Así, las lengüetas del fijador se adaptan a diferentes diámetros, con lengüetas que «agarran» los objetos y los fijan a la órtesis. Pasamos a imprimir el prototipo en forma de caja del fijador, en filamento TPU flexible (*Ver Figura 9, derecha*). El encaje funcionó bien al sujetar diferentes objetos,

permitiendo la fijación de objetos con mangos de diferentes tamaños, hasta un máximo de 2,4 cm de diámetro.

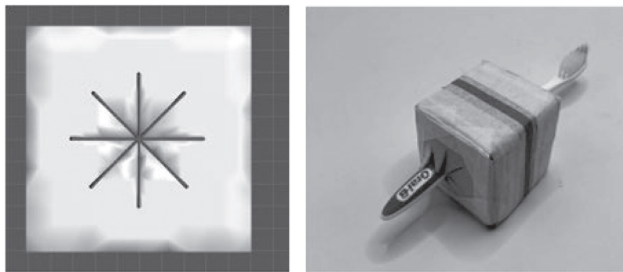


Figura 9. Estructura de fijación de objetos en la órtesis en forma de asterisco y prototipo en TPU flexible (Fuente: autores).

3.5. Pruebas con material flexible

A partir de las pruebas con material flexible, decidimos probar la producción de la órtesis fabricada completamente con filamento de TPU, con el fin de verificar si la flexibilidad aportaría mayor comodidad. Al mismo tiempo, probamos una nueva textura, con mayor concentración de curvas para proporcionar más adherencia, y una forma ovalada en lugar de esférica, para verificar el encaje con la mano (*Ver Figura 10*), se imprimieron dos ovoides con diferentes espesores de pared, con el objetivo de incorporar en sus extremos el sistema de encaje de objetos desarrollado. La pared de 2mm de espesor permitía poca flexibilidad de la órtesis, mientras que una reducción del espesor provocaba la fragilidad del objeto, lo que daba lugar a roturas en el sentido de las capas dispuestas en la impresión (*Ver Figura 10, derecha*).

A partir de la observación de los prototipos producidos, llegamos a la siguiente conclusión:

1. Para el cuerpo, el material ABS es mejor que los demás, ya que es menos resbaladizo que el TPU y más resistente que el PLA;
2. Las texturas onduladas permitieron una mayor adherencia a la mano, además de tener una buena estética;
3. El TPU no permitió la flexibilidad necesaria para un objeto destinado a un manejo pesado, pero es el material ideal para el sistema de fijación de objetos.



Figura 10. Estructura de fijación de objetos en la órtesis en forma de asterisco y prototipo en TPU flexible (Fuente: autores).

4. Resultados y discusión

Dado que fabricar toda la órtesis con filamento de TPU provocaría fragilidad en la pieza, y que el ABS ofrece una buena adherencia a la mano, se optó por dividir la órtesis en dos partes: el TPU se utilizaría en el sistema de fijación, mientras que el ABS compondría el cuerpo principal. Para ello, fue necesario retirar los dos extremos laterales de la forma ovalada, lo que, en consecuencia, genera una superficie recta que impide el desplazamiento indeseado del objeto cuando se coloca sobre una superficie plana. Además, decidimos que la órtesis se dividiría por la mitad, para facilitar su producción mediante impresión 3D. Fue necesario añadir pasadores para alinear la unión de cada mitad de las piezas de ABS y crear encajes laterales para el sistema de fijación (*Ver Figura 11*). El sistema de fijación se imprimió por separado, en TPU flexible, en dos piezas iguales de forma cúbica, que se encajan en los laterales de las piezas de ABS.

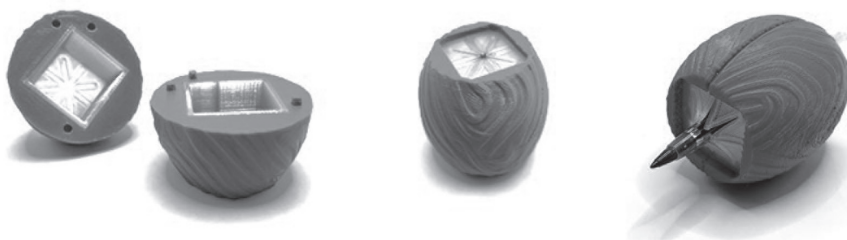


Figura 11. Órtesis de agarre final, en dos partes encajables y con sistema de fijación funcional (Fuente: autores).

