

*Comunicación*

## **El aire como elemento estructural para la generación de superficies espaciales**

**Felizzola, Bruno**

[felizzolabruno@gmail.com](mailto:felizzolabruno@gmail.com)

Universidad de Buenos Aires. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Cátedra Muñoz. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

### **Palabras clave**

Estructuración, Transformación, Superficies, Bioinspirado, Morfogénesis.

### **Resumen**

La investigación que estoy llevando a cabo, dentro del proyecto de investigación “Morfologías en transformación mediadas por tecnología digital” (UBACyT20020190100303BA), se enmarca dentro de la biomimética (específicamente en las lógicas de estructuración de las hojas). El objetivo fue generar superficies espaciales partiendo de un circuito plano inspirado en configuraciones naturales, y lograr su estructuración a través del aire contenido en estos patrones. El foco estuvo en entender la relación entre el diseño de esta configuración y la superficie que se obtenía como resultado y poder a su vez imitar la transformación en las superficies como sucede en la naturaleza, punto vital en la elección de la lógica de materialización y metodología tecnológica. Comencé a explorar y comprender algunas de las capacidades estructurales del aire, forzándolo a recorrer circuitos estancos para lograr el desarrollo de superficies espaciales en piezas inflables de escala manual. Se analizaron diferentes configuraciones posibles, las técnicas y materiales óptimos para la exploración y definición de los

parámetros a tener en cuenta para potenciar las propiedades del aire y su relación con estos circuitos. La investigación se encuentra en proceso y están previstas nuevas exploraciones modificando la escala y los circuitos.

## Introducción

En marco del proyecto de investigación “Morfologías en transformación mediadas por tecnología digital” (UBACyT 20020190100303BA) tomé como referencia y guía la tesis en desarrollo de la D.I. Maria Varela: “Estrategias morfológicas bioinspiradas: modelos de estructuración laminares basadas en patrones foliares”, en donde se busca un correlato en la generación de patrones estructurales y su resultante configuración espacial mediante herramientas y tecnologías digitales de fabricación. Su trabajo tiene como fin la conceptualización, clasificación y sistematización de los conocimientos específicos surgidos para la construcción de instrumentos que permitan nuevos caminos de generación formal, así como el uso e incorporación intencional de los mismos.

Dentro de esta temática decidí centrarme en las transformaciones y cambios que sufren estas superficies, a partir de ciertos estímulos, en su pasaje a la tridimensionalidad. Esto me motivó a explorar cuáles son las herramientas que encontramos en nuestra disciplina, el diseño industrial, para poder replicar o simular estas transformaciones dimensionales afectadas por la estructuración de las superficies.

Mi búsqueda inicial consistió en generar superficies espaciales partiendo de un plano y lograr su estructuración y transformación a través de algún elemento que responda a los patrones inspirados en configuraciones naturales diseñados previamente por Varela. La pregunta que motivó mi trabajo fue si estas conformaciones por tensión podrían ser reversibles. Como contrapunto incorporé el desarrollo de Brenda Pitkowski que, durante su pasantía en el proyecto, en paralelo a mi investigación, se enfocó en la exploración, a partir de los mismos patrones pero sobre materiales elásticos estructurados a partir de impresión 3D.

A partir de comprender que necesitaba un proceso que me permitiera una simple reversibilidad en la transformación dimensional de las superficies, logré establecer una relación con un ejercicio de la materia Morfología 2, Cátedra Muñoz, de la carrera de Diseño Industrial, FADU, UBA, sobre superficies desarrollables inflables. En éste, a partir del diseño de un desarrollo plano, en dos dimensiones, se obtiene una forma de tres dimensiones.

A continuación exploré algunas de las capacidades estructurales del aire, sometiéndolo a recorrer circuitos estancos para lograr el desarrollo de superficies espaciales. Durante este proceso se analizaron diferentes configuraciones posibles, las técnicas y materiales óptimos para la realización y definición de los parámetros a tener en cuenta para potenciar las propiedades del aire y su relación con estos patrones. El foco estuvo en comprender la relación entre el diseño de estos circuitos y la superficie resultante con la

intención de imitar la transformación en las superficies como sucede en la naturaleza.

