

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte

Departamento de Diseño

Maestría en Diseño y Desarrollo del Producto

“Herramienta configurativa para el co-diseño de mobiliario mediante fabricación digital”

Tesis para obtener el grado de Maestro en Diseño y Desarrollo del Producto

Lic. Jesús Armando García Contreras

Bajo la Dirección de la

Mtra. Blanca Ivette Duarte Álvarez

Ciudad Juárez, Chihuahua, noviembre de 2025

Quiero agradecer sinceramente a mi familia, colegas, amigos y a mi asesora por su apoyo continuo durante la elaboración de este proyecto. Sus palabras de ánimo, guía y apoyo han sido esenciales en este camino. Este logro no habría sido posible sin todos ustedes. ¡Muchas gracias!

Índice temático

1. Introducción 9
1.1 Antecedentes 10
1.2 Planteamiento del problema 11
1.3 Objetivo general 12
1.3.1. Objetivos específicos 12
1.3.2. Variables 12
1.3.3. Preguntas de investigación 13
2. Supuesto 13
3. Marco teórico 13
3.1. Diseño Paramétrico 14
3.2. Innovación y Creatividad con el Diseño Paramétrico 15
3.3. Tecnologías y Herramientas de Diseño Paramétrico 16
3.4. Fabricación Digital y Fabricación Personalizada 16
3.5. Co-diseño 17
3.6. Experiencia del Usuario (UX) en Diseño Paramétrico 18
3.7. Economía y Sostenibilidad en la Fabricación Personalizada 19
3.8. Propiedad intelectual y derechos de autor 20
3.8.1. Leyes aplicables e infracciones 20
3.9. Distribución Digital de Diseños 22
3.11. Proyectos Relacionados y Casos de Estudio 23
3.11.1. La Fab Lab House 23
3.11.2. Wooj 24
3.11.3. La colección de muebles gradiente impresa en 3D 24
3.11.4. Kelp Collection. 26

3.11.5. SketchChair 28

3.11.6. Mouse inalámbrico 002 by Bambu labs 29

3.11.7. USSA design 30

3.11.8. Sillón paramétrico (control 3D) 31

3.12. Delimitaciones 32

3.12.1. Temporalidad 32

3.12.2. Público objetivo 32

3.12.3. Nivel de personalización 33

3.12.4. Factibilidad técnica 33

3.12.5. Calidad variante en la manufactura digital. 33

3.12.6. Configuración Estandarizada. 33

3.12.7. Tecnología y desarrollo 34

3.12.8. Equipo de prueba 34

4. Metodología de Investigación 34

4.1. Resultados esperados 36

4.2. Metodología **¡Error! Marcador no definido.**

4.2.1. Recopilación de la información 37

4.2.2. Interpretación de los primeros resultados 38

4.2.3. Delimitación del tipo de mobiliario y sus parámetros 40

4.2.4. Etapa creativa 42

4.2.5. Desarrollo del script en Grasshopper 45

4.2.6. Diseño y desarrollo de la plataforma 55

4.2.7. Evaluación y validación 59

4.2.7.1. Implementación de la plataforma 59

4.2.7.2. Publicación de la plataforma 59

4.2.8. Resultados SUS (*System Usability Scale)* 60

4.2.9. Ejemplos realizados con la herramienta 62

4.3. Conclusiones 65

Bibliografía 67

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Comparación esquemática del proceso convencional y paramétrico y el tiempo empleado en cada etapa.(Lekuona Amundarain et al., 2021) 15

Ilustración 2 Fab Lab House (La Fab Lab House gana el premio del público de Solar Decathlon Europe, 2012) 23

Ilustración 3 página de Wooj.design(Wooj, 2023) 24

Ilustración 4 Gradient Furniture Collection Design Process (Aduatz, 2021) 26

Ilustración 5 Kelp Collection 28

Ilustración 6 Flujo de trabajo de SketchChair (Diatom Studio, 2011) 29

Ilustración 7 Mouse 002 y Led lamp 001 de Bambu labs 30

Ilustración 8 Banquillo paramétrico de USSA Design 31

Ilustración 9 Sillón paramétrico de Control 3D 32

Ilustración 10 Metodología doble diamante (Hambeukers, 2019) 35

Ilustración 11 Boceto con ideas de los movimientos del panel central 43

Ilustración 12 Boceto para idea de un segundo tipo de mueble para la herramienta configurativa 43

Ilustración 13 Boceto con idea del movimiento para el joint medio 44

Ilustración 14 Boceto con idea del movimiento del joint top 44

Ilustración 15 Joint top en azul. Joint medio en verde. Resbalón en naranja 45

Ilustración 16 estilos de cubiertas y sus parámetros 46

Ilustración 17 Filtros (stream filter) de estilos de cubierta, espesores y altura total del mueble 47

Ilustración 18 Parámetros editables 47

Ilustración 19 Visualización de patas de mueble con filtro de cantidad posicionado con 3 elementos 48
Ilustración 20 puntos medios editables que determinan el origen para el joint medio 49
Ilustración 21 Elementos de madera que componen el mueble 50
Ilustración 22 Panel medio y sus filtros para truncado de esquinas 50
Ilustración 23 vista en transparencia de Joint top y parte de su script 51
Ilustración 24 Vistas en transparencia de joint medio 52
Ilustración 25 Resbalón en transparencia con parte de su script 52
Ilustración 26 Mueble completo con materiales asignados junto a su script 53
Ilustración 27 Joint en transparencia con la orientación correcta junto al script para exportar archivos 54
Ilustración 28 Script de la hoja 3 del documento PDF que acompaña los modelo 3D 55
Ilustración 29 Flujo de script con variables 56
Ilustración 30 script para la interfaz de usuario 57
Ilustración 31 interfaz de usuario 58
Ilustración 32 Página principal del sitio web 58
Ilustración 33 Pagina del sitio web con interfaz del editor 60
Ilustración 34 resultados sin procesar 61
Ilustración 35 tabla con resultados SUS procesados 61
Ilustración 36 Tabla para la interpretación de resultados SUS, (Bangor et al., 2009). 62
Ilustración 37 Proyecto fabricado con herramientas básicas 63
Ilustración 38 Detalle de Joint medio en proyecto fabricado con herramientas básicas 63
Ilustración 40 Detalle de Joint medio en proyecto fabricado con router cnc 64
Ilustración 39 Proyecto fabricado con router cnc 64
Ilustración 41 Resultado impreso de la actualización 66
Ilustración 42 vista previa de ambos diseños en la plataforma 66

Resumen

Este trabajo busca como aprovechar herramientas de diseño paramétrico y fabricación digital con el propósito de brindar a usuarios con poco conocimiento en modelado 3D, una herramienta de co-diseño que les permita personalizar mobiliario de acuerdo a sus preferencias, y comprender mejor como la fabricación personalizada puede contribuir al desarrollo de productos más sostenibles al reducir desperdicios de material y solo fabricar productos cuando se necesitan.

1. Introducción

El avance de las nuevas tecnologías ha trascendido más allá de la mera automatización de tareas o la mejora de la eficiencia en los procesos industriales. Esto ha dado origen a nuevas tendencias que han transformado fundamentalmente la forma en que concebimos y creamos productos. Una de estas tendencias notables es la conocida como "DIY" (*Do It Yourself* o hazlo tú mismo), (Hagel III et al., 2010) que en sus inicios se centraba en las manualidades y las actividades de *Arts & Crafts*. Sin embargo, esta tendencia ha evolucionado significativamente gracias a la disponibilidad de herramientas tecnológicas.

Tal es el caso de la impresión 3D de escritorio, que ha democratizado la capacidad de fabricación personalizada, permitiendo a los consumidores asumir un papel activo en la creación de productos (Val Fiel, 2016). Esta tendencia, respaldada por una creciente comunidad de entusiastas y diseñadores aficionados, ha llevado a un aumento en la adopción de esta tecnología por parte de usuarios que desean satisfacer sus necesidades de productos personalizados y a medida (Ruscitti, 2015). Sin embargo, a pesar de la disponibilidad de impresoras 3D cada vez más asequibles y accesibles, surge la necesidad de conocimientos técnicos especializados para aprovechar plenamente el potencial de esta tecnología.

Este problema se hace evidente en la falta de habilidades en el modelado en 3D, algo esencial para poder crear los diseños necesarios para imprimir utilizando estas máquinas. Sin la capacidad de modelar en 3D, los usuarios se ven limitados en la creación y personalización de productos (Val Fiel, 2016), lo que puede llevar a una dependencia de modelos prediseñados y una subutilización de las impresoras 3D de escritorio, por lo tanto, la brecha entre la disponibilidad de esta tecnología y la capacidad de los individuos para aprovecharla al máximo hace evidente que requieren soluciones y estrategias innovadoras (Gómez Reyes, 2017).

Con lo anterior en mente, se propone un estudio en el que se abordarán tanto los desafíos que plantea esta tecnología como las muchas oportunidades que presenta. Así como la importancia de la formación en modelado 3D que se considera una habilidad necesaria para cerrar la brecha entre la disponibilidad de la tecnología de impresión 3D y la capacidad de las personas para utilizarla de forma eficaz. Además, también se consideran aspectos éticos y legales relacionados con la impresión 3D, como la no creación de objetos que puedan dañar a otros, los derechos de autor (copyright) y los tipos de licencias de *Creative Commons*, destacando la necesidad de establecer pautas claras en un entorno donde la creatividad y la innovación están al alcance de todos. A través de un enfoque

interdisciplinario y una revisión de estudios de casos relevantes, se intentará ofrecer una visión integral de este fenómeno que está replanteando la forma en que creamos productos, destacando el panorama tecnológico en constante evolución y su impacto en el mundo de la fabricación y el diseño.

1.1 Antecedentes

Después de una investigación sobre proyectos pensados para la impresión 3D se pudieron rescatar trabajos donde los autores exploran el desarrollo de productos con equipos de impresión 3D de bajo costo (Estrada et al., 2022) lo cual permite tener una visión más amplia tanto de la aplicación dentro del desarrollo de mobiliario como de la resistencia de piezas fabricadas con esta tecnología. Además, se encontraron artículos como el de Nicolau A., et al. (2022), en el cual se explora una propuesta de diseño de un ensamble para unir piezas de madera, donde se hace un especial énfasis en la resistencia mecánica de la pieza impresa en la búsqueda de que sea un reemplazo fiable a una unión tradicional de carpintería. De igual manera, varios artículos concuerdan en que hay una relación entre los parámetros o propiedades que se definen en el *slicer*[1] (Fernandez-Vicente et al., 2016) y las propiedades mecánicas que puede tener un objeto impreso en 3D al ser sometido a pruebas de esfuerzos (Liu et al., 2020). Otro estudio muy concreto llevado a cabo por investigadores de la Universitat Politécnica de Valéncia, en el que proponen un método generativo de formas en 3D por medio del desarrollo de un algoritmo creado con el *plugin Grasshopper* dentro del software de modelado 3D *Rhinoceros,* con una herramienta de iteraciones para el diseño de producto (Alcaide-Marzal et al., 2020). Siguiendo con la investigación encontramos que por medio de diseño paramétrico se puede llegar a soluciones en lo que a personalización masiva se refiere, con estudios como el llevado a cabo por los investigadores de la Universidad Técnica de Lisboa (Barros et al., 2014), en la cual los autores utilizan un enfoque de gramática de forma para generar nuevos diseños de sillas. Ellos se refieren a la gramática de forma como el conjunto de reglas que define las posibles formas y configuraciones de una silla. Al aplicar estas reglas, el sistema puede generar nuevos diseños que sean consistentes con la gramática, que además puede ser transformada para crear nuevos estilos de diseño y generar una mayor exploración. También podemos encontrar Investigaciones que se

[1] Un *slicer* es un software utilizado en impresión 3D que toma un modelo 3D y lo divide en capas planas, generando instrucciones para la impresora 3D sobre cómo construir cada capa individualmente. Estas instrucciones incluyen detalles sobre la velocidad, la temperatura y el patrón de impresión, lo que permite a la impresora crear el objeto en tres dimensiones capa por capa.

centran en el desarrollo de metodologías (Ashraf & Johar Town, 2023), enfocadas en el desarrollo de productos personalizables utilizando herramientas de diseño computacional y fabricación digital (Malakuczi, 2017), donde el objetivo es crear nuevas oportunidades económicas para los diseñadores y fabricantes, en línea con las políticas de desarrollo recientes que apoyan la Industria 4.0, basada en la comprensión de las necesidades y deseos de los clientes, así como en la identificación de los elementos personalizables del producto.

Sin duda alguna es importante recalcar que el diseño paramétrico es una herramienta muy potente a la cual se le puede sacar mucho provecho, dentro del co-diseño. Un ejemplo de esto es SketchChair, (Diatom Studio, 2011), el cual es un software que permite a los usuarios dibujar una silla de forma simplificada en la pantalla, probar digitalmente su ergonomía y luego exportar los archivos CAD de los componentes para ser fabricados con corte por control numérico. La aplicación offline es gratuita y de código abierto y tiene como objetivo democratizar el diseño de productos, en este caso, estructuras simples establecidas por una matriz de ensamblajes perpendiculares. Esto también permite el diseño de otros muebles como sillones, mesas o camas. El usuario obtiene un archivo listo para la producción utilizando la tecnología y los materiales de su elección, dando como resultado de la experiencia creativa un objeto de uso diario

1.2 Planteamiento del problema

La falta de conocimientos técnicos necesarios para modelar en 3D representa una barrera significativa para que los usuarios (*makers*[2]) novatos aprovechen plenamente sus impresoras 3D de escritorio. La posibilidad de diseñar productos personalizados o modificar diseños existentes es esencial para quienes buscan crear soluciones adaptadas a sus necesidades específicas. Esta limitación técnica se vuelve especialmente importante en un contexto en el que la personalización y creación de prototipos desempeñan un papel central en el desarrollo de productos. Sin embargo, muchos *makers* novatos carecen de las habilidades necesarias para utilizar software de modelado en 3D, lo que reduce su capacidad tanto de crear como de personalizar sus proyectos.

[2] Aunque la traducción literal es hacedor, un *maker* es mucho más, es un innovador, un creativo que a partir de una necesidad pone en práctica sus ideas integrando la tecnología del momento o desarrollando una nueva (Saavedra Seoane, 2017).

Además, en un mundo donde la distribución digital de diseños se está expandiendo, es fundamental que los usuarios puedan no solo descargar productos digitales, sino también adaptarlos a sus necesidades. La democratización del diseño y la fabricación ofrece un gran potencial, pero sin conocimientos técnicos en modelado 3D, muchos *makers* se encuentran limitados en su capacidad para aprovechar esta tendencia. Por lo tanto, se plantea como solución el desarrollo de una plataforma digital que permita a los usuarios modificar de manera sencilla productos descargables, sin requerir conocimientos avanzados de modelado 3D. Esta plataforma no solo promovería la creatividad y la personalización, sino que también reduciría los costos, permitiendo a los usuarios producir sus propios productos de forma accesible.

1.3 Objetivo general

- Desarrollar una herramienta digital que permita a los *makers* novatos en la impresión 3D el co-diseño de una línea de mobiliario paramétrico

1.3.1. Objetivos específicos

- Establecer los parámetros para crear un algoritmo que permita crear modelos digitales de mobiliario
- Identificar un sistema de distribución digital que permita a los *makers* acceder a la herramienta configurativa, personalizar y descargar su diseño en formato digital.
- Desarrollar un script que genere un kit/paquete de planos a partir de los modelos generados en cada iteración, e integrar las instrucciones y recomendaciones de construcción y fabricación digital.
- Determinar el tipo de licencia de distribución del proyecto.

1.3.2. Variables

Independientes.

Uso de fabricación digital. Esta variable podría medir la cantidad y el nivel de uso de tecnologías de fabricación digital en el diseño y desarrollo de productos.

Aplicación de diseño paramétrico. Esta variable podría medir si se utiliza el diseño paramétrico y en qué medida se utiliza en el proceso de diseño de productos.

Dependientes.

Grado de personalización de productos. Esta variable podría medir el nivel de personalización que se logra en los productos fabricados utilizando fabricación digital y diseño paramétrico.

Sostenibilidad de productos. Esta variable podría medir la sostenibilidad de los productos en términos de su impacto ambiental, su eficiencia en el uso de recursos y su reciclaje.

1.3.3. Preguntas de investigación

¿Qué motiva a los usuarios a fabricar sus propios productos?
¿Qué tipo de productos buscan estos usuarios?
¿Qué ventaja tendría este mobiliario con respecto a los similares fabricados en serie por métodos tradicionales?
¿Cómo se puede utilizar el diseño paramétrico para crear productos personalizables?

2. Supuesto

La integración de una plataforma digital accesible y el uso de diseño paramétrico simplificado permitirán a los *makers* novatos personalizar y producir piezas de mobiliario mediante impresión 3D sin requerir conocimientos avanzados de modelado en 3D, ofreciendo una solución económica, eficiente y sostenible mediante la producción bajo demanda.

3. Marco teórico

La manera en que las personas interactúan con los objetos está siendo transformada por la revolución digital. Este proceso ha creado nuevas y muy importantes oportunidades económicas al eliminar las barreras para entrar en los mercados tradicionales. Esto ha llevado a una revolución en las prácticas comerciales y la manera en que desarrollan y distribuyen algunos productos.

La impresión 3D como proceso de fabricación ha venido a cambiar la forma en que se elaboran los productos al permitir la creación de objetos tridimensionales mediante la superposición de capas sucesivas de material. Esta tecnología ha democratizado el proceso de fabricación al ofrecer a los usuarios la capacidad de crear sus propios productos de manera rápida y personalizada. En este

contexto, es fundamental comprender cómo se puede desarrollar un producto mediante fabricación digital y teniendo en cuenta que el usuario estará creando la pieza.

3.1. Diseño Paramétrico

El diseño paramétrico es una metodología de proceso para el diseño que se basa en la creación de modelos mediante la definición de parámetros y relaciones que permiten una adaptación y modificación flexibles del diseño. Se trata de un enfoque altamente versátil que ha ganado popularidad en diversas disciplinas de diseño y fabricación (Aish & Woodbury, 2005). El término "paramétrico" tiene su origen en el griego, que etimológicamente significa "medir, comparar distancias", y de ahí ha pasado a la ciencia de las matemáticas, y más en concreto a las ecuaciones paramétricas (Christodoulou, 2020). Es un método de diseño no lineal que se basa en parámetros que se van predefiniendo y que sirven como control de las relaciones entre ellos y, por lo tanto, permite definir una geometría. En el diseño paramétrico, el diseñador define algunos parámetros, entre los cuales puede ajustar y controlar la geometría de su obra de tal manera que le permite tener innumerables variaciones y soluciones. Desde un punto de vista de la lógica de diseño, el diseño paramétrico, se basa en el proceso de exploración y reedición de las relaciones asociativas en un espacio de solución geométrico. Es lo que se conoce como lógica paramétrica (Oxman, 2017). Chido Studio, una plataforma de investigación y exploración de diseño paramétrico y generativo, propone el siguiente proceso, a partir de una idea abstracta se proponen condiciones geométricas y matemáticas que pueden ser convertidas en lenguaje informático. Se identifican las condiciones necesarias y se llevan a cabo pruebas utilizando variables conocidas como parámetros. Una vez que se eligen los parámetros, se procede a programar el proceso. Esto implica ajustar los valores dimensionales de los parámetros para lograr el producto que mejor se adapte a los criterios de diseño establecidos. Los objetivos que ellos proponen son:

- Diseñar un proceso y no un resultado concreto, ya que al diseñar un proceso se desarrollan relaciones matemáticas y geométricas creando procesos y sistemas (algoritmos), los cuales permiten explorar más de un resultado, con ciertas premisas de diseño establecidas previamente.
- Posibilidad de relacionar variables o parámetros, teniendo un proceso de diseño y no una forma preestablecida, se pueden manipular sus variables y propiedades, las cuales se pueden

modificar en tiempo real y así comparar resultados, con la finalidad de tener un producto final más eficiente.

