
2021

EL

DISEÑO

GENE

RATIVO

**CO-CREACIÓN ENTRE EL SER HUMANO Y EL
PENSAMIENTO COMPUTACIONAL**

Proyecto formulado por
Camilo Ayala Monje

Director de proyecto de grado
Camilo Ayala García

Form

Fol-

lows

Force

EL DISEÑO GENE RATIVO

**CO-CREACIÓN ENTRE EL SER HUMANO Y EL
PENSAMIENTO COMPUTACIONAL**

**Universidad de los Andes
Facultad de Diseño y Arquitectura
Departamento de Diseño
Maestría en Diseño**

**Proyecto de grado
Camilo Andrés Ayala Monje**
ca/ayalam1@uniandes.edu.co
camiloayalamonje@gmail.com

**Asesor de proyecto de grado
Camilo Ayala García**
c.ayala954@uniandes.edu.co
Profesor
Departamento de Diseño
Facultad de Diseño y Arquitectura

2021 ©

Website
www.camiloayala.com



Introducción

En este proyecto de grado se analiza el diseño generativo como un proceso de co-creación entre el diseñador y el pensamiento computacional. El diseño generativo llegó como un conjunto de instrumentos que revolucionarían la manera en que los diseñadores entienden y enfrentan el proceso de diseño, a grosso modo esta tecnología usa algoritmos inspirados en la biomimética para optimizar la forma manteniendo la función, a través de un proceso iterativo que elimina el material innecesario, y obtiene como resultado una pieza funcionalmente adecuada, con una estética formal muy similar a la progresión ósea o a la estructura de crecimiento de un árbol.

Hoy, las técnicas de diseño generativo implican algoritmos, e inteligencia artificial, como parte de un proceso metaheurístico de diseño para proponer volúmenes que serían imposibles de idear para un diseñador humano. Aunque estas técnicas se han estudiado durante los últimos sesenta años a partir de la disertación de Schmit (Schmit, 1960), y tienen su origen en el uso óptimo y reducido de materiales, los resultados de la optimización topológica no han sido viables para la fabricación industrial por los impedimentos propios de las líneas de producción y de los métodos tradicionales de transformación. Con el reciente auge de la fabricación aditiva, las piezas generadas por optimización pueden ser finalmente viables para la elaboración.

Actualmente la Optimización de la Topología es la aplicación más popular del diseño generativo. Es un proceso de determinación de la ubicación y distribución de material en una estructura para una determinada función-objetivo y condiciones de restricción (Cortés, 2010). Esta tecnología comienza con un espacio de diseño que designa un volumen para trabajar. Los algoritmos de optimización de la topología eliminan partes de este volumen hasta que queda una fracción que cumple con la restricción. Las partes eliminadas vienen determinadas por la relación de carga, fuerzas y parámetros definidos para la función. Esta metodología de creación se convierte en un diálogo co-creativo entre el diseñador y el software, en la medida en la que el segundo propone la solución más óptima posible, y el primero agrega a las distintas soluciones la carga de la estética, de los compromisos sociales, del gusto, de la semiótica y semántica objetual y de la viabilidad productiva.

Gracias a todos los que estuvieron en este camino, especialmente a familia, *Carlos, Marina, Diego y Laura*, por enseñarme a ver el mundo con profundidad y criterio, a tener curiosidad inquebrantable y perseverancia obstinada, por su orientación, apoyo incondicional, comprensión y cariño.

A Natalia, por su amor, tolerancia, y por todas las aventuras juntos.

A mis compañeros de la maestría,

Y a mi director en este proceso, y homónimo, Camilo Ayala, por las verdades sin filtro, la guía comprensiva y acertada para desarrollar esta investigación

ÍNDICE

01.

Inicio

02.

Contexto histórico

03.

Proceso Primera parte

04.

Proceso Segunda parte

05.

Potencial value

06.

Conclusiones

07.

Prototipos virtuales Experimentos con AR

08.

Bibliografía

01

Inicio

Preámbulo

En 1962, el Lincoln Laboratory del Massachusetts Institute of Technology (MIT) Ivan Sutherland desarrolla el sistema Sketchpad basado en su propia tesis doctoral “A Machines Graphics Communications System”. Con ello establece las bases de los sistemas gráficos interactivos por asistidos por computador, *Computer-Aided Design* (CAD): diseño asistido por computadora y *Computer-Aided Manufacturing* (CAM): fabricación asistida por computadora.

Originalmente Sutherland propuso la idea de utilizar un teclado y un lápiz óptico para seleccionar, situar y dibujar juntamente con una imagen representada en la pantalla. La mayor innovación de sus postulados fue la estructura de los datos, ya que estaba orientada a la topología del objeto que iba a representar y por lo tanto describía con total exactitud las relaciones entre las diferentes partes, introduciendo así lo que se conoce como programación **orientada a objetos**, y dando origen a los sistemas CAD/CAM.

A la fecha han pasado casi 60 años desde la ideación de estos sistemas, los cuales evolucionan a la par del artefacto tecnológico, multiplican su poder de procesamiento, aumentan su presencia en el proceso de diseño y adoptan tecnologías como las redes neuronales y la inteligencia artificial.

Problema de investigación

La tecnología de diseño generativo, haciendo uso de la lógica de optimización topológica, las redes neuronales, la inteligencia artificial y los algoritmos genéticos ya es una realidad, sin embargo, aún está en estudio si está preparada generar un diseño viable para fabricación, que sea funcional, cumpla con los parámetros mínimos para la producción en masa; y a su vez contenga un criterio estético que convierta sus resultados en un objeto con un mercado potencial.

En este escenario, ¿cuál es el rol del diseñador y cómo se integran estas herramientas a los procesos de diseño de producto, manteniendo un permanente control y desempeñando un papel activo y consciente sobre el desarrollo?

¿Cuál es el papel del diseñador en la integración de los procesos de diseño con la tecnología de Diseño Generativo, y cómo entender estas herramientas en los procesos de diseño y de desarrollo de producto?



Contexto histórico

Less,
but
better

Dieter Rams

“Desde los cojines de los sofás a la construcción de ciudades”

Vom Sofakissen zum Städtebau

En los albores de los años cincuenta, el Good Design, la Gute Form, el Bel Design o “Buen Diseño” apalancado por el Plan Marshall y el MoMA en Estados Unidos de America, la Deutscher Werkbund en Alemania y las instituciones de arte e mestieri en Italia, ofreció una nueva vida en occidente a los ideales y principios del movimiento moderno, actualizado convenientemente para los tiempos que corrían y mercadeando unos ideales democráticos y correctos que apalancaban el consumo, y forjaban un estilo que podía ser compartido y pensado a escala mundial.

La Gute Form fue el movimiento alemán por antonomasia, allí la idea del buen diseño alcanzó su formulación teórica más rigurosa y se presentaba en una frontal contraposición a styling y a su versión aerodinámica, el Streamline.

Mientras que el Streamline promovía el beneficio inmediato, y el adorno a cambio de la funcionalidad (Valls, 2016), desde los sectores más rigurosos del neo funcionalismo se proponía la honestidad como el valor principal del diseño. Esta honestidad se planteaba con el objeto para el usuario y para la sociedad, con formas simples, atemporales, funcionales y con ausencia de ornamentación, limitación cromática y con materiales auténticos; el diseño representaba a la empresa que lo concebía en sus valores, visiones y objetivos.

Alemania fue la cuna de la Deutscher Werkbund, una asociación mixta de arquitectos, artistas e industriales, fundada en 1907 en Múnich por Hermann Muthesius, su objetivo fue el de ennoblecer el trabajo artesanal, uniéndolo con el arte y la industria, de esta premisa se infiere que la Werkbund, buscaba redefinir el trabajo manual, construyendo una estética refinada que correspondía al espíritu de la época y que aumentaba el nivel de calidad de una obra o producto. (Heredia, s.f.) La Gute Form tenía un componente ideológico en su núcleo, además del diseño de objetos y de la producción gráfica, se generó un abundante eje bibliográfico, este llegó en forma de discursos, programas académicos, conferencias y libros de texto que permitían aleccionar a los diseñadores.

La Deutscher Werkbund fue la precursora de la mundialmente famosa Bauhaus, sin embargo, también fue un fenómeno global y en parte responsable de la adopción del concepto de Good Design que se materializó y popularizó en América, en buena medida, gracias a el curador del MOMA (Museo de Arte Moderno de Nueva York) Edgar Kaufmann, quien aglutinó en una serie de exposiciones los trabajos de aquellos diseñadores destacados de la mitad de siglo XX: Charles y Ray Eames, Marcel Breuer, Mies van der Rohe, Le Corbusier, George Nelson, etc. y que sentaron las bases de lo que en buena parte es el diseño contemporaneo.

Del diseño radical a la biomímeis tecnológica

En 1960 durante la 2^a conferencia sobre computación electrónica, Lucien A. Schmit plantearía el diseño estructural por síntesis sistemática, propuesta en la cual la síntesis estructural sistemática puede definirse como la evolución racional y dirigida de una configuración estructural que, en función de un criterio definido, cumple eficazmente una serie de objetivos funcionales especificados. Buscaba inicialmente un método para la convergencia sistemática de un diseño óptimo en el sentido de un peso estructural total mínimo. Ya para esta época se procesaron y los datos utilizando un ordenador digital IBM 653.

Paralelamente la década de los 60's produjo cambios en diferentes aspectos; que no sólo afectarían a la sociedad, sino también al arte, la ilustración, el diseño gráfico e industrial, entre otros. El diseño se convirtió en un campo propicio para la experimentación. Materiales como el plástico, sobretodo el poliéster, el vinilo o las resinas se trasformaron en grandes aliados del diseño orgánico, inspirado en la naturaleza, dando vida a diseños tan icónicos como la silla Panton del diseñador Verne Panton, y promoviendo que muchos diseñadores que se replantearon la visión que suponía el Estilo Internacional. En la búsqueda de una nueva identidad, tras la explosión de las Segundas Vanguardias, el campo del diseño se hizo mas amplio, dando inicio a una nueva generación de diseñadores que exploraban la forma desde su capacidad provocadora, expresiva y emotiva; dejando en segundo plano, e incluso desvaneciendo, el patrón racionalista que imperaba

desde un entendimiento del Good Design de un modo ortodoxo.

A esto se suma el hecho de que los 60s estuvieron marcados por la idea de que el hombre pudiera llegar a la Luna; lo que finalmente sucedería en 1969 con el alunizaje del Apolo XI, lo que impulsó el nacimiento de lo que se conoce como Space Age Design, lo que marcó toda una década cautivada por el futurismo.

En este periodo de transformación, el diseño se independiza de la arquitectura, retoma su función social y establece una estrecha relación con la industria. Nace el diseño radical, o también llamado "antidiseño" o "contradiseño", una corriente que desarrolla entre los años 60 y 70. Es diametralmente opuesto al racionalismo, y le da especial importancia a las necesidades del individuo.

"Grupos italianos como Alchimia (1976) y Memphis (1981) trajeron nuevos valores psicológicos, semánticos e iconográficos a la escena del diseño que resonaron en toda Europa. Estos -principalmente jóvenes- diseñadores, artistas y arquitectos cazan furtivamente todos los estilos según los principios del arte contemporáneo. Siguiendo a Dada, el Surrealismo y el Pop-Art, se traen a casa *objects trouves* o *ready mades*. La forma ya no necesita seguir la función en opinión de muchos diseñadores. Ahora los slogans son "La forma sigue a la fantasía" o "La forma sigue a la ficción" o, lo mas extremo "La forma me sigue"



Imagen: © Verner Panton Design AG

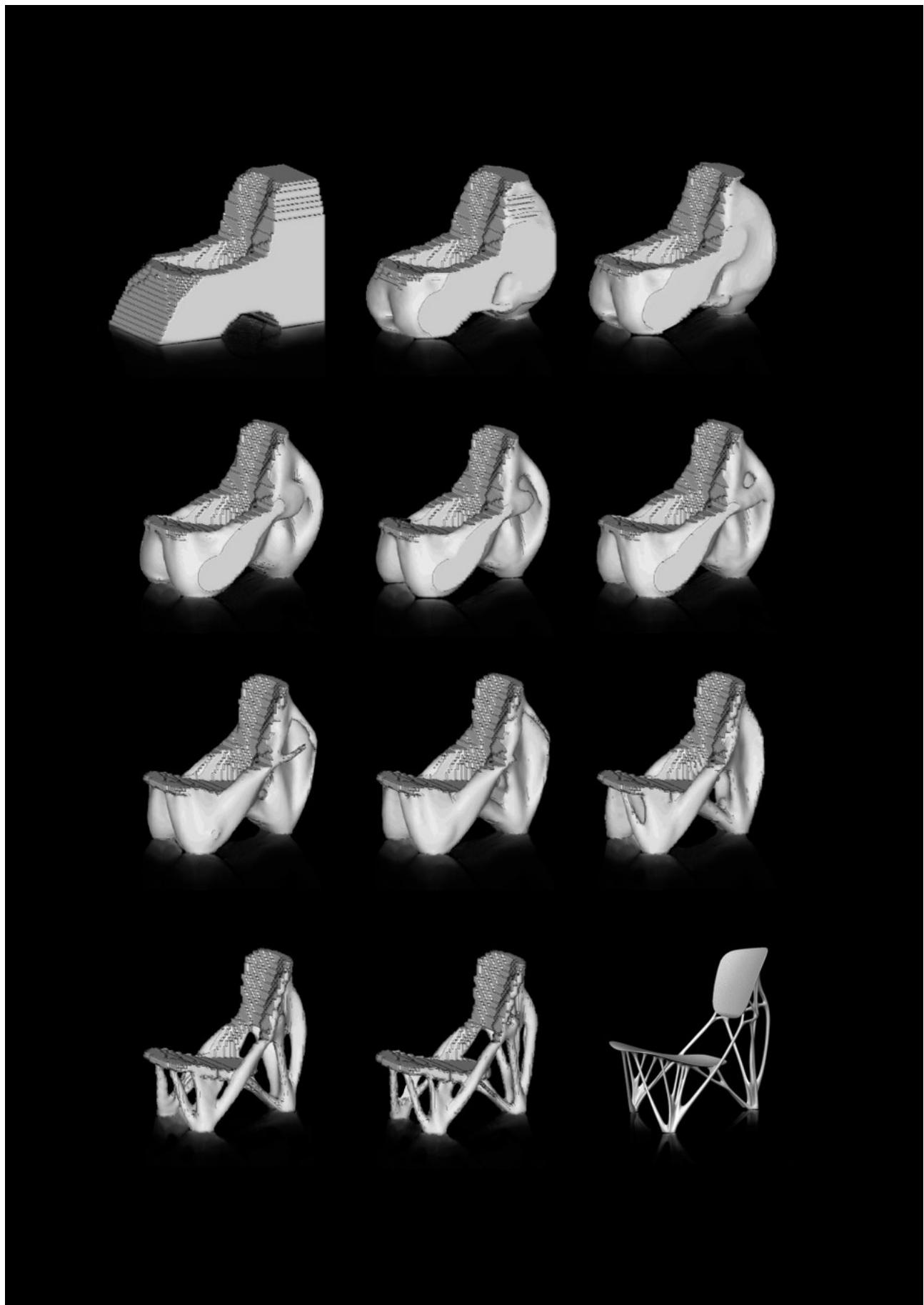


Imagen: Optimization process of a chair from the Bone Furniture collection, Joris Laarman, 2006

La forma sigue a la fuerza

La optimización de estructuras, de las formas y de los materiales ha sido una meta principalmente de la ingeniería, la arquitectura y del diseño de producto desde hace algo más de cuarenta años. La primera etapa de desarrollo e investigación estuvo basada en la aplicación de técnicas de programación matemática, luego con la adopción y masificación del aparato tecnológico y el aumento exponencial del poder computacional, las técnicas metaheurísticas basadas en la Computación Evolutiva, y de manera significativa, los Algoritmos Genéticos permitieron un salto en la tecnología.

Los productos y sus subyacentes estructuras han evolucionado en la variable del tamaño, y en el número de barras y coordenadas de los nudos (topología),

y recientemente la evolución ha sido paralela y simultánea (Sanchez-Caballero, 2021).

El proceso de diseño combinado con el poder de las computadoras que pueden explorar una gran cantidad de posibles permutaciones de una solución y permite a los diseñadores generar y probar nuevas opciones, más allá de lo que un ser humano podría lograr, para llegar a un diseño más efectivo y optimizado.

Este es proceso iterativo que involucra (1) un software que genera una cierta cantidad de salidas que cumplen con ciertas restricciones, y (2) un diseñador que ajusta la región factible seleccionando una salida específica o cambiando los valores de entrada, los rangos y la distribución, entre otras variables.



Imagen: Bone Chair, Joris Laarman, 2006

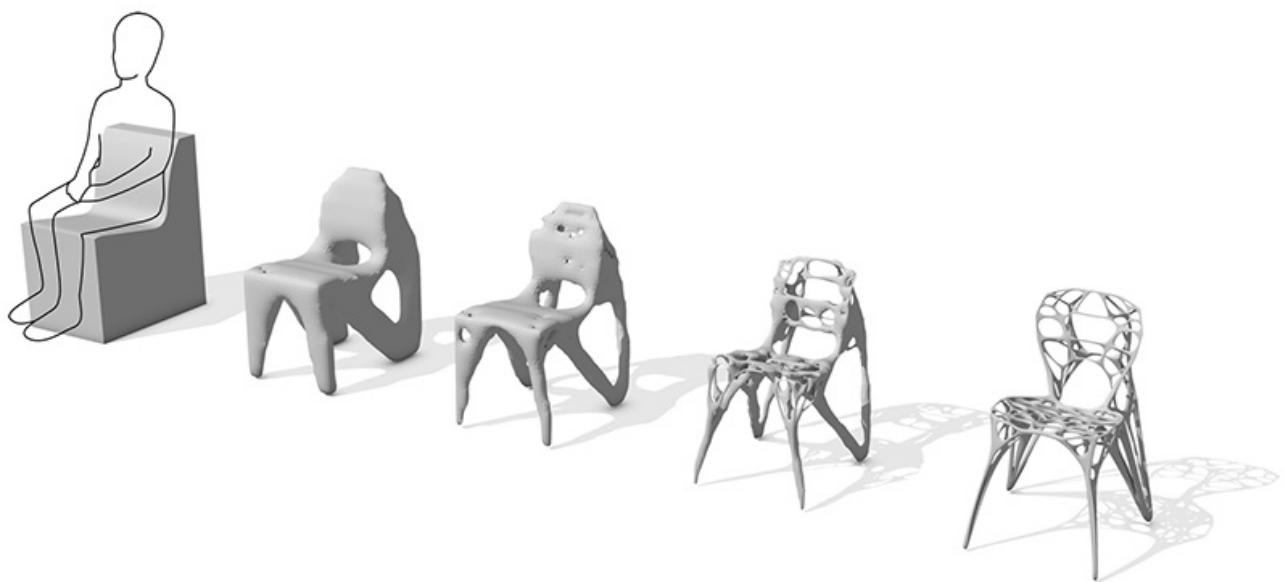


Imagen: Generico Chair, Marco Hemmerling und Ulrich Nether, 2012, © Dirk Schelpmeier

Las redes neuronales y la inteligencia artificial en el método de diseño generativo

La investigación en lo que ahora se conoce como diseño generativo fue iniciada por Frazer (Gu, Z., Xi Tang, M., & Frazer, J. H., 2006) a principios de los años 70. Su desarrollo ha pasado por varias fases, dirigidas principalmente por investigadores académicos centrados en gran medida en la teoría del diseño. Aunque se reconocía la falta de métodos de aplicación, no se han desarrollado métodos formales para el diseño generativo. En el contexto del creciente interés de los profesionales y las escuelas de arquitectura y diseño, este vacío fue cubierto por las empresas de CAD que ofrecían diversas soluciones. Sin embargo, en la actualidad se reconoce ampliamente la necesidad de un marco teórico orientador para esta metodología. El objetivo actual del diseño generativo lo resume Shea (Shea, K., Aish, R., & Gourtovaia, M., 2005) así: “*los sistemas de diseño generativo tienen como objetivo crear nuevos procesos de diseño que produzcan diseños espacialmente novedosos pero eficientes y construibles mediante la explotación de las capacidades informáticas y de fabricación actuales*”.

Se define aquí el diseño generativo como un proceso de exploración del diseño impulsado por el diseñador, en conjunto con el uso de herramientas de inteligencia artificial, y con restricciones paramétricas, que opera sobre sistemas CAD paramétricos basados en historia, y que es aplicable tanto al diseño paramétrico como al procedural, ya que la mayoría de los sistemas CAD contemporáneos se basan en procedimientos internos para construir la geometría, aunque este aspecto procedural está oculto para el usuario.

El diseño generativo se refiere a los métodos de diseño computacional que pueden realizar automáticamente la exploración del diseño bajo las restricciones definidas por los diseñadores. Entre muchos enfoques,

los diseños generativos basados en la optimización de la topología tienen como objetivo explorar diversos diseños de topología, que no pueden ser representados por los enfoques convencionales de diseño paramétrico, ni por el enfoque tradicional iterativo del diseñador humano; por lo que hace uso de tecnologías como la inteligencia artificial y las redes neuronales.

La *inteligencia artificial* (IA, en inglés AI o Artificial Intelligence) es una rama de la ciencia de la computación que se ocupa de modelar la conducta inteligente. Los sistemas de IA utilizan algoritmos y modelos para analizar, organizar, procesar y convertir datos. El objetivo es obtener información útil para la toma de decisiones. Una red neuronal es un modelo simplificado que simula cómo los cerebros de los seres vivos, en especial el humano, procesa información.

Las *redes neuronales artificiales* (en inglés, ANN, Artificial Neural Networks) se inspiran en el sistema nervioso y el comportamiento biológico, creando un sistema de interconexión en capas de neuronas artificiales que colaboran para procesar datos de entrada y generar salidas. Como modelo computacional, las RNA utilizan grafos y funciones, conformadas por elementos de proceso (EP o nodos) y conexiones (enlaces). Procesan entradas y generan salidas que ayudan a resolver problemas. En algunos modelos se utiliza memoria local en los nodos o elementos de proceso. Los nodos están conectados entre sí y se agrupan en diferentes niveles que denominados capas; una capa es un conjunto de neuronas cuyas entradas provienen de una capa anterior (o de los datos de entrada en el caso de la primera capa) y cuyas salidas son la entrada de una capa posterior.

Las neuronas de la primera capa reciben como entrada

los datos reales que alimentan a la red neuronal, para el caso de este proyecto la primera capa se compone de las restricciones, las cargas, los detalles y métodos de fabricación y los materiales en el sistema. Es por eso por lo que la primera capa se conoce como capa de entrada. La salida de la última capa es el resultado visible de la red, por lo que la última capa se conoce como la capa de salida. Las capas que se sitúan entre la capa de entrada y la capa de salida se conocen como capas ocultas ya que desconocemos tanto los valores de entrada como los de salida.

Una red neuronal, por lo tanto, siempre está compuesta por una capa de entrada, una capa de salida y puede contener 0 o más capas ocultas.

El objetivo principal de la integración de estas tecnologías al proceso de diseño es ayudar a los diseñadores a explorar una gama más amplia

de posibilidades de diseño que la que es posible manualmente. El método se basa en la construcción de un genotipo del diseño dentro de un sistema CAD paramétrico basado en la historia y, a continuación, en la variación aleatoria de sus parámetros dentro de unos límites predefinidos para generar un conjunto de diseños distintivos. A continuación, los diseños generados se filtran a través de varias envolventes de restricciones que representan la viabilidad geométrica, la factibilidad de fabricación, el costo y otras restricciones relacionadas con el rendimiento, reduciendo así el vasto espacio de diseño a un espacio de diseño viable más pequeño representado por un conjunto de diseños diversos, con la posibilidad de que el diseñador pueda seguir desarrollando estos diseños. El método de diseño generativo impone un mínimo en el proceso de trabajo del diseñador y mantiene la flexibilidad y fluidez necesarias para la exploración creativa del diseño.