La órtesis tiene una geometría ovoide/semiesférica, diseñada para la acomodación palmar pasiva, lo que favorece el agarre sin requerir la extensión activa de los dedos. El cuerpo principal funciona como un volumen de apoyo palmar, en el que la mano se adapta por contacto, lo que permite la estabilización de la extremidad superior y la compensación de déficits de motricidad fina. La forma continua reduce los puntos de presión localizados, lo que favorece la comodidad durante el uso prolongado. Las superficies curvas se adaptan a la anatomía de la mano en posición funcional de reposo, respetando las limitaciones de amplitud de movimiento comunes en usuarios con espasticidad. La ausencia de bordes afilados y el acabado superficial controlado contribuyen a un tacto más suave y a la prevención de lesiones por fricción. La división del objeto en dos o más partes encajables indica una estrategia de ensamblaje que facilita tanto la inserción del accesorio funcional como el mantenimiento o la personalización del dispositivo (por ejemplo, con piezas de diferentes colores). Además, la impresión 3D permite la personalización dimensional, con posibles ajustes precisos al tamaño de la mano del usuario.

En los laterales se observan los encajes internos destinados a la fijación de instrumentos como bolígrafos, cubiertos u otros utensilios alargados. Este sistema elimina la necesidad de un agarre digital activo, transfiriendo la función de escritura o señalización al conjunto mano-antebrazo. El manejo fino de las personas con parálisis cerebral se ve comprometido, al igual que su capacidad de agarre; sin embargo, la zona de motricidad del manejo grueso ofrece una mayor facilidad de agarre, permitiendo variaciones en el agarre y una mejor adaptación a las variaciones de medidas antropométricas. La fijación del objeto se realiza por interferencia geométrica, lo que garantiza una retención adecuada y permite sustituir el utensilio según las necesidades del usuario. La textura generada por el proceso aditivo también actúa como elemento visual y táctil, reforzando la percepción de un producto personalizado e innovador.

Estéticamente, el uso de colores vivos (como el naranja) y patrones visibles en las capas de impresión confiere al objeto un aspecto que se aleja del aspecto hospitalario tradicional. Este enfoque tiene el potencial de contribuir a la aceptación psicológica y social del dispositivo, especialmente en contextos educativos o de rehabilitación, donde es deseable un carácter lúdico y no estigmatizante.

5. Conclusión

Los resultados obtenidos evidencian que la combinación de la inteligencia artificial generativa y la impresión 3D constituye una estrategia prometedora para el desarrollo de órtesis de agarre adaptativas, permitiendo la exploración de soluciones formales, estructurales y estéticas. El uso de la IA generativa se ha mostrado particularmente eficaz en la generación de superficies bioinspiradas y en la ampliación del espacio de alternativas, siempre acompañado de un proceso de curaduría crítica por parte de los diseñadores y de validación mediante prototipos físicos.

El prototipado iterativo, asociado a las pruebas con usuarios, permitió el refinamiento sucesivo de la geometría, los materiales y los parámetros de impresión, lo que culminó en

la adopción de una forma ovalada y en la combinación de materiales rígidos y flexibles, lo que resultó en una mejor adaptación a la mano, mayor comodidad y mayor funcionalidad en la manipulación de objetos cotidianos. Se observó que la solución final cumplía con el requisito de versatilidad, permitiendo el uso de varios utensilios en un solo dispositivo, lo que refuerza el potencial de este tipo de órtesis para ampliar la autonomía de los pacientes con parálisis cerebral en las actividades cotidianas.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio confirma la relevancia de los enfoques de investigación a través del diseño, en los que el conocimiento se produce a partir del propio proceso de diseño, articulando la experimentación material, la exploración computacional y la *retroalimentación* del usuario. La investigación evidencia que la IA generativa debe entenderse no como un sustituto de la creatividad humana, sino como un socio en un proceso de cocreación que valora la reflexión, la curaduría y el pensamiento crítico, ampliando la capacidad exploratoria y optimizando el proceso de ideación.