- Resultados paramétricos y/o responsivos a condiciones establecidas previamente, esto a partir del diseño paramétrico se pueden generar diseños inteligentes y/o responsivos estableciendo un criterio de diseño (exploración de formas), permitiendo adaptarse a cualquier situación o contexto. Es decir, se puede adaptar el diseño a cualquier parámetro o variable que sea integrado al proceso de diseño, dando un resultado inteligente y responsivo que satisfaga un problema específico. (Navarrete, 2014)

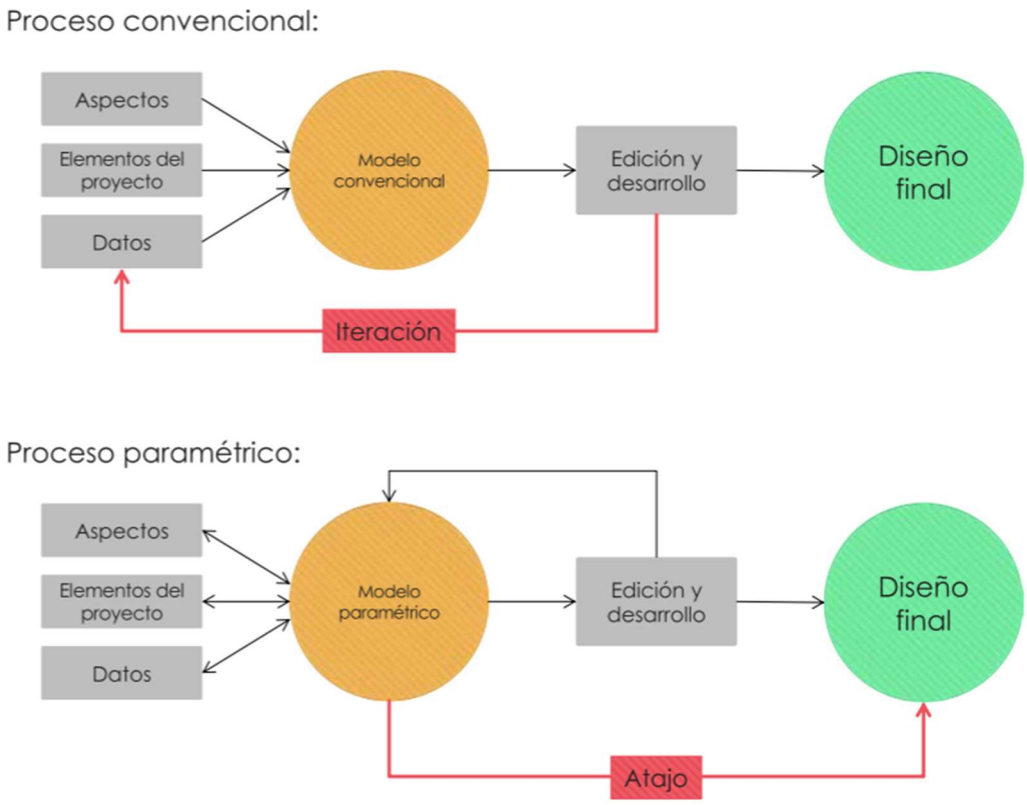


Ilustración 1: Comparación esquemática del proceso convencional y paramétrico y el tiempo empleado en cada etapa.(Lekuona Amundarain et al., 2021)

3.2. Innovación y Creatividad con el Diseño Paramétrico

El diseño paramétrico se considera una forma innovadora de proyectar, ya que utiliza la automatización de tareas y parámetros para abrir infinitas posibilidades de diseño. Además, el diseño paramétrico permite examinar variantes sin la necesidad de rehacer cada vez el trabajo de

representación, lo que ahorra tiempo y recursos (Navarrete, 2014). Por lo tanto, permite una mayor creatividad e innovación en la creación de productos personalizados ya que permite la modificación de las dimensiones de un objeto mediante programación y determinación de variables, lo que facilita la adaptación del objeto a las necesidades del usuario de una manera fácil, brindando al usuario la libertad de elegir el tipo de material, grosor y características que desee al modificar diseños existentes o crear completamente nuevos para satisfacer sus necesidades y preferencias específicas sin necesidad de tener conocimientos previos en programas de diseño (Barreno Ávila & Monar Naranjo, 2023). Las herramientas de diseño paramétrico implican una nueva forma de entender el diseño, donde es necesario descomponer el problema en parámetros esenciales del proyecto, así como en reglas y protocolos de codificación, donde cualquier alteración de los parámetros resulta en un modelo diferente. (García-Dominguez et al., 2020).

3.3. Tecnologías y Herramientas de Diseño Paramétrico

El diseño paramétrico se apoya en software y herramientas especializadas que permiten la creación y manipulación de modelos paramétricos. Algunas herramientas populares incluyen Grasshopper para *Rhinoceros* y OpenSCAD, que brindan una amplia flexibilidad en la creación de diseños paramétricos. Con el diseño paramétrico como herramienta, el diseñador ya no diseña un producto estrictamente, sino que crea el código paramétrico que diseñará el objeto en cuestión. La variabilidad paramétrica del código hace de estos modelos herramientas muy poderosas de generación e innovación en diseño (Lekuona Amundarain et al., 2021)

3.4. Fabricación Digital y Fabricación Personalizada

Antes de la revolución digital, los diseñadores abordaban la complejidad de los proyectos de construcción desglosando los componentes en partes individuales y estudiando las estrategias de ensamblaje de estas partes a través de maquetas a escala y dibujos. Con este cambio se liberó esta limitación al integrar la producción de diseño directamente con la fabricación digital (Tedeschi, 2014). La fabricación digital se refiere a la utilización de tecnologías digitales para crear objetos físicos a partir de modelos digitales. En este contexto, una de las herramientas más populares y ampliamente utilizadas tanto por diseñadores como *makers* es la impresión 3D, la cual permite a los usuarios fabricar piezas mediante la superposición de capas de material, permitiendo así la rápida validación de prototipos. La fabricación personalizada se centra en la producción de productos específicos para cada usuario, lo que contrasta con la producción en masa (Anderson, 2014). Hoy en día, las máquinas de fabricación digital ampliamente utilizadas permiten la creación de productos

directamente a partir de diseños paramétricos digitales. La variedad de métodos de fabricación digital, como el control numérico, la impresión 3D y el corte láser, junto con el desarrollo de nuevos materiales compatibles con estos sistemas, ha posibilitado la realización de diseños con geometrías paramétricas innovadoras en una amplia gama de campos.(Lekuona Amundarain et al., 2021)

3.5. Co-diseño

El co-diseño es una metodología que ha evolucionado para involucrar a los consumidores, usuarios finales y otras partes interesadas en todas las fases del desarrollo de productos y servicios. En lugar de ser simples receptores, los consumidores se convierten en co-creadores activos, contribuyendo con sus conocimientos, experiencias y necesidades específicas para generar productos más personalizados y relevantes (García-Garcia et al., 2017). Esta metodología ha ganado terreno en diversas industrias, especialmente con el auge de la economía colaborativa, donde los usuarios no solo consumen, sino también producen valor para otros consumidores (Dellaert, 2018)

El co-diseño tiene sus raíces en el diseño participativo de los años sesenta y setenta, cuando los ciudadanos comenzaron a exigir un papel más activo en decisiones urbanísticas y de planificación tecnológica. Este enfoque democrático ha evolucionado hacia un modelo más inclusivo, donde los usuarios finales participan activamente en las decisiones de diseño, especialmente en contextos de innovación tecnológica (García-Garcia et al., 2017). La digitalización ha facilitado la integración de los usuarios en el proceso creativo, ampliando el acceso a herramientas de producción, como la impresión 3D y el diseño a través de plataformas colaborativas (Dellaert, 2018).

Con esto lo que se busca es el empoderamiento del usuario, pero no solo busca involucrarlo en el proceso creativo, sino que también le permite influir en el desarrollo de productos que cubran sus necesidades reales. Como señala Dellaert (2018), el surgimiento de nuevas tecnologías digitales ha permitido a los consumidores participar activamente en redes de co-producción, generando valor para otros consumidores mediante plataformas como *Etsy, Airbnb* o *Uber* (Dellaert, 2018). Este fenómeno ha llevado a un replanteamiento del papel de las empresas, que ahora deben encontrar formas de crear valor en colaboración con los usuarios.

Actualmente, el co-diseño ha encontrado aplicaciones en diversos sectores, desde la tecnología hasta la economía compartida. Plataformas como *Threadless* permiten que los usuarios diseñen productos para otros consumidores, mientras que *Etsy* permite a los consumidores vender sus propios productos (Dellaert, 2018). Además, el co-diseño también se aplica en la creación de experiencias compartidas, como ocurre en plataformas como *Airbnb*, donde los anfitriones no solo ofrecen un espacio, sino que co-crean experiencias para los huéspedes (Dellaert, 2018).

Además de los beneficios comerciales, el co-diseño también tiene implicaciones sociales. Como señalan García-García et al. (2017), el co-diseño puede ser una herramienta para reducir las desigualdades sociales y promover un diseño más inclusivo que responda a las necesidades de colectivos minoritarios (García-Garcia et al., 2017).

3.6. Experiencia del Usuario (UX) en Diseño Paramétrico

La experiencia de usuario (UX) en el diseño paramétrico es necesaria para facilitar la interacción entre los usuarios y sistemas complejos basados en parámetros y algoritmos. El diseño paramétrico permite la creación de modelos flexibles y adaptables mediante la modificación de variables, ofreciendo un alto grado de personalización y eficiencia. Según Woodbury (2010), esta metodología permite a arquitectos y diseñadores explorar una amplia gama de opciones y adaptaciones en sus proyectos.

La simplicidad y claridad en la interfaz de usuario son fundamentales para comprender y manipular los parámetros sin confusión. Norman (2013) destaca la importancia de un diseño centrado en el usuario que facilite la usabilidad y reduzca la complejidad percibida. Oxman (2006) enfatiza que agrupar parámetros relacionados y utilizar etiquetas descriptivas mejora la navegabilidad y comprensión del sistema.

La capacidad de visualizar cambios en tiempo real al ajustar parámetros es esencial para entender el impacto de cada modificación. Shea et al. (2005) señalan que la retroalimentación inmediata ayuda a los diseñadores a tomar decisiones informadas rápidamente, mejorando la eficiencia del proceso de diseño. Terzidis (2006) sugiere que el uso de gráficos y animaciones dinámicas facilita la representación de datos complejos, haciendo la información más accesible y comprensible. Ofrecer opciones tanto para usuarios novatos como para expertos es clave para adaptar el nivel de control a diferentes habilidades y necesidades. Según Woodbury (2010), los sistemas deben permitir ajustes avanzados y simplificados, promoviendo una experiencia inclusiva. Además, el almacenamiento y reutilización de conjuntos de parámetros facilita el trabajo continuo y mejora la eficiencia operativa (Shea et al., 2005).

La optimización del sistema para responder rápidamente a los cambios es vital para mantener un flujo de trabajo eficiente. Oxman (2006) destaca que un rendimiento deficiente puede interrumpir el proceso creativo y disminuir la productividad. Terzidis (2006) añade que la gestión eficaz de los recursos del sistema es necesaria para evitar ralentizaciones que puedan afectar negativamente la experiencia del usuario.

La inclusión de tutoriales integrados y guías ayuda a los usuarios a aprender y aprovechar al máximo las funcionalidades de las herramientas paramétricas (Norman, 2013). El soporte técnico y la resolución de dudas mejoran la satisfacción y confianza del usuario en el sistema (Woodbury, 2010). Además, la compatibilidad multidispositivo y las consideraciones de diseño universal aseguran que personas con diversas capacidades puedan utilizar el sistema eficazmente (Oxman, 2006).

Una UX bien diseñada reduce el tiempo y esfuerzo necesarios para lograr los resultados deseados, aumentando la eficiencia en el trabajo (Shea et al., 2005). Facilita la exploración de nuevas ideas y soluciones, potenciando la creatividad y la experimentación (Terzidis, 2006). Además, mejora la satisfacción del usuario, lo que puede incrementar la adopción y recomendación de la herramienta (Norman, 2013).

3.7. Economía y Sostenibilidad en la Fabricación Personalizada

La fabricación personalizada puede ser económicamente ventajosa al reducir los costos asociados con la producción en masa y el almacenamiento. Además, puede contribuir a la sostenibilidad al minimizar el desperdicio de recursos (Berman, 2012).

Un concepto interesante que juega un papel importante dentro de la economía y la sustentabilidad es la personalización en masa, que, si se compara con la producción en masa, se asocia a tiempos de entrega más largos y costos por unidad más altos. Pero al aprovechar tecnologías como la impresión 3D, se permiten modelos de negocio únicos de bajo costo gracias a tendencias de mercado que demandan productos personalizados (García-Dominguez et al., 2020). Aunado a esto, si tomamos en cuenta la creciente adopción de la impresión 3D y el abaratamiento de la tecnología, se puede estimar que la rentabilidad de inversión se encuentra entre 4 meses y 2 años con un retorno de inversión que puede estar entre el 200% y el 40% (Wittbrodt et al., 2013). En cuanto a la fabricación personal, también podemos encontrar el movimiento fab lab, que se basa en la idea de que cualquier persona puede tener acceso a herramientas de fabricación digital para crear objetos personalizados. Los fab

labs son laboratorios de fabricación digital que ofrecen a los usuarios acceso a herramientas de fabricación digital como impresoras 3D, cortadoras láser y fresadoras CNC, de tal manera que los usuarios no necesariamente tienen que costearse estas herramientas que les permiten diseñar y fabricar objetos personalizados de manera rápida y eficiente. (Patiño Rodríguez et al., 2021)

3.8. Propiedad intelectual y derechos de autor

Con el desarrollo y aprovechamiento de las nuevas tecnologías también van surgiendo dudas en cuanto a las legislaciones aplicables, por esta razón, en varios países, los abogados están explorando si las leyes actuales pueden adaptarse a esta nueva tecnología, especialmente en lo que se refiere a la propiedad intelectual. La impresión 3D se relaciona con muchos aspectos del ámbito legal como los derechos de autor, patentes, diseños y hasta las indicaciones geográficas.(Malaty & Rostama, 2017)

ya que al ser una herramienta que permite la producción de piezas bajo demanda y totalmente personalizables, solo es necesario disponer de un archivo CAD para poder imprimirlas las veces que se desee**.** Según una investigación llevada a cabo en Australia, (Nielsen & Liddicoat, 2017), donde los autores mencionan que los servicios ofrecidos por los estudios de impresión 3D pueden aumentar el riesgo de que los consumidores puedan infringir los derechos de propiedad intelectual bajo múltiples regímenes, incluidos patentes, derechos de autor y diseños bajo la ley australiana. Además, como intermediarios para que los usuarios produzcan objetos impresos en 3D, los estudios de impresión 3D podrían potencialmente incurrir en infracciones directas y/o infracciones secundarias bajo varios regímenes de propiedad intelectual. También cabe destacar que, aunque actualmente la infracción de propiedad intelectual no ocurre a gran escala, sí ocurre en menor escala. Sin embargo, a medida que la tecnología de impresión 3D avance, es probable que aumente la cantidad y el valor de los productos impresos en 3D que pueden llegar a infringir derechos de propiedad intelectual. Por este motivo es importante señalar algunas regulaciones aplicables o al menos deseables, que se deben tomar en cuenta, y si bien esta información es de la ley australiana, no dista de las regulaciones que la ley mexicana tiene en la misma materia.

3.8.1. Leyes aplicables e infracciones

Ley de Diseños de 2003 (Cth): La sección 6(2) de esta ley establece que el propietario de un diseño registrado tiene el derecho exclusivo de autorizar a otros a usar el diseño registrado.(Design Act 2003, 2003)

Ley de Derechos de Autor de 1968 (Cth): Esta ley protege las "obras" y otorga derechos de autor automáticos a las obras protegidas desde el momento en que se crean. La protección de derechos de autor subsiste durante la vida del autor más un período de 70 años. La ley también establece que se requiere un nivel mínimo de originalidad para que subsista el derecho de autor en una obra artística o literaria. (Copyright Act 1968, 1968)

Ley de Patentes de 1990 (Cth): Esta ley otorga protección a los inventores por un período de 20 años a partir de la fecha de concesión de la patente. La ley establece que las invenciones deben ser adecuadamente divulgadas en la solicitud y deben incluir reclamaciones que definan el alcance de la invención. (Patents Act 1990, 1990)

Infracción de derechos de autor: La ley de derechos de autor protege las obras originales, incluyendo obras artísticas y literarias. Existe una desconexión entre lo que los encuestados creen que constituiría una infracción de derechos de autor y lo que realmente constituye una infracción. Los estudios de impresión en 3D están involucrados en el escaneo y diseño de archivos CAD para producir copias de productos, lo que puede constituir una infracción de derechos de autor.

Infracción de patentes: La ley de patentes protege las invenciones y otorga al inventor el derecho exclusivo de autorizar a otros a usar la invención. La infracción de patentes puede ocurrir cuando se crea y distribuye un archivo CAD que permite la reproducción de una invención patentada.

Infracción de diseños: La ley de diseños otorga al propietario de un diseño registrado el derecho exclusivo de autorizar a otros a usar el diseño registrado. Aquí dependería del acuerdo particular entre el propietario y el licenciatario para determinar si existe o no una infracción.

Además de lo anterior también existe la teoría del agotamiento del derecho de autor, también conocida como la doctrina de la primera venta, la cual establece que una vez que el titular del derecho de autor ha vendido o distribuido una copia de su obra, pierde el control sobre esa copia y no puede impedir que el comprador la venda o distribuya a otros. En otras palabras, el agotamiento del derecho de autor permite el acceso masivo al público de las obras protegidas por el derecho de autor (Plana, 2016).

3.9. Distribución Digital de Diseños

La distribución digital de diseños implica la disponibilidad en línea de modelos 3D listos para su descarga y adaptación. Plataformas como Thingiverse y Cults ofrecen un espacio para compartir y acceder a diseños digitales, lo que facilita la distribución de productos personalizables. Pero esto a su vez tiene sus complicaciones, ya que la facilidad de acceder a estas plataformas también conlleva la facilidad con la que se pueden duplicar y distribuir copias digitales, sin pérdida de calidad, por cualquier plataforma digital, lo que a su vez lleva a una mayor piratería y a la disminución de las ventas de contenido digital. (Hamza et al., 2020). El hecho de que un modelo 3D no sea un objeto tangible y por el contrario sea adquirida como un bien intangible no limita el hecho de que pueda ser adquirida legítimamente (Plana, 2016), es por eso que si bien no hay una legislación propia de este tema en las leyes mexicanas, se puede optar por las licencias *Creative Commons* las cuales son un conjunto de licencias de derechos de autor que permiten a los creadores de obras creativas, como música, imágenes, videos y otros contenidos, como por ejemplo los modelos 3D, que se utilizan para compartir las obras con el público en general bajo ciertas condiciones. Estas licencias permiten a los autores mantener ciertos derechos sobre su trabajo mientras lo comparten con otros, lo que significa que pueden decidir cómo quieren que se utilice su trabajo y bajo qué condiciones. (Gobierno de Canarias, 2014) Por ejemplo, un autor puede permitir que su trabajo se comparta libremente, siempre y cuando se le atribuya el crédito, o puede permitir que se utilice para fines no comerciales, pero no para fines comerciales. Las licencias *Creative Commons* también permiten a los usuarios de estos trabajos saber exactamente cómo pueden utilizarlos y las restricciones que pueden conllevar su uso, lo que ayuda a evitar problemas de derechos de autor, además de promover el respeto, la creatividad y la colaboración en línea.

En este proyecto, el uso de una licencia de *Creative Commons* resulta pertinente, ya que se alinea con los principios de la cultura *maker*, además de ser una licencia ampliamente usada para distribuir productos digitales, ya que no solo facilita la protección legal del creador, sino que también promueve la libre circulación de conocimientos. En específico, se ha optado por la licencia CC BY-NC-SA (Atribución, No comercial, Compartir igual), la cual permite que los diseños sean compartidos libremente con o sin modificaciones, para uso no comercial, bajo las mismas condiciones siempre y cuando se mantenga el reconocimiento al autor original (creative commons, s/f).

3.11. Proyectos Relacionados y Casos de Estudio

3.11.1. La Fab Lab House

Construida en 2010 para el concurso *Solar Decathlon Europe* celebrado en Madrid, fue diseñada en el Fab Lab Barcelona dentro del IAAC, dirigido por Vicente Guallart, en colaboración con el MIT's CBA y la Global Fab Lab Network, resultando un equipo de trabajo compuesto por más de 25 nacionalidades. Fue un hito en la corta historia de los Fab Labs, ya que plasmaba en una obra arquitectónica a escala real todo el ideario de estos laboratorios y demostraba las capacidades de la fabricación digital en cuanto a la co-creación, deslocalización, parametrización, personalización y sostenibilidad. Se fabricó íntegramente en las instalaciones de Barcelona y se trasladó desmontada a Madrid, donde se ensambló para unos meses. Una verdadera casa solar hecha con madera, equipada con paneles fotovoltaicos acorde a los parámetros climáticos de su ubicación. Una construcción autosuficiente monitorizada para interactuar con el ambiente, controlando el consumo y la producción de energía necesaria.



Ilustración 2 Fab Lab House (La Fab Lab House gana el premio del público de Solar Decathlon Europe, 2012)

3.11.2. Wooj

Es un estudio de diseño basado en Brooklyn, Nueva York, que fabrica artículos para el hogar que son desarrollados por medio de diseño paramétrico, buscando la combinación de un buen diseño y una fabricación sostenible y ética, mediante impresión 3D. Fundada con la creencia de que se pueden crear productos de alta calidad a bajo costo sin recurrir a prácticas laborales explotadoras ni requerir que los productos se fabriquen en cantidades masivas para ser rentables. Utilizando una combinación de robótica y técnicas de fabricación artesanal. Todos los productos de Wooj son diseñados, fabricados, ensamblados y enviados bajo pedido desde su pequeño estudio en Brooklyn, Nueva York, utilizando materiales y acabados ecológicamente responsables. Ellos mencionan en su página web que cada artículo que ordenan los clientes ha sido tocado por ellos, seres humanos reales, así como por robots, haciendo referencia al proceso de diseño y fabricación digital. Y al final nos dicen que sus productos están diseñados para ser accesibles en todos los hogares, sin los típicos precios elevados por ser personalizados o diseñados por profesionales.