## Propiedades del Aire en Superficies Espaciales

Como primer acercamiento con la técnica y funcionamiento de estos métodos de estructuración con aire, tomé de referencia el trabajo de MotorSkins (Villafaña), dedicados a la tecnología basada en textiles integrados a soft robots para aplicaciones médicas en situaciones de debilidad y discapacidad muscular. Si bien su objetivo se centra en el desarrollo de esta tecnología textil, sus metodologías fueron fundamentales para mi trabajo. Comencé probando una de sus configuraciones centrándome solamente en replicar el diseño del patrón, ya que me era necesario entender cómo el aire presionado en circuitos podía convertir una superficie plana en una espacial. A su vez comprendí la importancia de integrar un mecanismo de control interno para la inyección controlada de aire en el circuito, así como para la liberación de presión con el fin de regresar a la forma bidimensional de manera manual.

Teniendo en cuenta el patrón estructural definido, incorporé las recomendaciones técnicas del trabajo de Adriana Cabrera (2019). En el manual que desarrolla, sugiere realizar el patrón a utilizar en papel manteca y colocarlo entre dos láminas plásticas para evitar que se adhieran entre sí al momento de termosellarlas, permitiendo el ingreso del aire. Esta técnica fue de gran ayuda entendiendo los recursos con los que contaba y el contexto en el que desarrollaría mi exploración; no disponía de herramientas de fabricación digital aptas para este proceso. Esta situación me habilitaba a explorar diferentes enfoques de carácter viable tanto para el avance de mi investigación, como para su futura aplicación en el ámbito del diseño.

### *Pruebas preliminares*

A partir de estos antecedentes, realicé una primera exploración en donde comprendí las lógicas del aire para poder estructurar superficies y comprobar que el método tecnológico usado era el adecuado. Utilicé 2 láminas de PVC cristal de 0.3 micrones, coloqué entre ellas la plantilla del patrón a utilizar confeccionado en papel manteca y, con una plancha de uso doméstico, aplique calor y presión al conjunto de capas, asegurando la protección del plástico con un paño.

El modelo se dividió en dos zonas principales: el patrón y la zona de accionamiento manual (fig. 1). Es importante recordar que una premisa fundamental en mi investigación fue la necesidad de garantizar la existencia de un área de interacción que permitiera la transición de una superficie plana a una espacial. Como método de activación externa se presiona sobre esta zona y, al ser un modelo estanco, el aire fluye por el patrón estructurando la superficie y aportándole espacialidad. En esta primera prueba ambas zonas contaban con el mismo volumen interno. Una vez realizada, pude definir algunas consideraciones relacionadas al modelo testeado:

- Dialéctica entre la direccionalidad de la contracción y la disminución de la sección: hay una relación directamente proporcional entre las zonas

de apertura del circuito y las zonas de estrangulamiento que se generan. Estas áreas proporcionan tensión en el material y lo obligan a contraerse. Sumado a esto, la amplitud de cada celda al inflarse brinda un aumento de volúmen y ayuda al movimiento de contracción.

- Relación entre la superficie de la zona de accionamiento y la del patrón: para lograr un desarrollo efectivo de la superficie, es necesario que el aire del área de interacción sea suficiente para cargar el circuito por completo y asegurar la existencia de presión necesaria para garantizar la estructuración de la superficie.