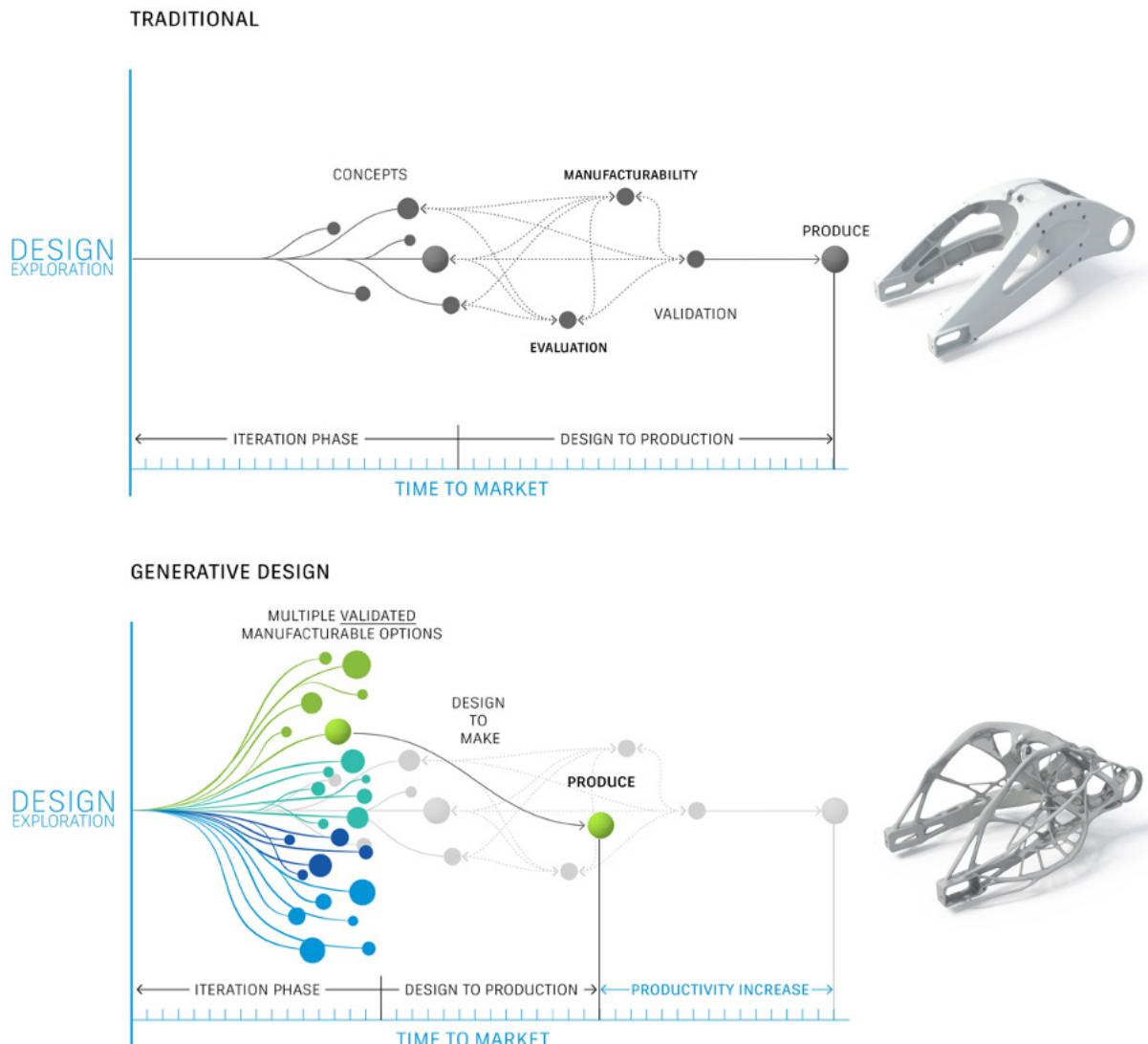


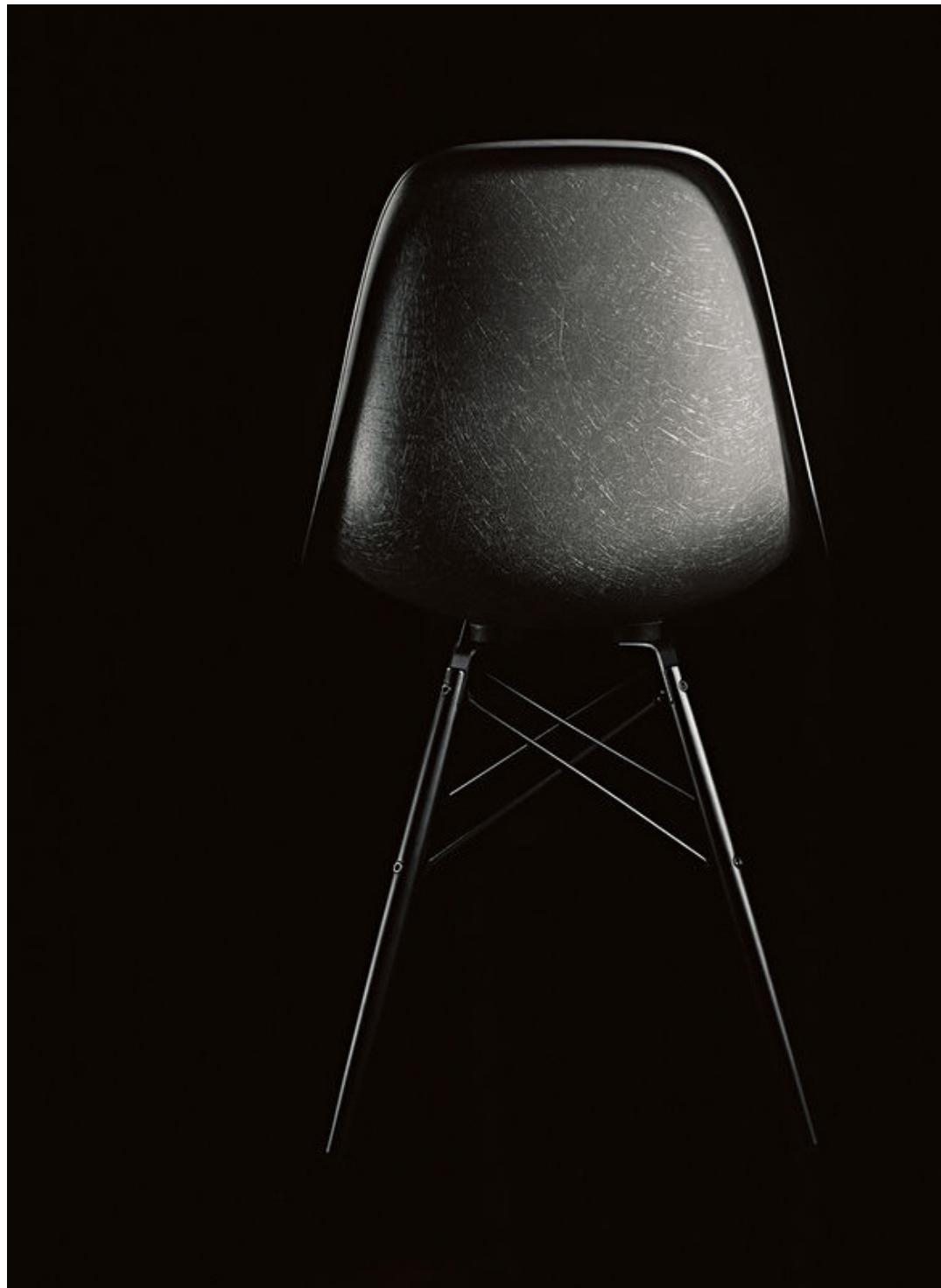
Imagen: Autodesk Generative design in Fusion 360 offers new ways to create and design products, 2019

03

Proceso

Primera parte

Imagen: © Eames Office, LLC; Marc Eggimann; © Vitra Design Museum, Thomas Dix; Cornel Windlin



"Getting the most of the best to the greatest number of people for the least"¹

Charles y Ray Eames

Durante años, Carles y Ray Eames trabajaron sobre la idea de una carcasa de asiento de una sola pieza moldeada para adaptarse a los contornos del cuerpo humano. En la década de los 40, en los albores del diseño paramétrico con miras a la replicabilidad industrial, la búsqueda de materiales alternativos les llevó a la resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio.

En paralelo a esta búsqueda se desarrolló el sistema de unión para la base de madera hilada con traviesas que conectaba se a la carcasa del asiento, lo que permitía completar la topología. Las sillas y bases se ofrecen hasta el día de hoy a los consumidores con múltiples de combinaciones, en colores y formas, haciendo uso de distintos tipos de maderas, como el arce, el pino o el fresno, hilados con alambre de acero para aportar una base sólida y estructuralmente estable.

Este diseño se ha mantenido invariable desde su paso a producción en 1948, cuando Charles y Ray Eames participaron en el "Concurso Internacional de Diseño de Muebles de Bajo Coste" organizado por el Museo de Arte Moderno de Nueva York.

La comercialización de las Fiberglass Chairs en 1950 supuso la introducción de una tipología de mobiliario que desde entonces se ha hecho omnipresente: la silla

multifuncional cuya carcasa puede combinarse con diferentes bases en función del uso. Como respuesta a la enorme popularidad de esta silla, pronto se ampliaron las opciones de bases y colores. Durante la década siguiente, las Fiberglass Chairs se convirtieron en uno de los diseños de muebles más conocidos del siglo XX. (© Eames Office, LLC, 2021)

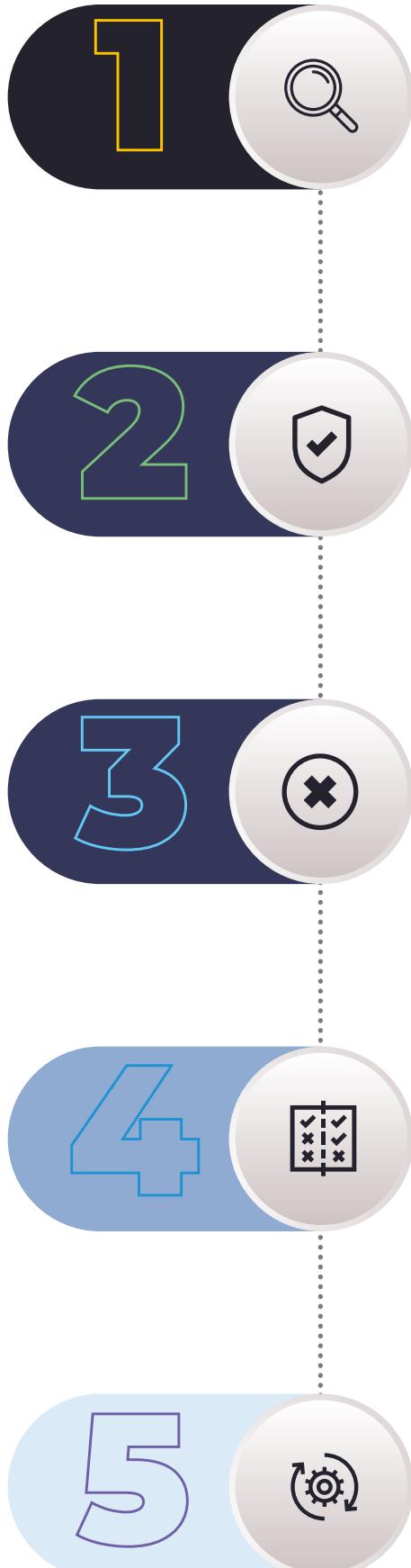
Para el desarrollo de esta primera parte del proyecto se utiliza la parte correspondiente al hilado de acero con miras a diseñar un remplazo que tenga las características estructurales propias de la función, a través de una metodología de diseño generativo, buscando una propuesta formal no definida por el diseñador en primera instancia.

Al tener una base objetual predefinida y ya diseñada, el primer paso para realizar la exploración consistió en modelar en 3D una representación de la silla Eames Plastic Chairs DSW®, y adquirir una unidad física que sirviera como dispositivo de experimentación y comprobación.

¹ Conseguir más de lo mejor para más gente y por menos

Para la configuración de este caso de diseño generativo se deben estudiar y especificar una serie de condiciones, para que este proceso colaborativo tenga éxito los valores de entrada (*input*) deben ser lo más precisos y certeros posibles.

Se establecen cinco consideraciones básicas para la creación de un estudio de caso de diseño.



Identificar

Recopilar información sobre el comportamiento, el problema y observar, en un contexto más amplio, como encaja la pieza que se va a generar. ¿Cómo interactúa la nueva pieza con el conjunto más amplio? ¿Qué tipo de fabricación, montaje u otras consideraciones prácticas están presentes? ¿Hay alguna dinámica en juego (piezas móviles, cargas cambiantes, etc.)? ¿Cuál es el objetivo final? ¿Es la reducción de peso/material, la mejora del rendimiento, la estética o alguna otra mejora métrica?

Conservar

Se inicia con el modelo base existente, ya sea una sola pieza o un conjunto. Se crea la geometría de conservación que toma en cuenta las geometrías de la interfaz (salientes de tornillos, bridas, etc.) y se asignan como nuevos cuerpos que se utilizarán en el proceso generativo.

Obstaculizar

Este también es un trabajo que se realiza en el modelo base, se crean las geometrías de los obstáculos que sean necesarias. Esto puede incluir elementos de fijación (tuercas, pernos, tornillos, pasadores, etc.) y también geometría más complicada como sólidos barridos. Hay que incluir las distancias necesarias para el uso de las herramientas que se harán necesarias para hacer el ensamble.

Condicionales

Se especifican las restricciones, las cargas, los detalles y métodos de fabricación y los materiales en el sistema. Este punto es fundamental para el éxito en la generación de geometrías que cumplan con todas las restricciones y propiedades a las que puede estar expuesta una pieza.

Generar

En este punto se ejecutan los estudios. El proceso se hace a través de servidores AWS para el caso de Autodesk Fusion®, este proceso *online* y *on cloud* aprovecha el poder incremental del aparato tecnológico, y hace uso de servidores en *hub* para multiplicar el flujo de datos procesados.



Imagen: © Eames Office, LLC; Marc Eggimann; © Vitra Design Museum, Thomas Dix; Cornel Windlin



Imagen: Modelado en Autodesk Fusion de la silla Eames Plastic Chairs DSW®, elaboración propia

Para usar el espacio del software que corresponde a la metodología generativa, se comienza con un espacio de diseño que designa un volumen para trabajar. En este caso, al momento de realizar el modelado se omiten las traviesas de acero. Este por tanto corresponderá al espacio definido por el diseñador para que el software pueda realizar la búsqueda formal. Los algoritmos de optimización de la topología eliminarán las partes de este volumen hasta que queda una fracción que cumple con la restricción. Las partes eliminadas vienen determinadas por la relación de carga, fuerzas y parámetros definidos para la función.

En el caso particular del estudio generativo para el remplazo de la parte correspondiente al hilado de acero, se obtienen 490 posibles formas a partir de los inputs, en su mayoría cumplen con los criterios de entrada. Al momento en que se realiza este documento, Autodesk Fusion® tiene funcionalidades en desarrollo o en estado beta, como algoritmos de resolución experimentales, desplazamiento de los límites de las geometrías o motores de forma múltiples, entre otras.

Para la resolución de este caso se emplean materiales predefinidos en el sistema que pueden ser usados en métodos de manufactura aditiva, por ejemplo, el aluminio AISi10mg, el acero inoxidable AISI 304, y otros materiales plásticos como el Orgasol ® Invent Smooth, el PLA o el ABS.



El proceso de optimización de la topología se hace a partir de varios puntos de entrada y arroja distintas soluciones formales, por ejemplo:



Imagen: solución de caso generativo para una silla eames, elaboración propia.

La solución presentada en la figura superior toma en cuenta un punto central como eje de soporte radial; sin embargo, no es la solución más óptima en términos de volumen, factibilidad, diseño y estética.

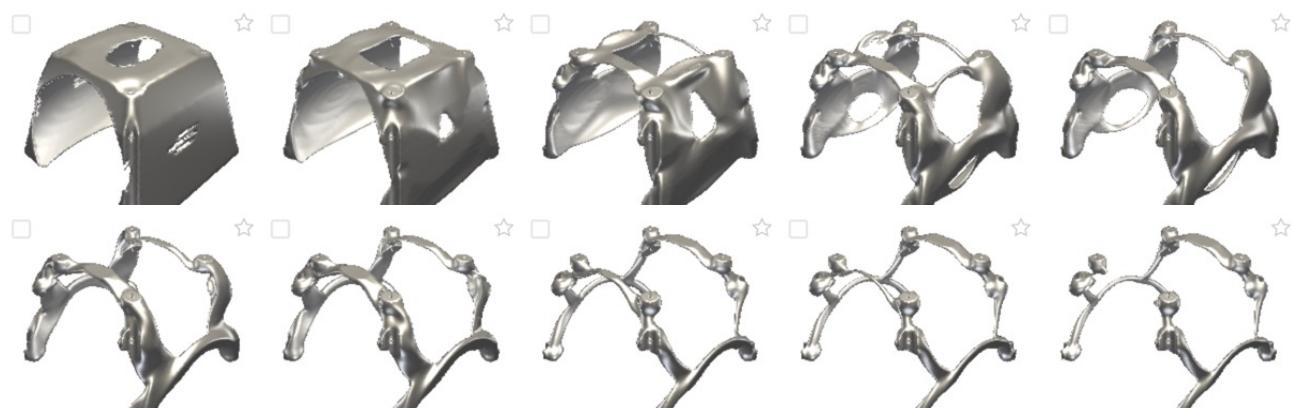
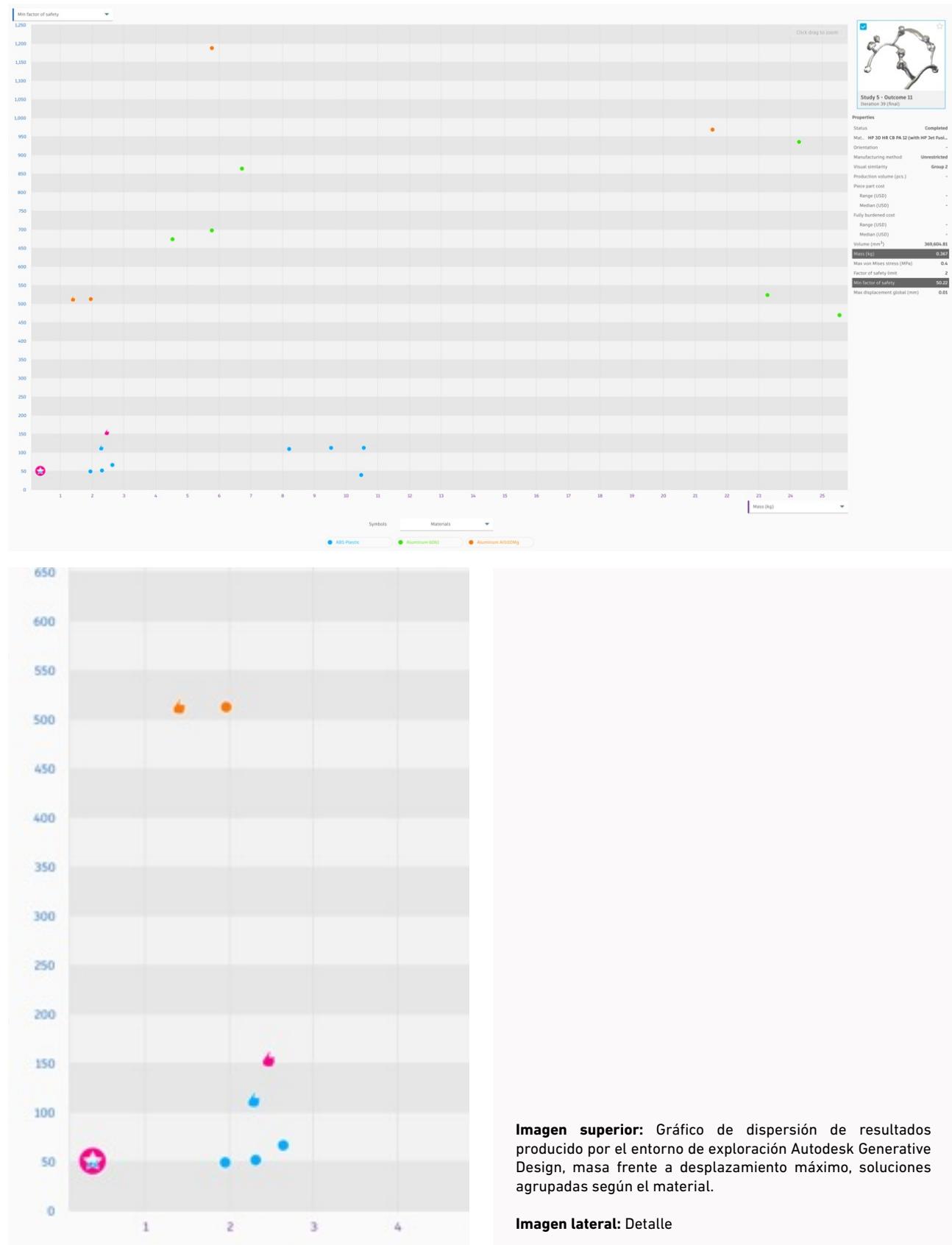
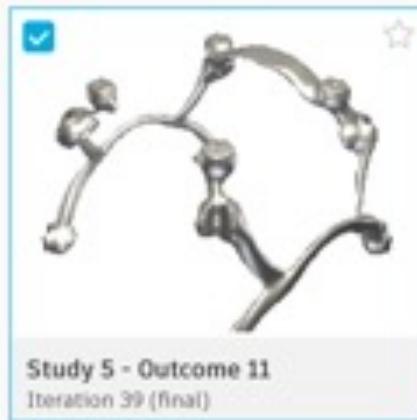


Imagen: solución de caso generativo para una silla eames, elaboración propia.

La solución, presentada en la figura superior, es una de las más optimas de acuerdo con la comparación progresiva de las salidas que ofrece el software en términos de masa, volumen, factor de seguridad mínimo y posible costo de producción de la pieza en el mercado.





Properties

Status	Completed
Mat... HP 3D HR CB PA 32 (with HP Jet Fusi...	-
Orientation	-
Manufacturing method	Unrestricted
Visual similarity	Group 2
Production volume [pcs.]	-
Piece part cost	
Range (USD)	-
Median (USD)	-
Fully burdened cost	
Range (USD)	-
Median (USD)	-
Volume [mm ³]	369,604.81
Mass (kg)	0.367
Max von Mises stress (MPa)	0.4
Factor of safety limit	2
Min factor of safety	50.22
Max displacement global (mm)	0.01

Imagen: detalle de la solución de caso generativo para una silla eames, elaboración propia.

Si bien el software presenta una importante cantidad de opciones, es responsabilidad del proyectista hacer un proceso curatorial de las mismas.

El diseñador tomará en cuenta factores que no están presentes en el proceso técnico de la configuración del caso, como el aspecto estético, la factibilidad de producción por medios locales, la penetración en el mercado, entre muchos otros.

Primer prototipo

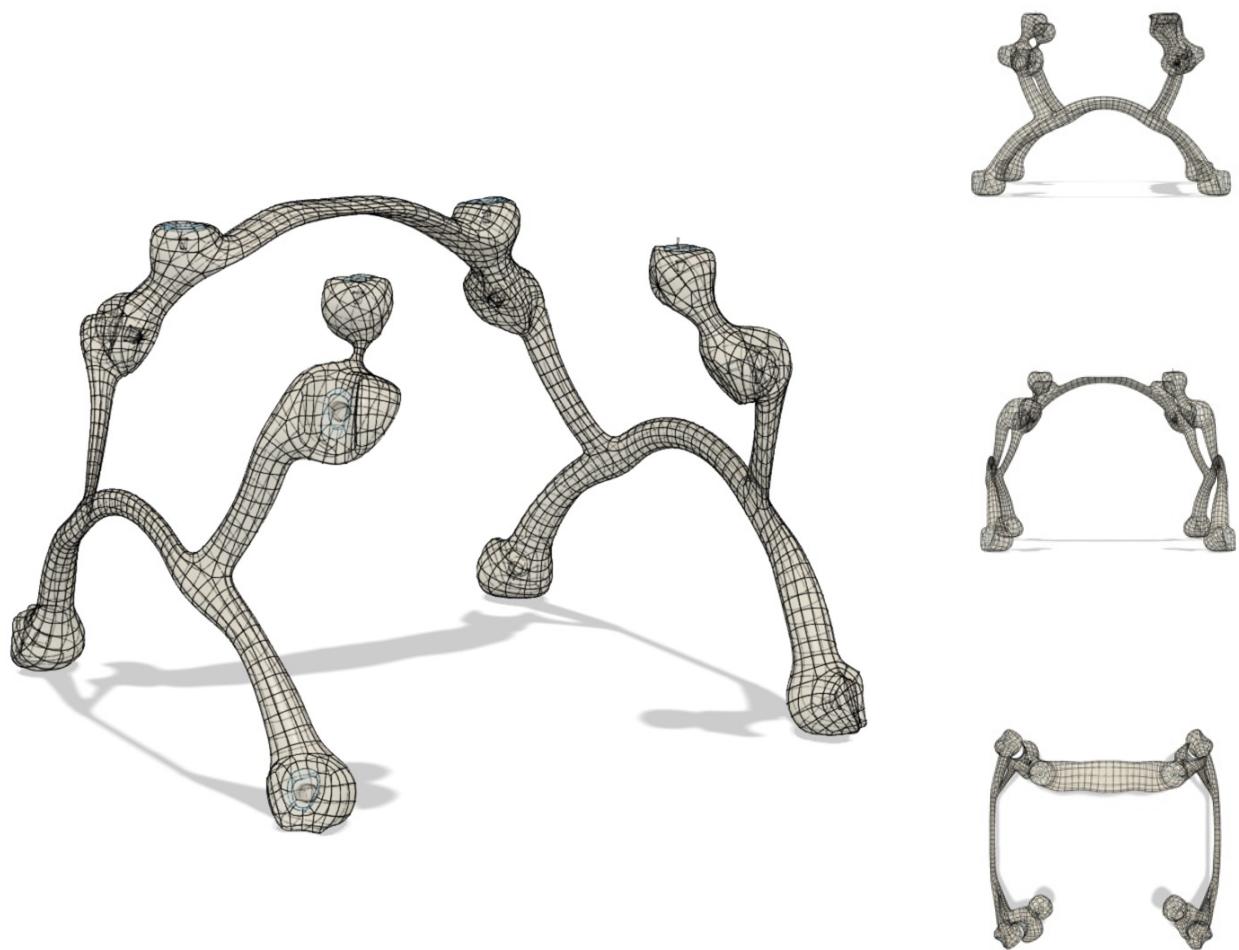


Imagen: prototipado digital generativo para una silla eames, elaboración propia.



Imagen: render para una silla eames, elaboración propia.

El prototipo seleccionado está ideado bajo un método de manufactura aditiva no restrictiva, los parámetros materiales están de acuerdo a las características del ácido poliláctico o poliácido láctico (PLA), tiene un volumen de 369.604 mm³ en impresión sólida, con una masa aproximada de 0.367 kg y un factor de desplazamiento global de 0.01 mm.

Para este caso puntual se encuentra valor en la creación topológica autónoma, a partir del modelado generado se proyecta una visualización en 3D del elemento en conjunto con la totalidad de la silla, sin embargo por una restricción en el volumen de la impresora 3D se prepara una nueva iteración.