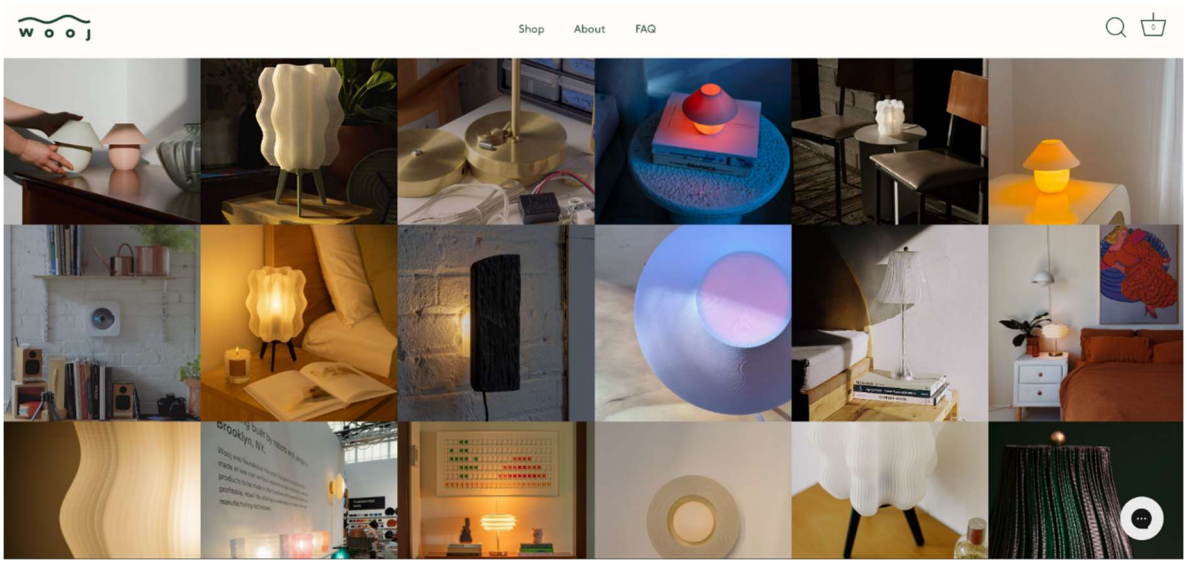


*Ilustración 3 página de Wooj.design(*Wooj*, 2023)*

3.11.3. La colección de muebles gradiente impresa en 3D

Es un proyecto de Philipp Aduatz en el campo de la impresión de concreto 3D en colaboración con el fabricante austriaco incremental3D. La impresión de concreto 3D es una tecnología de fabricación

nueva e innovadora que permite imprimir estructuras muy grandes y complejas en la construcción y el diseño en un período de tiempo muy corto. Las ventajas no solo son de índole ecológica y económica, ya que no es necesario realizar una extensa producción de moldes, sino que también se reflejan en nuevas cualidades estéticas. Como parte de un proyecto de investigación, incremental3D está explorando la posibilidad de teñir el concreto. La estrategia consiste en aplicar el tinte durante el proceso de impresión directamente en la boquilla y, por lo tanto, reducir la carga de trabajo, los residuos y el retraso en el tiempo. Esto permite un diseño coloreado en concreto aplicado localmente punto por punto y no de forma global, como solía ser la única opción. Incremental3D se asoció con el diseñador Philipp Aduatz para avanzar aún más en su tecnología mediante la implementación de la investigación desarrollada en el diseño de productos. Juntos crearon una nueva colección de bancos, una silla y un gran jarrón. Mediante la aplicación de un gradiente y la exploración de posibles formas a través de un método de trabajo interactivo, desarrollaron un enfoque para llevar a cabo el proceso de diseño en toda la impresión de concreto 3D. Otro desafío durante el desarrollo de productos para este proyecto fue desarrollar una tecnología de refuerzo adecuada para proporcionar la capacidad de carga del lenguaje de diseño. El concreto, por naturaleza, es un material con muy poca resistencia a la tracción; por lo tanto, debe reforzarse. En este caso, se desarrolló una estrategia semiautomática personalizada. Las cargas necesarias se calcularon, probaron y demostraron mediante el alto rendimiento del acero. Esto se integró visualmente de manera perfecta en el diseño. (Aduatz, 2021)

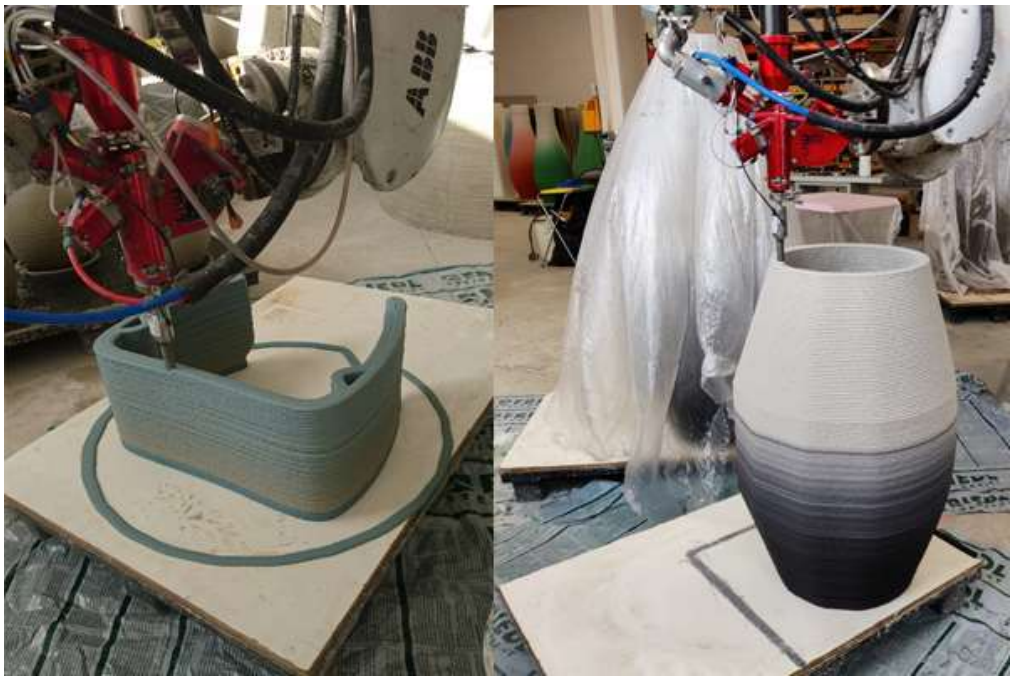


Ilustración 4 Gradient Furniture Collection Design Process (Aduatz, 2021)

3.11.4. Kelp Collection.

La existencia humana depende profundamente de nuestros océanos y sus formas de vida. Sin embargo, cada año miles de redes de pesca son arrojadas a las profundidades del Mar Báltico y las aguas circundantes. Estas redes fantasmas continúan causando muerte y destrucción a los peces y la vida marina durante décadas. ¿Y si estas redes se convirtieran en un recurso valioso en lugar de terminar en el océano en primer lugar? El equipo de *Interesting Times Gang* utilizó un material que combina redes de pesca recicladas con fibras de madera, un subproducto reciclado certificado por FSC de la industria maderera en Suecia y parte de la oferta de bio-compuestos de Stora Enso. Esto se utilizó para crear diseños impresos en 3D que pueden permanecer dentro del mismo ecosistema de material una vez que llegan al final de su ciclo de vida. Estos objetos pueden ser triturados para crear nuevos materiales biodegradables que pueden ser reutilizados una y otra vez para crear objetos completamente nuevos dentro de un ciclo de diseño cerrado. La Colección Kelp se inspira en la biomimética con líneas ondulantes y siluetas que se balancean orgánicamente para imitar las formas

encontradas en la vegetación oceánica. Este proceso fue posible gracias a los últimos avances en tecnología de impresión 3D y desarrollo de materiales. El mobiliario, originalmente encargado por los chefs con dos estrellas Michelin, Niclas Jönsson y Daniel Höglander, y diseñado a medida para su nueva empresa, un concepto de restaurante de sushi llamado Black Milk Sushi, ubicado en el corazón de Estocolmo y que abrirá en la primavera de 2022. Con su nuevo concepto, buscaban algo fuera de lo común, algo que no se hubiera visto antes, y la presión sobre el Interesting Times Gang para entregar un diseño a perfeccionistas como ellos era considerable. El resultado es la "Colección Kelp", una serie de muebles creada para llamar la atención sobre el hecho de que se han erradicado vastas cantidades de bosques de algas submarinas debido a prácticas de pesca insostenibles y al aumento de las temperaturas oceánicas (las algas retiran tanto CO2 por hectárea como 20 hectáreas de árboles).



Ilustración 5 Kelp Collection

3.11.5. SketchChair

Es un proyecto que combina creatividad y tecnología para permitir a personas de todas las edades diseñar sus propias sillas personalizadas. La herramienta central de este proyecto es un software de modelado 3D, que es notablemente fácil de usar. Esto permite a cualquier persona, sin importar su experiencia en diseño, dar rienda suelta a su imaginación y crear sillas únicas a su medida.

El aspecto verdaderamente asombroso de SketchChair es que no se limita solo al proceso de diseño. Una vez que hayas completado tu diseño, el software se encarga de todo el proceso de generación de planos y archivos necesarios para la fabricación. Ya sea utilizando una cortadora láser o router CNC, puedes llevar tu diseño desde la pantalla a la realidad.

El proyecto nace de una colaboración entre Greg Saul y el Proyecto de diseño de interfaz de usuario JST ERATO Igarashi en Tokio. La primera versión del sistema recibió un interés abrumador tanto de la comunidad académica como del público en general, y fue presentada en diversas conferencias y eventos de diseño.

El apoyo de los patrocinadores ha permitido que SketchChair se financiara con éxito a través de una campaña en Kickstarter y se lanzara como un sistema de código abierto y gratuito.

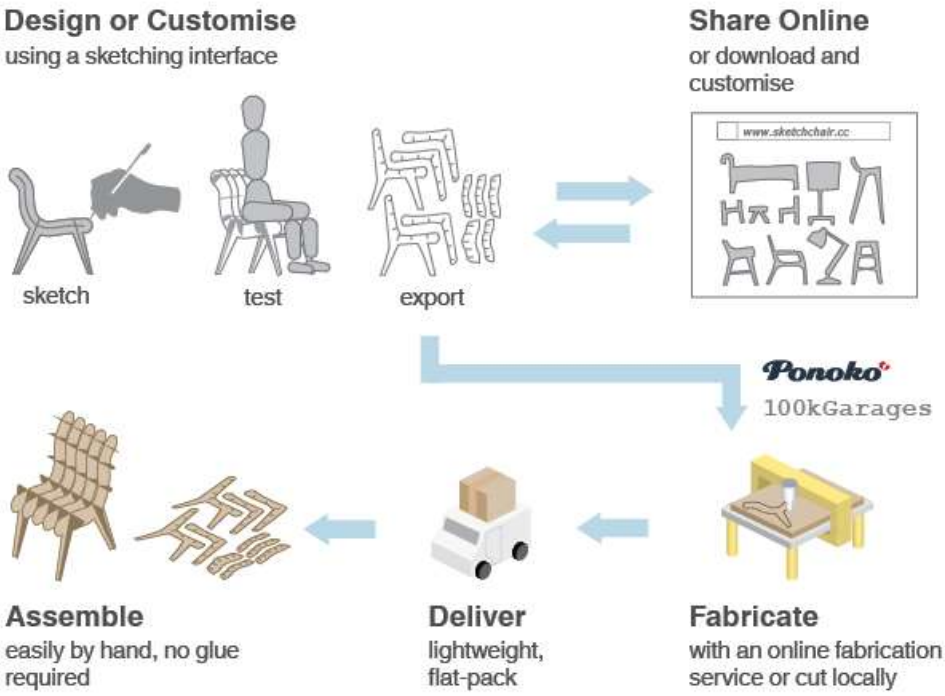


Ilustración 6 Flujo de trabajo de SketchChair (Diatom Studio, 2011)

3.11.6. Mouse inalámbrico 002 by Bambu labs

Es un kit DIY que solo incluye la electrónica necesaria lista para que el usuario sea el encargado de imprimir en 3D la carcasa en su impresora de escritorio para luego poder ensamblarla en casa. El kit fue desarrollado por la empresa bambu labs, que se dedica al desarrollo de impresoras 3D y se puede comprar en su página web. El modelo 3D de la carcasa del mouse se puede descargar gratis también desde su web. También se puede encontrar otro desarrollo llamado LED Lamp 001, el cual tiene el mismo sistema, el usuario compra el kit con la electrónica necesaria para armar su lámpara y el modelo 3D lo encuentra en la misma web y a la par otros usuarios van subiendo sus diseños compatibles con los kits que el fabricante desarrolló.

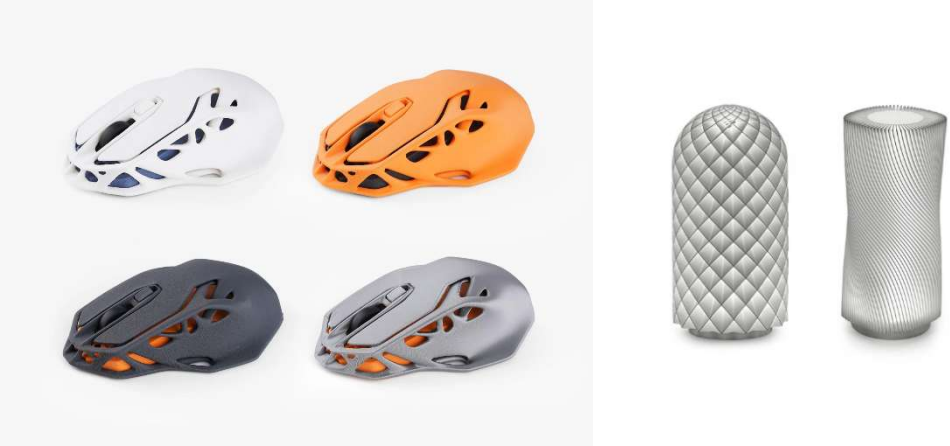


Ilustración 7 Mouse 002 y Led lamp 001 de Bambu labs

3.11.7. USSA design

Esta compañía se especializa en la creación de herramientas y muebles utilizando diseño paramétrico y tecnologías de impresión 3D. Combinando la precisión y la innovación tecnológica con la tradición y el arte de la carpintería. Ellos buscan hacer la carpintería más accesible para todos. No importa si el usuario es un novato o un carpintero experimentado, sus productos están diseñados para mejorar la experiencia y ayudar a desarrollar las habilidades de sus clientes.

Uno de sus diseños es de especial interés para este trabajo, ya que es un ejemplo de cómo el diseño paramétrico se puede emplear para crear estructuras, en este caso mobiliario, con una estética limpia, aprovechando las ventajas de la fabricación digital para prototipar rápidamente un diseño y valorar su desempeño. El diseño en cuestión no tiene un nombre designado por la empresa, ya que, como tal es un producto en desarrollo por lo cual solo nos referiremos como banquillo paramétrico. Este banquillo está diseñado en su totalidad en Grasshopper y pensado para una distribución digital, lo cual quiere decir que el usuario se encargará de conseguir los materiales e imprimir los componentes necesarios para construir una réplica de este producto.

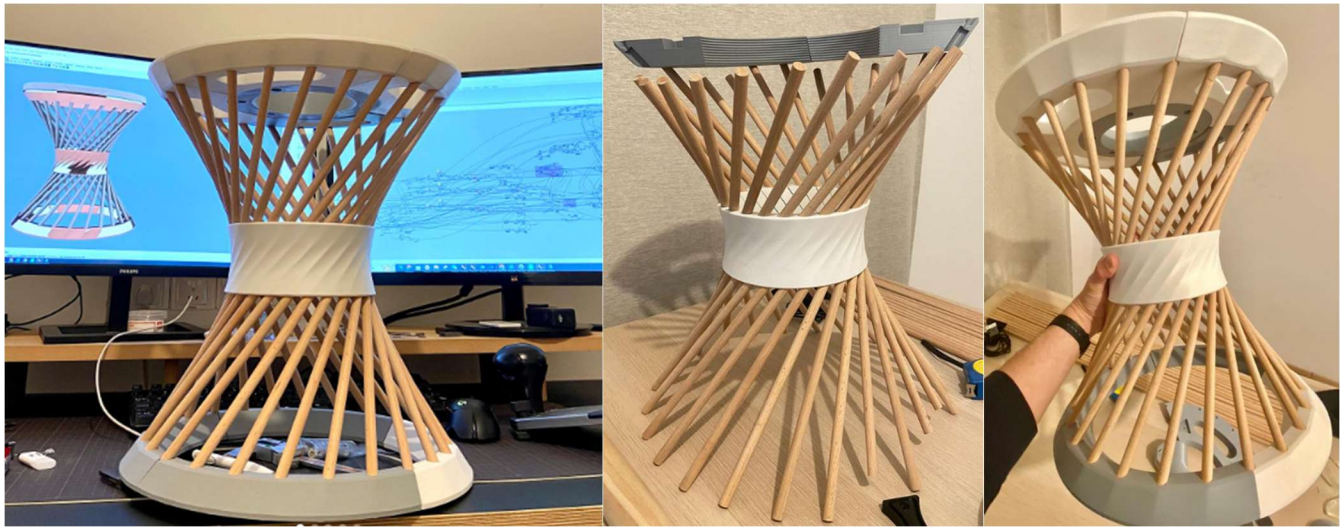


Ilustración 8 Banquillo paramétrico de USSA Design

3.11.8. Sillón paramétrico (control 3D)

Sillón paramétrico de madera realizado con corte láser e impresión 3D es un proyecto del canal de YouTube Control 3D, que se enfoca en contenido para *makers*, como consejos sobre impresión 3D, reseñas sobre máquinas y software. En este proyecto, proponer un diseño que se pudiera fabricar con un equipo de corte láser que estaba probando en conjunto con impresión 3D. Este sillón se ha realizado con corte láser utilizando contrachapado de madera de 10 mm de espesor. Cada costilla contiene 2 piezas de 10 mm de espesor, consiguiendo un espesor de 20 mm. Diseñado con el software OnShape de manera paramétrica, lo cual permitiría modificar algunas dimensiones del diseño, así como también cambiar la cantidad de piezas para extender el ancho del sillón. La forma de distribución mediante la plataforma de Printables, el cual es un repositorio de modelos 3D principalmente para impresión 3D, allí se encuentran los archivos para impresión 3D y también un documento en formato STEP, con el cual el usuario podría adecuar el diseño a sus necesidades mediante un software de diseño como por ejemplo OnShape o SolidWorks.



Ilustración 9 Sillón paramétrico de Control 3D

3.12. Delimitaciones

3.12.1. Temporalidad

El presente proyecto tiene un plazo de 24 meses para llevar a cabo desde la investigación hasta la planeación en implementación de la solución de diseño para mobiliario propuesta. Por este motivo es importante tener en cuenta el tamaño y la complejidad del diseño a proponer, ya que a mayor volumen de impresión es mayor el tiempo de fabricación de las piezas, al mismo tiempo se debe considerar variables técnicas de las impresoras 3D, como lo son las velocidades de impresión o el diámetro de *nozzle* o boquilla, que repercuten directamente en la etapa de pruebas y fabricación.

3.12.2. Público objetivo

El proyecto está orientado a *makers* con un nivel de conocimientos técnicos básicos o intermedios, que tengan interés por la fabricación de mobiliario mediante impresión 3D. Dentro de este grupo se contemplan perfiles que no necesariamente cuenten con una formación profesional en diseño o ingeniería, pero que tengan un interés en personalizar productos con herramientas digitales.

3.12.3. Nivel de personalización

Las funciones de personalización estarán delimitadas a aspectos del diseño, principalmente las variables dimensionales, espesores y diámetros de materiales y colores de los elementos con el fin de visualizar el proyecto de una mejor manera. Esta personalización se implementará mediante un sistema paramétrico en línea, el cual permitirá modificar los diseños dentro de los rangos establecidos, garantizando que los resultados sean viables para impresión 3D y la fabricación en casa.

3.12.4. Factibilidad técnica

La impresión 3D es una tecnología que ha demostrado ser muy versátil y prometedora en la fabricación de objetos personalizados y complejos. Sin embargo, su aplicabilidad en el campo del mobiliario requiere tomar en cuenta varios aspectos técnicos, como que la propuesta de diseño del mobiliario debe estar adaptada para la impresión 3D, teniendo en cuenta las limitaciones y las capacidades de esta tecnología. Esto incluye la optimización de la geometría, la consideración de las tolerancias y la elección de materiales adecuados. Además, se debe investigar el proceso de impresión 3D, incluyendo la configuración para la impresión, los tiempos de producción y el montaje. Esto incluye la consideración de la calidad superficial y la calidad de las uniones.

3.12.5. Calidad variante en la manufactura digital.

La fabricación digital, incluida la impresión 3D, a menudo se caracteriza por una variabilidad en la calidad de los productos resultantes. Dado que el producto propuesto, que en este caso será mobiliario, se basa en la distribución digital y la producción por parte de los usuarios, es importante reconocer que la calidad puede variar de una réplica a otra. Esto se debe a factores como la calidad de la impresora 3D utilizada, los materiales, la calibración y la habilidad del usuario.