**Figura 1: Esquema del modelo preliminar**

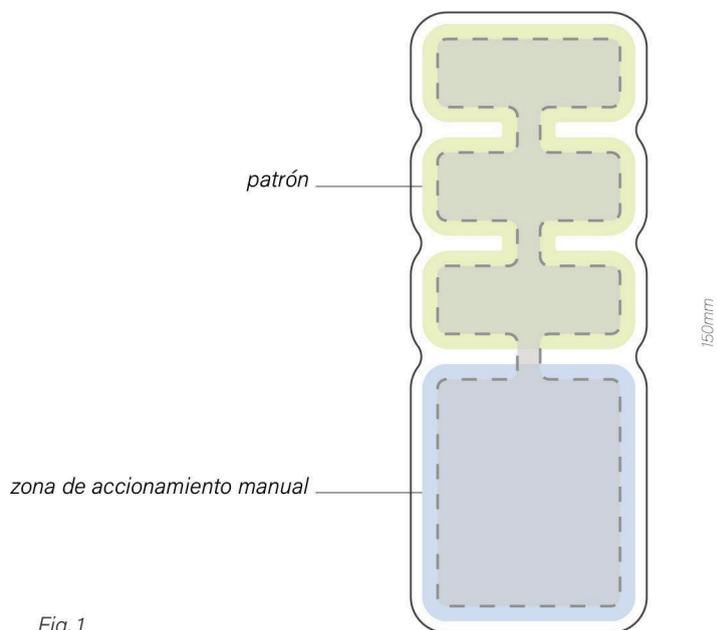


Fig. 1

Autor: Felizzola, Bruno.

### Pruebas fase 1

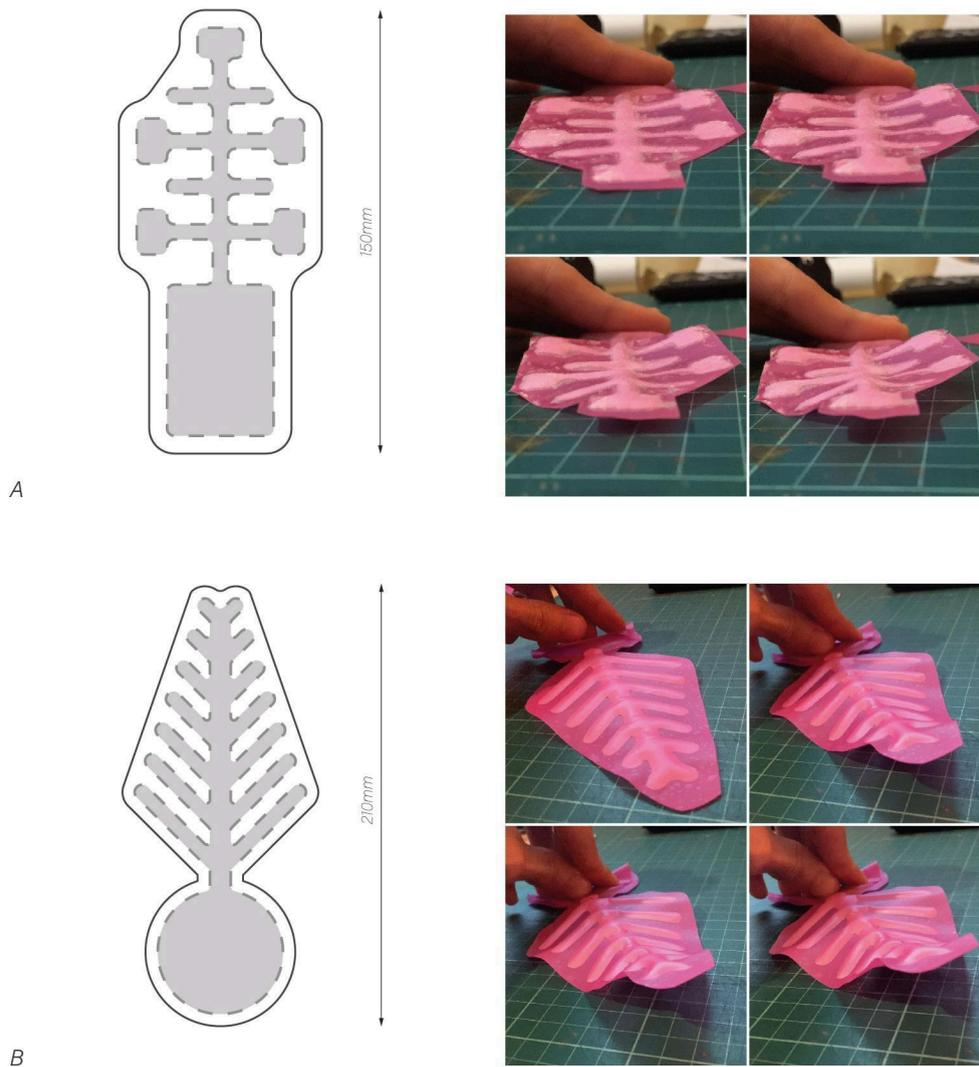
Definidos los parámetros a considerar gracias al desarrollo de los modelos de prueba, procedí a realizar un circuito con el objeto de replicar las estructuras necesarias para generar las superficies espaciales deseadas.