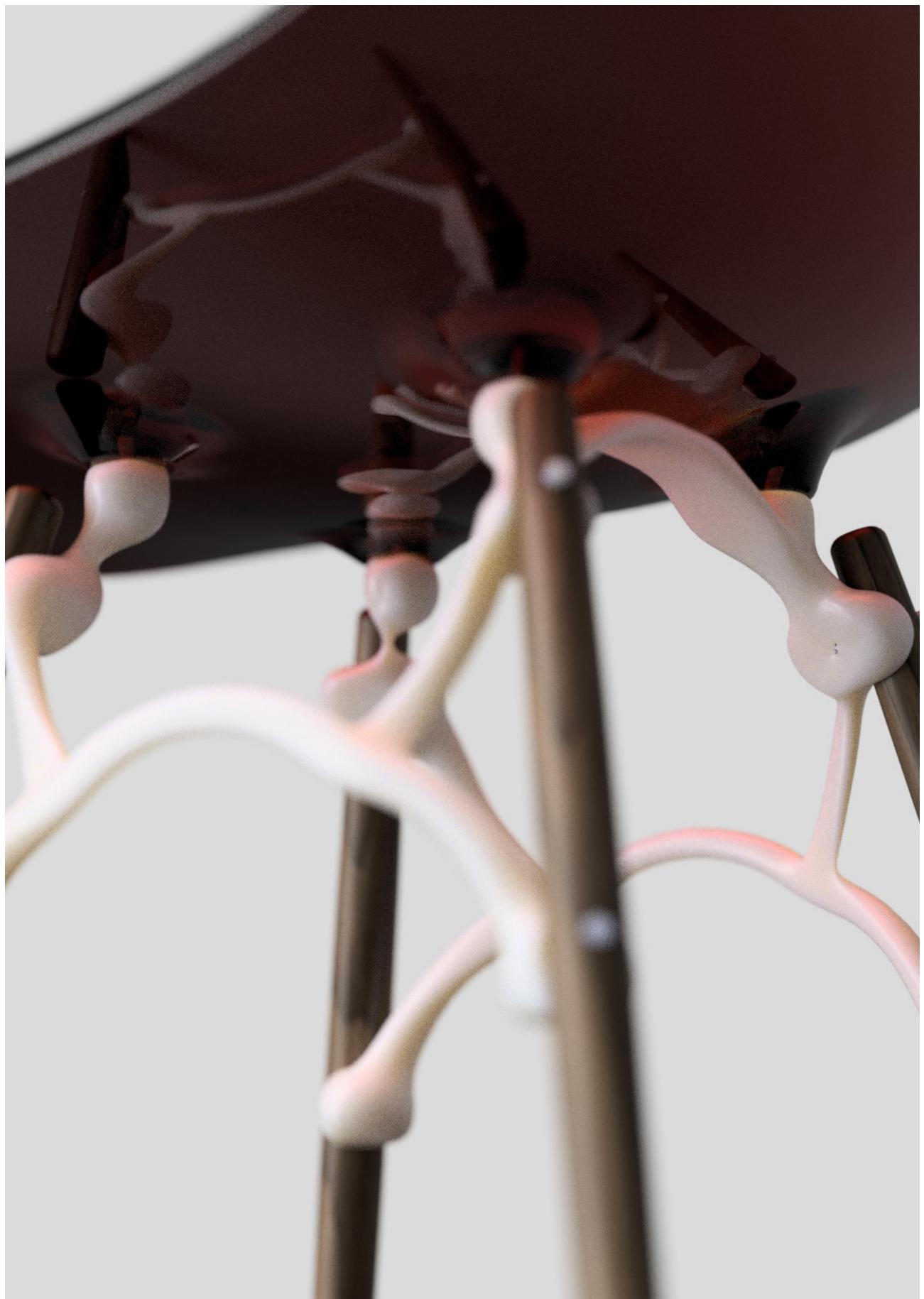


Imagen: render para una silla eames, elaboración propia.

Segundo prototipo

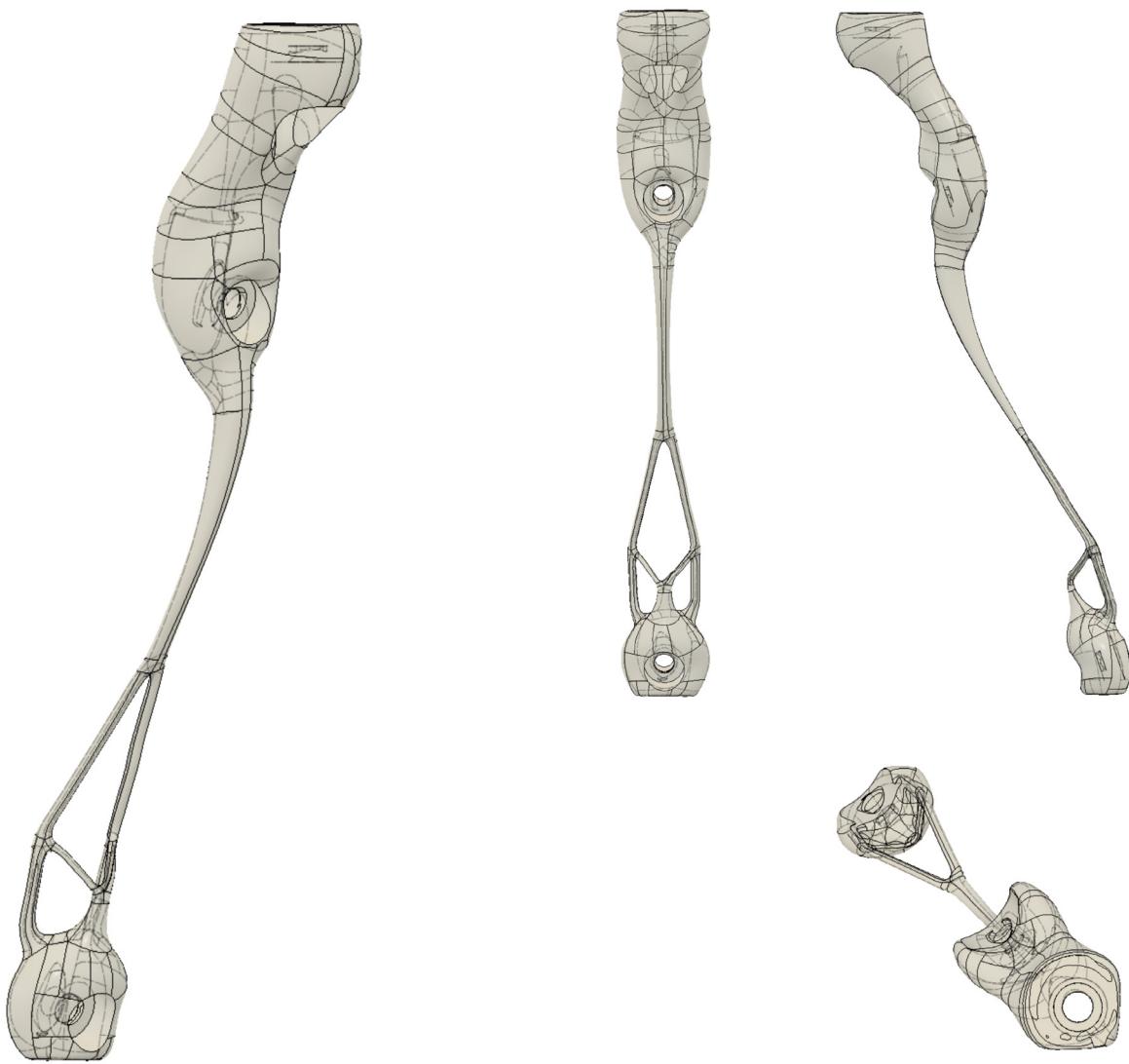


Imagen: prototipado digital generativo para una silla eames, elaboración propia.



Geometría de conservación

Generalmente corresponde a los espacios de conexión y toma en cuenta las geometrías de la interfaz con otros cuerpos.

Espacio para obstaculizar

Corresponde a todos los espacios en los que la geometría por generación no puede ingresar, también toma en cuenta las geometrías de la interfaz.

Imagen: render para una silla eames, elaboración propia.

Para esta iteración se genera un caso de diseño por cada uno de los puntos de soporte (patas), con la finalidad de encontrar un elemento individual, que soporte las cargas, mantenga las restricciones y tenga un proceso agresivo de optimización topológica.

El proceso finaliza con la propuesta de un elemento que se ajusta a los requerimientos intrínsecos y extrínsecos, es replicable por medio de manufactura aditiva, sin embargo, se proyecta en acero inoxidable AISI 304, ya que de acuerdo con el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore , el acero impreso en 3D es tres veces más resistente que el acero fabricado con métodos tradicionales, y estas variables son tenidas en cuenta al momento de hacer la simulación, y por sus altas capacidades de carga, resistencia y solidez el software recomienda ese uso material/forma.

Al no contar con una impresora laser para polvo de acero inoxidable AISI 304, se valida a través de una impresión en PLA, y se toma en cuenta la variabilidad en el soporte de las cargas.



Imagen: render para una silla eames, elaboración propia.



Imagen: impresión de diseño genrativo en PLA, elaboración propia.

Imagen: impresión de diseño genrativo en PLA, elaboración propia.





Imagen: piezas pre-armado, elaboración propia.

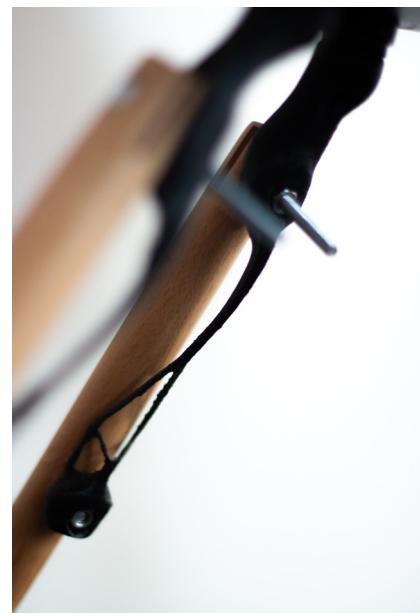
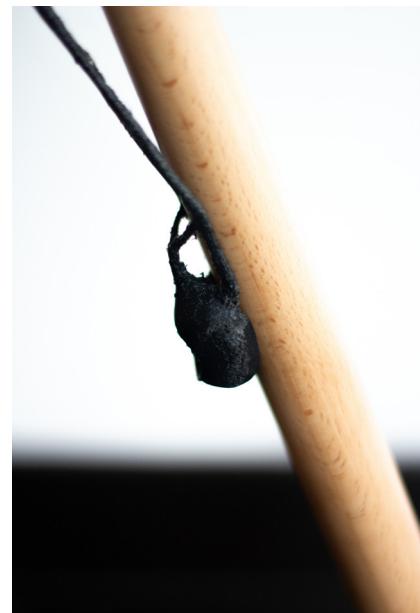


Imagen: ensamble de las patas, elaboración propia.



Imagen lateral: detalle de la patas emsambladas y aseguradas al asiento, elaboración propia.

Imágenes inferiores: detalles de la patas emsambladas y de los puntos de soporte, elaboración propia.



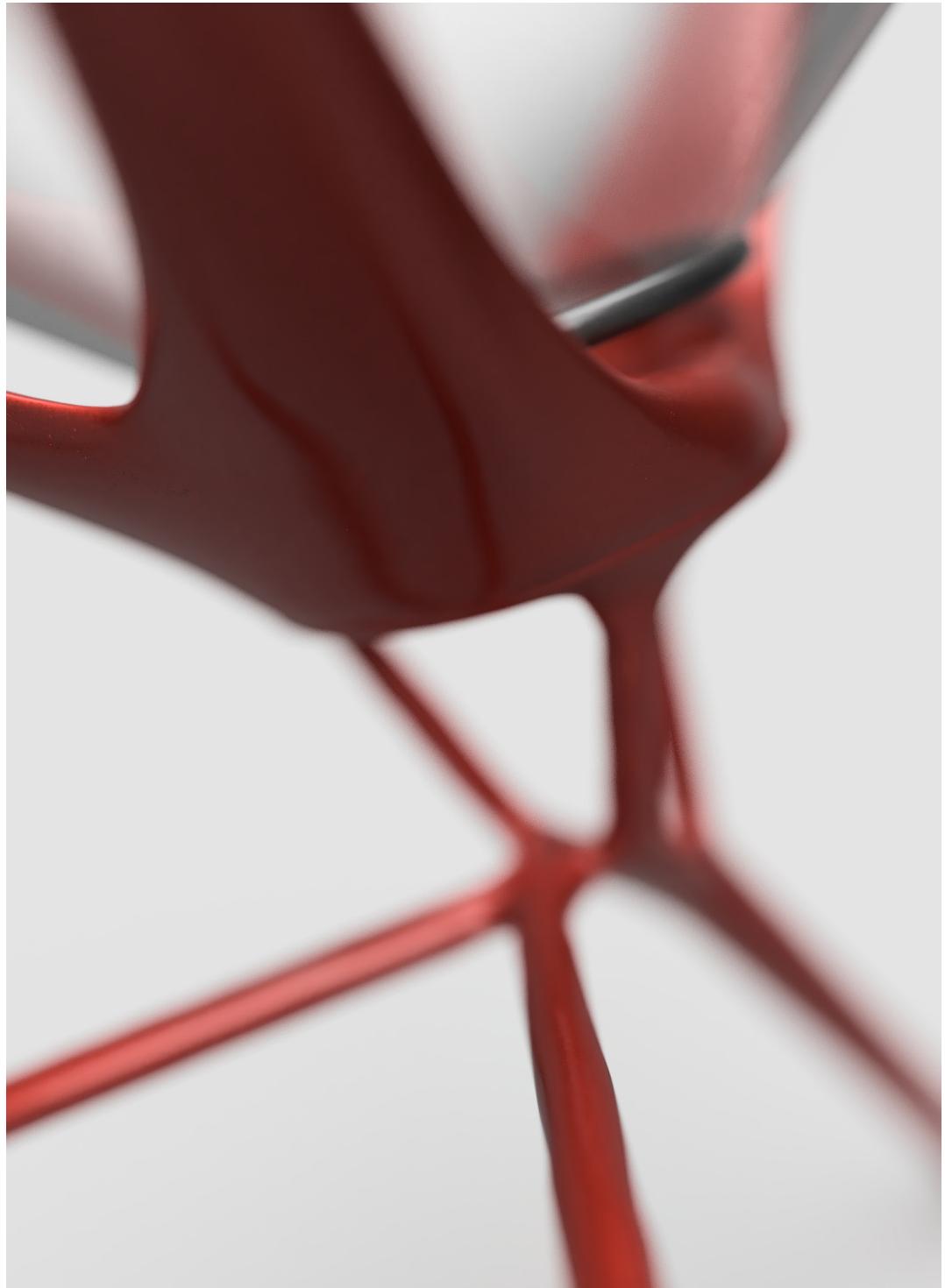






Proceso Segunda parte

Imagen: © Camilo Ayala



*Sedie[^] e ottoman**

Mobiliario tradicional re-generado por la metodología de diseño generativo

Para la segunda parte de este proyecto se toma La silla Acapulco, creada por los artesanos del puerto de esta ciudad costera con la finalidad de proporcionar descanso a los turistas. Su diseño invita a recostarse para admirar la bahía y olvidarse del paso del tiempo.

La bahía de Acapulco se convirtió en la década de los años 50 en un destino turístico para el turismo norteamericano y un refugio de las grandes estrellas de Hollywood: la familia Kennedy, Elvis Presley, Elisabeth Taylor y John Wayne, entre otros. Este auge en la actividad turística impulsó la creación de mobiliario destinado al disfrute y el descanso, la morfología está compuesta partir de un armazón metálico con acabado electrostático mate, y el asiento se forma gracias a un entretrejido por tensión, que conforma una trama fresca y permeable, evitando el calor sofocante del verano Mexicano y emulando las antiguas técnicas de tejido Maya.

La cualidad ergonómica de la silla Acapulco encuentra su antecedente en otro objeto de descanso mexicano: la hamaca, conformada por una red que se ajusta al cuerpo y deja pasar el aire. Los artesanos acapulqueños rescataron esta característica y la tradujeron en un colorido diseño que unifica la tradición con la innovación, la comodidad con la estética.

Con un respaldo ancho, ligeramente inclinado, la silla Acapulco se disfruta mejor al recargar por completo el peso del cuerpo sobre la espalda y relajar las piernas. El peso no es un problema: debido a la resistencia de sus materiales y a la fuerza del entretrejido, puede soportar más de 100 kilos.

Este tejido, en colores vivos o pastel, está fabricado a partir de fibras naturales, cuerda de rattán sintético, PVC o vinilo, lo que facilita un diseño ergonómico gracias a la elongación y fácil adaptación al cuerpo, y se convierte en un clásico reflejo de la vida en el puerto, así como en uno de los diseños de sillas más reconocidos del siglo XX, vinculanose al lujo, sofisticación y las vacaciones.

[^] (It) Sillas, Del lat. sella., asiento individual con patas y respaldo.

* (En) Otomana, adj.-s. Turco, cama a modo de sofá, sin respaldo ni brazos, que no tiene cabecera.

Su diseño es sorprendentemente sencillo. Se compone por una estructura circular sólida y un entrelazado de cuerdas que cumplen una doble función, amoldarse al cuerpo y proporcionar frescura.



Imagen: © La Silla Acapulco 2020, <https://www.lasillaacapulco.com>

Gracias a su lenguaje simple y característico, de esta silla se han generado infinidad de versiones, y al no tener copyright, y no existir planos originales de diseño, ni fabricante oficial, se encuentran en el mercado gran cantidad de productores con un alto número de variaciones. Los modelos más conocidos son la silla Acapulco, de diseño ovalado y la silla Condesa, la cual tiene un respaldo más redondo y ha tenido diferentes reediciones, e incluso ha permeado la cultura material del caribe latinoamericano, con un énfasis especial en las ciudades costeras de Colombia.

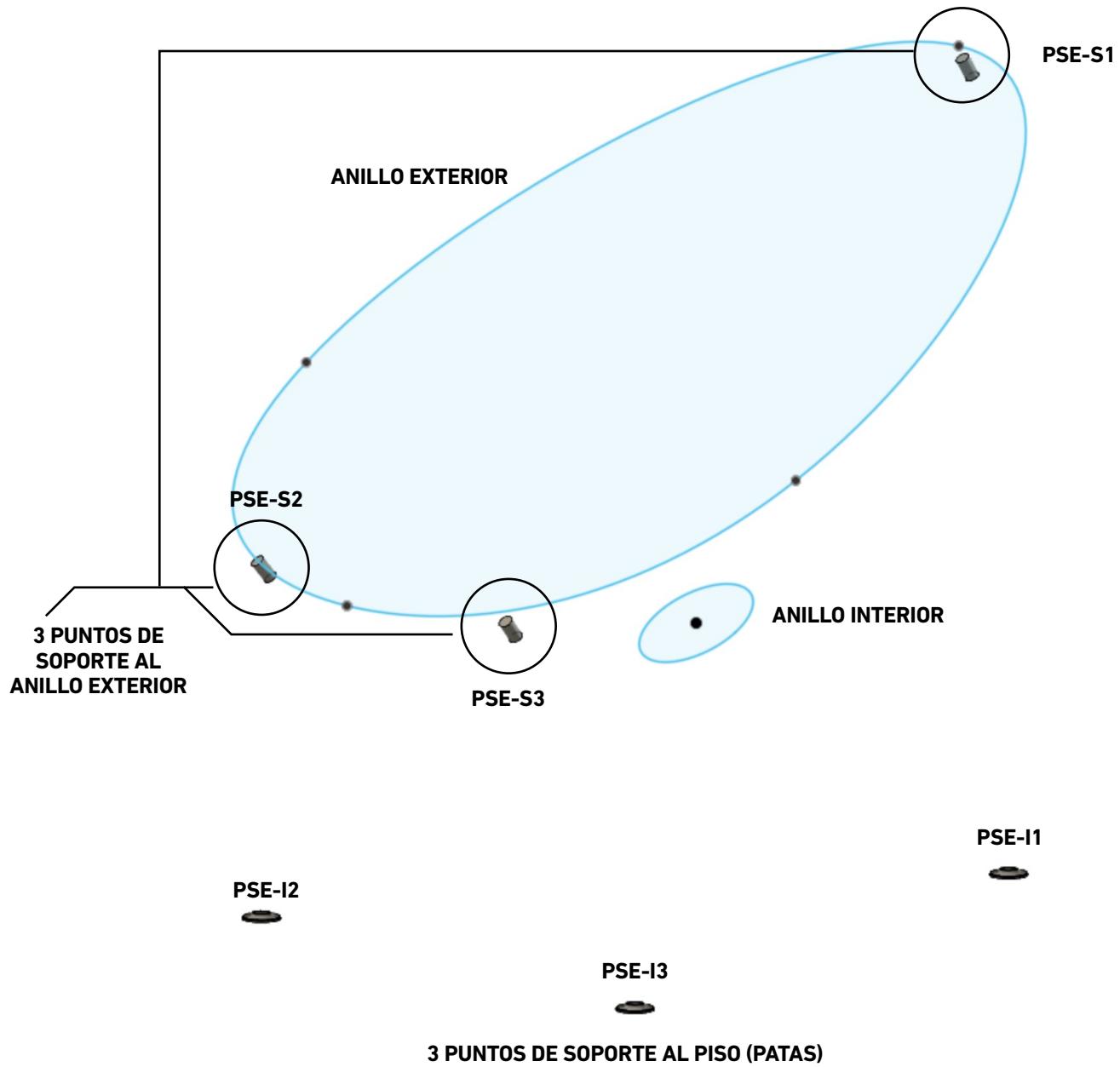


Sedie

Composición estructural

La silla tiene 3 puntos de soporte que conectan el anillo exterior con la estructura intermedia, y esta a su vez está soportada en tres patas.

Por la variación de topologías la estructura de refuerzo inferior puede tener múltiples morfologías.

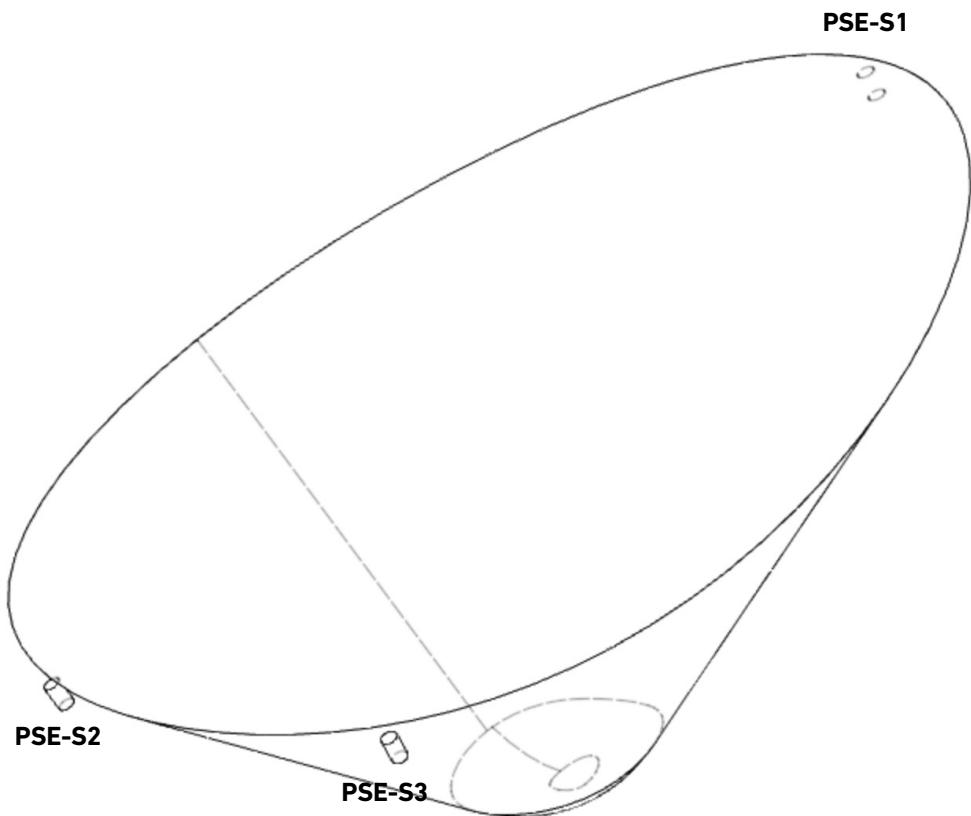


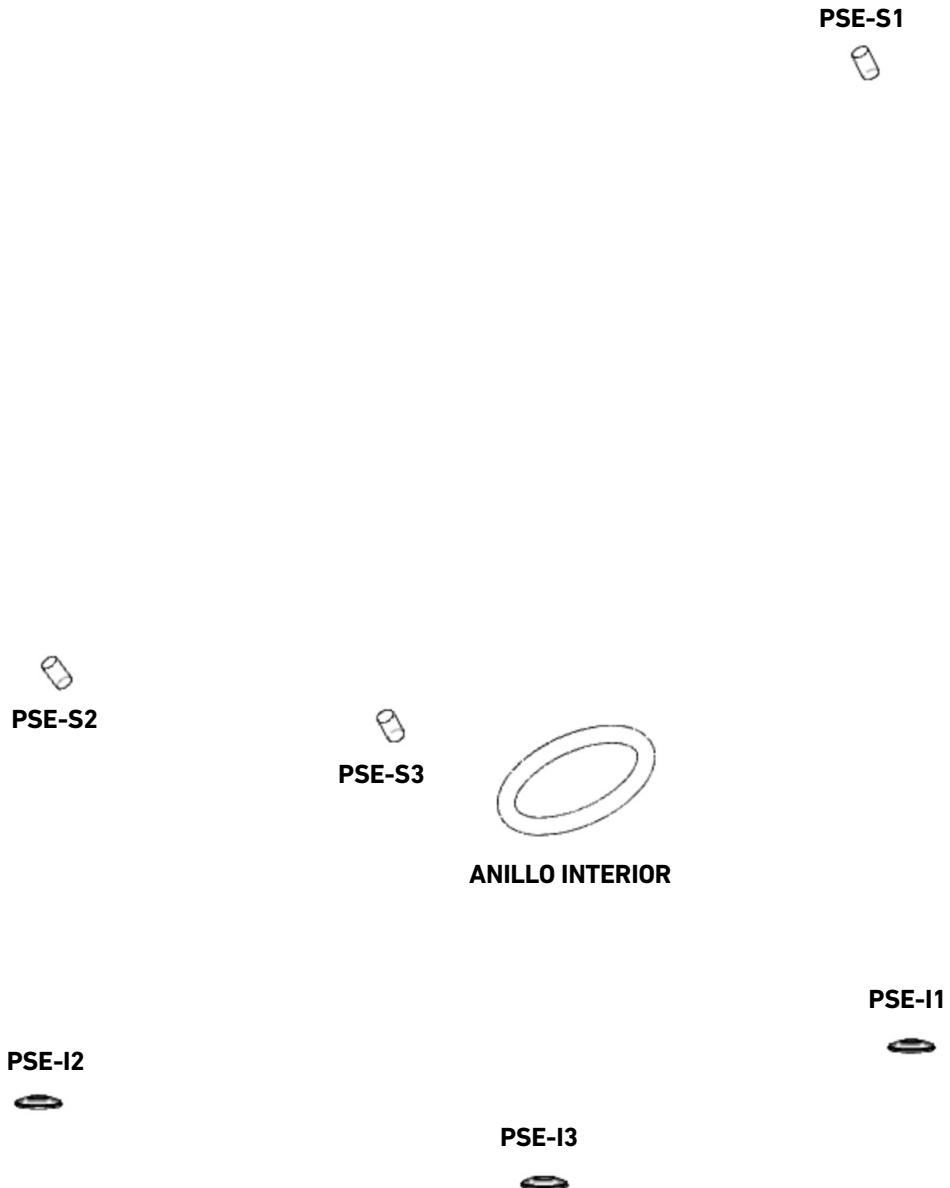
Resumen estructural

Análisis de morfología

La silla se construye a partir de una forma cónica entre los puntos de soporte estructural superiores (PSE-s), que se une a través de varilla de acero con los puntos de soporte estructural inferiores, al suelo (PSE-i).