3.12.6. Configuración Estandarizada.

Para abordar la variabilidad en la calidad, se puede establecer una configuración estandarizada que defina ciertos parámetros y estándares de calidad para el diseño paramétrico propuesto. Esta configuración estandarizada puede incluir pautas específicas para la impresión, como la densidad de relleno, la velocidad de impresión y el tipo de material recomendado. Si los usuarios/replicantes finales siguen estas pautas, es más probable que obtengan una calidad aceptable y consistente en el producto final.

Sin embargo, es importante destacar que la calidad final también dependerá en gran medida de la atención y la habilidad del usuario/replicante en la configuración de la impresora y en el proceso de producción. Por lo tanto, se requerirá una guía efectiva y recursos de apoyo para garantizar que los usuarios comprendan y sigan las configuraciones estandarizadas.

3.12.7. Tecnología y desarrollo

La herramienta configurativa estará alojada en los servidores de *Shapediver*, ya que permite la distribución digital y la manipulación de modelos paramétricos, esto en conjunto con el desarrollo que será llevado a cabo en *Grasshopper* dentro de *Rhino*.

3.12.8. Equipo de prueba

Teniendo en mente la fácil replicación del diseño planteado en este trabajo, se buscará adecuar el producto a las dimensiones de una impresora 3D marca Creality modelo Ender 3, la cual tiene un volumen de impresión de 220 mm x 220mm x 250 mm (x, y, z), que es una medida relativamente estandarizada y popular ya la comparte con varios equipos de entrada disponibles en el mercado.

4. Metodología de Investigación

La metodología de doble diamante es una representación visual del proceso de diseño e innovación. El modelo se basa en una investigación sobre cómo trabajan los diseñadores. *Design Council* encontró una estructura e identificó cuatro etapas en el proceso de diseño:

- Descubrir
    - Profundizar en el problema a resolver
- Definir
    - Sintetizar la información encontrada en la fase de descubrimiento
- Desarrollar
    - Proponer soluciones al problema
- Entregar
    - Elegir la mejor solución y desarrollarla

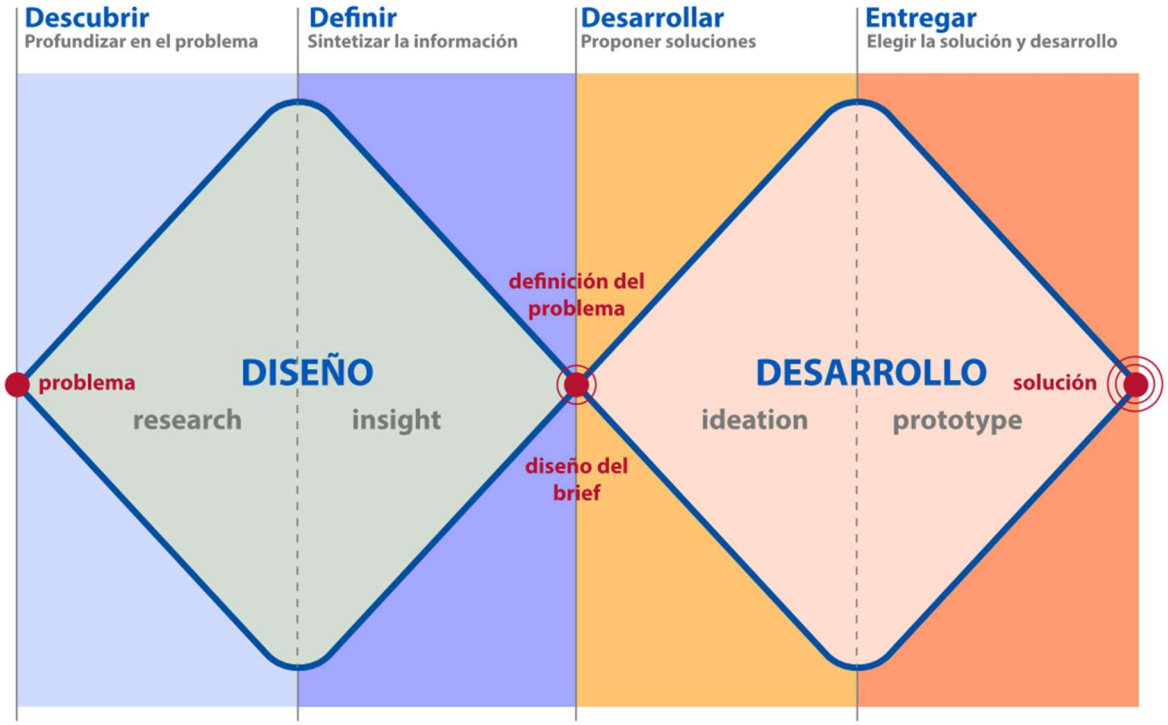


Ilustración 10 Metodología doble diamante (Hambeukers, 2019)

Esta descripción universalmente accesible del proceso de diseño se ha convertido en una parte aceptada del lenguaje de diseño. Hoy en día, el doble diamante se utiliza y se hace referencia en todo el mundo.

La versatilidad de esta metodología se manifiesta en la variedad de formas en las que es aplicada. Puede ser utilizada como herramienta para realizar una evaluación inicial del tipo de proyecto y con esto determinar cómo se pretende abordar la problemática. También resulta útil para facilitar conversaciones entre varios proyectos, ayudando a priorizarlos según su etapa, su enfoque o el nivel de relación entre ellos. Es útil también al inicio de un proyecto para orientar al equipo de trabajo y comenzar a definir su estrategia y forma de trabajo. Así mismo, permite revisar el avance de un proyecto y ubicar con mayor claridad en qué parte del proceso se encuentra. Por último, también puede ayudar a que las personas se sientas más cómodas durante las etapas más abiertas del proceso, como las de descubrir y desarrollar, que es donde aún no se tienen soluciones definidas (Ball, 2019).

Este trabajo se desarrollará en varias etapas interconectadas. En primer lugar, se realizará una investigación sobre el programa de diseño paramétrico *Grasshopper* y las mejores prácticas en la creación de productos altamente personalizables. Esto incluirá la revisión de software y herramientas de diseño paramétrico de vanguardia.

Luego, se llevará a cabo una fase de diseño que se centrará en la creación de un producto funcional utilizando el diseño paramétrico como herramienta principal. Durante esta etapa, se identificará una necesidad específica del consumidor que el mobiliario abordará de manera eficiente. Además, se desarrollarán los parámetros y variables que permitan una fácil adaptación por parte de los consumidores.

La fase de distribución digital se centrará en la creación de un sistema eficiente para que los consumidores accedan a la herramienta de co-diseño de manera sencilla y segura. Esto puede implicar el uso de plataformas en línea, repositorios de diseños o incluso la implementación de una plataforma propia.

Se llevarán a cabo pruebas y evaluaciones con usuarios para garantizar que el producto sea funcional y que los consumidores puedan realizar las adaptaciones necesarias de manera intuitiva. Se recopilarán datos sobre la experiencia del usuario y la eficiencia del proceso de adaptación.

4.1. Resultados esperados

1. Desarrollo de una herramienta de co-diseño para una línea de mobiliario generado por medio de diseño paramétrico.
2. Establecimiento de una estrategia de distribución digital que permita a los usuarios acceder a la herramienta de co-diseño de manera eficiente.
3. Creación de recursos que faciliten la adaptación y personalización del diseño por parte de los usuarios sin requerir conocimientos técnicos avanzados en modelado 3D.
4. Validación de la economía en la fabricación personalizada, lo que permite a los usuarios producir el producto a un costo competitivo en comparación con los métodos tradicionales.
5. Fomento de la creatividad e innovación entre los usuarios al empoderarlos para que participen activamente en el proceso de diseño y fabricación de productos personalizados.

4.2. Desarrollo y resultados

4.2.1. Recopilación de la información

Un cuestionario fue diseñado para cubrir varios aspectos clave del perfil de los *makers*, estructurado en cuatro secciones principales: motivación, herramientas y habilidades, interés en la herramienta configurativa y preferencias en el diseño de mobiliario. Para captar datos relevantes y específicos, se emplearon preguntas cerradas y abiertas en cada sección, permitiendo obtener tanto respuestas cuantitativas como cualitativas. A continuación, se detalla el enfoque de cada sección.

Motivación para participar en la comunidad *maker*. Esta sección incluyó preguntas cerradas sobre los factores motivacionales que llevan a los *makers* a involucrarse en la comunidad, como el deseo de personalización, el interés en aprender nuevas habilidades y la autoexpresión. También se incorporaron preguntas abiertas para que los encuestados expresaran sus motivaciones de manera libre y detallada.

Herramientas y habilidades. Para evaluar el nivel de conocimiento técnico y acceso a herramientas de los encuestados, se incluyeron preguntas sobre las herramientas de fabricación y diseño que utilizan (impresoras 3D, software de diseño, cortadoras láser, etc.). También se indagó sobre el nivel de experiencia en carpintería y el acceso a *maker spaces* o fab labs, aspectos esenciales para comprender las limitaciones técnicas y logísticas a las que se podrían enfrentar durante la fabricación de piezas.

Interés en una herramienta configurativa de mobiliario. Se diseñaron preguntas específicas para medir el nivel de interés en una herramienta configurativa que permita el diseño de mobiliario DIY, combinando piezas impresas en 3D con elementos de madera. Esta sección también incluyó preguntas abiertas para que los encuestados detallaran las razones de su interés o desinterés en dicha herramienta, lo cual permitió identificar posibles mejoras o ajustes en el diseño de la herramienta.

Preferencias en el diseño de mobiliario. En esta sección se abordaron preguntas sobre el tipo de muebles que los *makers* suelen fabricar o estarían interesados en fabricar. Los participantes pudieron elegir entre diferentes tipos de muebles (mesas, estantes, sillas, etc.) y describir sus preferencias de diseño y materiales.

4.2.2. Interpretación de los primeros resultados

La encuesta fue distribuida digitalmente a través de plataformas populares dentro de la comunidad *maker*, incluyendo foros de DIY, grupos especializados en redes sociales y comunidades en línea dedicadas a la impresión 3D y fabricación digital. Esta estrategia de distribución se diseñó para captar una muestra representativa de *makers* con intereses en la personalización de mobiliario. La encuesta estuvo disponible durante tres semanas, asegurando que los participantes tuvieran tiempo suficiente para responder a cada sección de manera detallada.

Los resultados de la encuesta revelaron que la personalización es la principal motivación para los *makers* que deciden fabricar sus propios muebles y objetos. Un 75% de los encuestados destacó que la capacidad de adaptar los objetos a sus gustos y necesidades personales es un factor determinante para participar en la comunidad *maker*. Este hallazgo coincide con la literatura sobre personalización, que sostiene que el diseño de productos a medida incrementa la satisfacción del usuario y fomenta un vínculo emocional con los objetos creados (Dellaert, 2018). Para muchos *maker*s, el proceso de fabricación DIY no solo tiene un valor práctico, sino también una dimensión emocional, donde la personalización permite a los usuarios expresar su identidad y estilo único (Herrera et al., 2022).

Además de la personalización, otros factores motivacionales mencionados incluyen el aprendizaje de nuevas habilidades y el disfrute de la experiencia creativa. Más del 60% de los participantes indicó que uno de los aspectos más gratificantes de ser parte de la comunidad *maker* es la oportunidad de aprender y mejorar sus habilidades técnicas. Estos resultados reflejan que el movimiento *maker* no solo atrae a individuos interesados en la creación de objetos personalizados, sino también a aquellos que valoran el proceso de aprendizaje y la adquisición de conocimientos prácticos en fabricación digital (Menichinelli, 2017).

En cuanto a las herramientas y materiales preferidos por los *makers*, los resultados muestran una inclinación hacia el uso de herramientas de diseño 3D y software de modelado en sus proyectos de mobiliario. Más del 80% de los encuestados indicó utilizar programas de diseño 3D, con *Tinkercad*, *Fusion 360* y *Blender* entre las opciones más populares. Los *slicers*, o programas de corte para impresión 3D, también fueron mencionados como esenciales en el proceso de fabricación de piezas impresas. Esto sugiere que los *makers* valoran el acceso a software intuitivo y accesible que les permita modelar y personalizar sus diseños sin la necesidad de conocimientos avanzados en CAD (Petrova & Jivkov, 2024).

Aproximadamente la mitad de los encuestados indicó tener conocimientos básicos en carpintería y acceso a herramientas de corte, lo cual les permite complementar sus proyectos de mobiliario DIY

con materiales como la madera. Sin embargo, un segmento considerable de la muestra depende de *maker spaces* o fab labs para acceder a herramientas de carpintería y otros equipos avanzados. Este hallazgo sugiere que, aunque algunos *makers* tienen acceso a herramientas propias, muchos otros dependen de espacios colaborativos para completar sus proyectos, lo cual destaca la importancia de estos espacios en la comunidad *maker* (Cutcher-Gershenfeld et al., 2018).

Un hallazgo clave de la encuesta fue el alto nivel de interés en una herramienta configurativa que permita diseñar mobiliario DIY utilizando piezas de madera y componentes impresos en 3D. El 80% de los encuestados expresó su disposición a probar la herramienta una vez desarrollada, señalando que una solución de este tipo facilitaría la creación de proyectos personalizados sin la necesidad de equipos avanzados. Este interés en la herramienta configurativa refleja una demanda por soluciones digitales que puedan simplificar el proceso de diseño y personalización de mobiliario, haciéndolo accesible para una mayor variedad de usuarios.

Algunos encuestados indicaron que estarían interesados en una herramienta que proporcione opciones de personalización avanzadas, como la capacidad de ajustar dimensiones, materiales y configuraciones de los muebles. Estos datos sugieren que una herramienta configurativa flexible y fácil de usar podría tener una gran aceptación dentro de la comunidad *maker,* especialmente entre aquellos interesados en proyectos que combinen funcionalidad y estética.

Por otro lado, se encontró que, si bien el interés general en la herramienta configurativa fue positivo, algunos participantes mencionaron razones para no estar interesados en el proyecto. Entre las razones citadas se incluyen la falta de interés en el diseño de mobiliario y una preferencia por proyectos creativos en otras áreas, como la escultura o la electrónica. Este tipo de datos es relevante para refinar la propuesta de la herramienta, ya que permite identificar aspectos que podrían limitar su atractivo para ciertos segmentos de la comunidad.

Los resultados de la encuesta reflejan que la personalización es una motivación central en la comunidad *maker*, lo que se alinea con las teorías sobre diseño y consumo personalizado. La capacidad de adaptar los objetos a necesidades específicas se presenta como un factor que potencia la satisfacción del usuario y genera un sentido de pertenencia y apego emocional hacia los productos creados (Dellaert, 2018). La literatura sugiere que la personalización en el diseño de productos permite a los usuarios expresar su identidad y diferenciarse de los modelos de consumo en masa, lo cual es particularmente relevante para los *makers,* quienes encuentran en el proceso de creación DIY una oportunidad de autoexpresión y diferenciación (Menichinelli, 2017).

Además de la personalización, el aprendizaje y la adquisición de habilidades se destacan como factores motivacionales clave para los *makers*. El 60% de los encuestados indicó que el desarrollo de habilidades técnicas es uno de los aspectos más gratificantes de su participación en la comunidad. Este hallazgo coincide con la teoría de la motivación intrínseca, que sostiene que las actividades creativas son motivadas por el disfrute y el valor personal que el usuario encuentra en el proceso de creación, más allá del producto final (Kuznetsov & Paulos, 2010). Para muchos *makers*, la creación de objetos personalizados no solo satisface una necesidad práctica, sino que también representa un proceso de crecimiento personal y aprendizaje continuo.

Otro punto importante para mencionar es la limitación en el acceso a herramientas y conocimientos de carpintería. Aproximadamente la mitad de los encuestados indicó tener conocimientos básicos en carpintería, pero muchos de ellos dependen de *maker spaces* o fab labs para acceder a herramientas avanzadas como sierras, cortadoras y equipos de carpintería. Este hallazgo destaca la importancia de estos espacios en la comunidad *maker*, ya que proporcionan el acceso a herramientas que de otro modo serían inalcanzables para la mayoría de los usuarios (Blikstein, 2008). Además, estos espacios también funcionan como entornos de aprendizaje colaborativo, donde los usuarios pueden compartir conocimientos y adquirir habilidades técnicas a través de la interacción con otros *makers*.
La dependencia de estos espacios también subraya la necesidad de desarrollar una herramienta configurativa accesible que permita a los *makers* diseñar y construir mobiliario con herramientas básicas. Una herramienta configurativa que proporcione opciones de diseño y ensamblaje que puedan ejecutarse con equipos mínimos permitiría a los *makers* llevar a cabo sus proyectos de manera más independiente, reduciendo su dependencia de equipos y herramientas de terceros, ampliando la accesibilidad de la fabricación de mobiliario personalizado (Estrada et al., 2022).

4.2.3. Delimitación del tipo de mobiliario y sus parámetros

Aprovechando las capacidades y flexibilidad del diseño paramétrico, se optó por desarrollar un único *script* que permitiera generar distintas piezas de mobiliario a partir de una misma base geométrica, permitiendo configurar piezas que se pueden usar como mesa de centro, mesa lateral o taburete ya que estas piezas comparten una lógica estructural común y se diferencia principalmente por sus dimensiones. El mobiliario propuesto ha sido cuidadosamente diseñado para satisfacer las

necesidades de uso ligero en entornos tanto domésticos como de oficina. Esta delimitación responde a la creciente demanda de muebles que combinen funcionalidad, facilidad de fabricación y accesibilidad, sin comprometer la estética ni la ergonomía.

El diseño está enfocado en ofrecer soluciones prácticas y versátiles para actividades cotidianas, tales como sentarse, apoyar objetos o servir como superficies auxiliares en el entorno de trabajo. Esto garantiza que las piezas sean funcionales y adecuadas para espacios reducidos, típicos en hogares y oficinas modernas. La selección de tamaños y proporciones responde a las necesidades de movilidad y flexibilidad, facilitando el traslado o reubicación del mobiliario dentro de estos entornos.

En cuanto a los materiales, la elección de triplay y madera asegura la solidez estructural de las piezas, elementos necesarios para garantizar durabilidad y resistencia. Estos materiales, además, ofrecen una ventaja en términos de sostenibilidad, ya que son renovables y fáciles de trabajar, lo que refuerza el enfoque en una fabricación responsable. Al combinarse con piezas fabricadas mediante impresión 3D, se logra un equilibrio entre lo tradicional y lo tecnológico. La impresión 3D permite crear componentes personalizados con gran precisión, ofreciendo detalles únicos y adaptables a las necesidades específicas del usuario, al tiempo que reduce los costos y tiempos de producción. Este enfoque no solo optimiza los recursos, sino que también fomenta la participación del usuario en el proceso de creación, alineándose con la filosofía de la autofabricación.

Uno de los aspectos clave que justifican esta delimitación es la simplicidad en el ensamblaje. El mobiliario propuesto ha sido pensado con un enfoque modular, teniendo en mente a los *makers* novatos, quienes no cuentan con conocimientos avanzados en carpintería o modelado 3D, lo que facilita su montaje mediante técnicas básicas. Las conexiones entre las piezas, que combinan componentes de madera e impresos en 3D, se han concebido para ser intuitivas y seguras, asegurando que cualquier persona, con herramientas y habilidades mínimas, pueda completar el ensamblaje sin complicaciones.

Desde una perspectiva ergonómica, el mobiliario se ha delimitado para cumplir con los estándares de confort necesarios para adultos, considerando las proporciones y alturas que promueven una postura adecuada y un uso prolongado sin causar fatiga. Además, se han seleccionado acabados que no solo son seguros, evitando posibles accidentes o rasguños, sino que también mejoran la apariencia general del mobiliario, brindando un toque de calidad visual que se integra en cualquier ambiente.

Otro aspecto importante en la delimitación de este proyecto es la estética. El diseño equilibra lo artesanal con lo moderno, fusionando la calidez de los materiales tradicionales como la madera con la innovación tecnológica que ofrece la impresión 3D. Esta combinación no solo enriquece el valor visual del mobiliario, sino que también permite una amplia personalización, dándole al usuario la

libertad de adaptar los muebles a su estilo personal o a las especificaciones particulares de su espacio. Además, la capacidad de personalizar los diseños contribuye a que estos muebles no solo sean funcionales, sino también únicos, alineándose con las tendencias actuales de consumo personalizado y responsable.

A continuación, estarán listados todos los parámetros que definirán las geometrías de los modelos que los usuarios podrán editar, así como también los valores que serán definidos por el diseñador en base a medidas dispuestas por la ergonomía y evitar que los diseños generados sean desproporcionados.

Dimensiones básicas por considerar para la familia de objetos

Alturas	Rango de dimensiones
Altura del asiento para el banquillo.	40 a 45 cm
Altura de la mesa de centro.	40 a 55 cm
Altura de la mesa lateral	40 a 60 cm
Anchos	
Ancho del asiento del banquillo.	35 a 45 cm
Ancho de la mesa de centro.	40 a 80 cm
Ancho de la mesa lateral	30 a 60cm
Profundidades	
Profundidad del asiento del banquillo.	35 a 45 cm
Profundidad de la mesa de centro.	40 a 80 cm
Profundidad de la mesa lateral	30 a 60 cm

4.2.4. Etapa creativa

En esta etapa se busca sentar las bases del diseño sobre el cual los usuarios, que para este caso serán en su mayoría *makers* novatos, van a co-diseñar sus mobiliarios. Se comenzó por recopilar información sobre los usuarios, esto mediante la encuesta realizada, observación directa para posteriormente utilizar la metodología de personas para definir arquetipos específicos, como el *maker* novato, que busca una plataforma accesible y fácil de usar, y el *maker* experto, que necesita herramientas avanzadas y control detallado sobre sus proyectos.