Comencé utilizando el mismo material (PVC cristal de 0.3 micrones) y la misma técnica que en la prueba preliminar. También mantuve la escala general del modelo y las proporciones entre las zonas de apertura y estrangulamiento (fig. 2A). El resultado no cumplió con las expectativas, ya que se logró un desarrollo espacial muy limitado debido a que la relación entre la multidireccionalidad de los canales y las escalas de las secciones no era la ideal. Es probable que la

superficie sellada rigidizara la estructura plana, limitando el movimiento y su desarrollo espacial.

Luego, diseñé el patrón entendiéndolo la direccionalidad del aire. Se planteó en sentido ramificado, desde la zona de accionamiento y disminuyendo el largo de los canales acercándose al final del circuito. Además probé aumentando la escala general del modelo para darle más espacio al flujo del aire (fig. 2B).

**Figura 2: Modelos de la fase 1**



Autor: Felizzola, Bruno.

Como resultado podemos observar una contracción interesante donde se empiezan a desarrollar las superficies buscadas.

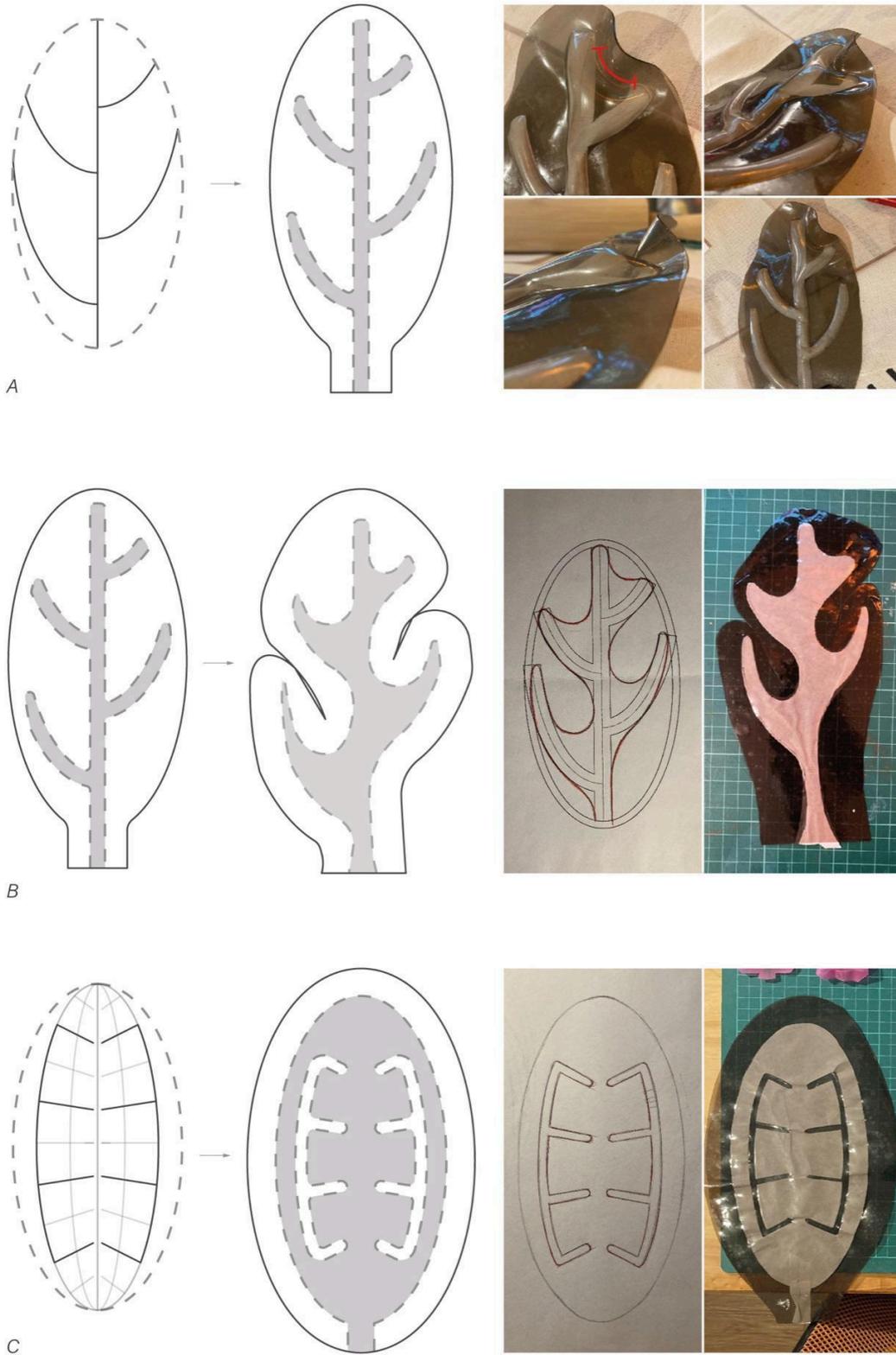
*Pruebas fase 2*

Para esta fase se tomaron como base para el diseño de los circuitos, los patrones realizados por Maria Varela para así corroborar la relación entre las transformaciones dadas en la naturaleza y las herramientas de nuestra disciplinas aplicadas a este fenómeno. Estos fueron modificados, teniendo en cuenta los parámetros observados hasta ahora, para