La forma cónica será incluida en el estudio generativo por ser parte de la morfología inicial





Identificación y modelado de regiones a preservar

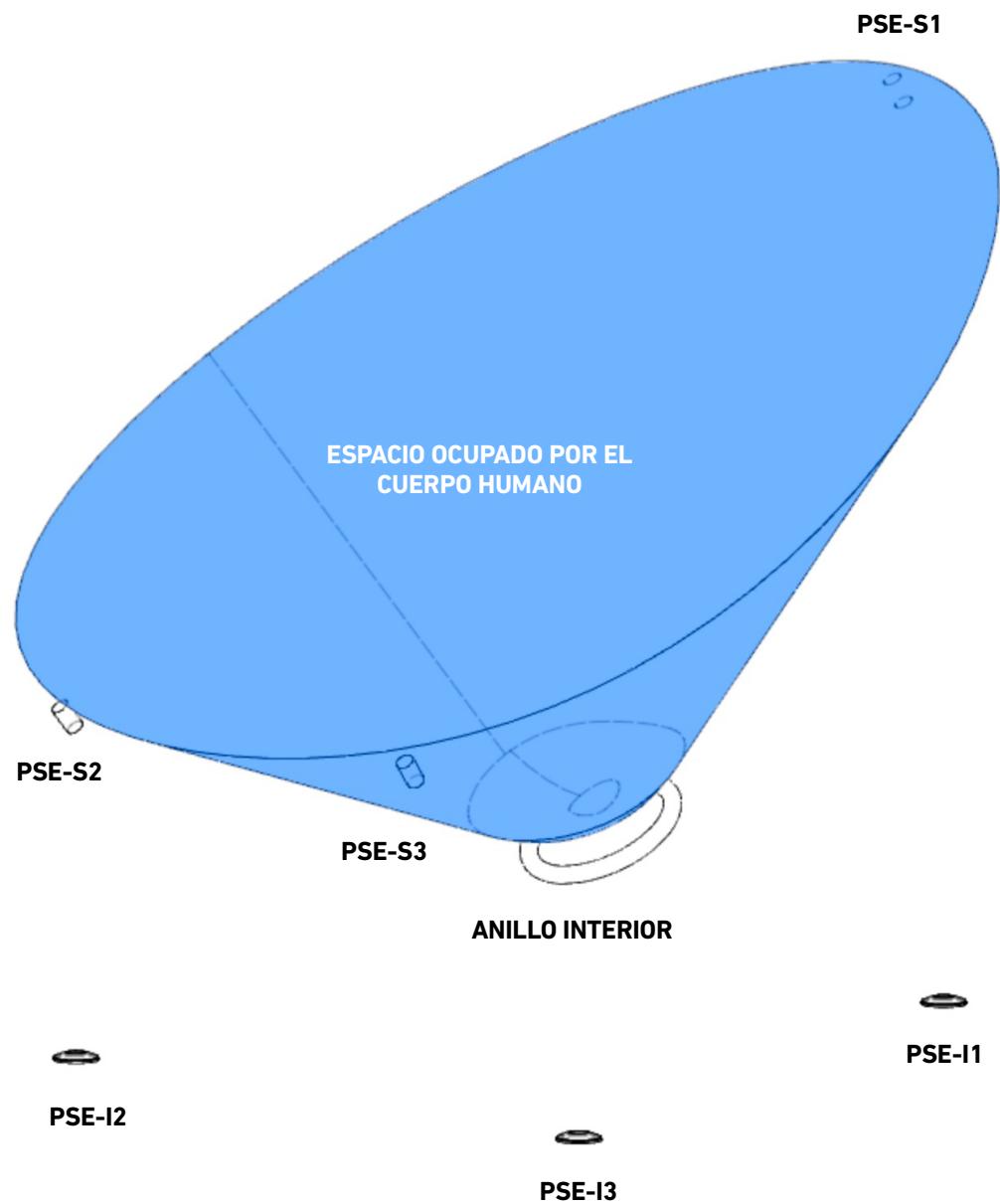
Para la generación de un caso viable de diseño generativo se identifican:

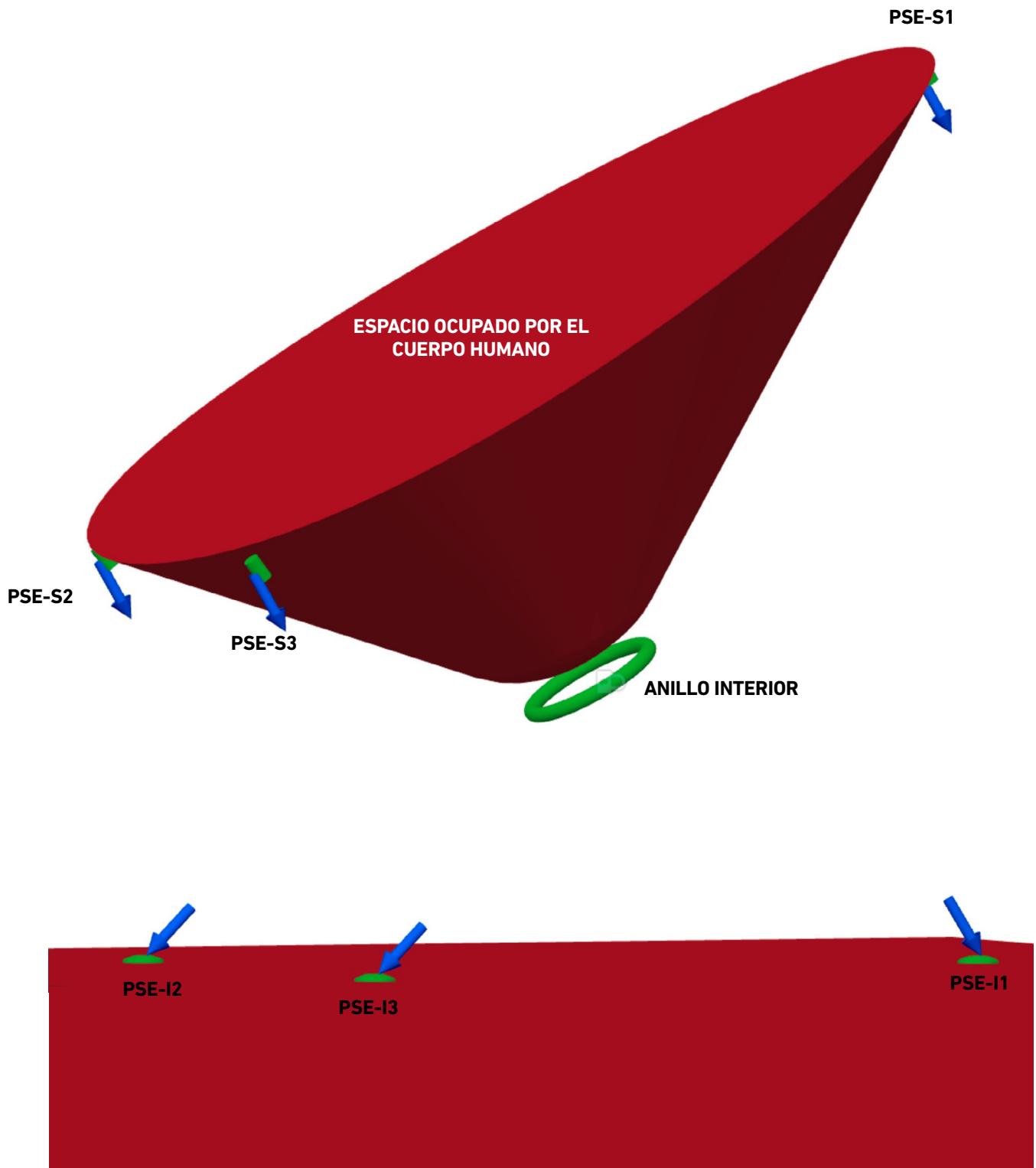
Regiones a preservar

- 3 puntos de soporte superior
- 3 puntos de soporte inferior
- Anillo central como punto de unión estructural

Identificación y modelado de obstáculos en la topología

Se identifica una región a obstaculizar correspondiente al espacio que ocupa el cuerpo humano cuando hace uso de la silla

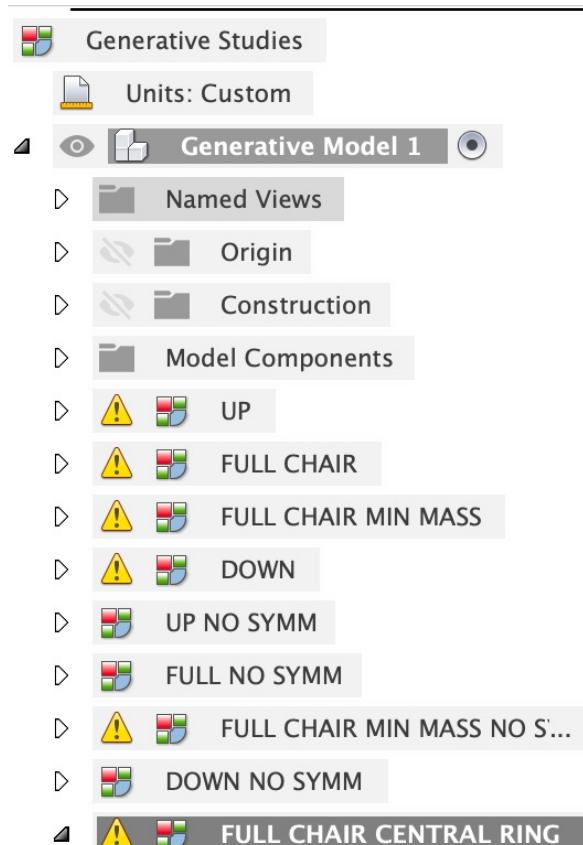




Configuración de caso de diseño generativo

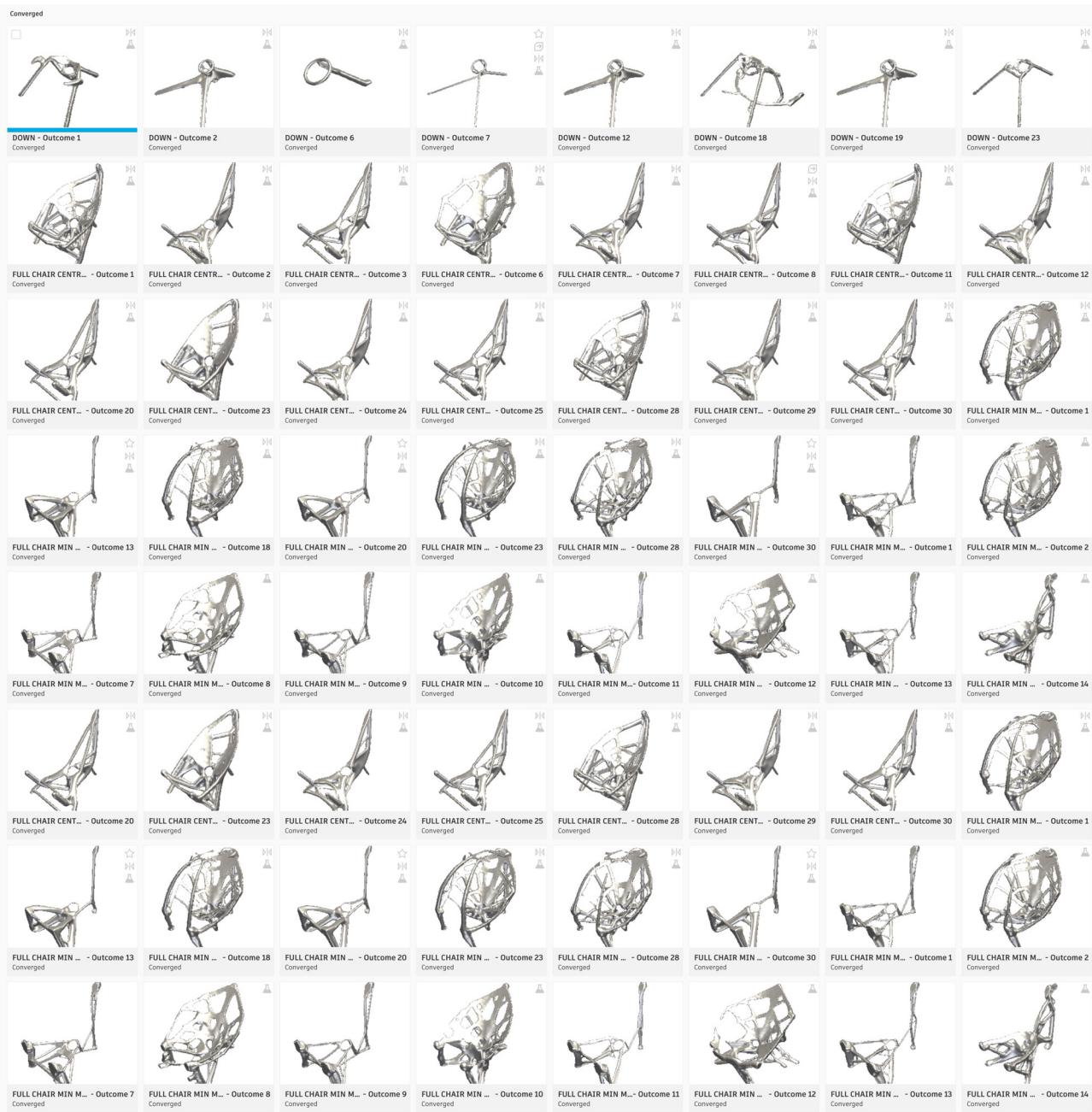
A partir de las topologías definidas se configuran:

- Zonas de obstáculos
- Zonas a preservar
- Restricciones
- Condiciones
 - Estructurales
 - De carga
- Criterios de diseño
- Métodos de fabricación
- Materiales para análisis



Para este diseño en concreto se realizó una configuración de caso distinta para:

1. los 3 puntos de soporte superior y el anillo central como punto de unión estructural
2. los 3 puntos de soporte inferior y el anillo central como punto de unión estructural
3. la totalidad de los puntos



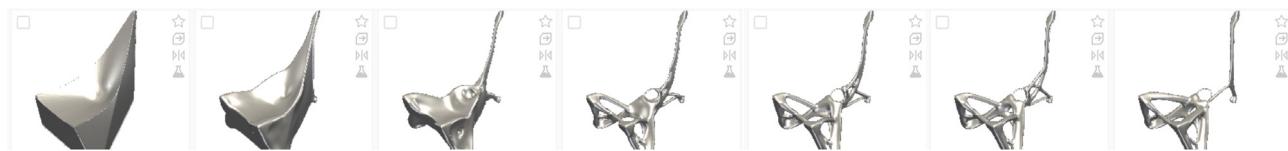
Revisión y selección de un resultado

A partir de los inputs iniciales el software propone 362 opciones

- 1. 141 convergencias**
- 2. 188 completadas**
- 3. 33 fallidas**

Proceso de optimización

Estudio seleccionado para la totalidad de los puntos



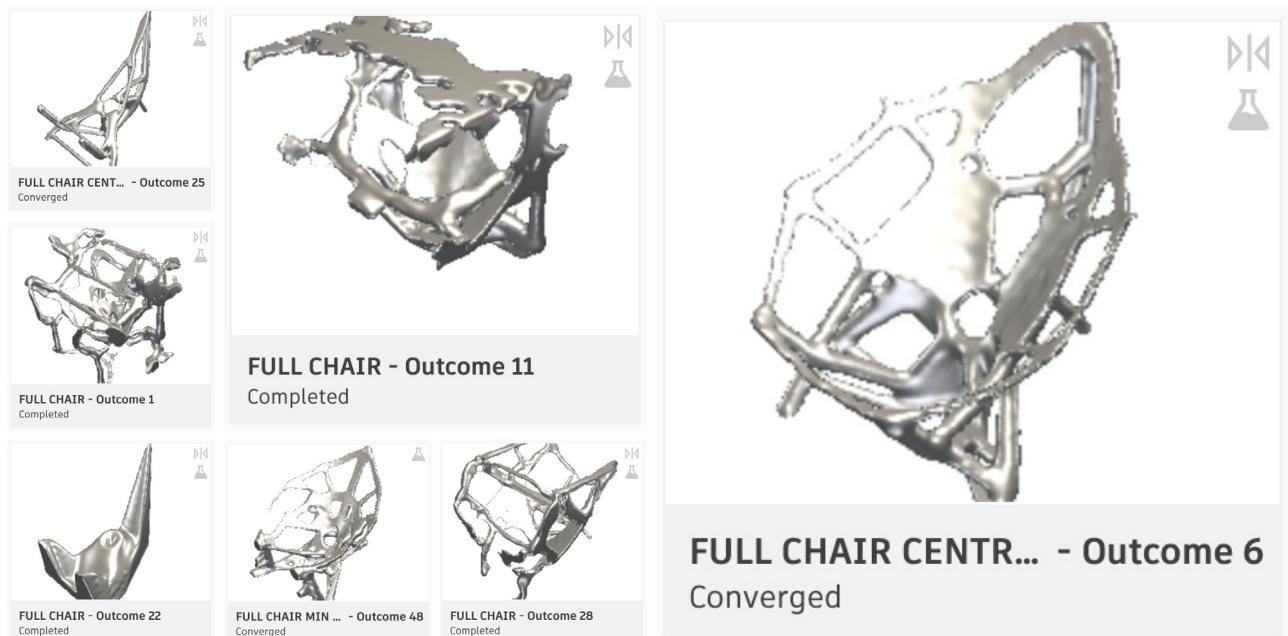
Estudio seleccionado para la totalidad de los puntos

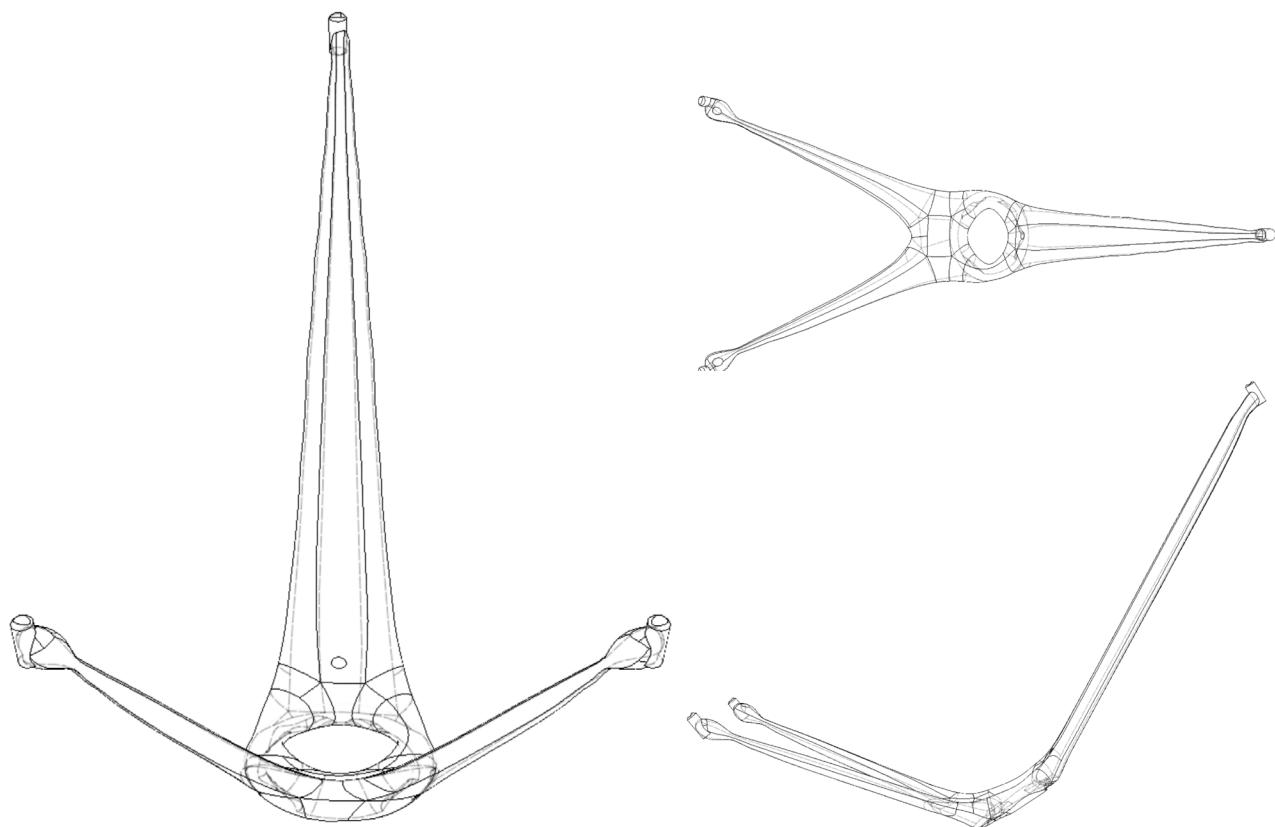


Estudio seleccionado para la totalidad de los puntos



Otros resultados experimentales



**PSE-S1****PSE-S2****ANILLO INTERIOR****PSE-S3**

Resultado pos procesado para los 3 puntos de soporte superior y el anillo central como punto de unión estructural

El resultado se selecciona a partir de una proyección de factibilidad procesual

La forma cumple con los requisitos de tensión y fuerzas de acuerdo con la simulación

La forma se generó a partir de la experimentación logarítmica proporcionada por el software en fase experimental

El proceso que se debe seguir para la producción es la fabricación por adición.

El volumen de la forma es de 1.506,000 mm³

El peso total aproximado es de 4.3 kg si la fabricación se realiza en acero inoxidable por impresión 3D

Resultado pos procesado de soporte inferior y el anillo central como punto de unión estructural

El resultado se selecciona a partir de una proyección de factibilidad procesual

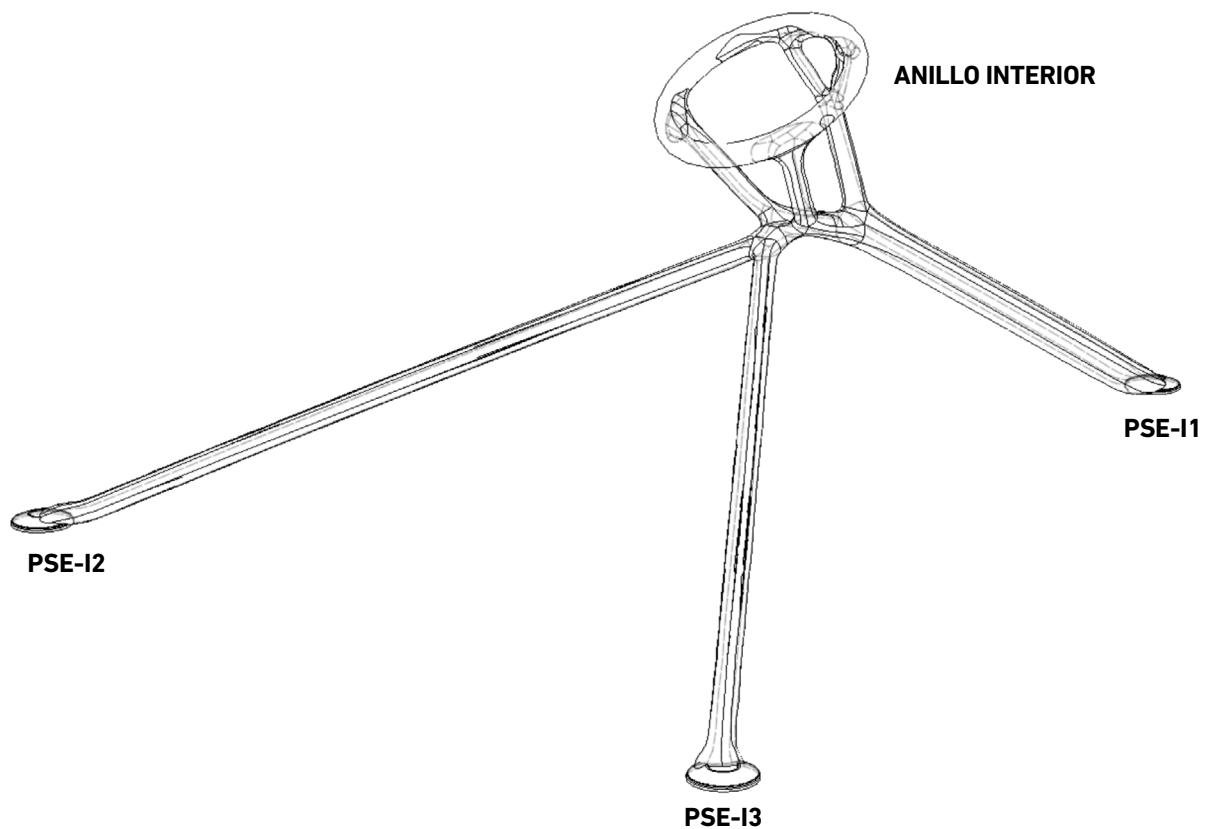
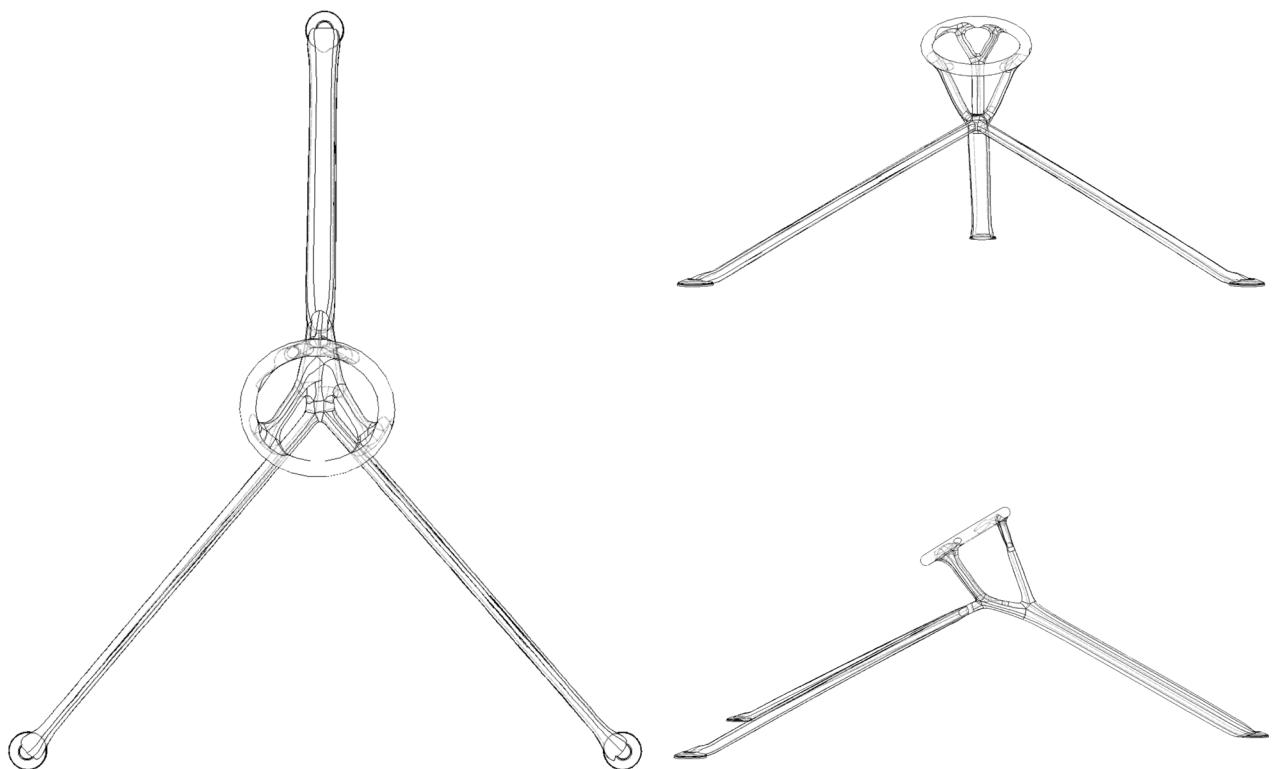
La forma cumple con los requisitos de tensión y fuerzas de acuerdo con la simulación