Con esto en mente y para facilitar la experiencia de los usuarios menos experimentados, a continuación, se proponen unos diseños base versátiles y de fácil ensamblaje, que incluyen un taburete, una mesa de centro, una mesa lateral y una estantería (figuras). Estos muebles comparten

geometrías, formas y dimensiones similares, lo que simplifica su personalización y asegura una coherencia estética en el conjunto. Además, están diseñados para aprovechar maderas estandarizadas, como triplay y bastones de madera, materiales accesibles y de fácil manipulación.

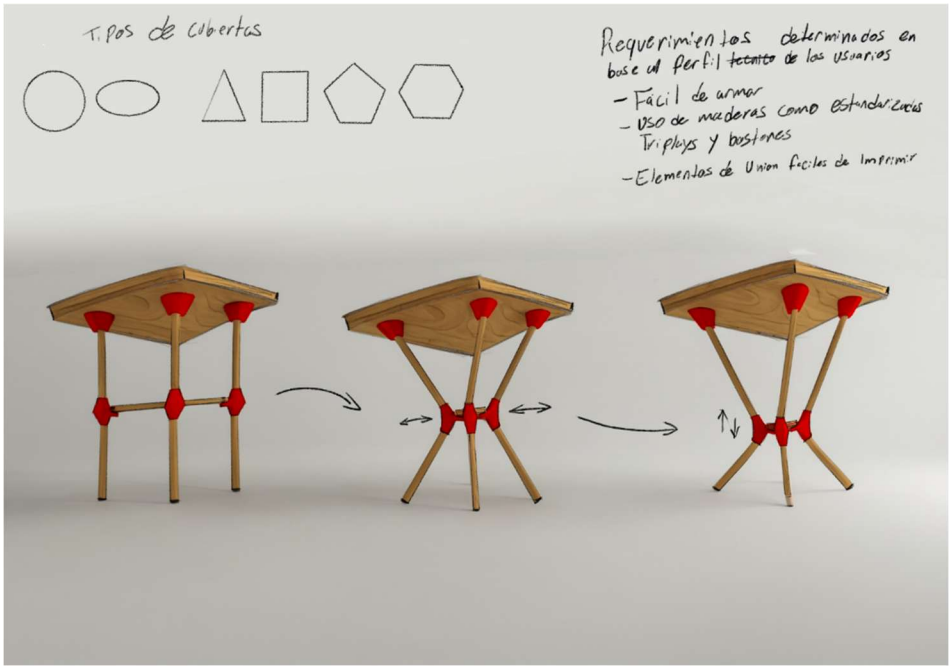


Ilustración 11 Boceto con ideas de los movimientos del panel central

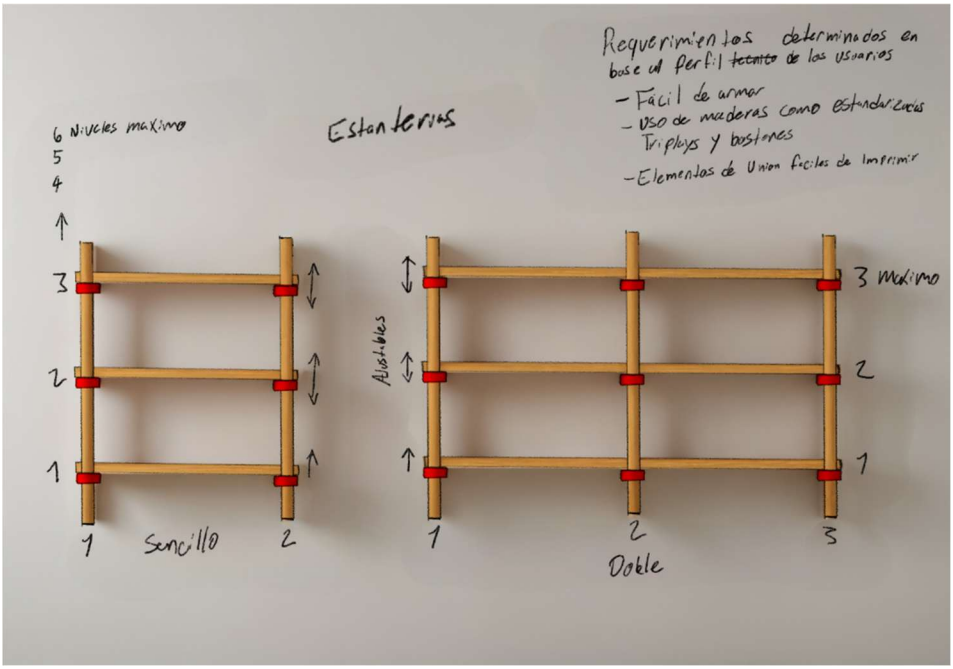


Ilustración 12 Boceto para idea de un segundo tipo de mueble para la herramienta configurativa

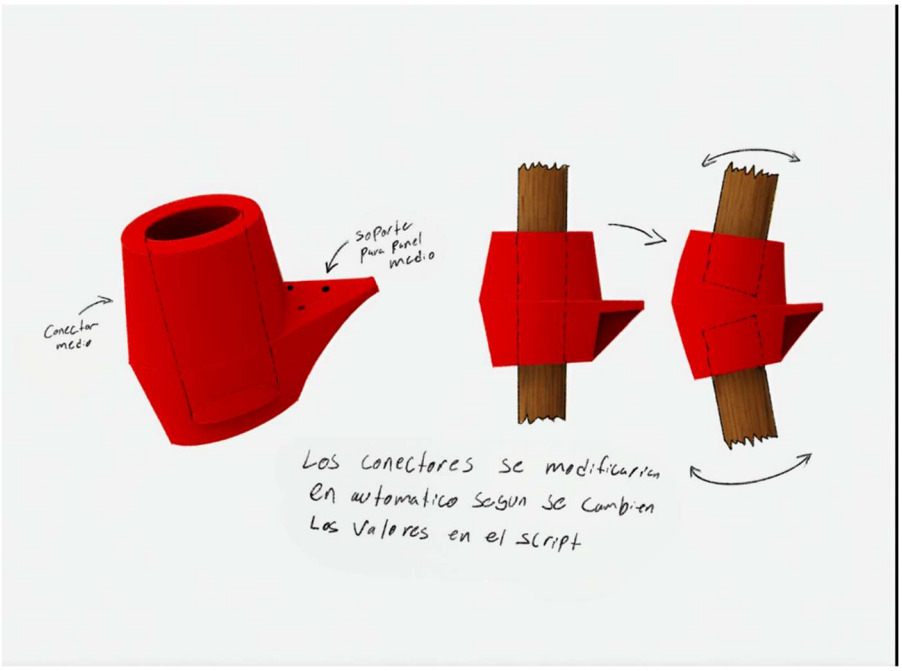


Ilustración 13 Boceto con idea del movimiento para el joint medio

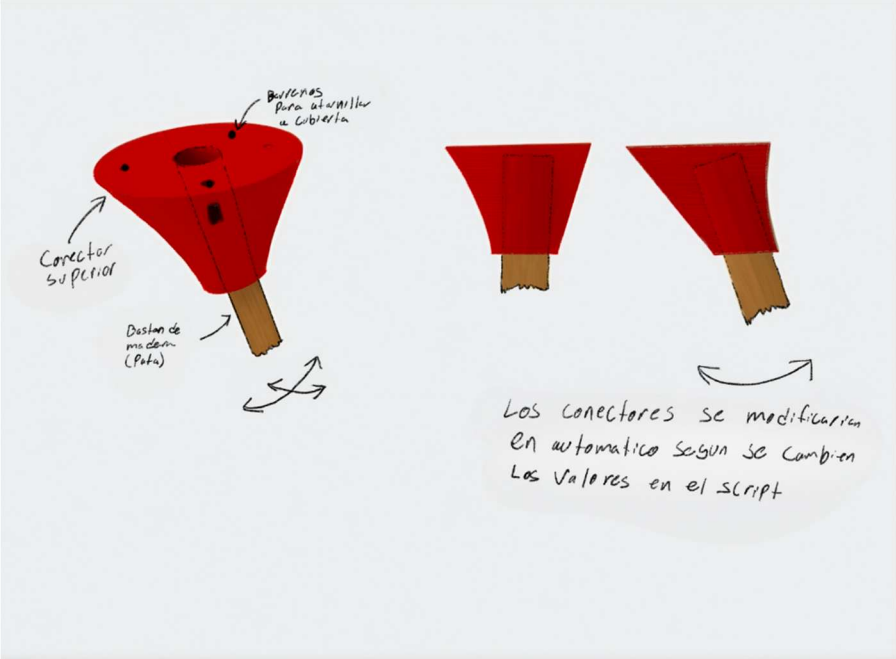


Ilustración 14 Boceto con idea del movimiento del joint top

4.2.5. Desarrollo del script en Grasshopper

Para el diseño de los componentes de mobiliario pensados para fabricarse mediante impresión 3D, se buscó aprovechar las ventajas que brinda esta tecnología, priorizando que las piezas sean funcionales, eficientes y adaptadas a las limitaciones del proceso mismo. Uno de los principales lineamientos que se buscó seguir fue reducir la cantidad de elementos al mínimo (Blösch Klein, 2020) por lo cual solo son 3 componentes consolidados que en lo general llamaremos Joints, y en lo particular son nombrados de las siguientes maneras, Joint top (azul, ver ilustración 15), que es el elemento de unión entre la cubierta y las patas del mueble. Joint medio (verde, ver ilustración 15), que permite la unión entre las patas y el panel medio, lo cual le da resistencia y estabilidad. Por último, la pieza llamada resbalón (naranja, ver ilustración 15), la cual va colocada en la punta de las patas y actúa como un nivelador, ya que compensa el ángulo que pudieran tener las patas haciendo que no sea necesario hacer cortes complicados en la madera para lograr una superficie de contacto correcta, aportando estabilidad de una manera sencilla.

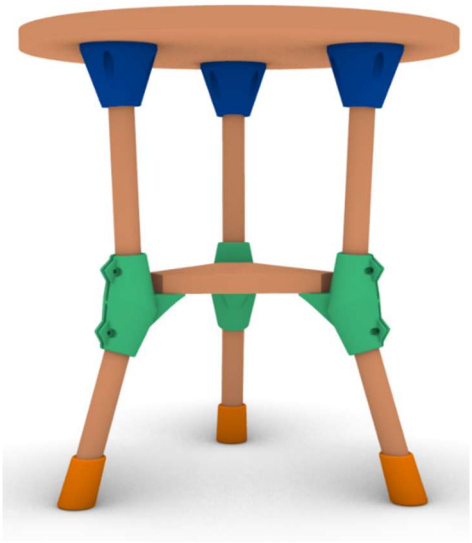


Ilustración 15 Joint top en azul. Joint medio en verde. Resbalón en naranja

Para la creación del diseño se comenzó primeramente determinando los estilos de cubiertas, sus rangos de dimensiones, así como también los rangos de valores para las alturas totales de los muebles, para esto se optó por listas desplegables con los valores para cada parámetro.

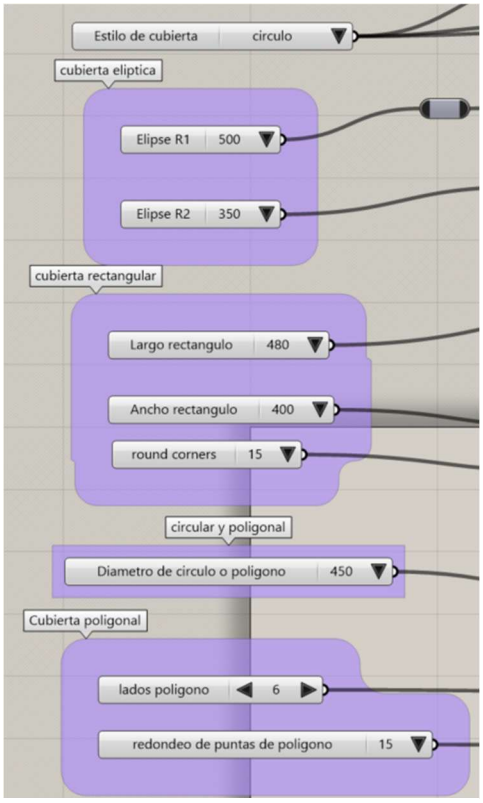


Ilustración 16 estilos de cubiertas y sus parámetros

Posteriormente se definieron los puntos de origen de las cubiertas, para así poder ubicar las geometrías en un punto fijo. Los elementos resultantes de esta sección del script aparecían todos al mismo tiempo unos sobre otros, por lo cual se utilizaron varios componentes llamados *stream filter*, de este modo, solo se permitió el paso de un elemento a la vez y lograr que el usuario pudiera visualizar solo el elemento que desee editar. En estos filtros está conectada a la información resultante de los estilos de cubiertas, es decir, las formas con dimensiones, así como el espesor del material.

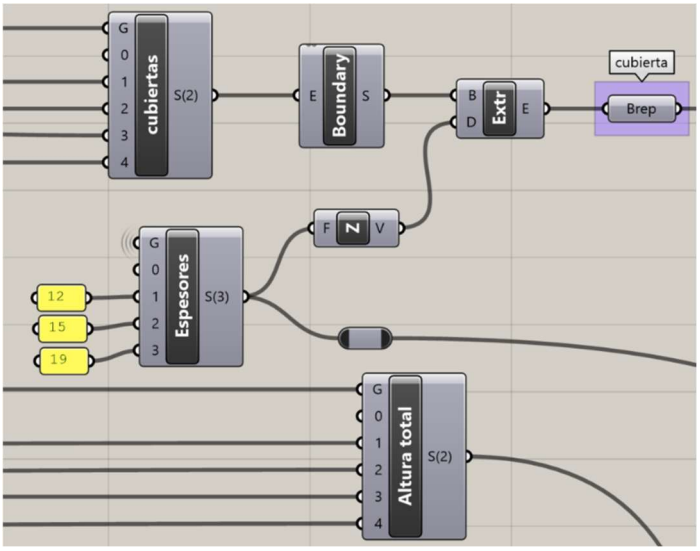


Ilustración 17 Filtros (stream filter) de estilos de cubierta, espesores y altura total del mueble

En estos filtros también esta conectados los puntos de inicio de las patas, además de la altura total del mueble esto permite tener variaciones en cuanto a la cantidad de patas deseadas, la inclinación y el diámetro de estas, también se tiene conectado el panel medio, con el cual se puede realizar un encogimiento de la sección media de las patas, dando así más variaciones de diseños.

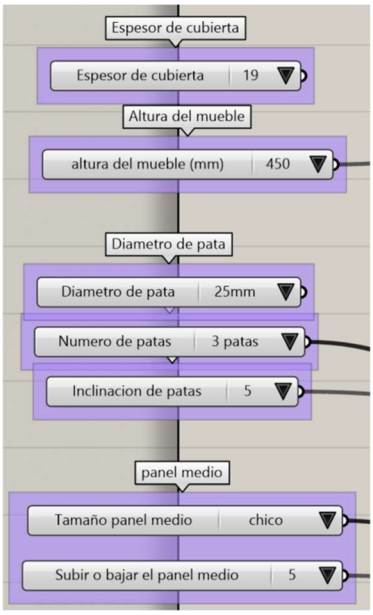


Ilustración 18 Parámetros editables

En la segunda sección del script, que también es la más extensa e intrincada, se realizan todos los cálculos para dar volumen y adaptabilidad a todas las piezas, a continuación, se explicarán las secciones que se creen más importantes, ya que algunas zonas del script solo procesan y filtran los datos mediante operaciones matemáticas automatizadas, que si bien son necesarias para que todo el script funcione correctamente, no son tan relevantes visualmente para comprender mejor el funcionamiento general del mismo.

Una vez que se filtraron los datos mencionados anteriormente, pasamos a generar la definición de las patas, comenzando con el filtro de la cantidad de patas, ya que estas son las que rigen a los Joints, es decir, los puntos de inicio, centro y final de las patas serán los puntos a partir de los cuales se crearán las definiciones para estos elementos.

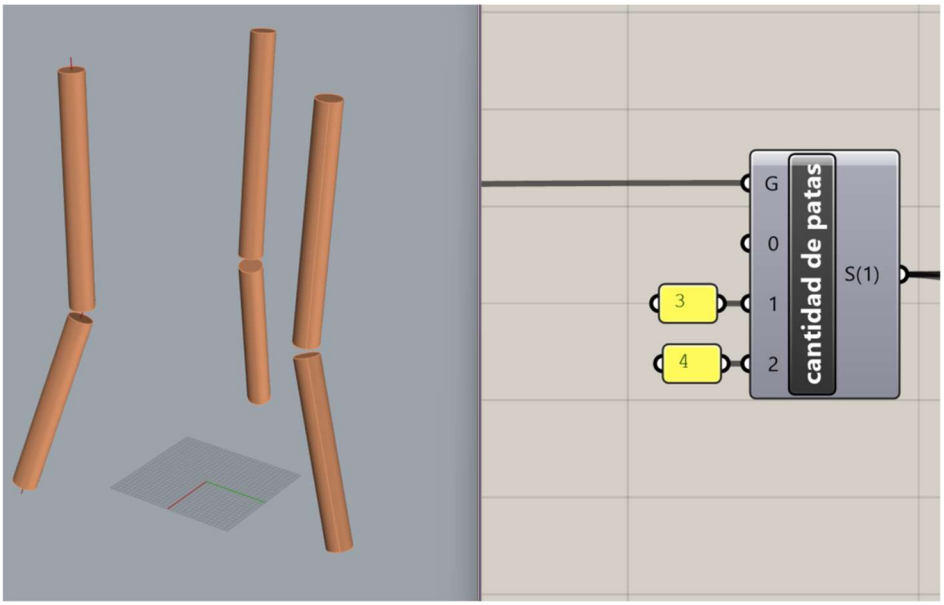


Ilustración 19 Visualización de patas de mueble con filtro de cantidad posicionado con 3 elementos

Una vez que se determinó el rango de valores para la altura del mueble, se logró ubicar los puntos que mencionaba en el apartado anterior, inicio, centro y final. Para esto se utilizó un componente que permite ubicar el inicio y final de una línea, dichos puntos son editables mediante el ajuste de inclinación de las patas. Para el punto medio se estableció que no podía ser un único punto a la mitad de la línea que forma cada una de las patas, si no un punto con un cierto rango de movimiento entre el punto de inicio y final, todo esto con la finalidad de dar más flexibilidad a diseño y permitir más

combinaciones, además de como ya se mencionó anteriormente, estos puntos serán utilizados como origen para los Joints.

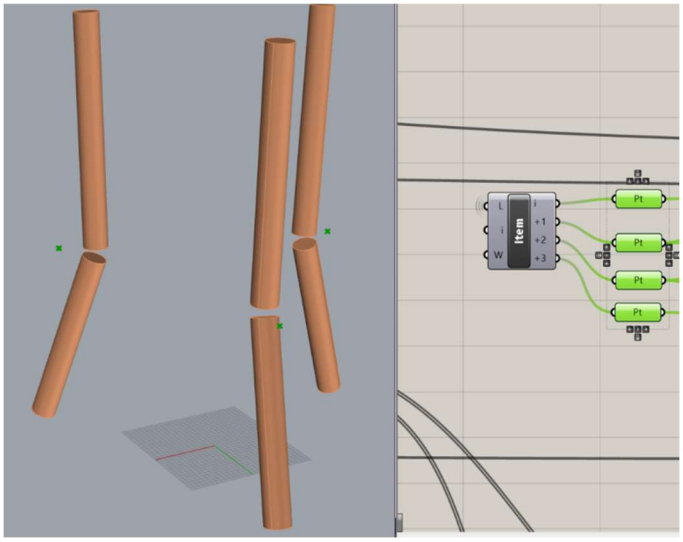


Ilustración 20 puntos medios editables que determinan el origen para el joint medio

A su vez estos puntos también sirven para delimitar el tamaño, forma y ubicación del panel medio, el cual va unido a los joint medios para dar estabilidad al mueble. Este panel se define en automático y puede ser triangular o rectangular según la cantidad de patas, pero siempre con esquinas truncadas, ya que esto permite mejorar la superficie de contacto con los joints. La definición para el panel medio incluye filtros que permiten diferenciar el diámetro que se está usando para las patas y así poder truncar las esquinas con la mejor distancia posible según se ajuste el tamaño del panel, esto para dar espacio suficiente a los joints y evitar empalmes entre las piezas de madera y las impresas en 3D.