adaptarlos al funcionamiento del método tecnológico explorado. A partir de la experiencia previa, decidí aumentar el espesor del material (PVC cristal de 0.6 micrones) y en consecuencia aumentar la escala general del modelo.

Comencé utilizando el patrón brindado que más se asemejaba a mi última prueba realizada (fig. 2B). Le di espesor a las ramificaciones con la idea de que los extremos se contraigan hacia el canal central (fig. 3A). La experimentación no arrojó los resultados deseados. No se observó un desarrollo espacial en la superficie, sin embargo, se produjo un evento que me permitió comprender mejor el comportamiento de estos sistemas. El flujo de aire ejerce presión en la intersección de los canales, generando un redondeo en sus vértices.

Luego de la eventualidad ocurrida en la prueba anterior, decidí rediseñar el modelo generando redondeos significativos, lo que permitió obtener un circuito altamente fluido. Las aplicaciones de material y escala fueron las mismas que las anteriores (fig. 3B). Después de no conseguir los resultados esperados, decidí cambiar de patrón pero continuando con la idea de un canal central ramificado (fig. 3C). El diseño resultante parte de uno de los esquemas realizados por Varela, pero seleccionando estratégicamente solo algunas de las líneas del patrón, esta vez aumentando el área del circuito y utilizando las ramificaciones como la zona termosellada.

**Figura 3: Modelos de la fase 2**



Autor: Felizzola, Bruno.