La asociación de las tecnologías de Inteligencia Artificial Generativa e impresión 3D representa un cambio paradigmático fundamental en términos de los procesos tradicionales de diseño de productos: mientras que las metodologías convencionales siguen un flujo de trabajo esencialmente lineal (conceptualización, boceto, modelado digital, simulación, prototipado), la IA generativa y la impresión 3D introducen un paralelismo masivo en la exploración del espacio de soluciones.

Como perspectivas futuras, se recomienda realizar estudios con muestras ampliadas de usuarios, pruebas de uso a largo plazo y análisis biomecánicos más detallados, con el fin de validar clínicamente el rendimiento de la órtesis y respaldar las directrices para la aplicación responsable de la inteligencia artificial generativa y la impresión 3D en el desarrollo de tecnologías de asistencia.

Referencias bibliográficas

- Abrusci, L., et al. (2025). AI4Design: A generative AI-based system to improve concept creation. *Proceedings of the Design Society*, 4(1), 1–10.
- Almeida, A. B., Silva, C. R., Barbosa, J. P., et al. (2021). Parálisis cerebral: aspectos clínicos e implicações terapêuticas. *Revista Brasileira de Neurologia*, 12(1), 11960–11970.
- Choudhury, M. M. (2025). Artificial intelligence in the design process: A review and analysis on generative AI perspectives. *Proceedings of the Design Society*, 4(1), 1–12.
- Duarte, R. D. (2025). *Evolução e tendências da IA generativa de 2023 a 2025*. Roberto Dias Duarte. <https://www.robertodiasduarte.com.br/evolucao-e-tendencias-da-ia-generativa-de-2023-a-2025/>.
- Florz, E. T., et al. (2025). Órteses personalizadas e impressão 3D em instituições de reabilitação: efetividade e perspectivas. *Revista de Saúde e Deficiência*, 1 (2), 45–63.
- Georgieva, I. (2025). Exploring the use of generative text AI in design education. *International Journal of Art & Design Education*, 44(1), 1–15.
- Gil, A. C. (2017). *Como elaborar projetos de pesquisa* (6ª ed.). Atlas.
- Iida, I. (2021). *Ergonomia: Projeto e produção*. Editora Edgard Blucher.

- Ireno, J. M., et al. (2019). O uso de órteses em crianças com paralisia cerebral como adjuvante no tratamento de reabilitação. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*, 27 (3), 456–473.
- Kapandji, I. A. (2007). *Fisiologia articular: esquemas comentados de mecânica humana* (Vol. 1, 6ª ed.). Guanabara Koogan.
- Lakatos, E. M., & Marconi, M. A. (2017). *Fundamentos de metodologia científica* (8ª ed.). Atlas.
- Leite, J. M. R. S., & Prado, G. F. (2004). Paralisia cerebral: Aspectos fisioterapêuticos e clínicos. *Revista de Neurologia*, 12(1), 41-45.
- Reynolds, T. J. (2024). Exploring the impact of generative AI on concept generation, ideation and design methodology in product design education. *Proceedings of the Design Society*, 3(1), 247–256.
- Rocha, D. N. et al. (2007). Controle de força de preensão para uma órtese de mão por meio da medida da corrente elétrica do motor. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 12(1), 375–384.
- Rosenbaum, P., et al. (2007). A report: The definition and classification of cerebral palsy April 2006. *Developmental Medicine & Child Neurology Supplement*, 109, 8–14.
- Santana, A. D. (2002). *Adaptações em paralisia cerebral quadriplégica espástica: contribuição da terapia ocupacional* (Monografia de especialização em Terapia Ocupacional). Universidade Católica Dom Bosco, Cuiabá, Brasil.
- Silva, E. F., Silva, L. M., Deon, V. G., & Toso, M. A. (2020). Impressão 3D aplicada à tecnologia assistiva. *Revista Destaques Acadêmicos*, 12 (4).
- Torres, P. M. A.; Silva, S. A.; Furtado, N. S.; Macêdo, H. P.; Alves, M. F. (2024). *Desenvolvimento de uma Órtese Abdutora de Polegar confeccionada através da Manufatura Aditiva*. Anais do XV Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design - P&D Design Manaus.
- Volpato, N. & Carvalho, J. (2017). Introdução à manufatura aditiva ou impressão 3D. In N. Volpato (Ed.), *Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D* (pp. 15-30). Blucher.
- Weisz, J. D., Muller, M., He, J., & Houde, S. (2023). *Toward general design principles for generative AI applications*. arXiv preprint arXiv:2301.05578.