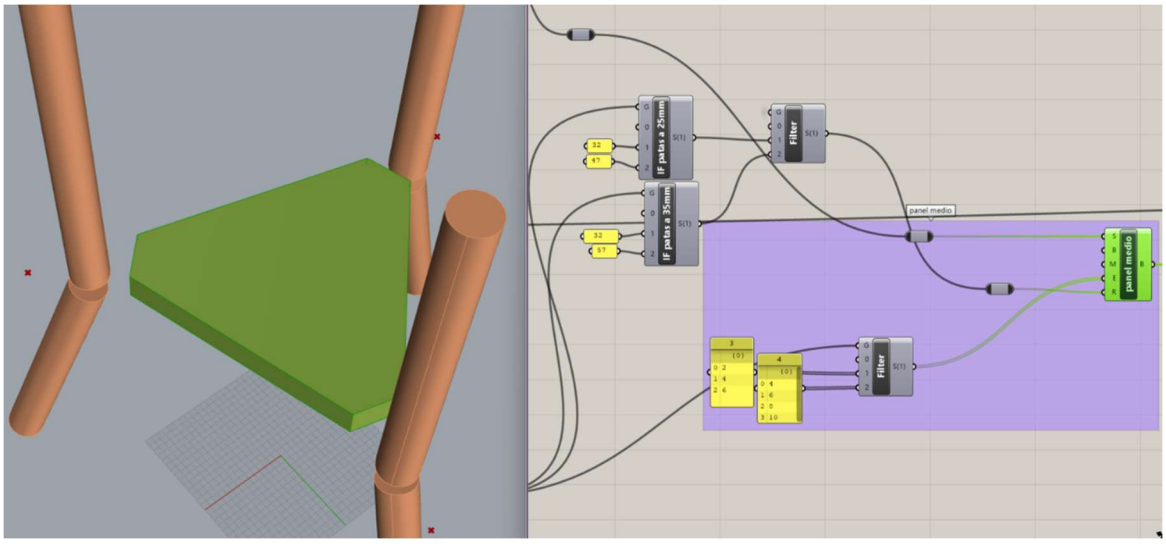


Ilustración 22 Panel medio y sus filtros para truncado de esquinas



Ilustración 21 Elementos de madera que componen el mueble

Para este momento ya se han generado todos los elementos del mueble pensados para fabricarse en madera, cubiertas, patas y panel medio. La siguiente sección del script es en la que se generarán los joints. Para el joint top se utilizaron los puntos de inicio de las líneas a partir de los cuales se asignaron los centros de los círculos con los que construyó el elemento. La pieza se definió con 3 círculos, los cuales no pueden ser modificados por el usuario final, también se utilizó el parámetro del diámetro

de las patas para hacer una diferencia booleana con un estriado con el que se genera un hueco para insertar las patas de madera en la pieza impresa con un poco de fricción, así mismo se le colocaron los barrenos necesarios para el anclaje de la cubierta por medio de tornillo busca rosca.

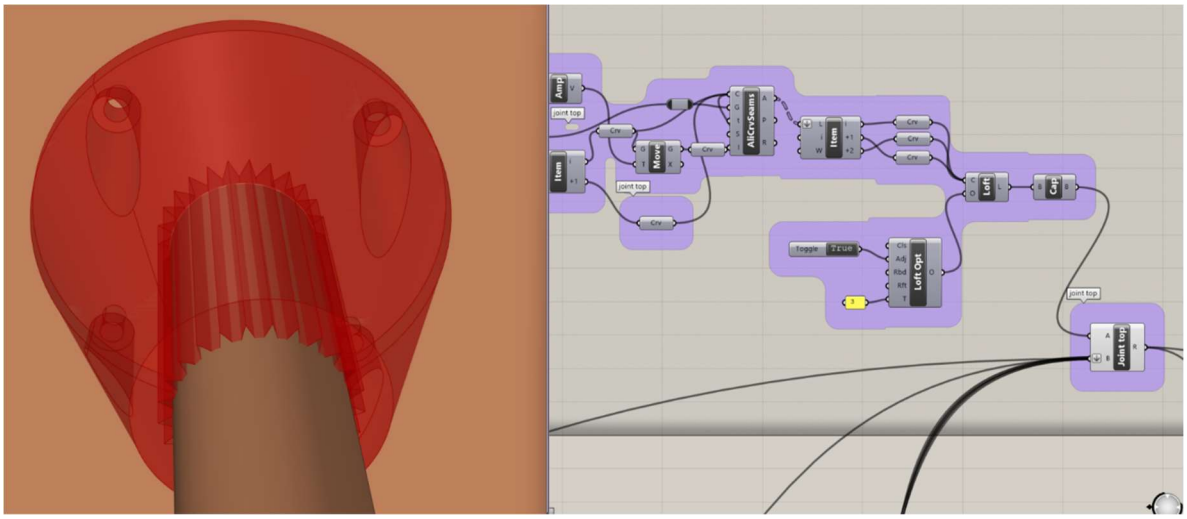


Ilustración 23 vista en transparencia de Joint top y parte de su script

Para el joint medio se tuvieron que contemplar, junto al diámetro de las patas, el estriado para ajuste. La ubicación del panel medio y una manera de sostener todos los elementos, por lo cual además del barreno para anclar el panel medio, también se ubicaron dos pestañas para colocar un tornillo M5 (métrica 5) con su respectiva tuerca, de esta manera, el joint medio actúa como una especie de abrazadera con respecto a las patas del mueble. Todo el elemento está construido con 3 círculos que cambian de posición y ángulo según se modifique la altura y tamaño del panel medio, también cuenta con una sección que sirve de descanso para el panel medio.

Para esta pieza en especial se buscó la manera de minimizar o evitar la necesidad de soportes a la hora de imprimir en 3D y se logró ajustando algunos valores para evitar ángulos menores a 45º, como lo son las pestañas con la cavidad para las tuercas y lo mismo para el descanso, dando como resultado que ninguna de las variaciones que puedan resultar de la configuración del script necesite soportes para su fabricación.

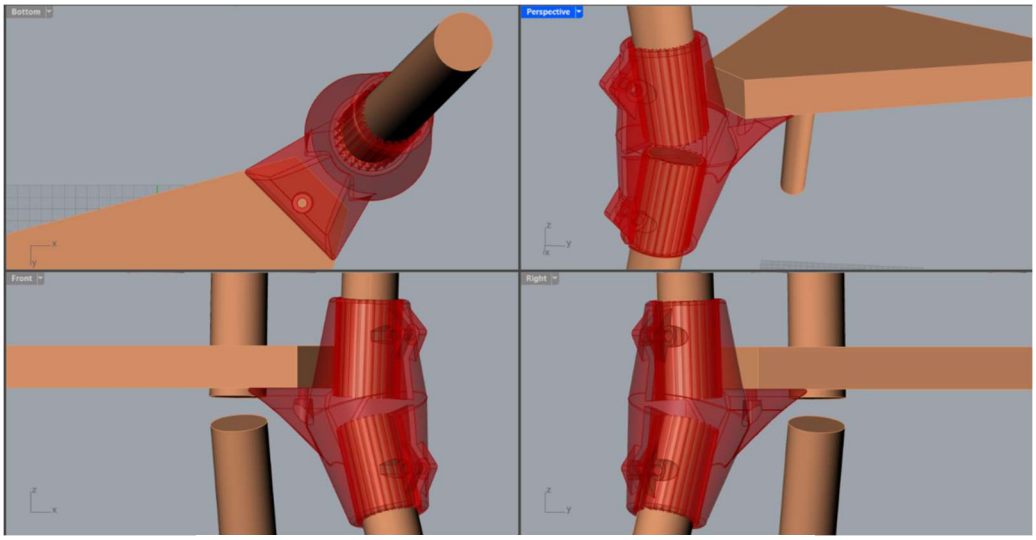


Ilustración 24 Vistas en transparencia de joint medio

En lo que al resbalón respecta, fue necesario ubicar el punto final de la línea central de las patas para que este siguiera su ángulo y dirección con cada cambio de parámetros. El elemento se construyó con dos círculos y al igual que los demás joints, el usuario no tiene control directamente sobre sus dimensiones, sino más bien este se genera a partir de los cambios que se le vayan haciendo al script. Cuenta con un hueco estriado para poder insertar en la pata del mueble y compensa el ángulo que esta pudiera tener para facilitar los cortes y mejorar la estabilidad.

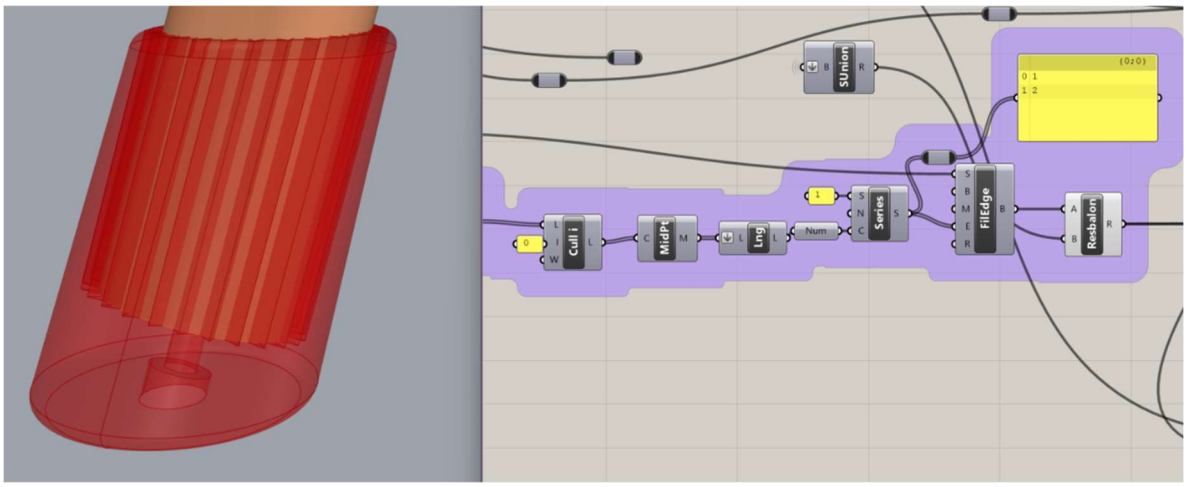


Ilustración 25 Resbalón en transparencia con parte de su script

Al final de esta segunda sección del script es donde ya se cuenta con todos los componentes y se les puede visualizar todos juntos. Y para ayudar a que se comprenda mejor todo el modelo, se integró una simulación de materiales por medio de colores, para dar a entender qué es madera y qué es plástico. Primero se integraron todos los elementos de cada material en un solo contenedor para posteriormente conectarlos a un material y al componente de previsualización. Estos mismos componentes luego se integrarán en la interfaz de la plataforma, de manera que el usuario también pueda cambiar dichos parámetros de acuerdo con sus preferencias.

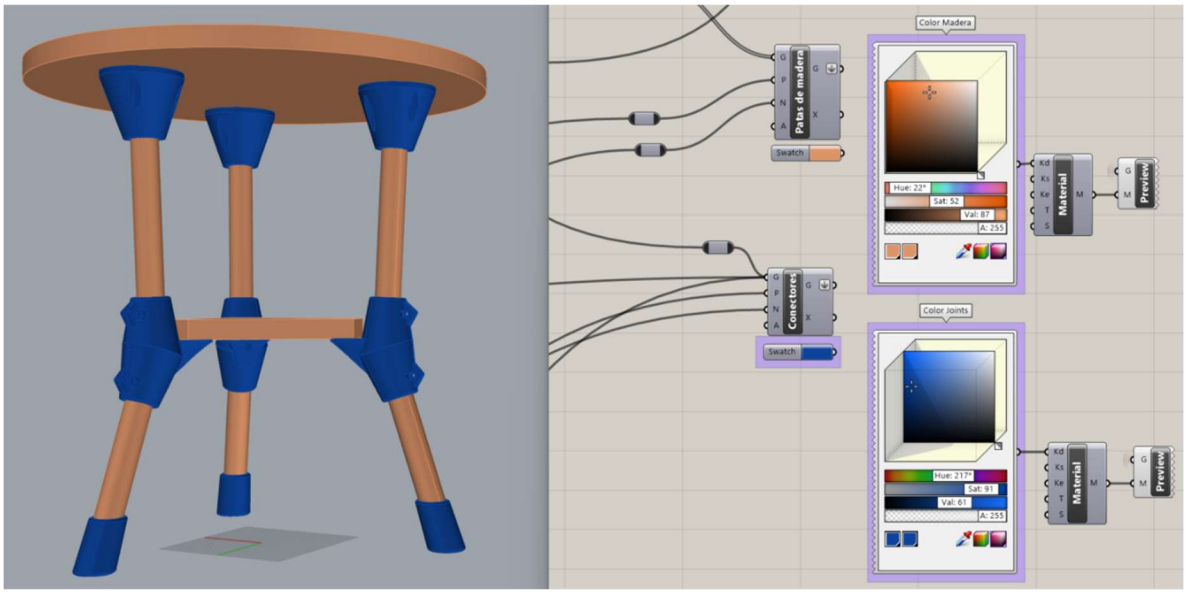


Ilustración 26 Mueble completo con materiales asignados junto a su script

La tercera etapa del script la podemos dividir en dos secciones, en la primera tenemos todo lo referente a la exportación de los archivos generados, tanto modelos 3D como el documento en formato PDF que los acompañará.

Lo primero que se realizó fue tomar los modelos 3D de los Joints y orientarlos de manera que, al momento de descargarlos y abrirlos en un laminado o visualizador de modelos, ya tengan la posición adecuada para impresión 3D, evitando así que el usuario tenga que buscar la orientación correcta del modelo y evitando por completo la necesidad de soportes.

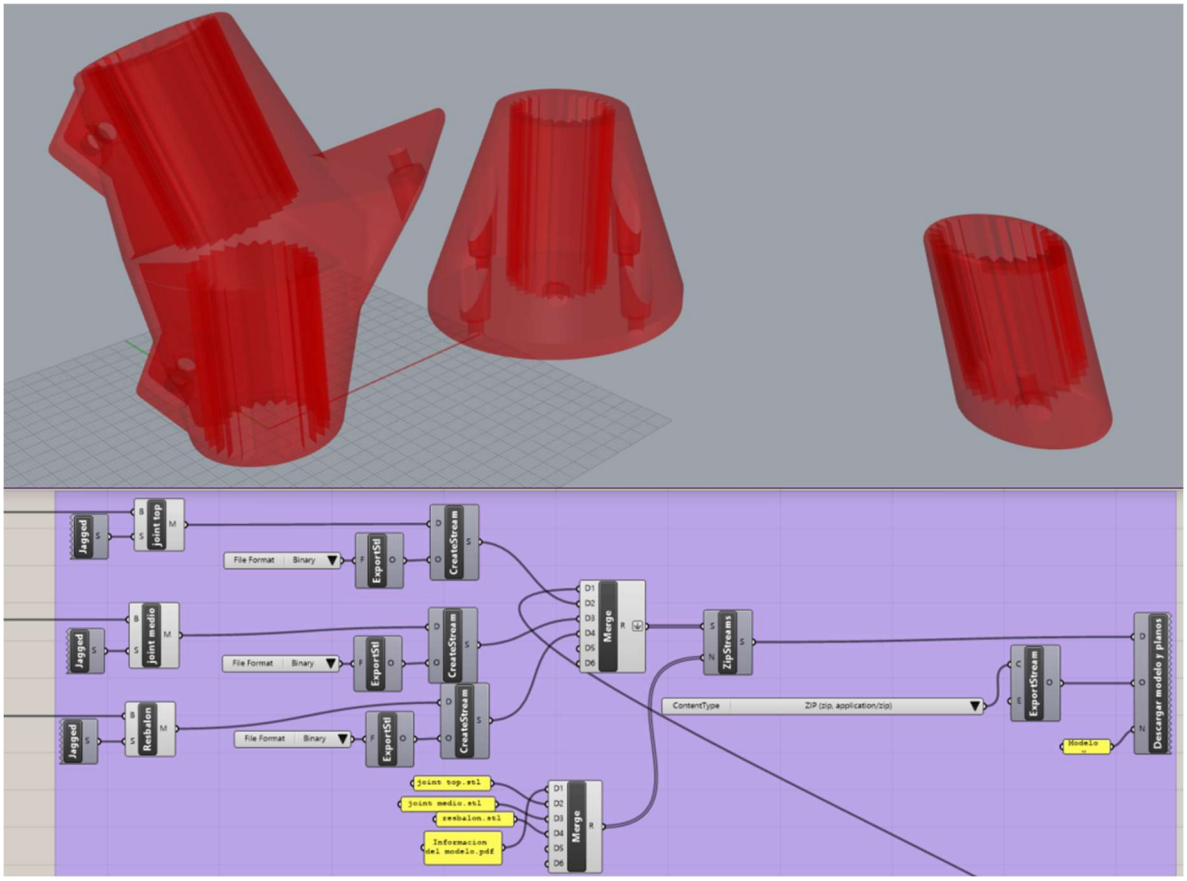


Ilustración 27 Joint en transparencia con la orientación correcta junto al script para exportar archivos

En la segunda parte de la tercera sección del script encontramos la creación del documento PDF que acompaña a los modelos generados, en este documento se encuentra la información necesaria para construir el proyecto, incluyendo planos y vistas generales, datos como el nombre de los componentes, la cantidad de piezas que se requieren imprimir, así como la cantidad y tipo de tornillos que el usuario deberá adquirir para armar el proyecto, también se incluye una lista de parámetros a tomar en cuenta a la hora imprimir los componentes, esto para asegurar que las piezas fabricadas sean lo más estables y resistentes posibles.

Así mismo se incluye en todas las hojas el tipo de licencia Creative Commons con el que se distribuyen las piezas, la cual es de atribución, no comercial y compartir igual.

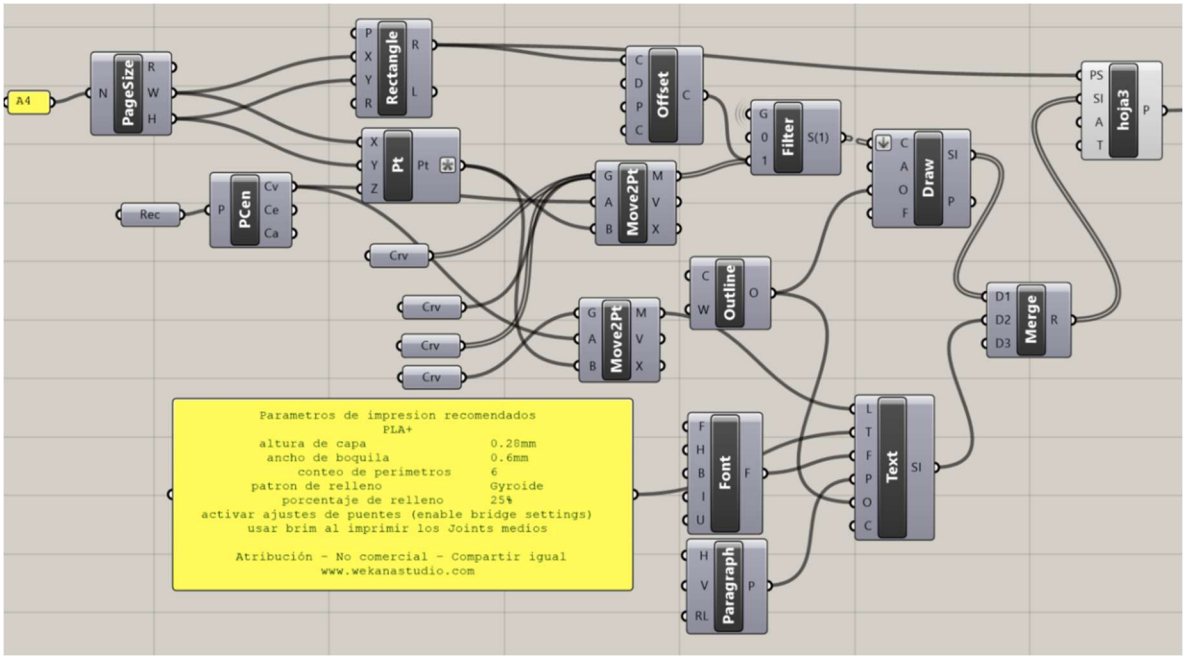


Ilustración 28 Script de la hoja 3 del documento PDF que acompaña los modelo 3D

4.2.6. Diseño y desarrollo de la plataforma

En este apartado describe la manera en que se pretende que se dé la interacción del usuario con la herramienta de co-diseño. Así como las variables visibles que el usuario podrá modificar.

En la primera etapa el usuario (co-diseñador) entrará en el editor de mobiliario previamente configurado por el diseñador. Este mobiliario podría ser editado para usarse como un taburete, una mesa de centro o una mesa lateral.

En la segunda etapa el co-diseñador va a configurar su diseño, aquí elegirá la forma de la cubierta o asiento, así como las dimensiones de cada uno de los elementos editables del mobiliario pensados para fabricarse en madera, así como también la forma, dimensión, ángulos de rotación e inclinación de las patas, además también podrá configurar posiciones y estilos de los elementos de unión pensados para fabricación por medio de impresión 3D.

En la tercera etapa será donde el co-diseñador podrá descargar su diseño. Los archivos serán en formato STL para los joints. En DXF se descargarán los elementos de madera para facilitar su construcción con router CNC si así se prefiere. Y en formato PDF se descargarán los planos de los elementos de madera, así como una guía con recomendaciones y limitaciones del proyecto.