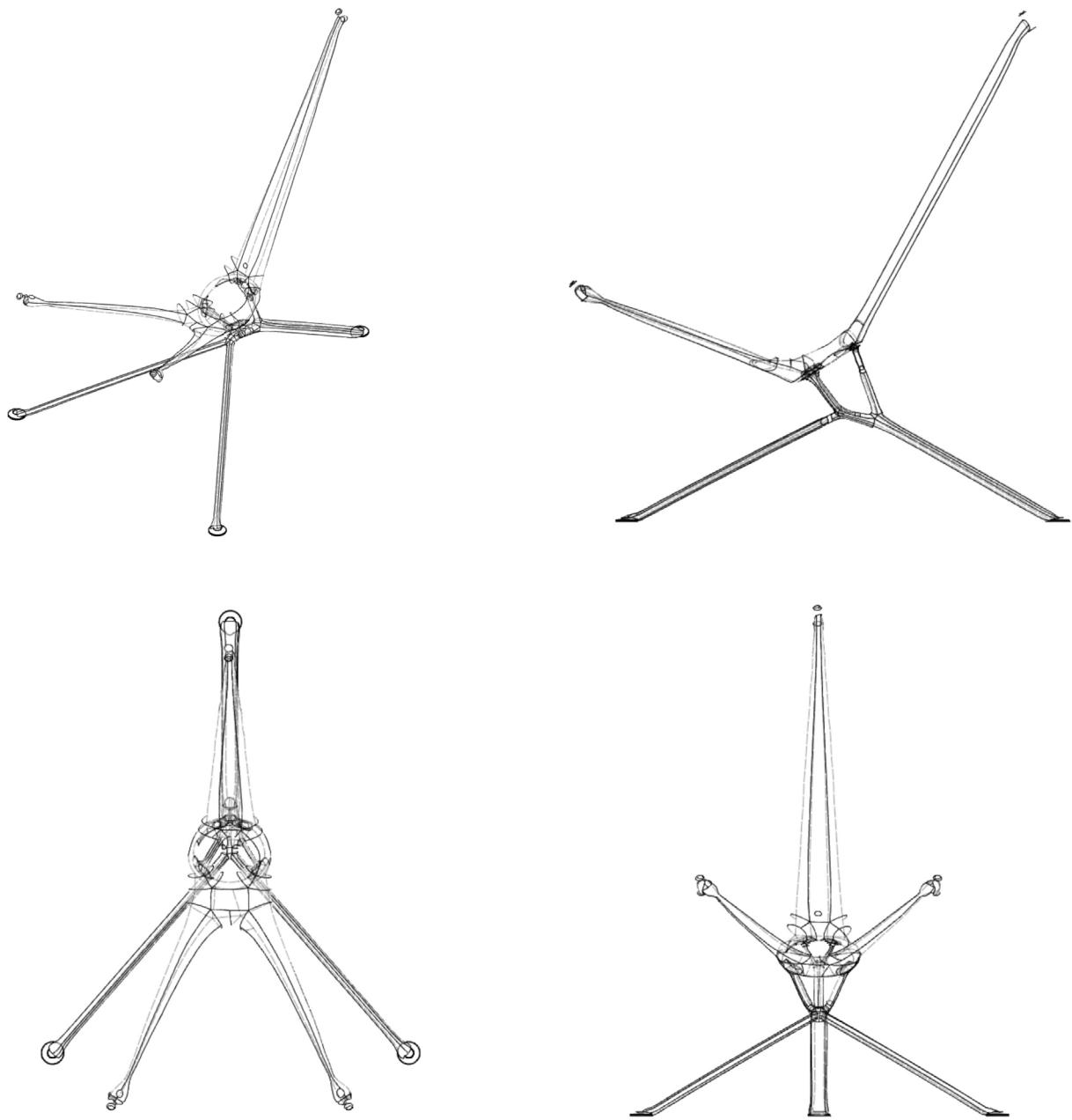
La forma se generó a partir de la experimentación logarítmica proporcionada por el software en fase experimental

El proceso que se debe seguir para la producción es la fabricación por adición.

El volumen de la forma es de 530,495.6 mm³

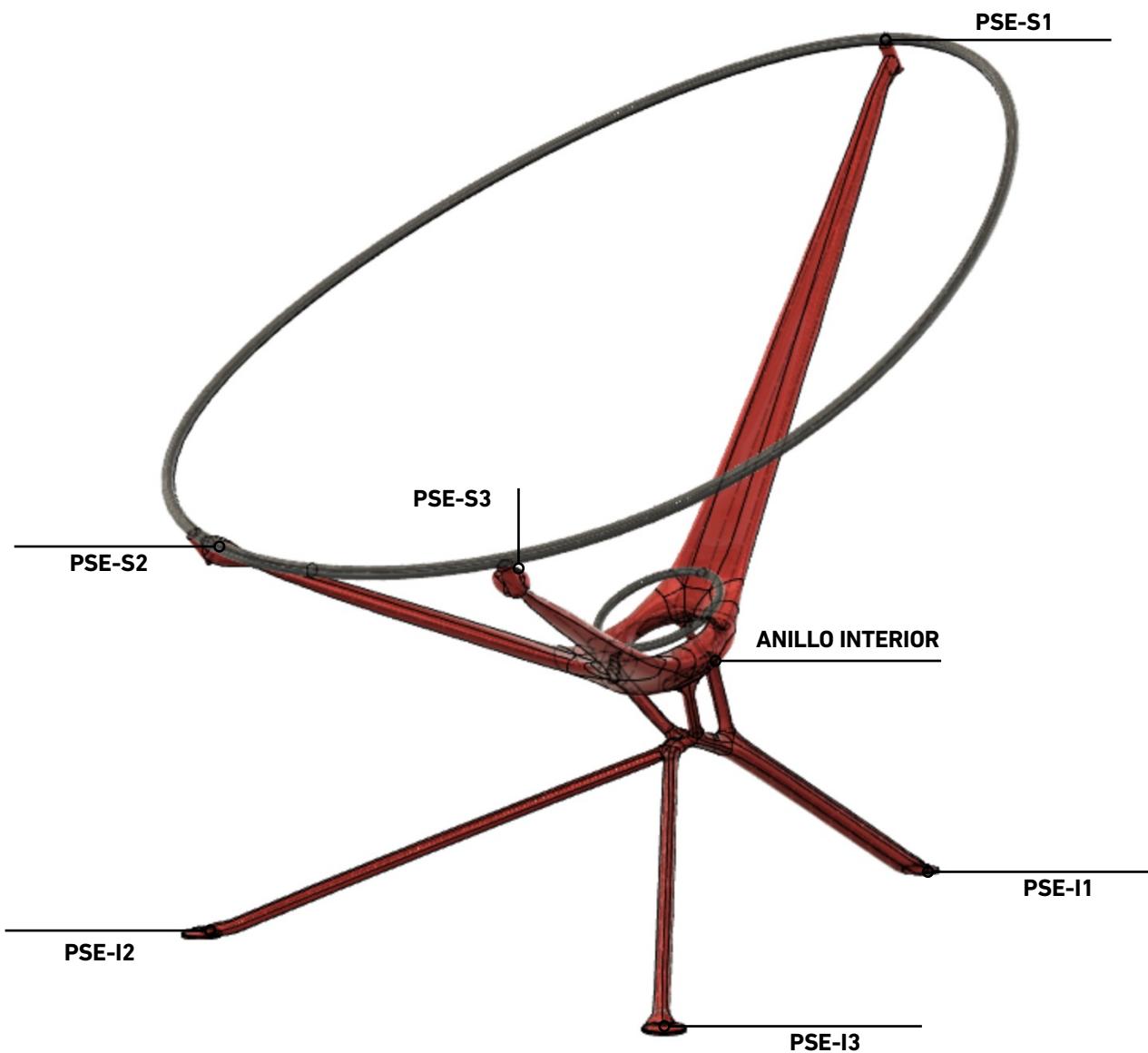
El peso total aproximado es de 4.2 kg si la fabricación se realiza en acero inoxidable por impresión 3D





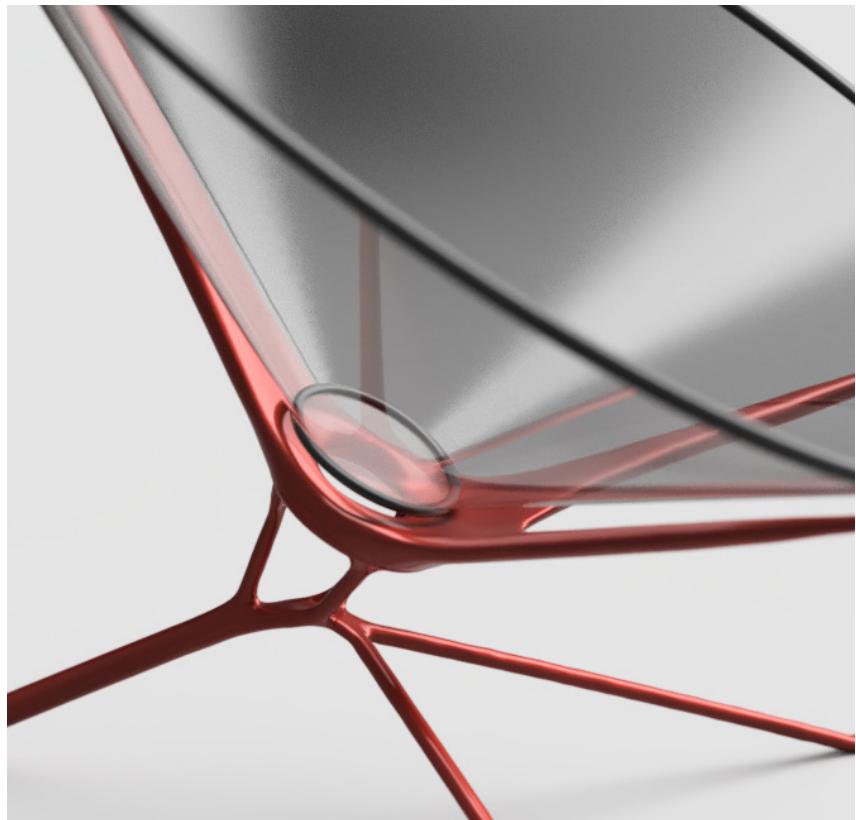
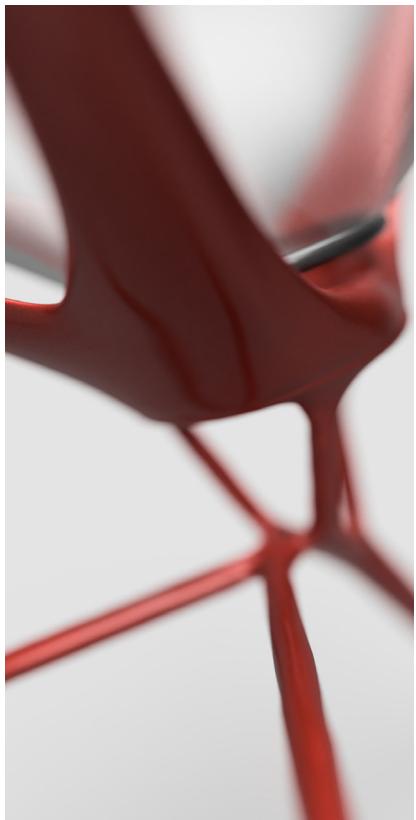
Unión del soporte inferior y superior, y adición de los anillos de la composición morfológica

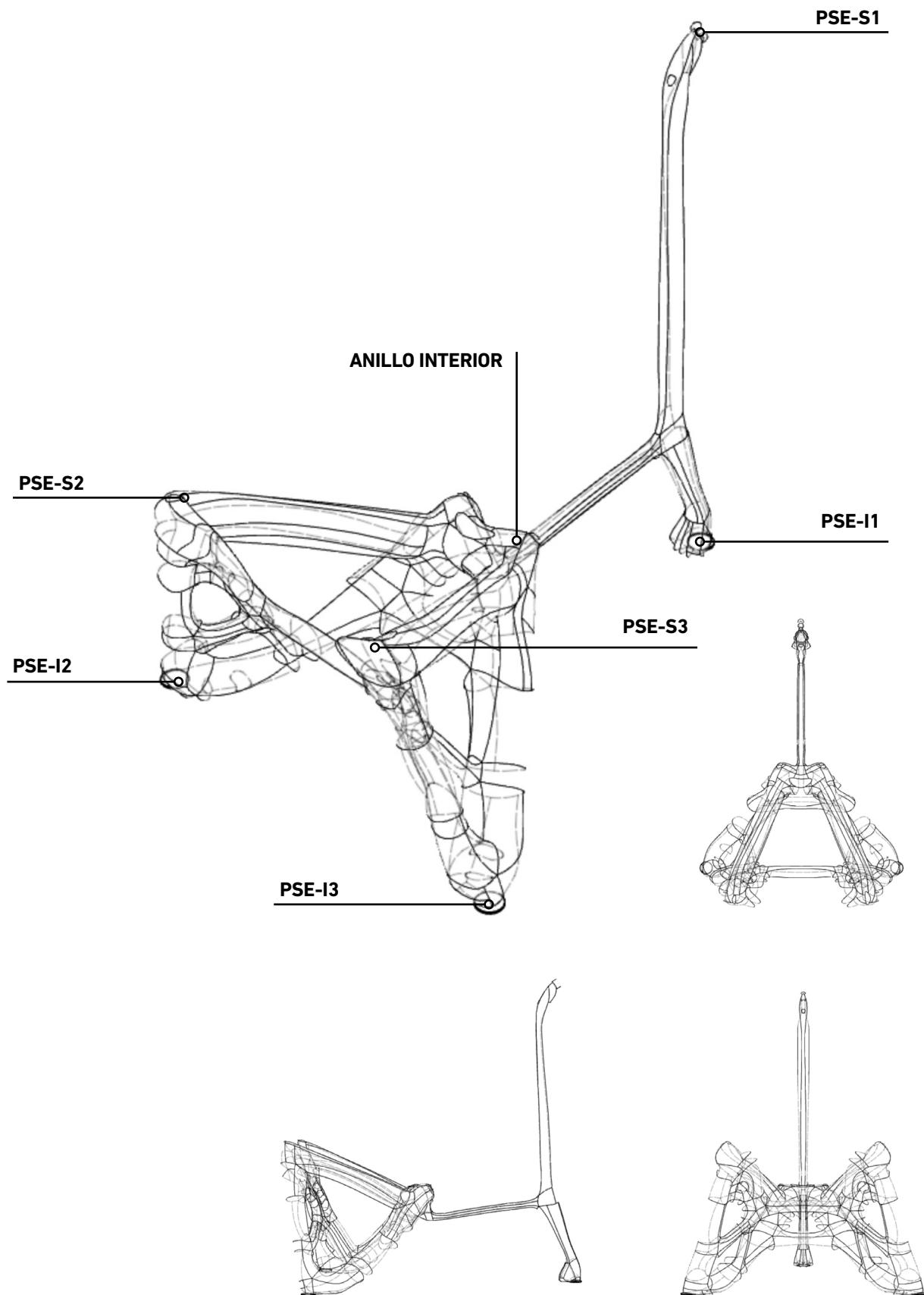
Tercer prototipo





Visualización





Resultado pos procesado seleccionado para la totalidad de los puntos

El resultado se selecciona a partir de una proyección de factibilidad de producción por técnicas de armado a partir de planos seriados

La forma cumple con los requisitos de tensión y fuerzas de acuerdo con la simulación

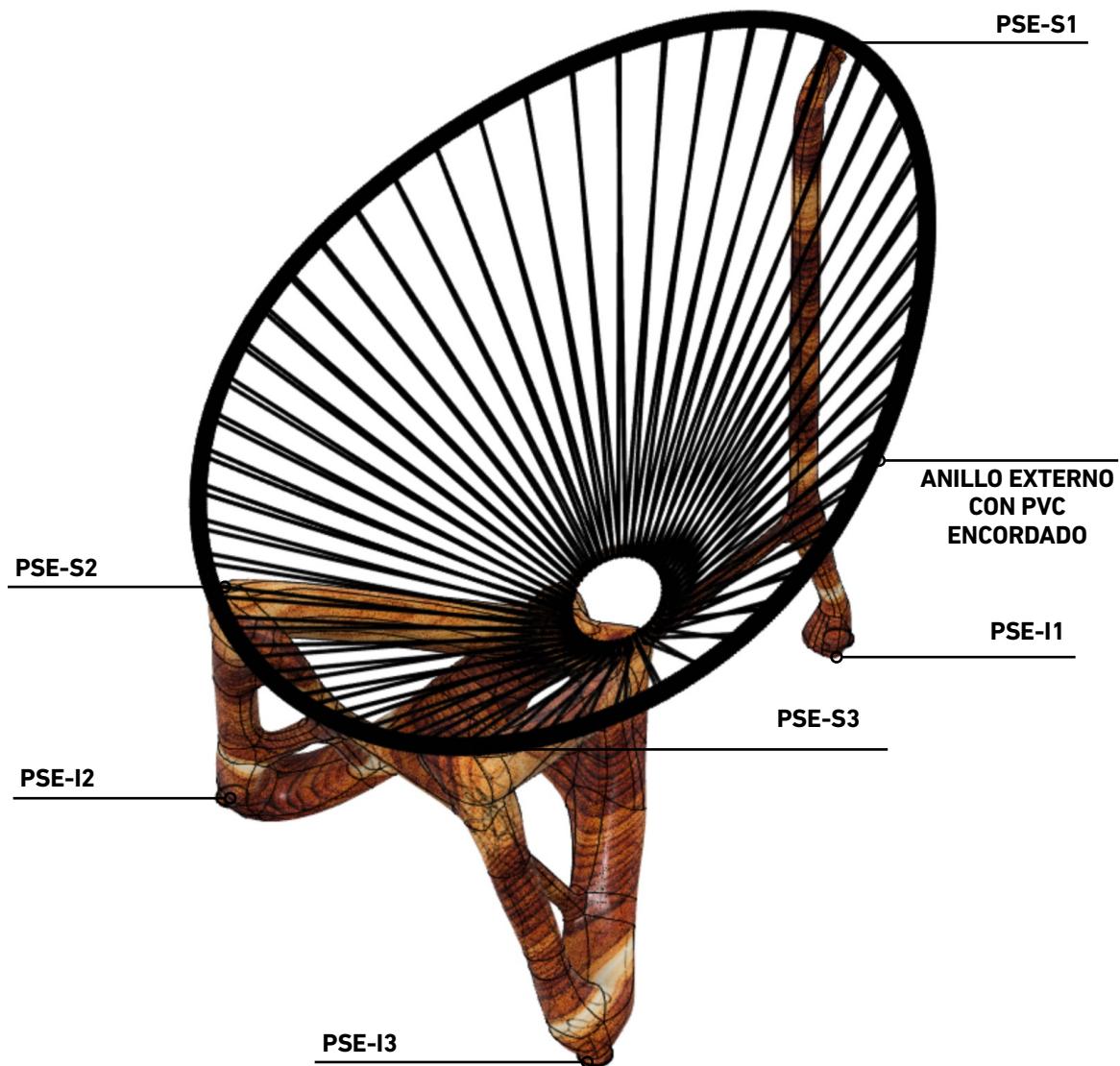
La forma se generó a partir de la experimentación logarítmica proporcionada por el software en fase experimental con un eje de simetría obligatorio

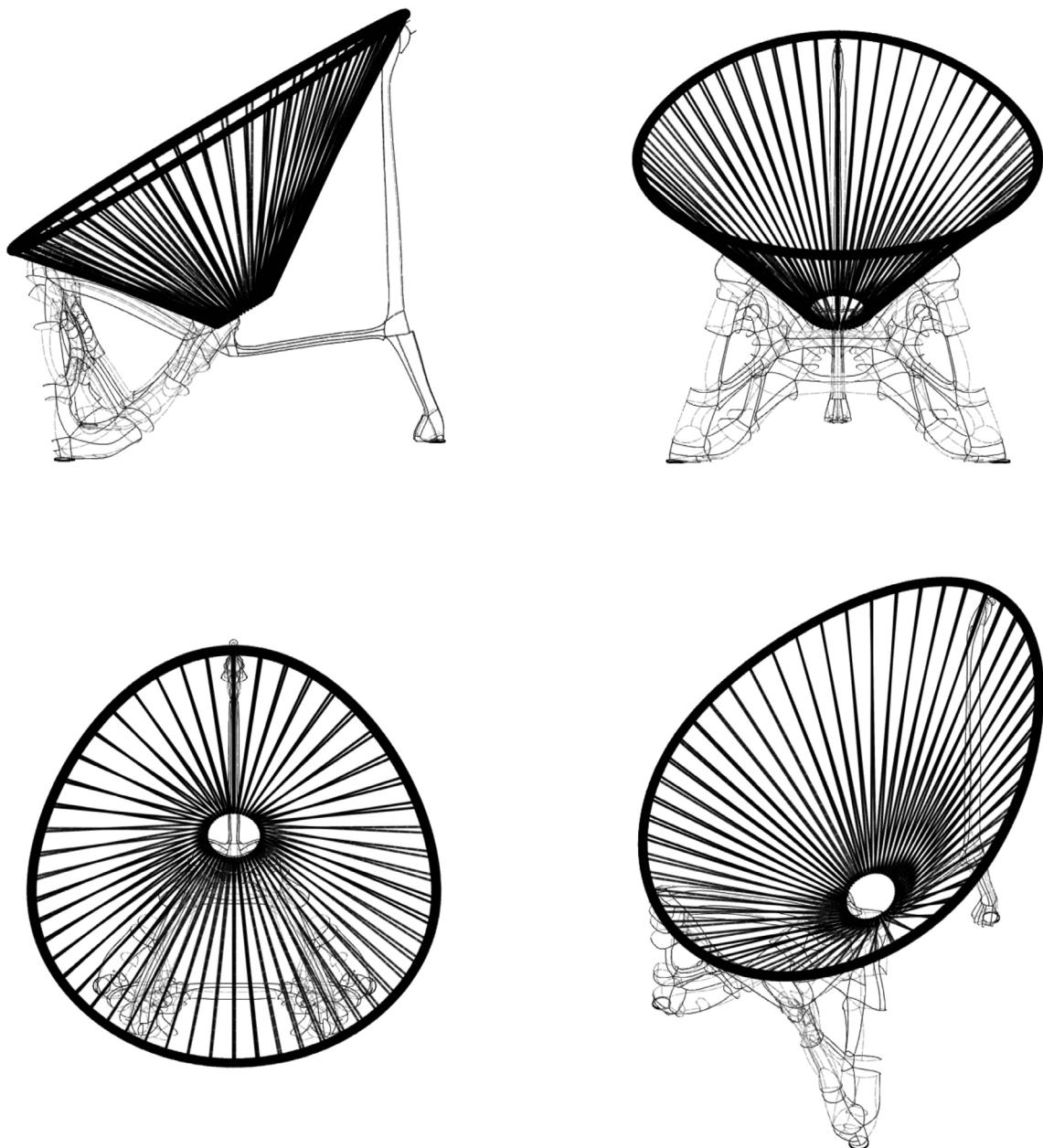
El volumen de la forma es de 1.506,000 mm³

El peso total aproximado será de 11.3 kg si la fabricación se realiza en plástico ABS por impresión 3D

Se propone la madera en el render como una alternativa al ABS que es factible de producir

Cuarto prototipo





Para completar la topología se propone el uso del tejido tradicional drapeándose alrededor de la pieza de hierro circular y uniendo lienzos con la base



Visualización



Para charlar, el sillón es el asiento más adecuado pues dota al usuario de un porte decente y cortés. Para descansar, la opción más acertada es el taburete turco (ottomano) donde se consigue un fabuloso estado de tranquilidad y relajación.