Abstract: This article presents the development of an adaptive grasp orthosis aimed at adults with cerebral palsy, integrating Generative Artificial Intelligence and 3D printing as complementary tools within the Product Design process. The research employs generative AI to produce formal alternatives inspired by bio-inspired textures and additive manufacturing (FDM). The methodological approach includes: analysis of comparable products; concept generation using AI tools (Gemini, ChatGPT, Copilot); image selection; 3D modelling; material selection (PLA, ABS, and TPU); and iterative prototyping assessed in terms of comfort, grip performance, and versatility in handling everyday objects such as cutlery, pens, and brushes.

The results indicate the adoption of an oval geometry, featuring a surface texture inspired by natural wave patterns, with an ABS plastic body and a flexible TPU fastening system.

This configuration enables accommodation of the hand in a passive grasp and secures utensils of varying diameters through geometric interference, thereby enhancing user autonomy in daily activities. The integration of generative AI and 3D printing demonstrates strong potential for exploring bio-inspired surfaces, improving grip performance, and optimising the production of design concepts and prototypes.

Keywords: Generative Artificial Intelligence - 3D Printing - Additive Manufacturing - Grasp Orthosis - Cerebral Palsy

Resumo: O artigo apresenta o desenvolvimento de uma órtese de preensão adaptativa destinada a adultos com paralisia cerebral, articulando a Inteligência Artificial Generativa e a impressão 3D como ferramentas integradas de apoio ao processo de Design de Produtos. A pesquisa utiliza IA generativa para a criação de alternativas formais inspiradas em texturas bioinspiradas e na manufatura aditiva (FDM).

O método inclui: análise de produtos similares; geração de conceitos com IA (Gemini, ChatGPT, Copilot); seleção de imagens; modelagem 3D; escolha de materiais (PLA, ABS e TPU); e sucessivos protótipos avaliados quanto ao conforto, à aderência e à versatilidade no uso de objetos cotidianos, como talheres, canetas e escovas.

Os resultados indicam a adoção de uma geometria oval, com textura inspirada em ondas naturais, corpo em plástico ABS e sistema de fixação em TPU flexível, capaz de acomodar a mão em preensão passiva e de fixar utensílios de diferentes diâmetros por interferência geométrica, ampliando a autonomia nas atividades cotidianas. A combinação entre IA generativa e impressão 3D mostrou-se promissora na exploração de superfícies bioinspiradas, na melhoria da aderência e na otimização da produção de conceitos e protótipos.

Palavras-chave: Inteligência Artificial Generativa - Impressão 3D - Manufatura Aditiva - Órtese de Preensão - Paralisia Cerebral

Pablo Marcel de Arruda Torres, Unidade Acadêmica de Design, UFCG. Es Doctor en Diseño e Innovación por la Università degli Studi della Campania (Italia). Profesor Asociado del Curso de Diseño de la Universidad Federal de Campina Grande. Coordinador del Grupo de Investigación en Diseño e Innovación y del D4H (Laboratorio de Fabricación Aditiva para Tecnologías de Asistencia) del Programa de Postgrado en Diseño (PPGDesign/UFCG). Unidade Acadêmica de Design, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG (Brasil), pablo@design.ufcg.edu.br

Mylene Costa Araújo, Unidade Acadêmica de Design, UFCG. Es estudiante de pregrado del Curso de Diseño de la Universidad Federal de Campina Grande y investigadora junior en el Laboratorio D4H (Laboratorio de Fabricación Aditiva para Tecnologías de Asistencia). mylenaraújo768@gmail.com