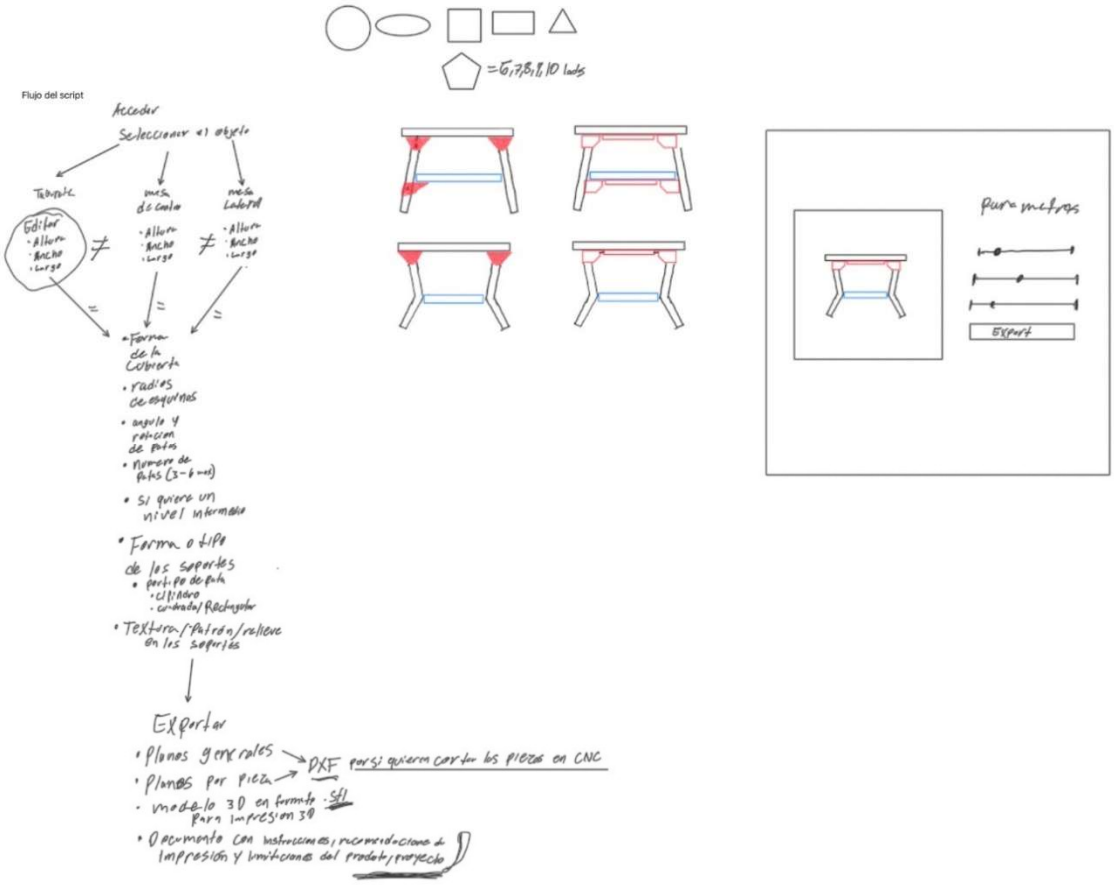


Ilustración 29 Flujo de script con variables

Para la creación de la herramienta primeramente se definieron los parámetros que serían visibles para el usuario, así como el flujo de interacción. Con estos puntos definidos lo siguiente fue crear la interfaz gráfica con las que el usuario estaría interactuando, esto se realizó directamente con un script creado desde el mismo Grasshopper pensado para alojarse en los servidores de *ShapeDiver*, de esta manera se puede ejecutar todo el proyecto en la nube, lo cual es beneficioso para el usuario, ya que esto implica que solo sea necesario un dispositivo como tableta o computadora con acceso a internet, bajando así los recursos gráficos necesarios para ejecutar la herramienta.

Este script para la interfaz gráfica es muy sencillo, primeramente, necesitamos los nombres de todos los parámetros que queremos que sean visibles para el usuario en listas, estas a su vez deben ser unidas mediante el comando *merge* para luego ser conectadas al comando *parameter widget,* esto permitirá visualizar esos parámetros en las listas en la interfaz y poder interactuar con ellos. La interfaz estará dividida en tres contenedores, y este listado de parámetros estará en el contenedor de

la derecha, en el contenedor central tendremos la ventana de visualización del modelo, la cual además incluye algunas funciones como vistas predeterminadas y la posibilidad de ver el proyecto en realidad aumentada directamente en el lugar donde se pretende colocar el mueble, y por último en la ventana de la izquierda tendremos un botón para procesar el proyecto previo a poder descargarlo, en este mismo contenedor, pero en una pestaña aparte tendremos el botón de descarga.

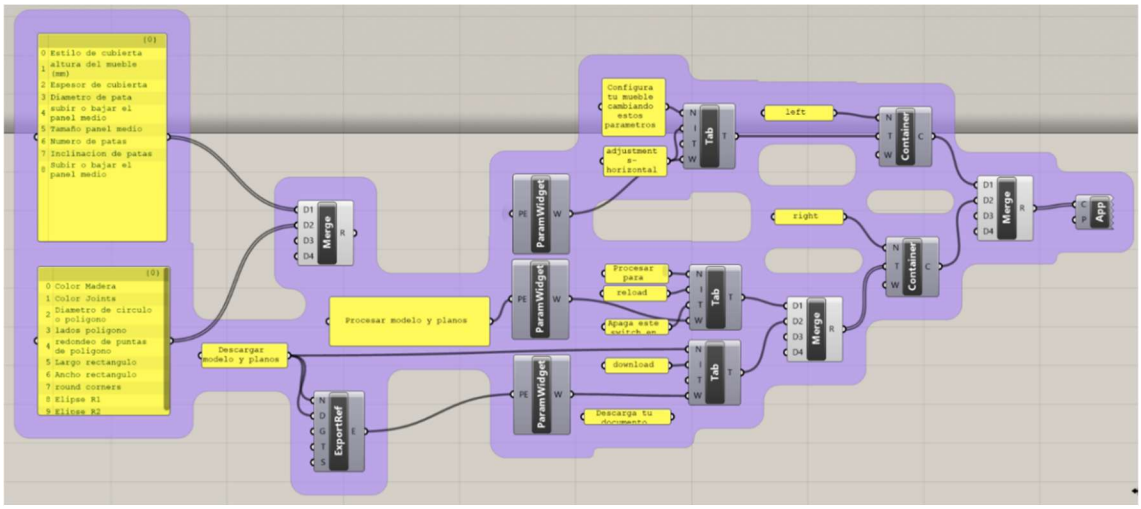


Ilustración 30 script para la interfaz de usuario

Una vez construido todo el script, se guardó en formato .gh, que es el formato nativo de Grasshopper, y se subió a los servidores de *Shapediver* para poder visualizar la interfaz completa y comenzar la etapa de validación.

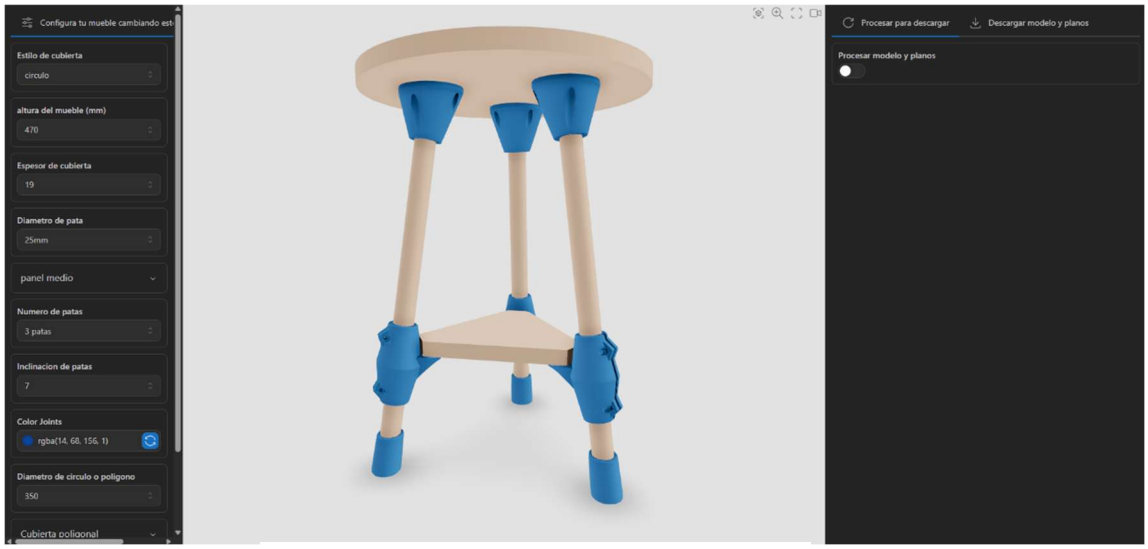


Ilustración 31 interfaz de usuario

Además de la interfaz de usuario se construyó un sitio web para poder distribuir la herramienta de manera más eficiente, ya que en este sitio se explican los pormenores del proyecto, así como algunas otras características como un ejemplo de mueble con el que los usuarios pueden interactuar y si lo desean pueden también visualizarlo en realidad aumentada en su entorno.



Ilustración 32 Página principal del sitio web

4.2.7. Evaluación y validación

Una vez desarrollado el prototipo funcional de la plataforma, se avanzó a la etapa de pruebas y validaciones. En esta etapa del proyecto se revisará qué tan bien funciona la plataforma y si cumple con las expectativas de uso. Se busca ponerla a prueba, tanto en su funcionamiento técnico como en la forma en que las personas interactúan con la misma y detectar cualquier error o inconsistencia que pudiera comprometer la fiabilidad de la plataforma, así como de los documentos descargables.

4.2.7.1. Implementación de la plataforma

En esta etapa primeramente se llevaron a cabo pruebas internas para revisar y verificar el funcionamiento de la herramienta. Estas pruebas consistieron en probar las respuestas del script en la nube y detectar errores o detalles que pudieran surgir durante la interacción. También se buscaron errores de diseño en las ventanas y en los modelos resultantes del script. Así mismo se probó la interacción con el sitio web, siempre teniendo en cuenta las heurísticas de diseño de interfaces propuestas por Jakob Nielsen (Nielsen, 1994).

En paralelo se hicieron también pruebas de impresión de modelos generados con la herramienta para detectar posibles errores y hacer las correcciones pertinentes.

4.2.7.2. Publicación de la plataforma

Una vez publicado el sitio web con la herramienta, se comenzó con la distribución del enlace para que los usuarios comenzaran a utilizarla libremente, esto se realizó a través de foros y comunidades de *makers.*

Como parte del proceso de evaluación, se programó un focus group para realizar pruebas de funcionalidad y usabilidad con usuarios. El perfil de usuario seleccionado para la actividad fue el de estudiantes de la licenciatura de diseño industrial que hubieran cursado o estuvieran cursando la materia de diseño de mobiliario, ya que se consideró que este perfil se asemeja al de un *maker* novato. Durante la sesión, se explicó brevemente el propósito del proyecto y se invitó a los participantes a navegar por el sitio web, localizar el editor de mobiliario y co-diseñar un mueble a partir de sus preferencias. Se les solicitó también que, en caso de encontrar errores o inconsistencias durante la navegación, los expresaran en voz alta, con el objetivo de registrar observaciones que permitieran

hacer mejoras posteriores. Al finalizar, se les pidió que descargaran el archivo generado por la plataforma y lo revisaran, poniendo atención en posibles omisiones o detalles técnicos faltantes.

Posteriormente se hizo una recopilación de feedback en la misma plataforma a través de un formulario SUS (*System Usability Scale*), el cual consta de 10 preguntas diseñadas para evaluar la percepción general de usabilidad de un sistema (Sauro, 2011). Este instrumento es muy utilizado cuando se requiere evaluar la usabilidad de un sistema, esto por su sencillez, rápida aplicación y el poder ofrecer una puntuación estandarizada que permite comparar en versiones del mismo sistema de ser necesario.

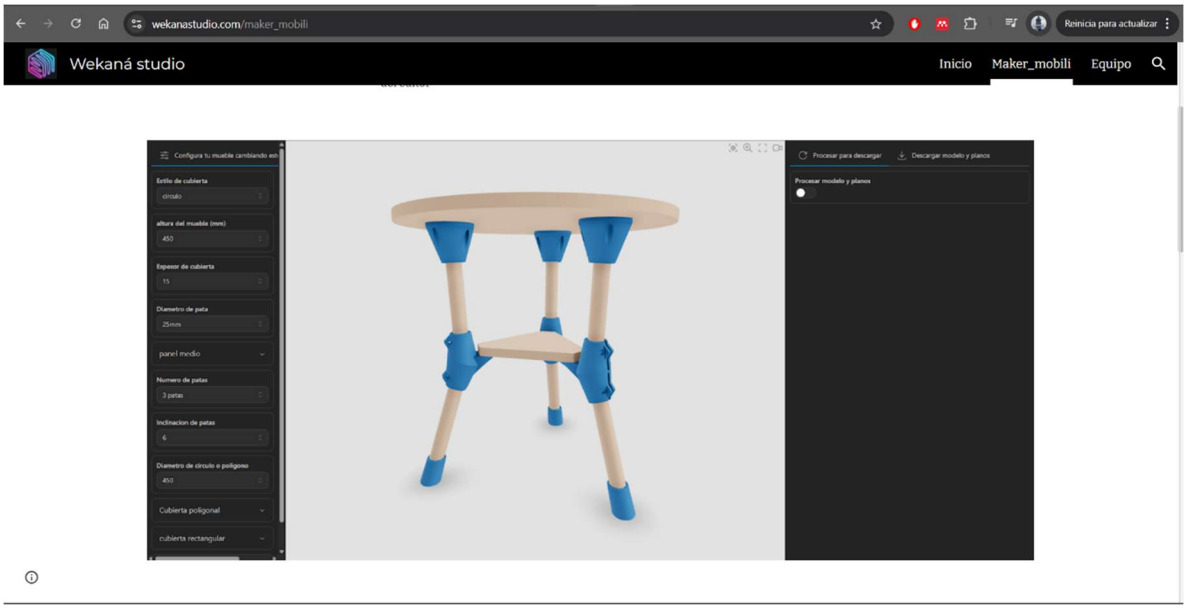


Ilustración 33 Pagina del sitio web con interfaz del editor

4.2.8. Resultados SUS (*System Usability Scale)*

Como ya se mencionó, el SUS (*System Usability Scale*) es un cuestionario estandarizado que se utiliza para conocer qué tan fácil de usar les resulta un sistema a sus usuarios. Consta de 10 preguntas y ofrece un puntaje final entre 0 y 100 que permite evaluar la experiencia general de uso. Es una herramienta sencilla y rápida de aplicar que ayuda a identificar si un sistema necesita mejoras en su diseño o funcionamiento.

Para este proyecto se aplicó el cuestionario a un total de 22 usuarios, y a continuación se presentan los datos obtenidos.

Considero que utilizar esta plataf	La plataforma resulta innecesariamente con	La plataforma puede utilizarse con faci	La plataforma puede ut	Las funciones de la pla	Detecte inconsistencia	El funcionamiento de l	La plataforma presenta	La interacción con la plataf	Es necesario aprender
Ni acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac	De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Totalmente en desacu	De acuerdo	Totalmente en desacu
Ni acuerdo ni en desacuerdo	Totalmente en desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac	De acuerdo	De acuerdo	Totalmente en desacu	De acuerdo	En desacuerdo
Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Ni acuerdo ni en desac	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente en desacu
Ni acuerdo ni en desacuerdo	Totalmente en desacuerdo	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente en desacu	Totalmente de acuerdo	Totalmente en desacu
Ni acuerdo ni en desacuerdo	Totalmente en desacuerdo	Totalmente en desacuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente en desacu	Totalmente de acuerdo	Totalmente en desacu	Totalmente de acuerdo	Ni acuerdo ni en desac
De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac	Totalmente de acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac
De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	Totalmente en desacu	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac
Totalmente de acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	Totalmente en desacu	De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo
De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac	Totalmente de acuerdo	De acuerdo
De acuerdo	En desacuerdo	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente en desacu	De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Totalmente en desacu
De acuerdo	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desacuerdo	Ni acuerdo ni en desac	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Ni acuerdo ni en desac	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	De acuerdo
De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac	De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo
Totalmente de acuerdo	En desacuerdo	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	Totalmente de acuerdo	Ni acuerdo ni en desac
Totalmente de acuerdo	Ni acuerdo ni en desacuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente en desacu	Totalmente de acuerdo	Ni acuerdo ni en desac
De acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac
De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo ni en desacuerdo	Ni acuerdo ni en desac
Totalmente de acuerdo	En desacuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	Totalmente de acuerdo	En desacuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente en desacu
De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo
De acuerdo	Totalmente en desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	Totalmente de acuerdo	En desacuerdo
De acuerdo	En desacuerdo	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo
De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desac	Ni acuerdo ni en desac	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo
De acuerdo	En desacuerdo	Ni acuerdo ni en desacuerdo	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Totalmente en desacu	De acuerdo	En desacuerdo	Totalmente de acuerdo	En desacuerdo

Ilustración 34 resultados sin procesar

Para procesar los resultados del cuestionario SUS, primero se asignaron valores numéricos del 1 al 5 a cada respuesta, siendo 1 para totalmente en desacuerdo y 5 para totalmente de acuerdo. Como el cuestionario contiene afirmaciones tanto positivas como negativas, fue necesario ajustar los valores antes de sumarlos. En el caso de las afirmaciones positivas, se restó 1 al número marcado por el usuario. En cambio, para las afirmaciones negativas, se restó el número marcado de 5. Esto permite que todas las respuestas queden en la misma dirección, es decir, que un valor más alto siempre represente una mejor percepción del sistema.

Pregunta 1	**2**	**2**	**4**	**2**	**2**	**3**	**3**	**4**	**3**	**3**	**3**	**3**	**4**	**4**	**3**	**3**	**4**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	
Considero que utilizar esta plataforma sería algo que podría realizar de manera habitual	3	3	5	3	3	4	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4	5	4	4	4	4	4	Repuestas de los participantes
Pregunta 2	**3**	**4**	**0**	**4**	**4**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**1**	**3**	**3**	**2**	**1**	**3**	**3**	**3**	**4**	**3**	**1**	**3**	
La plataforma resulta innecesariamente compleja para realizar sus funciones principales	2	1	5	1	1	2	2	2	2	2	4	2	2	3	4	2	2	2	1	2	4	2	Repuestas de los participantes
Pregunta 3	**3**	**3**	**4**	**4**	**0**	**3**	**3**	**3**	**3**	**4**	**2**	**3**	**4**	**4**	**4**	**3**	**4**	**3**	**3**	**4**	**3**	**2**	
La plataforma puede utilizarse con facilidad	4	4	5	5	1	4	4	4	4	5	3	4	5	5	5	4	5	4	4	5	4	3	Repuestas de los participantes
Pregunta 4	**2**	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**	**1**	**1**	**2**	**1**	**2**	**2**	**1**	**0**	**3**	**1**	**0**	**2**	**1**	**1**	**1**	**0**	
La plataforma puede utilizarse sin necesidad de apoyo técnico especializado	3	4	5	4	5	4	4	4	3	4	3	3	4	5	2	4	5	3	4	4	4	5	Repuestas de los participantes
Pregunta 5	**3**	**2**	**4**	**3**	**4**	**3**	**3**	**3**	**3**	**4**	**4**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**4**	**3**	**3**	**3**	
Las funciones de la plataforma están bien integradas y organizadas	4	3	5	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	Repuestas de los participantes
Pregunta 6	**3**	**1**	**2**	**3**	**4**	**2**	**1**	**4**	**2**	**4**	**0**	**3**	**3**	**3**	**2**	**0**	**3**	**1**	**3**	**3**	**2**	**4**	
Detecte inconsistencias o falta de uniformidad entre las funciones de la plataforma	2	4	3	2	1	3	4	1	3	1	5	2	2	2	3	5	2	4	2	2	3	1	Repuestas de los participantes
Pregunta 7	**3**	**3**	**4**	**4**	**4**	**4**	**3**	**3**	**3**	**3**	**2**	**3**	**3**	**4**	**3**	**3**	**4**	**3**	**3**	**3**	**2**	**3**	
El funcionamiento de la plataforma puede comprenderse con facilidad	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	3	4	4	5	4	4	5	4	4	4	3	4	Repuestas de los participantes
Pregunta 8	**4**	**4**	**1**	**4**	**4**	**3**	**4**	**3**	**2**	**3**	**0**	**3**	**3**	**4**	**2**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**1**	**3**	
La plataforma presenta dificultades innecesarias para su uso	1	1	4	1	1	2	1	2	3	2	5	2	2	1	3	2	2	2	2	2	4	2	Repuestas de los participantes
Pregunta 9	**3**	**3**	**4**	**4**	**4**	**3**	**3**	**3**	**4**	**3**	**4**	**3**	**4**	**4**	**3**	**2**	**4**	**3**	**4**	**3**	**3**	**4**	
La interacción con la plataforma permite completar las acciones previstas de manera clara	4	4	5	5	5	4	4	4	5	4	5	4	5	5	4	3	5	4	5	4	4	5	Repuestas de los participantes
Pregunta 10	**4**	**3**	**4**	**4**	**2**	**2**	**2**	**1**	**1**	**4**	**1**	**1**	**2**	**2**	**2**	**2**	**4**	**1**	**3**	**1**	**1**	**3**	
Es necesario aprender varios conceptos antes de poder utilizar correctamente la plataforma	1	2	1	1	3	3	3	4	4	1	4	4	3	3	3	3	1	4	2	4	4	2	Repuestas de los participantes
Participante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Suma SUS	30	26	27	33	28	27	26	28	26	32	19	27	30	30	26	23	32	25	31	27	20	28	
SUS	75	65	67.5	82.5	70	67.5	65	70	65	80	47.5	67.5	75	75	65	57.5	80	62.5	77.5	67.5	50	70	69.72222222

Ilustración 35 tabla con resultados SUS procesados

Una vez que se ajustaron todos los valores, se sumaron los resultados de las 10 preguntas de cada usuario. El total obtenido se multiplicó por 2.5 para convertirlo a una escala de 0 a 100, que es el formato final en el que se expresa el puntaje SUS. Esta puntuación permite interpretar de manera más clara la percepción general de usabilidad del sistema evaluado.