Reflexiones del asiento según Le Corbusier

Ottoman

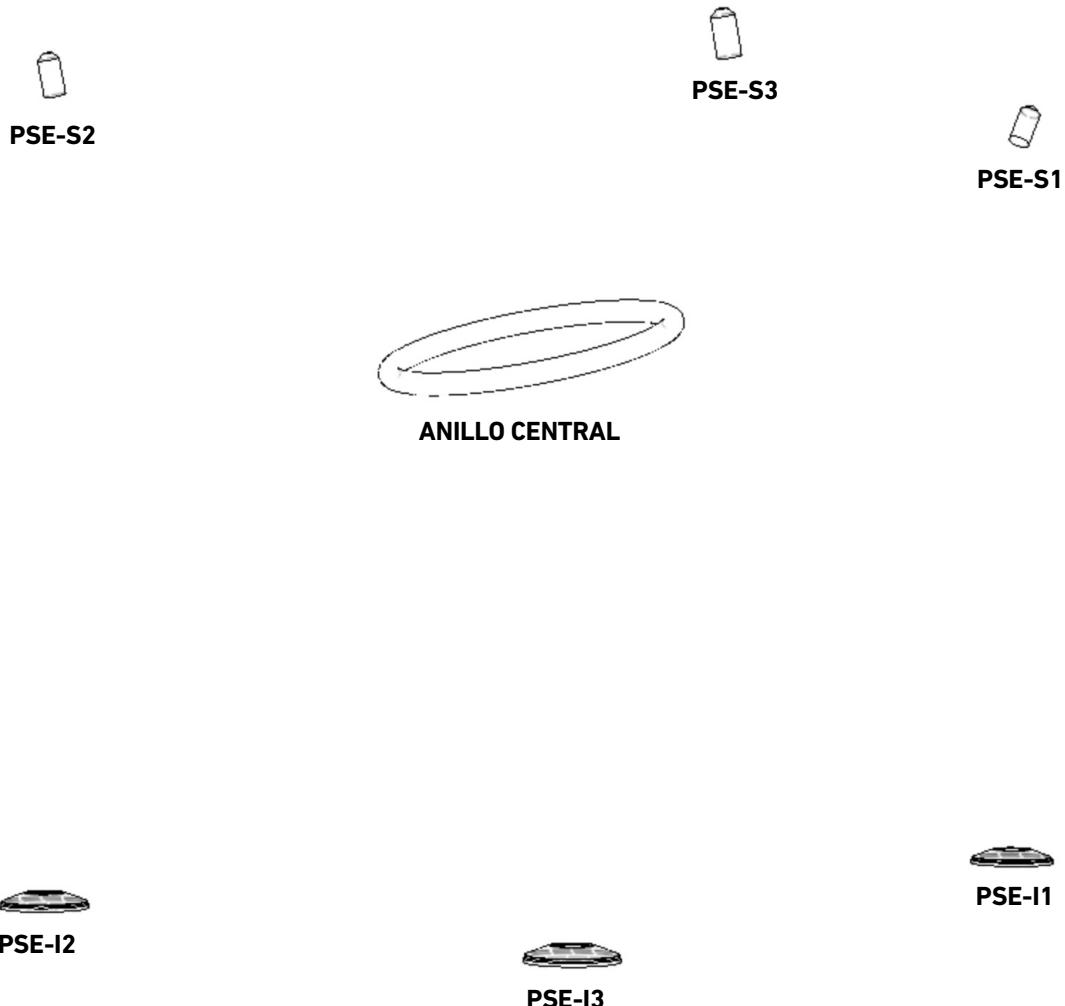
La propuesta de este elemento nace a partir de la morfología inicial de las sillas presentadas, los tabueretes otomanos que a continuación se presentan están ideados como un mueble acompañante de las propuestas formales iniciales, y son una comprobación de la aplicación metodológica presentada.

Composición estructural

Regularmente la morfología de las Otomanas está compuesta por 4 puntos de soporte al suelo que se conectan a un plano que sirve de apoyapiés o banco de asiento

El plano es paralelo al soporte de la nalga-poplíteo de la silla

La otomana tiene propiedades de resistencia similares a la silla y puede soportar cargas similares



Resumen estructural

Esta morfología se proyecta en estrecha relación con el estudio de diseño generativo realizado para la silla basada en la tipología Acapulco.

Esta iteración busca comprobar la metodología, entendiéndola como un proceso co-creativo entre el ser humano y el pensamiento computacional, con miras a producir diseños que puedan hacer parte de una misma familia objetual, y tener similitudes razonables.

El resumen estructural tiene la misma cantidad de elementos, hay una variación en las dimensiones, ajustándose a la volumetría del nuevo mueble.

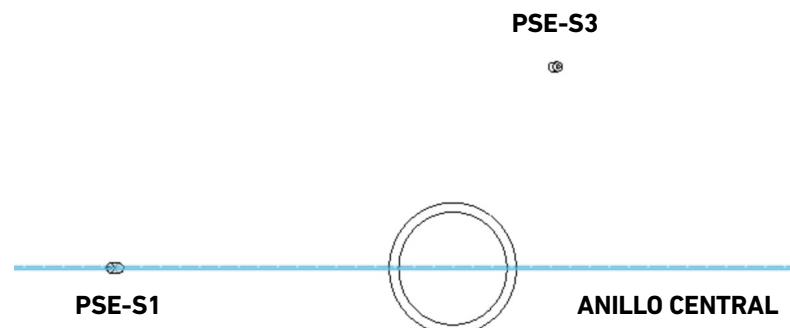
Resumen estructural

La otomana se construye a partir de una serie de puntos de soporte estructural superiores (PSE-s), que se unen al anillo interior, con los puntos de soporte estructural inferiores, al suelo (PSE-i).

3 Puntos de soporte estructural superiores (PSE-s)

3 Puntos de soporte estructural inferiores (PSE-i)

1 anillo central



PSE-S3



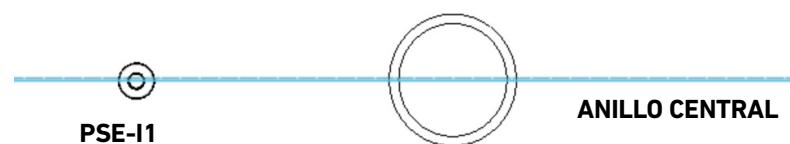
©

ANILLO CENTRAL

PSE-S2



PSE-I3



ANILLO CENTRAL



PSE-I2

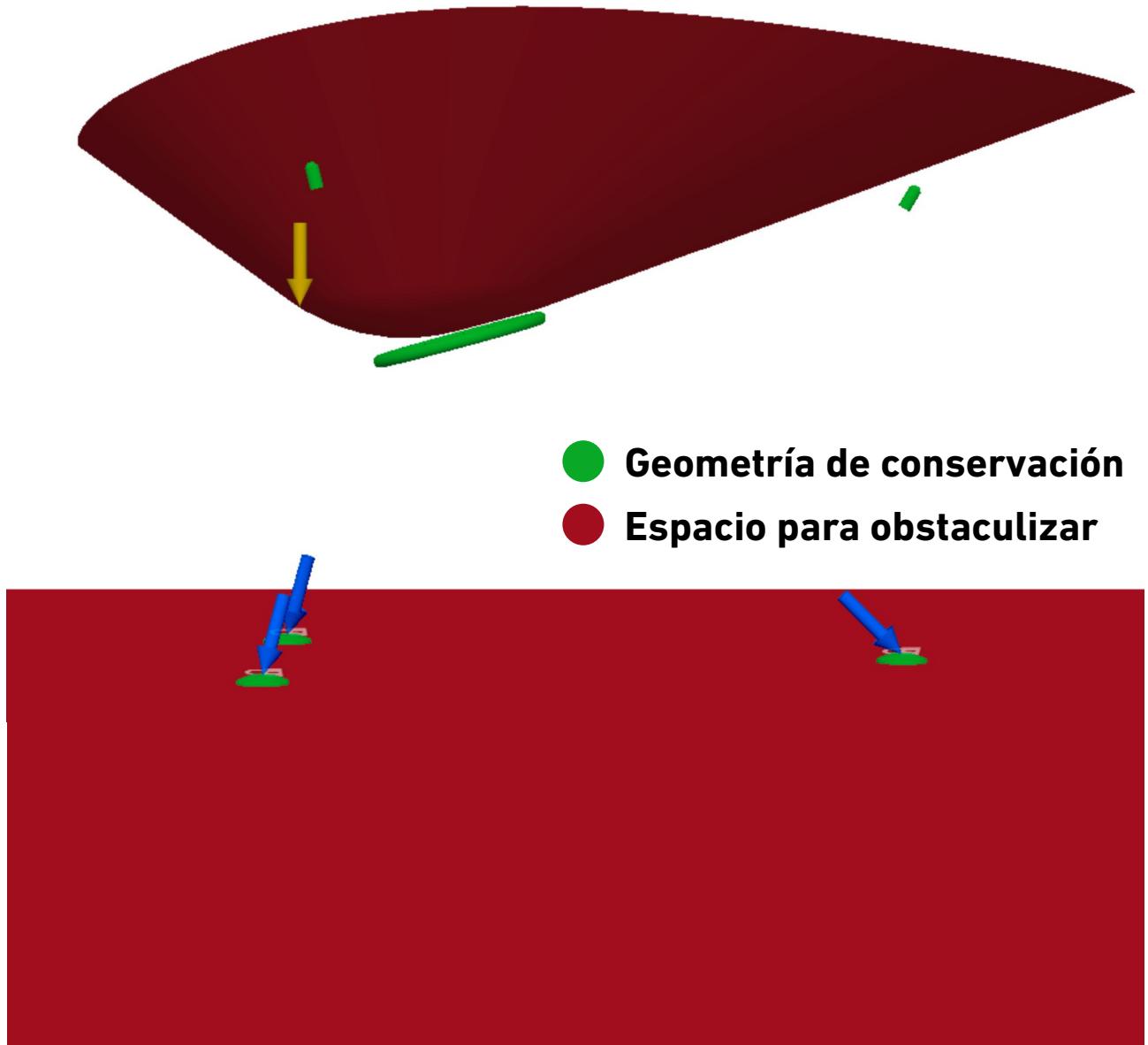


Imagen: Caso generativo para una otomana, elaboración propia.

Configuración de caso generativo por puntos de soporte y obstaculización

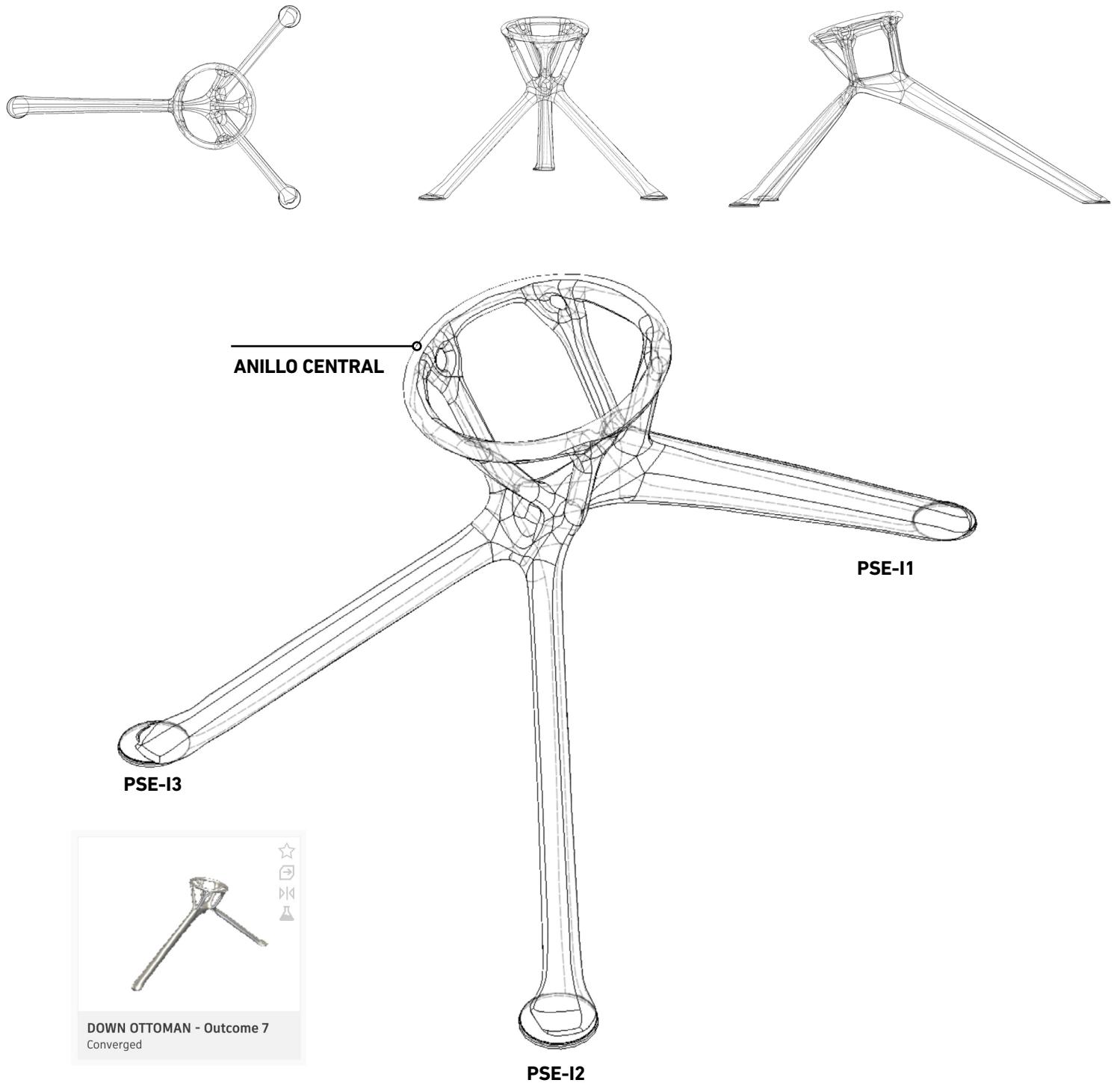
Para esta iteración se genera un caso de diseño para los puntos de soporte superiores e inferiores, y uno para la totalidad, con la finalidad de encontrar elementos individuales que funcionen mediante ensamble, y uno general que sea de un solo cuerpo, que soporte las cargas, mantenga las restricciones y tenga un proceso agresivo de optimización topológica.

Revisión y selección de un resultado

A partir de los inputs iniciales el software propone 522 opciones

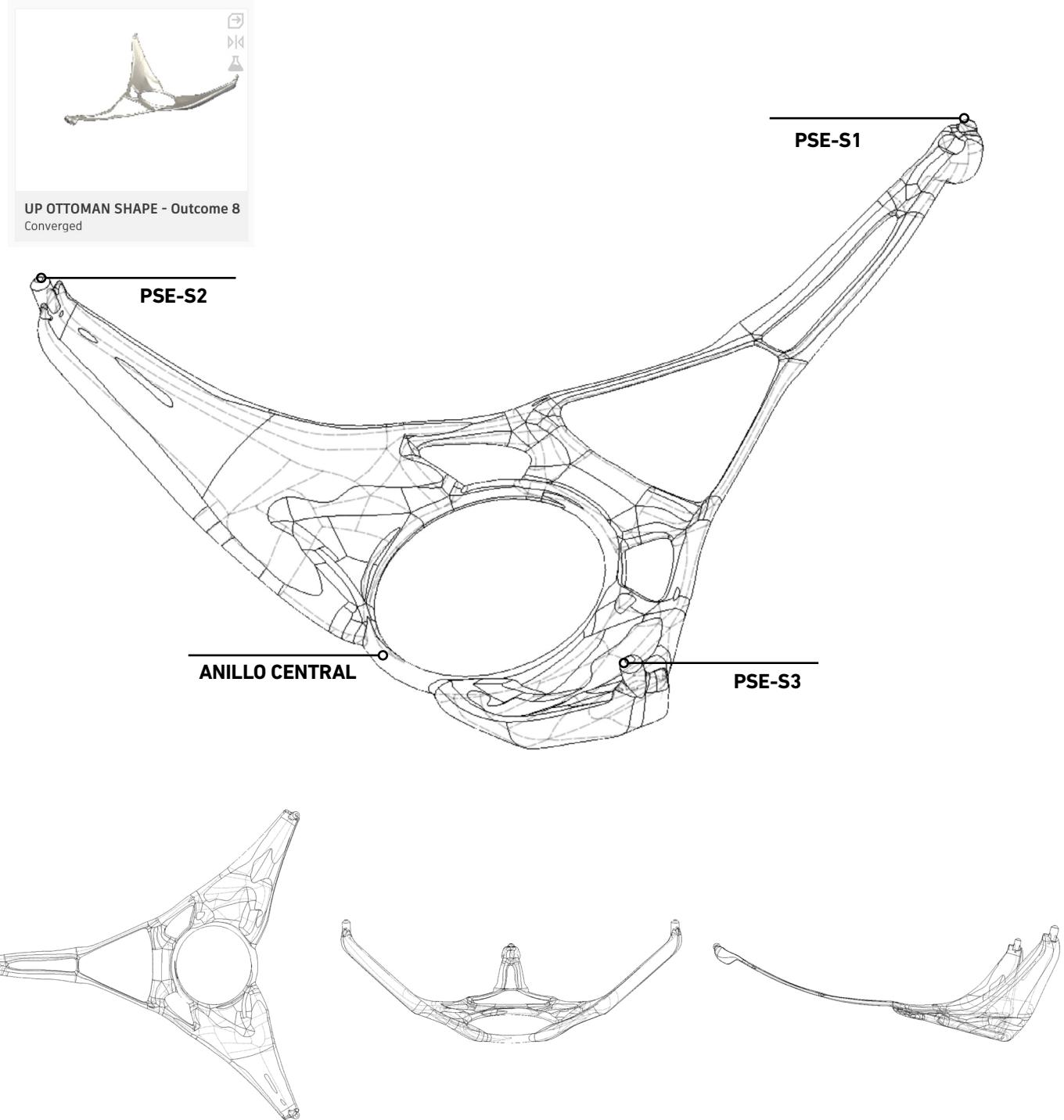
- 1. 174 convergencias**
- 2. 302 completadas**
- 3. 46 fallidas**





Resultado pos procesado para los 3 puntos de soporte inferior y el anillo central como punto de ensamble

Resultado pos procesado para los 3 puntos de soporte superior y el anillo central como punto de ensamble



Cuarto prototipo

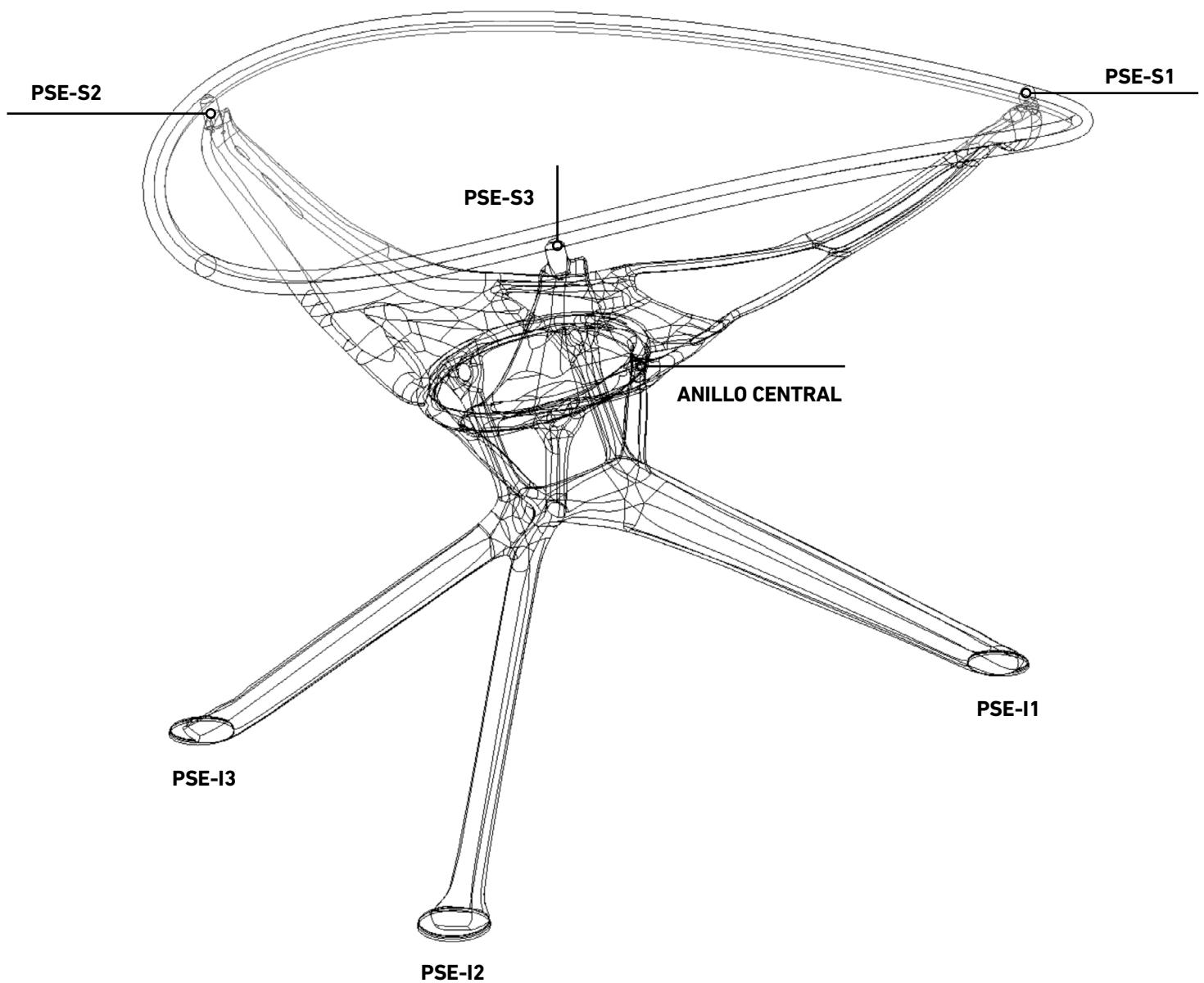
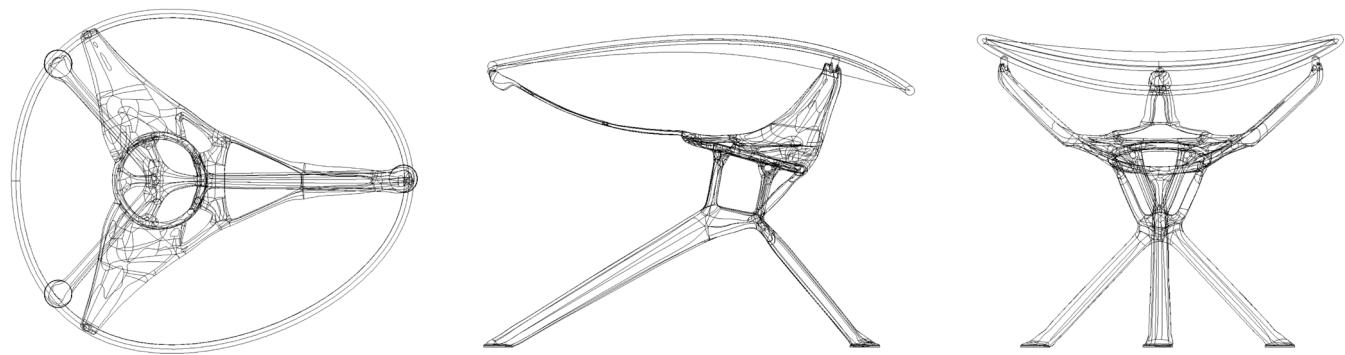
Unión del soporte inferior y superior, y adición de anillo de soporte

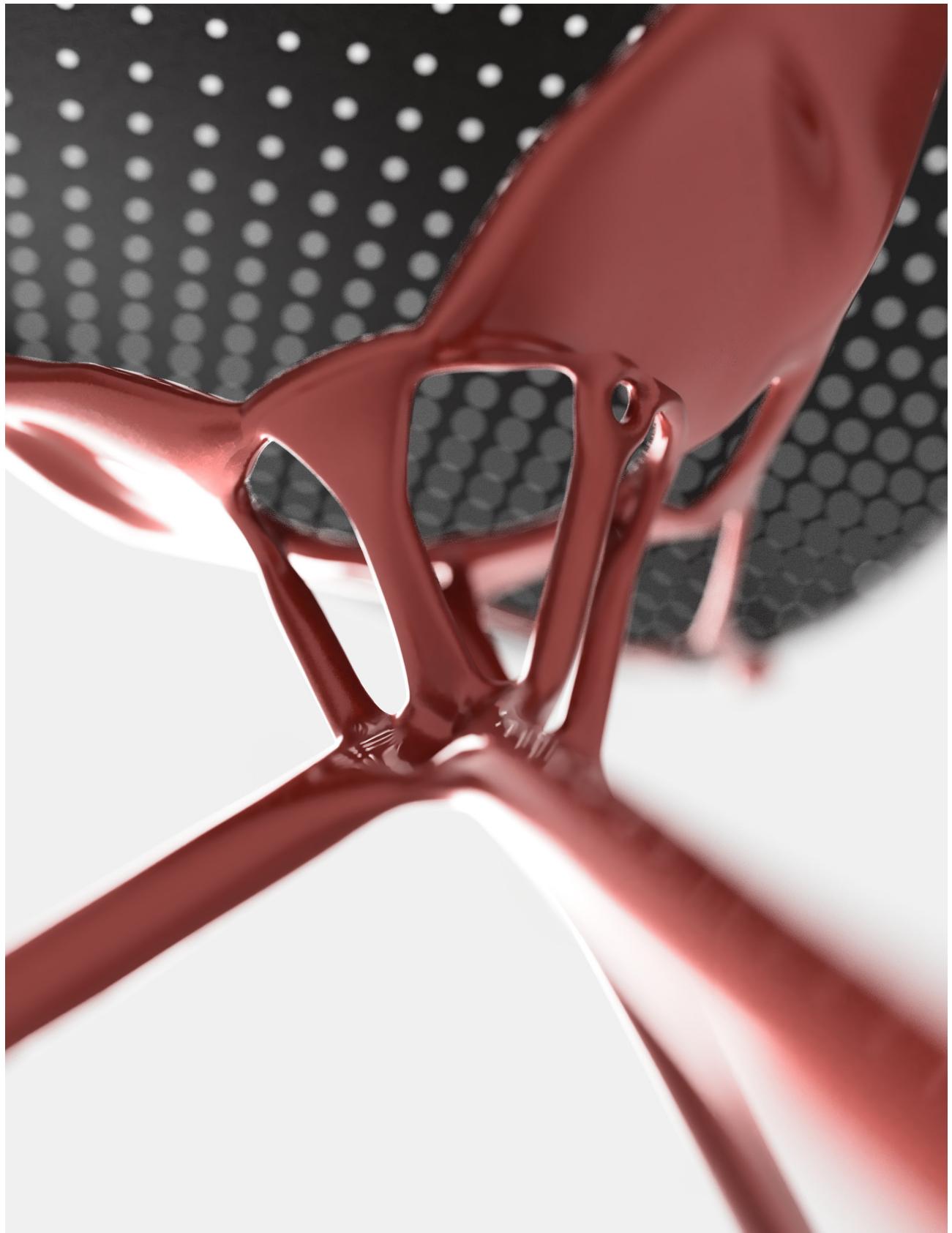
Soporte inferior

El diseño generado mantiene la morfología de la silla gracias a la similitud de los puntos de entrada, pero refuerza la pata posterior para aumentar la resistencia a las cargas.