### *Conclusiones parciales*

En esta instancia pude definir ciertos parámetros y cualidades:

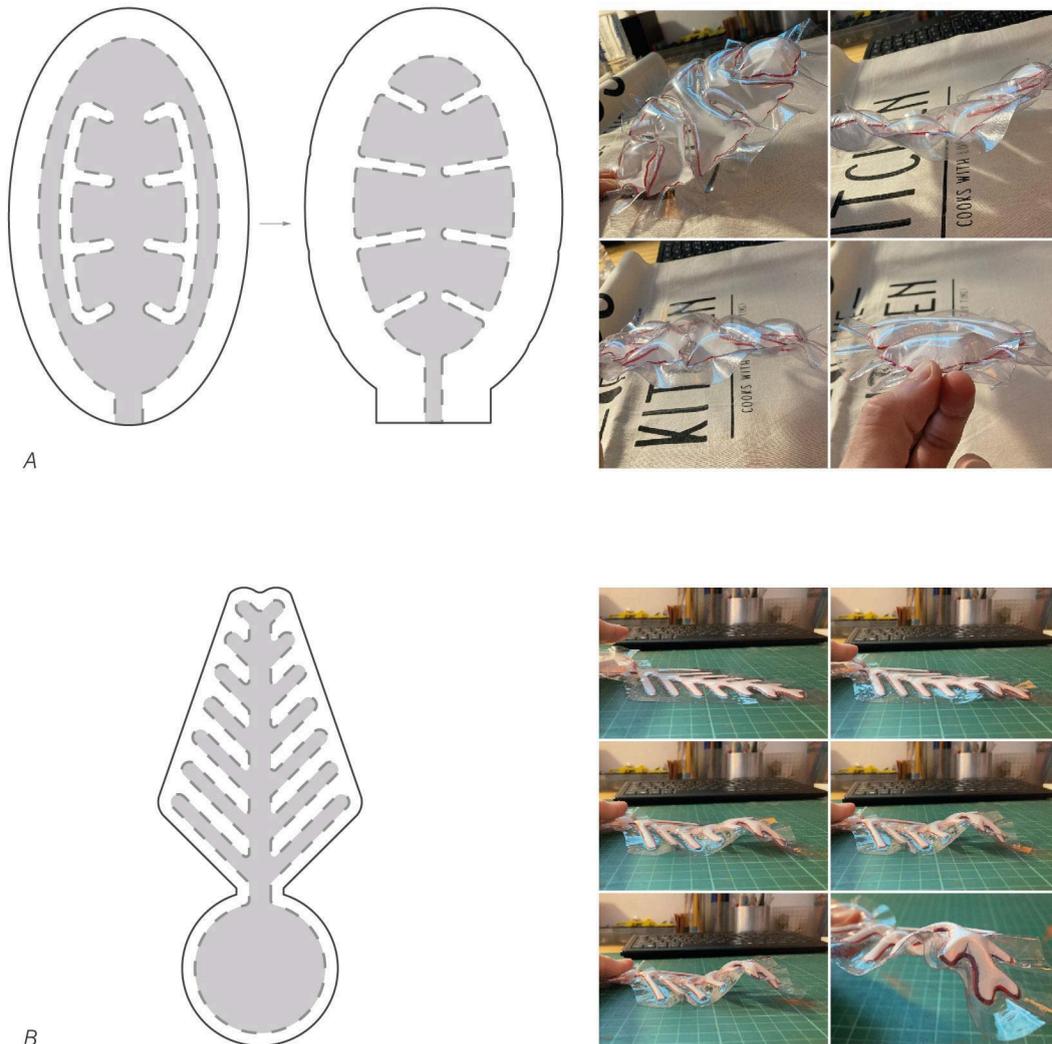
- Para el diseño de los patrones es necesario contemplar el recorrido del aire dentro del circuito y el espacio de circulación en comparación con el área sellada.
- Funcionan mejor los materiales de menor espesor.

Si bien ninguno de los modelos realizados logró desarrollarse espacialmente como esperaba, sirvieron para detectar y evidenciar características propias de las técnicas utilizadas. Por último, es necesario considerar los esfuerzos que genera el aire en el material según la presión manual ejercida sobre la zona de accionamiento y la relación entre el volumen máximo diseñado para que éste fluya y la zona de accionamiento. Para controlar los esfuerzos podemos tomar decisiones en el diseño del modelo operando sobre los redondeos óptimos, las distancias mínimas necesarias de los canales, la escala total del modelo, entre otros.