Una vez procesados los resultados según la metodología, se obtuvo un puntaje promedio, el cual fue de 69.72 sobre 100, lo que, según las interpretaciones propuestas por Sauro y Lewis (Sauro & Lewis, 2012), se ubica en el rango de marginal alto dentro de la categoría de aceptabilidad. Este resultado

también corresponde al tercer cuartil, lo que indica que el sistema presenta una usabilidad percibida superior al promedio, aunque aún con espacio para mejoras.

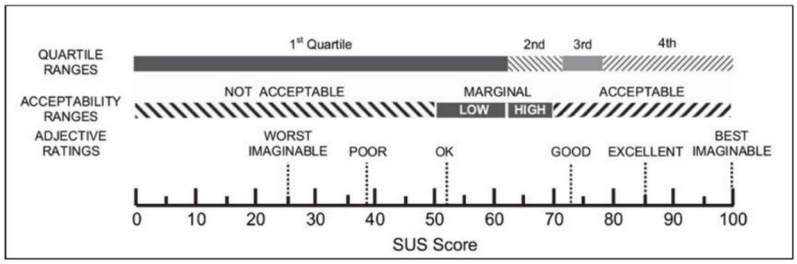


Ilustración 36 Tabla para la interpretación de resultados SUS, (Bangor et al., 2009).

4.2.9. Ejemplos realizados con la herramienta

En esta sección se presentan imágenes de dos proyectos que fueron co-diseñados utilizando la herramienta desarrollada y posteriormente fabricados, en ambos casos se utilizaron impresoras 3D de escritorio para fabricar los joints. En cuanto a los componentes de madera, uno de los proyectos fue fabricado utilizando herramientas básicas como sierra caladora y serrucho de mano, mientras que el otro se realizó con router cnc, lo que permitió una mayor precisión en los cortes. Con estos ejemplos se puede comprender mejor el potencial de la plataforma tanto para usuarios con acceso limitado a herramientas como para los que tienen acceso a equipos más avanzados.



Ilustración 37 Proyecto fabricado con herramientas básicas



Ilustración 38 Detalle de Joint medio en proyecto fabricado con herramientas básicas



Ilustración 40 Proyecto fabricado con router cnc



Ilustración 39 Detalle de Joint medio en proyecto fabricado con router cnc

4.3 Conclusiones

Los resultados obtenidos durante la fase de evaluación permiten afirmar que la plataforma desarrollada es funcional y tiene un nivel de aceptación adecuado por parte de los usuarios. Al aplicar el cuestionario SUS (*System Usability Scale*) a un grupo de 22 participantes, se obtuvo una puntuación promedio de 69.72, lo cual sugiere una experiencia de uso aceptable, aunque con áreas que pueden mejorarse en futuras versiones.

En cuanto a la viabilidad técnica, los modelos generados fueron fáciles de imprimir en 3D y su construcción puede realizarse incluso con herramientas básicas, como una sierra caladora. Esto refuerza la intención del proyecto de facilitar el acceso a la fabricación personalizada, sin depender de equipos industriales.

Además, se comprobó que sí es posible diseñar objetos de manera paramétrica pensados para el co-diseño. Ya que, durante las pruebas de usabilidad, los usuarios fueron capaces de modificar parámetros y generar versiones ajustadas a sus propias necesidades o preferencias.

También se identificó una limitante importante relacionada con la distribución de archivos 3D. Actualmente, los formatos disponibles no ofrecen mecanismos eficaces para evitar el uso indebido de los modelos, ya sea su reventa o distribución no autorizada. Ante esta situación, solo es posible apelar a la ética de los usuarios y fomentar una cultura de respeto al trabajo compartido.

Finalmente, tras la conclusión de la primera etapa del proyecto y a partir de los aprendizajes derivados del mismo, se implementó una actualización en la plataforma con la cual se incorporó un nuevo diseño pensado exclusivamente para la fabricación mediante impresión 3D, esta decisión responde a la intención de explorar el alcance de la plataforma en un entorno de fabricación totalmente digital, al eliminar la necesidad de los componentes en madera presentes en la versión inicial del proyecto, simplificando el proceso y adaptándolo a usuarios con acceso limitado a herramientas de carpintería o CNC. Los resultados preliminares de esta versión demostraron que la metodología y la lógica paramétrica empleadas mantienen su validez y congruencia. Además, la experiencia sirvió para comprobar la capacidad de la plataforma para evolucionar hacia nuevos escenarios de uso, reafirmando su potencial como espacio flexible para la creación, personalización y difusión de objetos pensados para el co-diseño.



Ilustración 41 Resultado impreso de la actualización

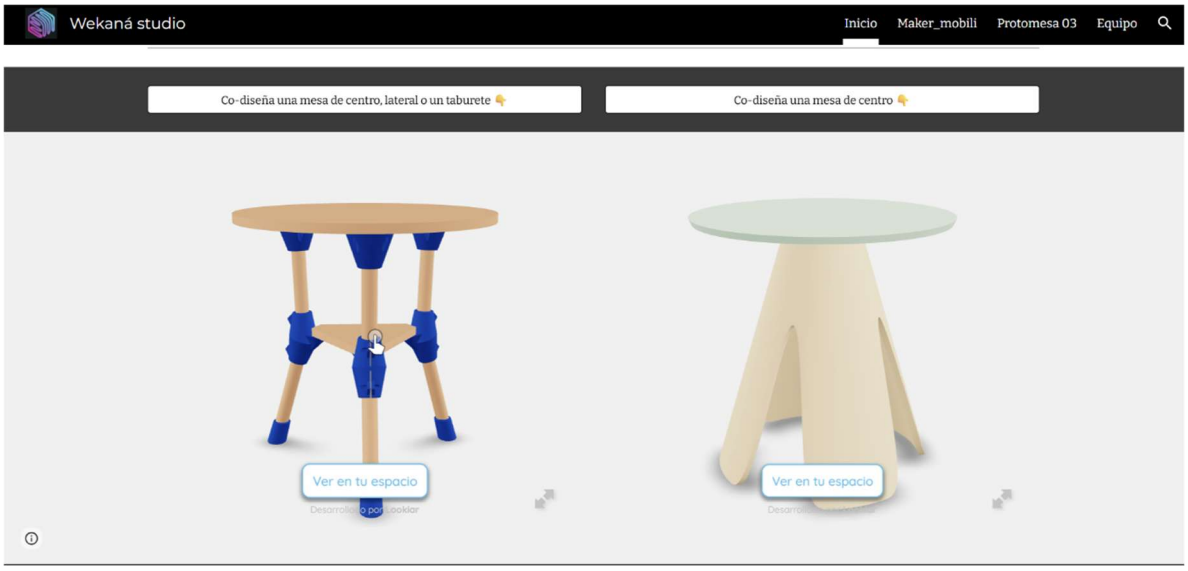


Ilustración 42 vista previa de ambos diseños en la plataforma

Bibliografía

Aduatz, P. (2021). *Gradient Furniture Collection Design Process*. www.philippaduatz.com. https://www.philippaduatz.com/portfolio-item/gradient-furniture-design-process/

Aish, R., & Woodbury, R. (2005). Multi-level Interaction in Parametric Design. En A. Butz, B. Fisher, A. Krüger, & P. Olivier (Eds.), *Smart Graphics* (pp. 151–162). Springer Berlin Heidelberg.

Alcaide-Marzal, J., Diego-Mas, J. A., & Acosta-Zazueta, G. (2020). A 3D shape generative method for aesthetic product design. *Design Studies*, *66*, 144–176. https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.11.003

Anderson, Chris. (2014). *Makers: the new industrial revolution*. Crown Business.

Ashraf, S., & Johar Town, J. (2023). Proposing Digital Design Methodology for Furniture Products by Integrating Generative Design Approach to Conventional Process. En *Journal of Technology and Systems* (Vol. 5, Número 1). www.carijournals.org

Ball, J. (2019, octubre 1). *The Double Diamond: A universally accepted depiction of the design process*. Design council. https://www.designcouncil.org.uk/our-resources/archive/articles/double-diamond-universally-accepted-depiction-design-process/

Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies*, *4*(3), 114–123. https://uxpajournal.org/determining-what-individual-sus-scores-mean-adding-an-adjective-rating-scale/

Barreno Ávila, A., & Monar Naranjo, M. (2023). Diseño Parametrico Y Produccion En Laboratorio De Fabricación digital (fablab), como alternativa para reducir la emision de dioxido de carbono. *Cuaderno del centro de estudios en diseño y comunicación*, *180*, 17–27.

Barros, M., Duarte, J. P., & Chaparro, B. M. (2014). Integrated Generative Design Tools for the Mass Customization of Furniture. En *Design Computing and Cognition '12* (pp. 285–300). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9112-0_16

Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, *55*(2), 155–162. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003

Blikstein, P. (2008). Travels in Troy with Freire: technology as an agent of emancipation. En *Social Justice Education for Teachers Paulo Freire and the Possible Dream* (pp. 205–244). BRILL. https://doi.org/10.1163/9789460911446

Blösch Klein, A. (2020). *Design Heuristics for Additive Manufacturing* [ETH Zurich]. https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-b-000412677

Christodoulou, M. (2020). *The History of Parametric Design and Its Applications in Footwear Design Developing a parametric system for pointe shoe customization View project Landscape Design Methodology View project*. https://www.researchgate.net/publication/344956133

Copyright Act 1968 (1968). https://www.wipo.int/wipolex/es/legislation/details/11677

creative commons. (s/f). *Licenses List*. Recuperado el 30 de septiembre de 2023, de https://creativecommons.org/share-your-work/cclicenses/

Cutcher-Gershenfeld, J., Gershenfeld, A., & Gershenfeld, N. (2018). Digital fabrication and future of the work. *High-tech futures*, 8–13.

Dellaert, B. G. C. (2018). The Consumer Production Journey: Marketing to Consumers as Co-Producers in the Sharing Economy. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/SSRN.3102773

Design Act 2003 (2003). http://classic.austlii.edu.au/au/legis/cth/consol_act/da200391/

Diatom Studio. (2011). *SketchChair*. http://diatom.cc/sketchchair

Estrada, A., Gil Plazas, A., Galindo, A., Rubiano, J., & Herrera, L. (2022). La industria 4.0 en tu casa: Impresión de prototipos de herramientas de punzonado para trabajo en

caliente con impresoras de modelado por deposición fundida de bajo coste. *Reto*, *9*, 23–35. https://doi.org/10.23850/reto.v9i1.4172

Fernandez-Vicente, M., Calle, W., Ferrandiz, S., & Conejero, A. (2016). Effect of Infill Parameters on Tensile Mechanical Behavior in Desktop 3D Printing. *3D Printing and Additive Manufacturing*, *3*(3), 183–192. https://doi.org/10.1089/3Dp.2015.0036

García-Dominguez, A., Claver, J., & Sebastián, M. A. (2020). Integration of additive manufacturing, parametric design, and optimization of parts obtained by fused deposition modeling (Fdm). a methodological approach. *Polymers*, *12*(9), 1–27. https://doi.org/10.3390/polym12091993

García-Garcia, C., Felip Miralles, F., & Galán Serrano, J. (2017). Diseño, producto y usuario: el papel del consumidor en el proceso de co-creación. *Sonda*, *6*, 123–130.

Gobierno de Canarias. (2014). Módulo II. Creación de contenidos. En *Ciudadanía digital: uso seguro y responsable de las TIC*.

Gómez Reyes, L. (2017). ANÁLISIS DOCUMENTAL DE LOS INCONVENIENTES DE LA IMPRESIÓN 3D. *3C Tecnología: Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, *6*(3), 48–53. https://doi.org/10.17993/3ctecno.2017.v6n3e23.48-53

Hagel III, J., Seely Brown, J., & Davison, L. (2010). From Do It Yourself to Do It Together. *Harvard Busines Review*.

Hamza, M., Abdul, Z., & Khan, W. (2020). Digital Exhaustion: Navigating Copyright and Distribution Challenges in the Digital Marketplace. *International Review of Social Sciences*, *8*(8). https://www.researchgate.net/publication/374371944

Herrera, P. C., Scheeren, R., & Sperling, D. M. (2022). *APPROPRIATIONS OF DIGITAL FABRICATION FROM LATIN AMERICA >>>2022 3.0*. Editorial UPC.

Kuznetsov, S., & Paulos, E. (2010). Rise of the expert amateur. *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*, 295–304. https://doi.org/10.1145/1868914.1868950

Lekuona Amundarain, A., Domínguez Somonte, M., & Espinosa Escudero, M. del M. (2021). El diseño paramétrico como herramienta creativa en el diseño de producto. *Técnica Industrial*, *329*, 32–40. https://doi.org/10.23800/10507

Liu, Y., Bai, W., Cheng, X., Tian, J., Wei, D., Sun, Y., & Di, P. (2020). Effects of printing layer thickness on mechanical properties of 3D-printed custom trays. *Journal of Prosthetic Dentistry*. https://doi.org/10.1016/J.PROSDENT.2020.08.025

Malakuczi, V. (2017). *Design Computazionale e Fabbricazione Digitale: un diverso approccio per il Design*.

Malaty, E., & Rostama, G. (2017, febrero). La impresión en 3D y el Derecho de propiedad intelectual. *Revista de la OMPI*. https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2017/01/article_0006.html

Menichinelli, M. (2017). Notes for future research on the impact of the Fab Lab network. En *Research Book: 13th International Fab Lab Conference and Symposium Santiago, Chile* (pp. 34–44). https://issuu.com/dmoyanod/docs/libro_papers_digital

Navarrete, S. (2014). *Diseño paramétrico. El gran desafío del siglo XXI*.

Nicolau, A., Pop, M. A., & Coșereanu, C. (2022). 3D Printing Application in Wood Furniture Components Assembling. *Materials*, *15*(8). https://doi.org/10.3390/ma15082907

Nielsen, J. (1994, abril 24). *10 Usability Heuristics for User Interface Design*. https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/

Nielsen, J., & Liddicoat, J. (2017). The Multiple Dimensions of Intellectual Property Infringement in the 3D Printing Era. *Australian intellectual property journal*, *27*, 184–208. http://pericles.ipaustralia.gov.au/ols/auspat/quickSearch.do?queryString=3D+printing&resultsPerPage=

Norman, D. (2013). *THE DESIGN OF EVERYDAY THINGS*. Basic Books.

Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, *27*(3), 229–265. https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002

Oxman, R. (2017). Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. *Design Studies*, *52*, 4–39. https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001

Patents Act 1990 (1990). https://www.wipo.int/wipolex/es/legislation/details/21497

Patiño Rodríguez, D., Gomez-Alvarez, R., & Plaza-Angulo, J. J. (2021). *Economía colaborativa... ¿De verdad?* https://www.researchgate.net/publication/348415736

Petrova, B., & Jivkov, V. (2024). Application of 3D Printing Technology in Furniture Construction. *Materials*, *17*(19), 4848. https://doi.org/10.3390/ma17194848

Plana, J. (2016). La teoría del agotamiento del derecho de distribución y su aplicación en un entorno digital. *Revista Chilena de Derecho y Tecnología*, *5*(2). https://doi.org/10.5354/0719-2584.2016.41876

Ruscitti, A. (2015). IMPRESION 3D, TECNOLOGÍA ABIERTA DE FABRICACIÓN DIGITAL. En *Ciencia, arte y tecnología - Libro I: Enfoques plurales para un abordaje multidisciplinar*. Ediciones de la UNLa. https://www.researchgate.net/publication/341742022_IMPRESION_3D_TECNOLOGIA_ABIERTA_DE_FABRICACION_DIGITAL#fullTextFileContent

Saavedra Seoane, M. (2017, noviembre 24). *El Design Thinking y el Movimiento Maker*. DesignThinking.gal. https://designthinking.gal/el-design-thinking-y-el-movimiento-maker/

Sauro, J. (2011, febrero 3). *Measuring Usability with the System Usability Scale (SUS)*. https://measuringu.com/sus/

Sauro, J., & Lewis, J. R. (2012). *Quantifying the User Experience*. Morgan Kaufmann.

Shea, K., Aish, R., & Gourtovaia, M. (2005). Towards integrated performance-driven generative design tools. *Automation in Construction*, *14*(2 SPEC. ISS.), 253–264. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.07.002

Tedeschi, A. (2014). *AAD_ALGORITHMS- AIDED DESIGN. Parametric Strategies using Grasshopper®* (First). Le Penseur.

Terzidis, K. (2006). *Algorithmic Architecture* (First). Elsevier.

Val Fiel, M. (2016). Prosumer e impresión 3D: La democratización del proceso creativo. *Revista 180*, 17–22. www.revista180.udp.cl

Wittbrodt, B. T., Glover, A. G., Laureto, J., Anzalone, G. C., Oppliger, D., Irwin, J. L., & Pearce, J. M. (2013). Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers. *Mechatronics*, *23*(6), 713–726. https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2013.06.002

Woodbury, Robert. (2010). *Elements of parametric design*. Routledge.

Wooj. (2023). Wooj.design.

Anexo 1 Cuestionario conociendo a los Makers

1. ¿Qué te motiva a participar en la comunidad maker?

Crear Cosas	24
Compartir conocimiento	6
Otras	2

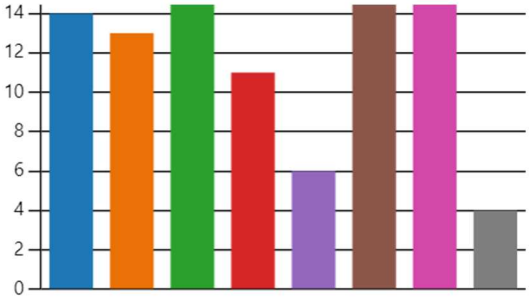


2. ¿Qué te motiva para fabricar tus propios objetos?

Creatividad	21
Personalización	19
Ahorro económico	7
Otras	4



accesorios	17
repuestos	11
piezas para muebles	6
piezas por encargo de las menci...	16
piezas para uso personal de las ...	17
Otras	4



4. ¿Qué programas de diseño 3D utilizas para tus proyectos de impresión?

Blender	8
Rhino	15
solid works	16
fusion 360	10
Otras	4



5. ¿Qué nivel de experiencia tienes en el uso de programas de diseño 3D?

basico	2
intermedio	16
avanzado	14



6. ¿Qué slicer de impresión 3D prefieres utilizar?

Cura	20
PrusaSlicer	4
Simplify3D	2
Otras	6



7. ¿Qué nivel de experiencia tienes en el uso de slicers de impresión 3D?

basico	10
intermedio	14
avanzado	8



8. ¿Qué te lleva a elegir la fabricación de productos sobre la compra de productos comerciales?

Personalización	24
Economia	11
versatilidad	20
velocidad	7
Otras	2



9. ¿Qué recursos o herramientas utilizas para aprender o mejorar tus habilidades en diseño 3D y en el uso de slicers?

cursos (en linea o presenciales)	15
Video tutoriales	28
consultas blogs o paginas relaci...	15
Otras	1



10. ¿Qué tipo de proyectos te resulta más satisfactorio realizar como maker?

Modelos descargados de internet	0
Modelos descargados de intern...	5
Modelos propio, diseñados y ad...	27
Otras	0



11. ¿Tiene conocimientos en el uso de herramientas básicas para carpintería? (herramientas de corte como serrucho, sierra caladora, sierra de banco, etc.

Si	30
No	2



12. ¿Cuenta con alguna herramienta para carpintería?

Si	25
No	5



13. ¿Con que herramienta para carpintería cuenta?

serrucho (Manual)	15
Sierra caladora	16
lijadora eléctrica	19
Otras	10



14. En caso de no contar con conocimientos sobre carpintería o herramientas ¿Tiene acceso a algún maker space, fab lab o taller donde poder solicitar cortes sencillos de madera?

Si	18
No	14



15. ¿Estarías interesado en una herramienta que le permitiera diseñar, personalizar y descargar de manera sencilla mobiliario como taburetes, mesas de centro o laterales, para luego construirlo usted mismo combinando piezas impresas en 3D y piezas de madera?

Si	26
No	2
Tal vez	4