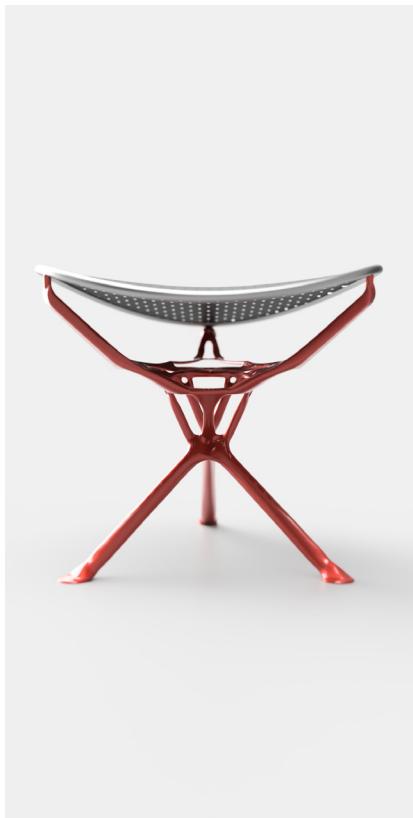
Soporte superior

El diseño generado tiene una morfología en T que une los puntos y de sujeción al anillo de ensamblaje central, sin embargo, el proceso de optimización es muy agresivo en la pieza.

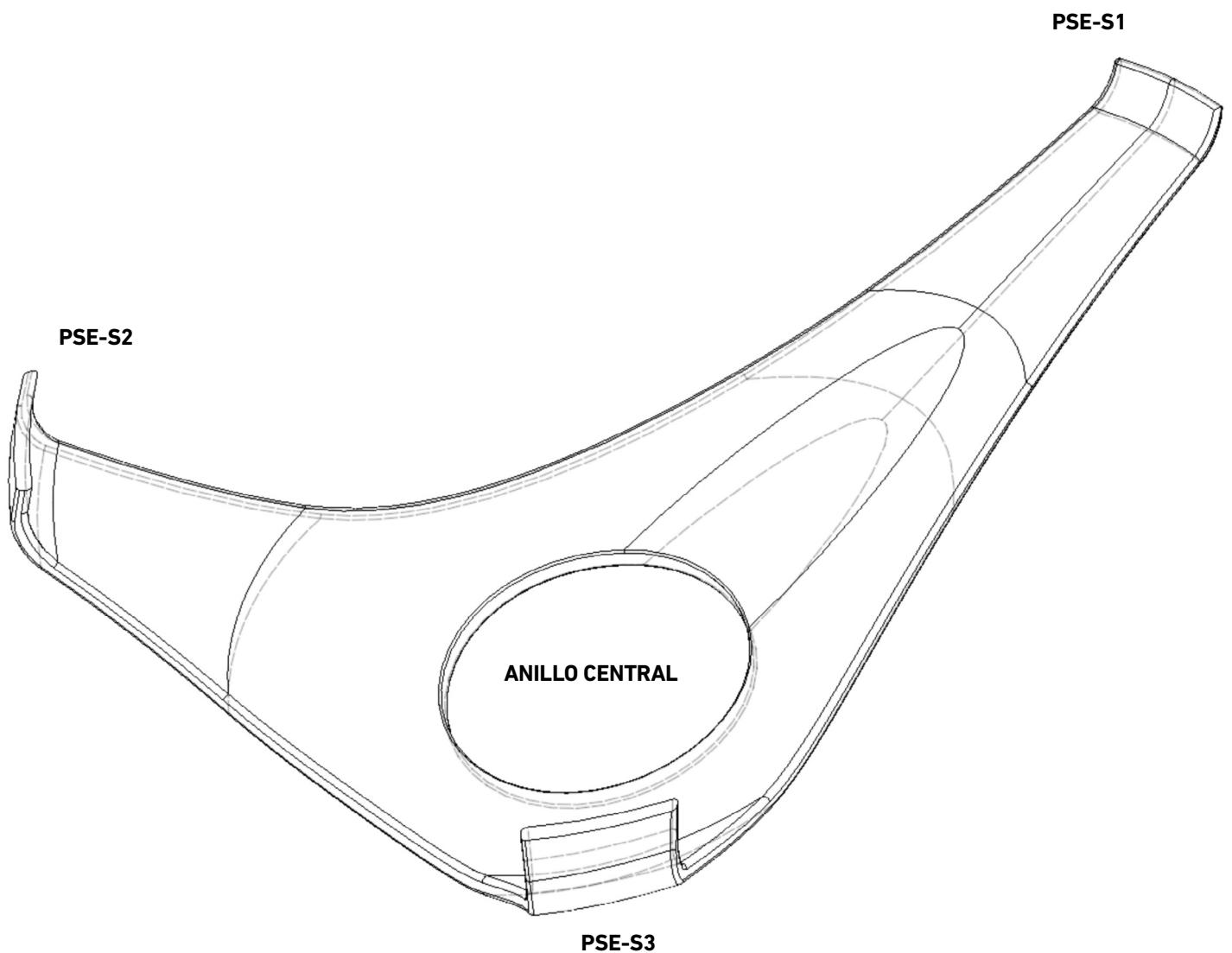




Visualización



Con base en la propuesta formal generada por la IA se generó un modelado con ajustes para el soporte superior, co-creado a partir de la morfología inicial

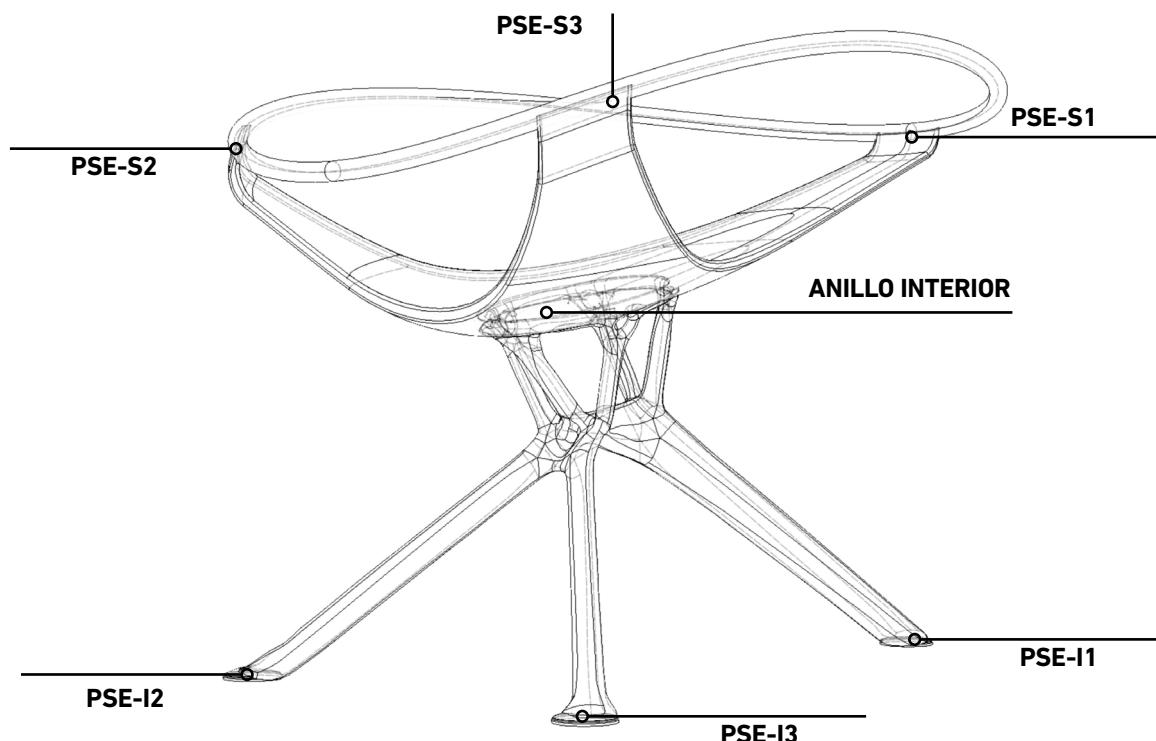


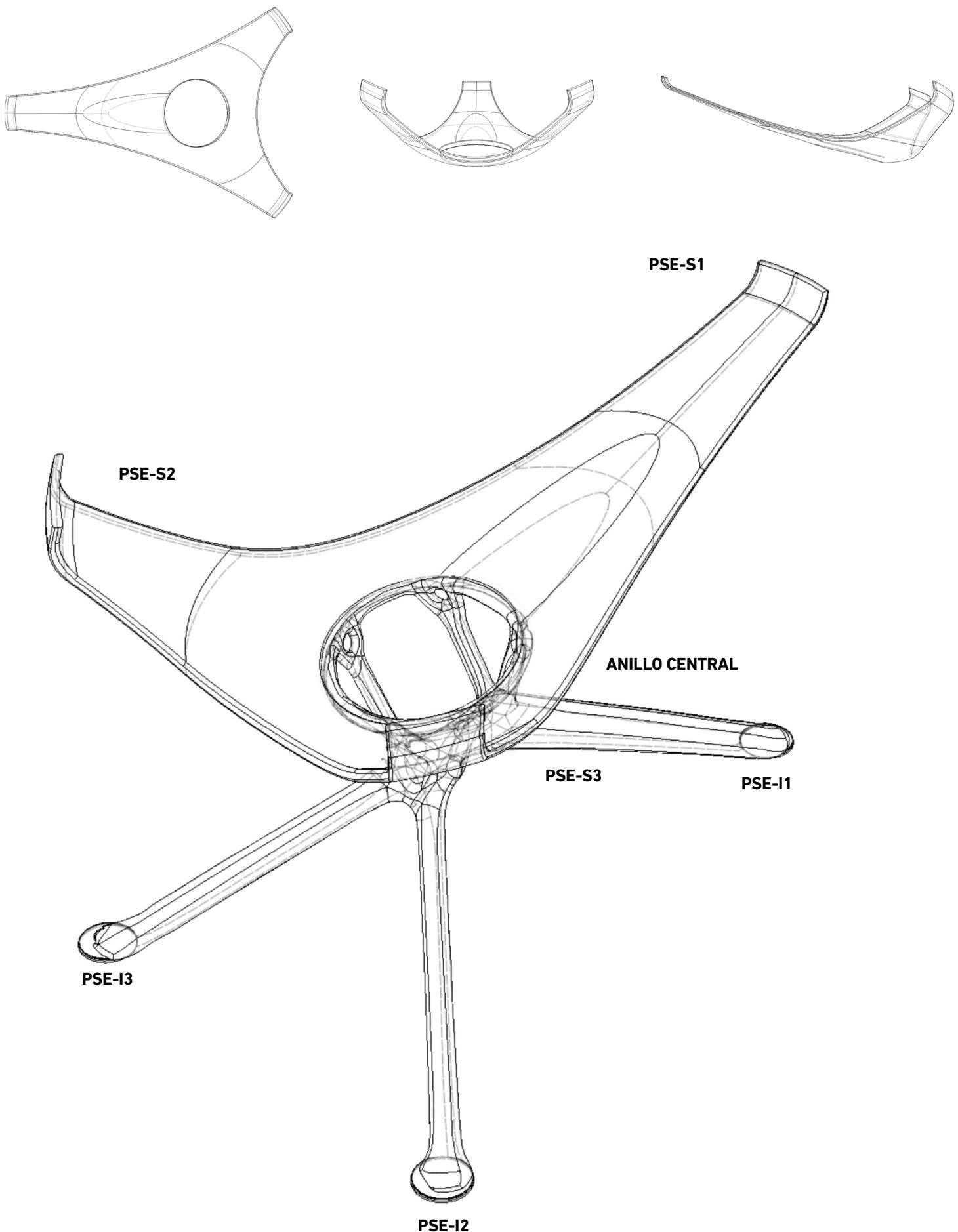
Quinto prototipo

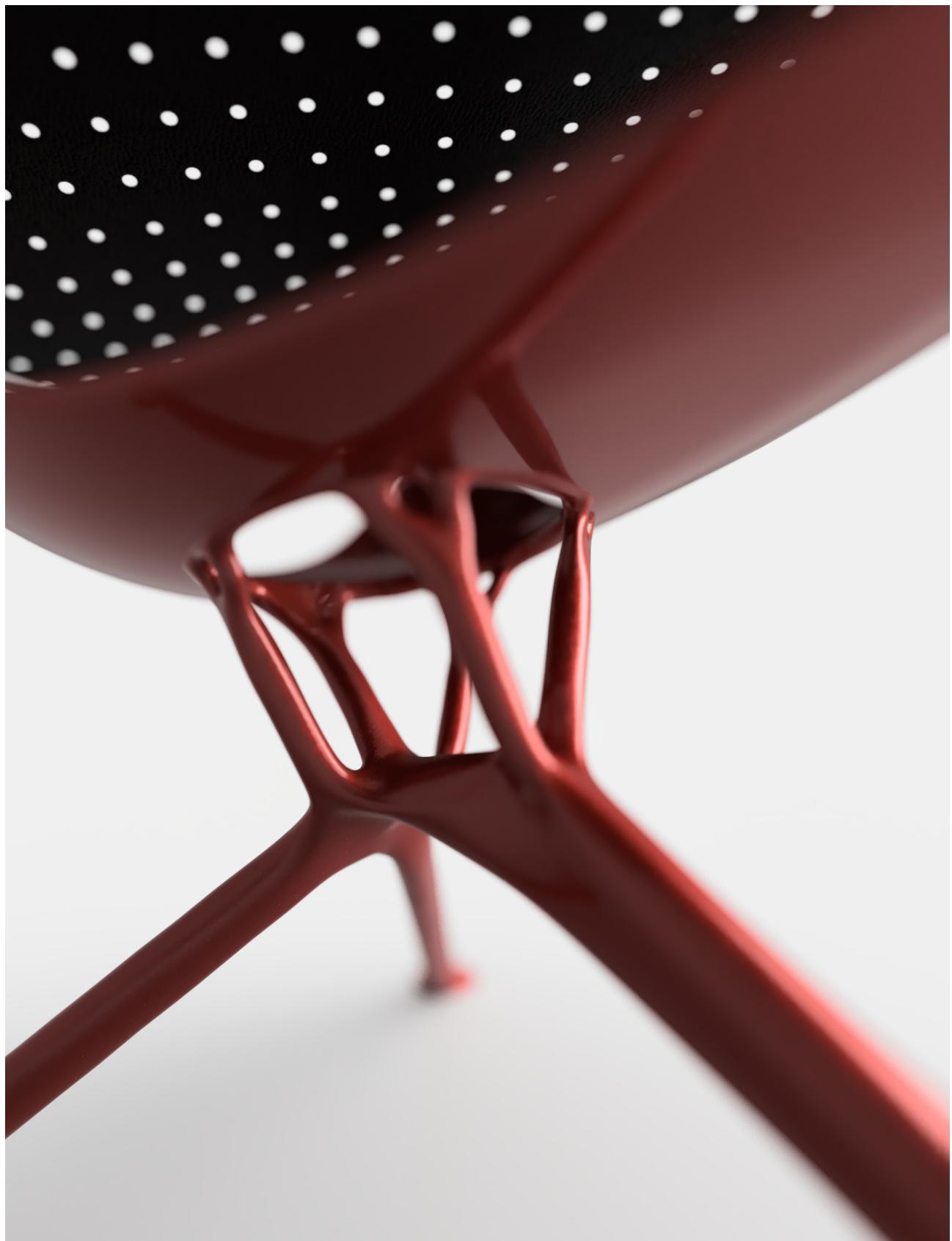
Soporte superior

Con base en la forma propuesta por la iA se modela una topología similar con ajustes significativos.

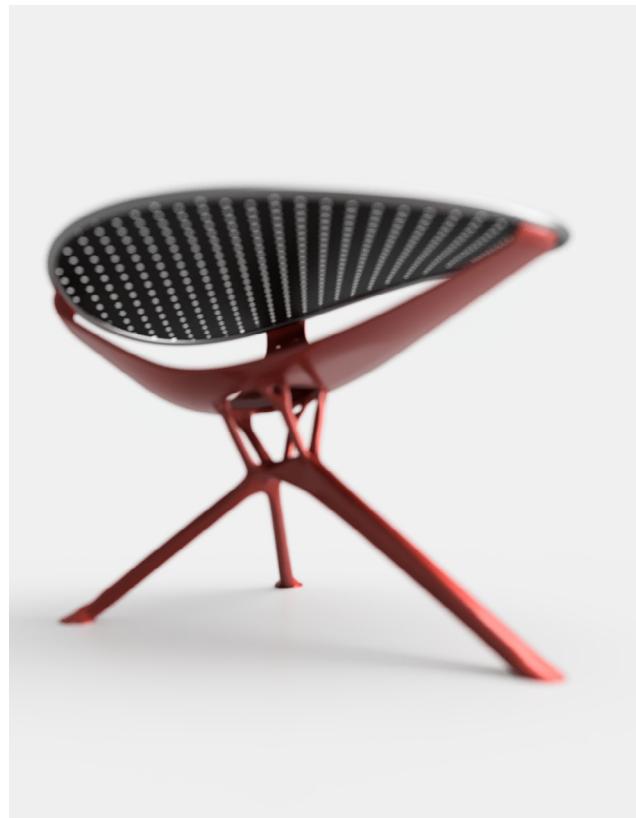
La morfología se completa con un anillo exterior que funcionará como bastidor tensor para un material como tela, lámina o cuero microperforado, completando la forma a nivel funcional y estético

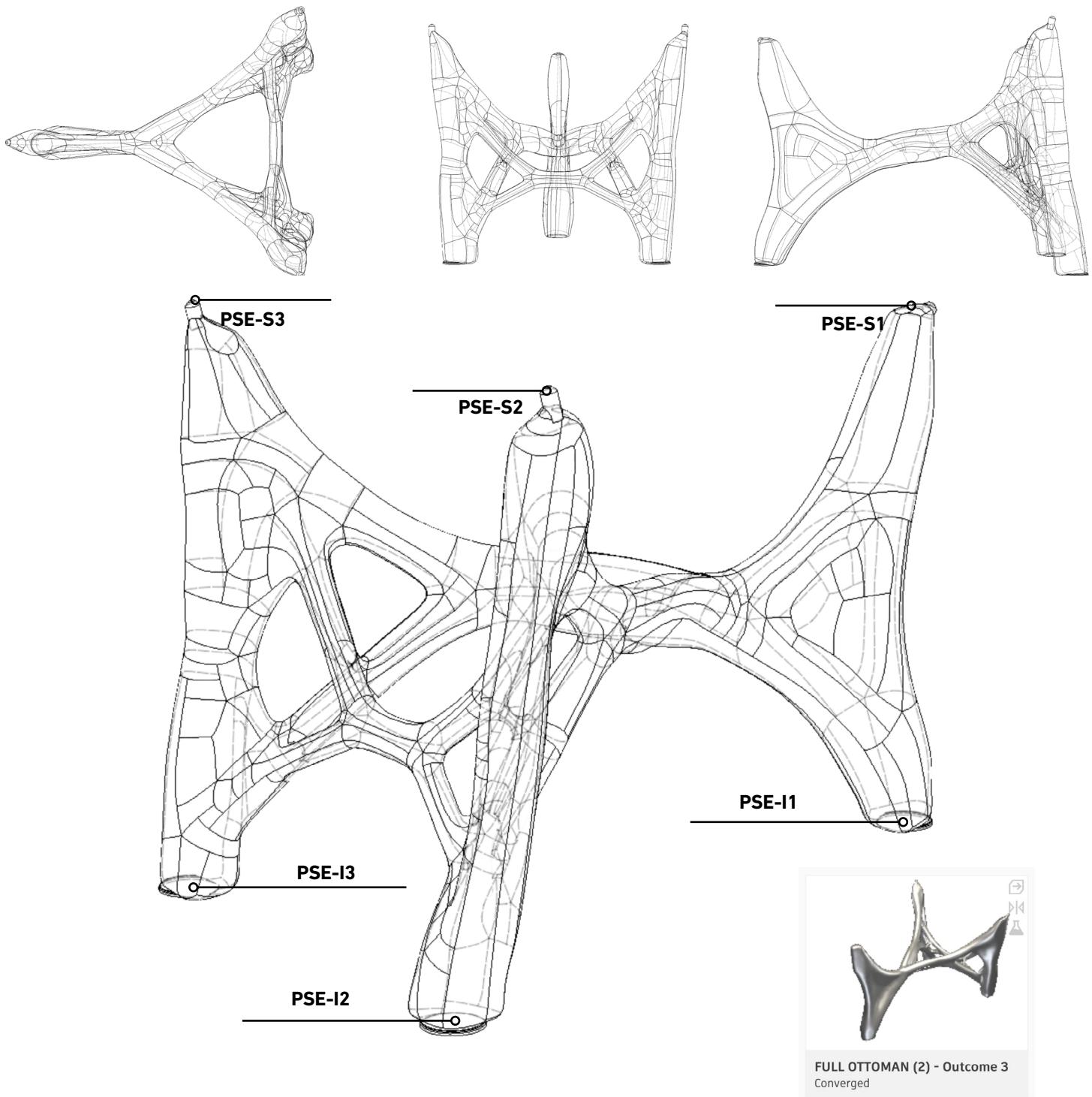






Visualización



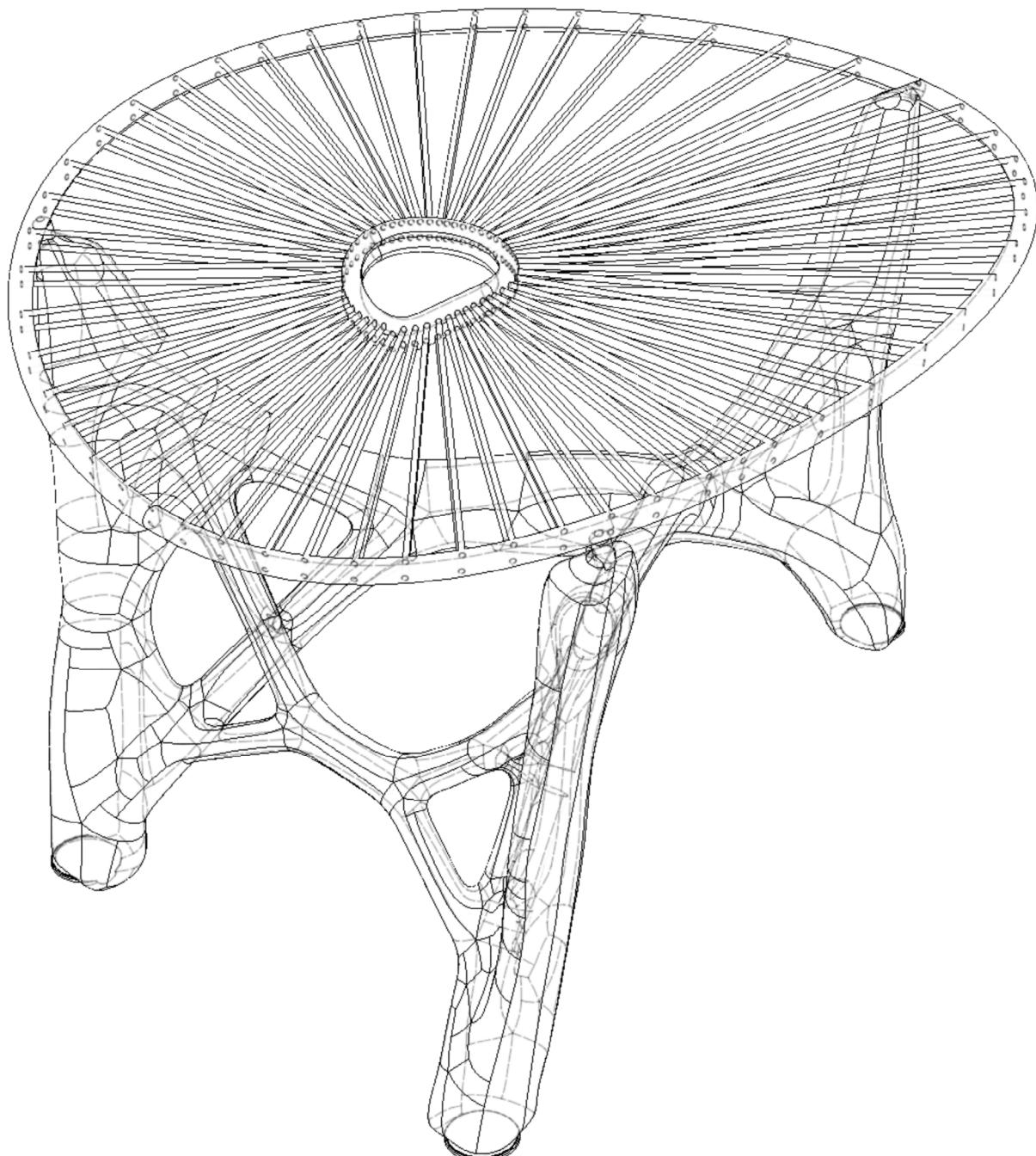


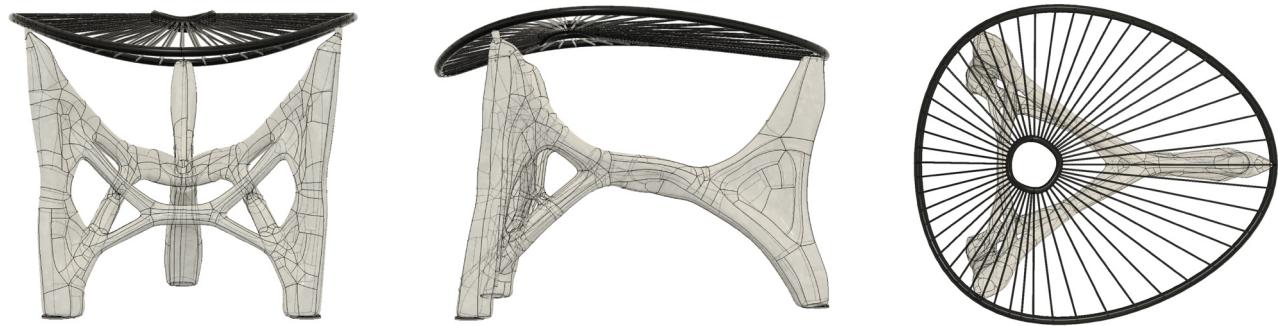
Resultado pos procesado seleccionado para la totalidad de los puntos

El modelo seleccionado pasa por un proceso de suavizado en la malla para optimizar la forma y se completa la estructura con base en las características físicas de la silla generada para la totalidad de los puntos de soporte, por tanto se agrega un anillo superior en acero forrado en mimbre plástico concéntrico por tensión a un anillo interior. Al ser una forma generada a partir de una metodología productiva no restringida se propone en la visualización el mármol por su estrecha relación con la escultura. El resultado se selecciona a partir de una proyección de factibilidad de producción por técnicas de armado a partir de planos seriados, o por la fabricación a partir de CNC en 5 ejes

La forma se generó a partir de la experimentación logarítmica proporcionada por el software en fase experimental con un eje de simetría obligatorio

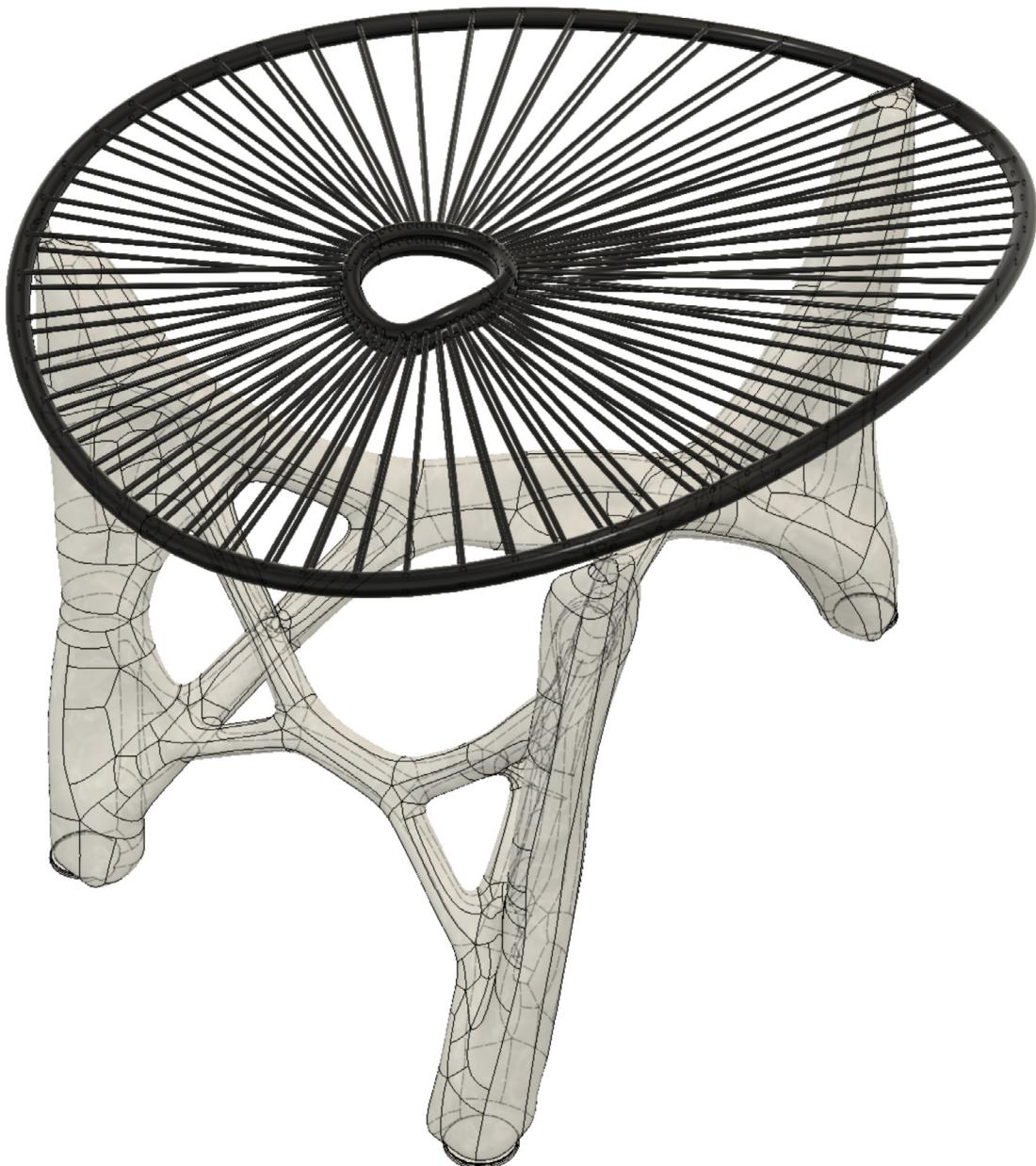
El volumen de la forma es de 303.000 mm³





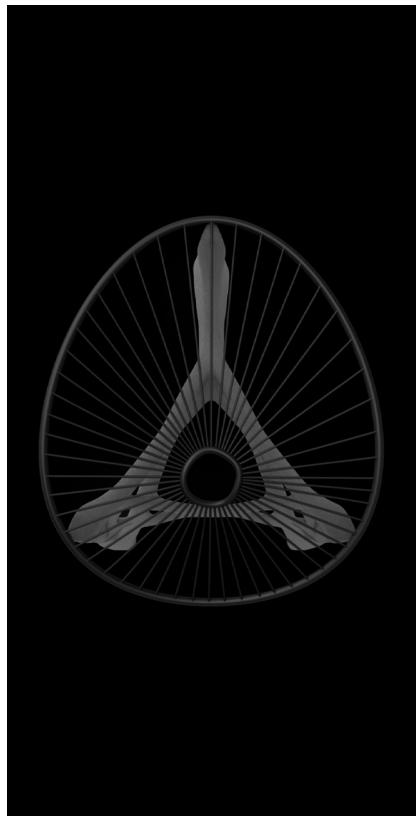
Al ser una forma generada a partir de una metodología productiva no restringida se propone en la visualización el mármol por su estrecha relación con la escultura

Sexto prototipo





Visualización



Sedie e
Ottoman













Po- tentia l value

The
innovation
distinguishes
between
leader
and a
follower

Steve Jobs
Commencement Speech, Stanford University, 2005

Las diferentes áreas de la vida que constituyen nuestra existencia como seres humanos, y sus múltiples facetas, y dimensiones, median gran parte de la definición formal de un objeto creado a partir de la metodología que se analiza en este trabajo de grado, el papel activo del diseñador en la conversación con el pensamiento computacional introduce una creatividad dinámica y continua en los recursos generados, así como en la concepción del todo en el proyecto.

Es importante conocer lo que estas herramientas pueden hacer, así como entender los límites de lo que no pueden hacer en estos primeros días. La visión en el futuro de estos sistemas, y la integración de más formas de inteligencia artificial son extraordinariamente prometedoras, pero existe el riesgo de que las expectativas sean desmedidas. Es difícil, incluso imposible, crear un algoritmo que permita a un sistema de diseño generativo tener en cuenta las sensibilidades estéticas de un diseñador, por ejemplo. Esta tecnología se enfrenta a un problema verdaderamente sofisticado al intentar idear mas allá de la forma automática. En este momento, el diseño generativo es realmente bueno calculando una cantidad finita de variables, y generando una cantidad virtualmente infinita de salidas, o propuestas formales, y eso es más de lo que puede hacer un diseñador humano; sin embargo, aún es pronto para que esta tecnología pueda proponer de forma autónoma, pues solo los humanos podemos entender las complejas dimensiones culturales que el diseño puede contener. Aunque no cabe duda de que, con el tiempo, los sistemas de diseño generativo serán capaces de abordar condiciones y consideraciones cada vez más matizadas, y más humanas, y se convertirán en un instrumento importante en el conjunto de herramientas de diseño y desarrollo de producto.

La inteligencia artificial será programada, y auto-programada, cada vez mejor para entender las necesidades de los usuarios y éstos a su vez serán más hábiles en la utilización de estas herramientas. Los retos más importantes serán los que tengan un rostro humano, es decir, los cambios fundamentales en las funciones, las relaciones y las organizaciones en las metodologías de desarrollo de productos.

Este es el mejor momento para que los fabricantes de producto empiecen a abordar estos temas, y a su vez es el momento ideal para que los diseñadores integren estas tecnologías a sus saberes. Exponer a los diseñadores en formación, desde la academia, a estas tecnologías es fundamental, propender por un pensamiento crítico pero abierto a la inclusión de todas las posibles técnicas y tecnologías dará a toda una generación de diseñadores más herramientas para hacer frente a los retos futuros.

A nivel local, estas metodologías tienen la capacidad de generar una transformación de la industria, integrando a las cadenas productivas tecnologías como la fabricación aditiva, que se enfoquen en el ahorro consciente y eficiente de materiales, la producción escalable y a medida, y la autoproducción enfocada en la solución de problemas complejos con recursos limitados.

Los creadores, diseñadores, ingenieros, proyectistas y emprendedores que comienzan a recorrer este camino tendrán una mejor oportunidad en el futuro, y las empresas que comienzan a adoptar tempranamente estas tecnologías van a asegurar un lugar delante de sus competidores. En palabras de Steve Jobs, “*la innovación diferencia a un líder de un seguidor.*”



Conclu- siones



Los diálogos que establece el ser humano con cualquier tecnología son valiosos en la medida en que esta evoluciona y permite la generación de conocimiento, adquieren una relevancia mayor cuando esas colaboraciones tienen el potencial de cambiar la manera en que se producen las cosas, de democratizar el conocimiento y de ampliar las fronteras de la producción humana.

El diseño generativo, como un proceso de co-creación entre el ser humano y el pensamiento computacional tiene una proyección valiosa, en tanto que, el aparato tecnológico ha mantenido una evolución constante conforme avanza el tiempo; el desarrollo de la inteligencia artificial y la evolución progresiva de las redes neuronales están mostrando fuertes avances en la industria, y se pronostica que el mercado global de software de inteligencia artificial (IA) crecerá rápidamente en los próximos años, alcanzando alrededor de 126 mil millones de dólares para 2025 (Shanhong Liu, 2020), potenciando y naturalizando la adopción de estas tecnologías en los procesos de diseño.

La generación automática de elementos morfológicos optimizados a través de los sistemas de inteligencia artificial tiene potencial en la medida que los sistemas de manufactura aditiva se popularicen en la industria, esto representa un cambio importante en las líneas de producción actuales, y como todos los cambios, puede tomar tiempo; y al estar condicionado por la tecnología puede no suceder en el mediano o largo plazo.

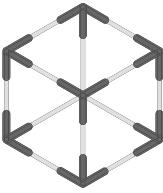
El diseño generativo requerirá nuevas formas de pensar, obliga a los diseñadores e ingenieros a cambiar sus modos de creación y producción, y este es uno de los principales retos, pues no solo se trata de aprender un nuevo software, o algunas funciones nuevas en los softwares existentes; en muchos casos se debe replantear la forma de abordar un proyecto desde la génesis. Con el diseño generativo, se crea una superabundancia de soluciones que cumplen con los requisitos planteados por el proyecto y se exploran las compensaciones de cada una, una labor para la que el diseñador debe estar formado con un criterio amplio y diverso.

El proceso de diseño para la creación de objetos puede enriquecerse formalmente a partir de los sistemas de generación topológica mediante la IA, sin embargo, uno de los retos mas importantes que enfrenta esta tecnología es la apropiación cultural. Los procesos de generación guardan una estrecha relación con la anatomía, y gran parte de las formas entregadas por el sistema son altamente orgánicas, sin embargo, no son compatibles con muchas de las morfologías que por décadas de han acumulado en los hogares y oficinas. Algunas soluciones innovadoras que técnicamente logran los requisitos deseados pueden ser demasiado inusuales para ser aceptadas.



Prototipos virtuales

Experimentos
con AR



AR

La realidad aumentada (o AR) permite ofrecer experiencias que mezclan objetos virtuales con el mundo real.

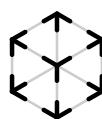
Este trabajo de grado se realizó en medio de la pandemia ocasionada por la Covid-19, esto trajo dificultades en el acceso a los equipos de prototipado, cambios importantes en el proceso de diseño de producto y nuevos retos.

La solución seleccionada fue el prototipado digital a través de realidad aumentada (en inglés, AR, *Augmented reality*) que se refiere a las experiencias de usuario que añaden elementos en 2D o 3D a la vista en directo de la cámara de un dispositivo de forma que parezca que esos elementos habitan en el mundo real.

Para este trabajo se usó el *Framework ARKit* de *Apple Inc*®, ya que combina el seguimiento del movimiento de un dispositivo compatible, la captura de escenas de la cámara, el procesamiento avanzado de escenas y de visualización para simplificar la tarea de crear una experiencia de AR, y gracias a la penetración de

mercado de ese fabricante hay un numero considerable de dispositivos que pueden reproducir la experiencia de forma satisfactoria. Para esto se hizo uso del estándar de Descripción Universal de Escenas de Pixar, USDZ (en inglés, *Pixar's Universal Scene Description standard*), que permite distribuir contenidos de AR y 3D a los dispositivos de Apple y en algunos dispositivos Android® compatibles.

A continuación, se listarán una serie de códigos QR (en inglés, QR, *Quick Response code*) que al ser escaneados por un dispositivo móvil compatible, celular o tableta, cargarán una visualización de los prototipos generados.



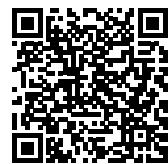
PARA ACCEDER A LA VISUALIZACIÓN SE DEBE TOCAR EL ÍCONO EN LA ESQUINA SUPERIOR DE LA IMAGEN EN LA PANTALLA DE SU DISPOSITIVO



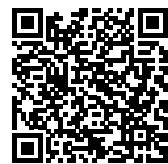
<https://raw.githubusercontent.com/CamiloAyalaM/mdes/main/acapulco-chair-and-ottoman-bone.usdz>



<https://raw.githubusercontent.com/CamiloAyalaM/mdes/main/acapulco-chair-and-ottoman-red.usdz>



<https://raw.githubusercontent.com/CamiloAyalaM/mdes/main/acapulco-chair-bone.usdz>



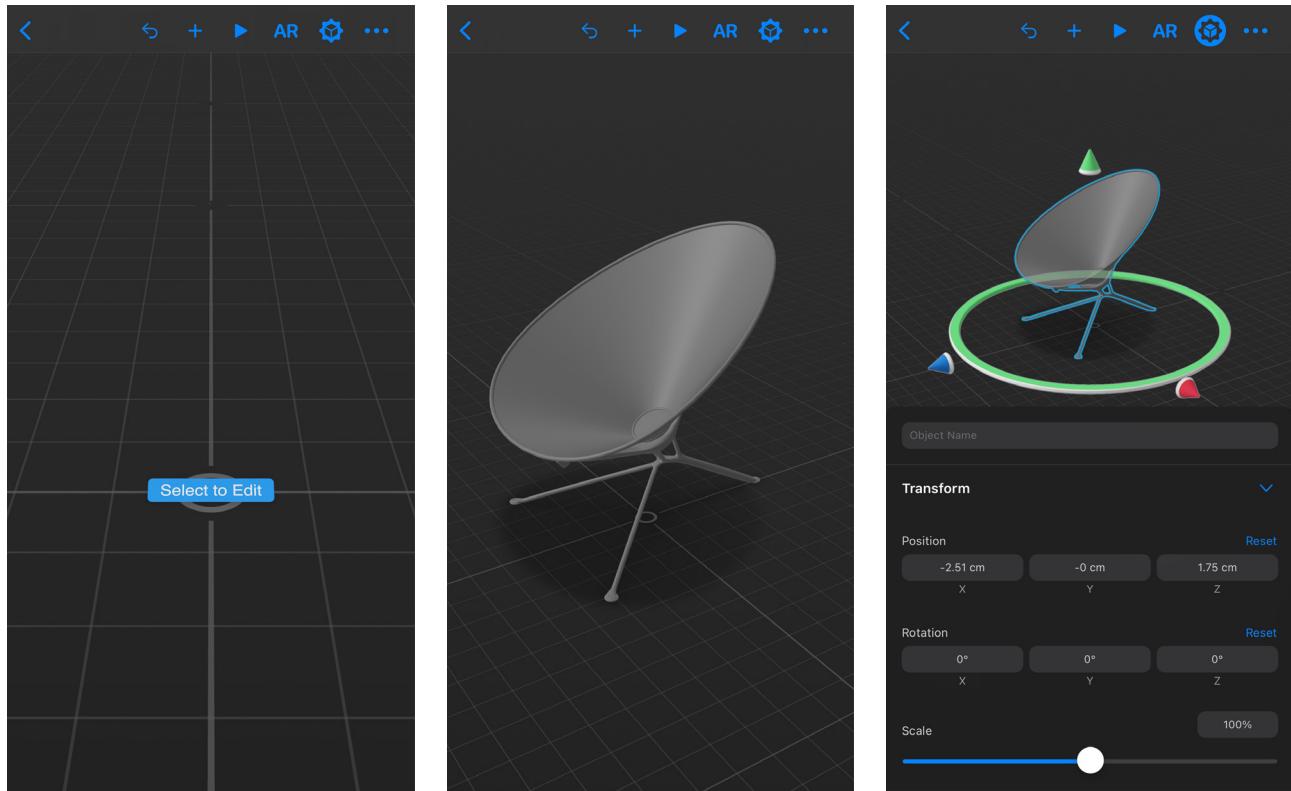
<https://raw.githubusercontent.com/CamiloAyalaM/mdes/main/acapulco-chair-red.usdz>

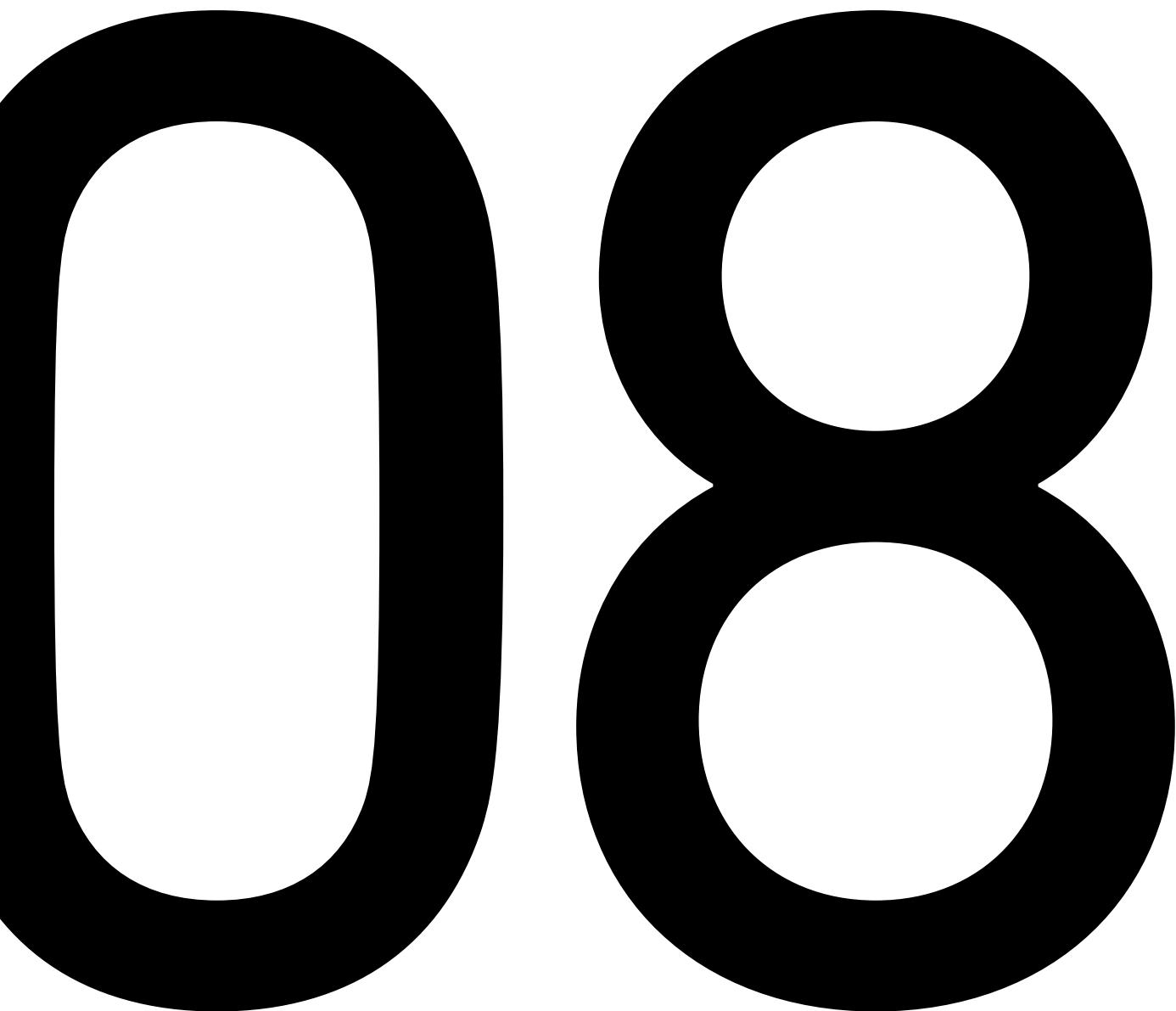


<https://raw.githubusercontent.com/CamiloAyalaM/mdes/main/acapulco-ottoman-bone.usdz>



<https://raw.githubusercontent.com/CamiloAyalaM/mdes/main/acapulco-ottoman-red.usdz>





Biblio- grafía

- Schmit, L. A. (1960). Structural design by systematic synthesis. In Proceedings of the Second National Conference on Electronic Computation, 105-122, ASCE, Sept., 1960.
- Cortés, G. (2010) Desarrollo de un programa de optimización de forma de componentes mecánicos mediante optimización topológica adaptativa, Tesis de master, Universidad Politécnica de Valencia, <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11266/Tesis.pdf>
- Matejka, Justin & Glueck, Michael & Bradner, Erin & Hashemi, Ali & Grossman, Tovi & Fitzmaurice, George. (2018). Dream Lens: Exploration and Visualization of Large-Scale Generative Design Datasets. 1-12. 10.1145/3173574.3173943.
- Gu, Z., Xi Tang, M., & Frazer, J. H. (2006). Capturing aesthetic intention during interactive evolution. *Computer-Aided Design*, 38(3), 224e237. <https://doi.org/10.1016/J.CAD.2005.10.008>.
- Eames, C., & Drexler, A. (1973). Furniture from the Design Collection, the Museum of Modern Art, New York. Museum of Modern Art.
- Schepers, Wolfgang: Furniture out of its Mind: Dusseldorf, 1986 En ADAMSON, Glenn; PAVITT, Jane: Op. Cit., pags. 259-261.
- Sanchez-Caballero, Samuel. (2021). Optimización estructural y topológica de estructuras morfológicamente no definidas mediante algoritmos genéticos.
- Díez, R. P., Gómez, A. G., & de Abajo Martínez, N. (2001). Introducción a la inteligencia artificial: sistemas expertos, redes neuronales artificiales y computación evolutiva. Universidad de oviedo.
- Norvig, P., & Russell, S. (2004). Inteligencia artificial. Editora Campus, 20.
- Oh, S., Jung, Y., Kim, S., Lee, I., & Kang, N. (2019). Deep generative design: Integration of topology optimization and generative models. *Journal of Mechanical Design*, 141(11).
- Goudswaard, M., Hicks, B., & Nassehi, A. (2021). The creation of a neural network based capability profile to enable generative design and the manufacture of functional FDM parts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 113(9), 2951-2968.
- Jang, S., Yoo, S., & Kang, N. (2020). Generative Design by Reinforcement Learning: Enhancing the Diversity of Topology Optimization Designs. arXiv preprint arXiv:2008.07119.
- Krish, S. (2011). A practical generative design method. *Computer-Aided Design*, 43(1), 88-100.
- Shea, K., Aish, R., & Gourtovaia, M. (2005). Towards integrated performance-driven generative design tools. *Automation in Construction*, 14(2), 253-264.

Sutherland, I. E. (1964). Sketchpad a man-machine graphical communication system. *Simulation*, 2(5), R-3.

(Heredia, s.f.) <https://www.vitra.com/es-es/product/eames-plastic-chair>

© Eames Office, LLC. (2021). Vitra.com. From <https://www.vitra.com/es-es/product/eames-fiberglass-chair>

Heredia, J. (n.d.). El deutscher werkbund: precursores de la bauhaus. From Infinitylab: <https://infinitylab.net/arquitectura/253/el-deutscher-werkbund-y-la-nueva-arquitectura-alemana>

Valls, I. C. (2016). El diseño de producto en el siglo XX. Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament de Disseny i Imatge.

Y, M. W., Voisin, T., McKeown, J. T., Ye, J., Calta, N. P., Li, Z., Zeng, Z., Zhang, Y., Chen, W., Roehling, T. T., Ott, R. T., Santala, M. K., Depond, P. J., Matthews, M. J., Hamza, A. V., & Zhu, T. (2018). Additively manufactured hierarchical stainless steels with high strength and ductility. *Nature Materials*, 17(1), 63–71. <https://doi.org/10.1038/nmat5021>

Shanhong Liu. (2020). Market report artificial intelligence ai forecasts global industry analysts From strategyr: <https://www.strategyr.com/market-report-artificial-intelligence-ai-forecasts-global-industry-analysts-inc.asp>

Buonomici, Francesco & Carfagni, Monica & Furferi, Rocco & Volpe, Yary & Governi, Lapo. (2020). Generative Design: An Explorative Study. Computer-Aided Design and Applications. 18. 144-155. 10.14733/cadaps.2021.144-155.

Autodesk generative design used on electric VW bus concept, <https://www.pesmedia.com/autodesk-generative-design-fusion-360-volkswagen-vw-bus/>, Autodesk.

Autodesk Robot Gripper Arm Design Challenge | Engineering & Design Challenges, <https://grabcad.com/challenges/autodesk-robot-gripper-arm-design-challenge>, GrabCAD.

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

Arias-Rosales, A.; Osorio-Gómez, G.: Albatros Create: an interactive and generative tool for the design and 3D modeling of wind turbines with wavy leading edge, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12008-020-00655-y>

Cloud Powered 3D CAD/CAM Software for Product Design | Fusion 360, <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>, Autodesk.

Starck: | design | furniture | chairs, <https://www.starck.com/a-i-for-kartell-by-starck-powered-by-autodesk-kartell-p3534>, Starck.

What is Generative Design | Tools & Software, <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design>, Autodesk.

6 Examples of Generative Design in Manufacturing, <https://www.autodesk.com/redshift/generative-manufacturing/>, Autodesk.

MoMA, Surrealism. Museum of Modern Art, https://www.moma.org/learn/moma_learning/themes/surrealism.

Schmitt, P. (2018) Augmented Imagination: Machine Learning Art as Automatism. *Plot(s), the Design Studies Journal, Volume 5*, pp. 25-32, New York, NY

Radford, A., Metz, L. and Chintala, S. (2015) Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks. arXiv preprint arXiv:1511.06434.

Kazi, R.H., Grossman, T., Cheong, H., Hashemi, A. and Fitzmaurice, G.W. (2017) DreamSketch: Early Stage 3D Design Explorations with Sketching and Generative Design. In UIST (pp. 401-414).

EL DISEÑO GENERATIVO

CO-CREACIÓN ENTRE EL SER HUMANO
Y EL PENSAMIENTO COMPUTACIONAL

Proyecto formulado por
Camilo Ayala Monje
Director de proyecto de grado
Camilo Ayala García

Universidad de los Andes
Facultad de Diseño y Arquitectura
Departamento de Diseño
Maestría en Diseño
2021 ©