### *Pruebas fase 3*

Esta instancia estuvo basada en la disminución de espesor del material, utilizando esta vez PVC cristal de 0.1 micrones, menor aún que en la fase 1. Se rediseñaron patrones anteriormente utilizados, teniendo en cuenta todas las conclusiones obtenidas en las fases anteriores.

Retomé el patrón foliar utilizado anteriormente (fig. 3C), realizando ajustes en el diseño. El cambio más significativo fue eliminar los canales periféricos y acotar el espacio entre las líneas termoselladas (fig. 4A).

**Figura 4: Modelos de la fase 3**

Autor: Felizzola, Bruno.

El cambio de espesor del material demostró un avance significativo, ya que se logró una mejor definición de la forma buscada y un sellado más resistente. Si bien el rediseño ayudó en el objetivo, el resultado no fue lo suficientemente satisfactorio.

Con la mejora material, decidí retomar el diseño utilizado en la prueba de la primera fase (fig. 2B). Este es el patrón que mejor resultado me ha dado hasta el momento. Realizando pequeños ajustes, como radios y distancias entre canales, se logró el diseño final del modelo (fig. 4B).

Gracias al cambio de las especificidades del material y a las decisiones tomadas a raíz de toda la exploración, la prueba tuvo mejores resultados. Se logró mayor desarrollo espacial que en otras ocasiones, la forma general estaba más definida y estructuralmente se percibió una mayor solidez.

## Desarrollo a futuro

A continuación expondré ciertos puntos clave a tener en cuenta al momento de desarrollar mi investigación, compartiendoles mi experiencia durante el proceso:

- Tecnología: En cuanto al desarrollo tecnológico implementado, puedo confirmar que la técnica planteada por Adriana Cabrera es útil para estas exploraciones sin herramental específico. Permite hacer pruebas domésticas con una plancha hogareña y la utilización de plantillas fabricadas con papel manteca para evitar la adhesión entre las láminas plásticas. Contar con esta metodología que implica pocos recursos y de muy fácil acceso es vital para este tipo de experimentaciones.
- Materialidad: Las pruebas materiales no fueron amplias. El uso de PVC cristal, en diferentes espesores, dió resultados notoriamente distintos. Efectivamente a menor espesor se obtienen mejores resultados, tanto desde el termosellado como en la definición y desarrollo de la forma final. Además, permite una mayor adaptabilidad del aire y una mayor flexibilidad en la superficie resultante al accionar el sistema.
- Configuración de los patrones: Este punto fue uno de los más complejos de lograr, incluso todavía poseo varias pruebas por hacer con respecto a este tema. Las preguntas pendientes se centran en entender el recorrido, el flujo y la dirección del aire, la longitud de los canales, la distancia entre ellos y sus relaciones, las continuidades y discontinuidades, el área que ocupa el aire en relación al espacio sellado y la resistencia que éste ejerce.
- Diseño: Una parte fundamental, y quizás la más importante, es el diseño de los modelos. Estos son los que vinculan los parámetros mencionados anteriormente y permiten ir respondiendo a los interrogantes planteados para construir una guía para estructurar superficies flexibles a través del aire. La realización de estos modelos facilitan no solo entender cada parámetro en particular sino sus interrelaciones. Por ejemplo, un cambio en el espesor del material o en la distancia entre canales, implica ajustar todo el resto de variables para que el resultado sea óptimo.

Si bien esta exploración se llevó a cabo utilizando procesos artesanales debido a los recursos disponibles, constituye una base para futuros procesos de fabricación digital. Con los parámetros formales definidos, entendiendo la vinculación entre los patrones foliares diseñados por María Varela y sus ajustes, y cómo estos afectan al desarrollo de la tridimensionalidad de las superficies se puede comenzar a experimentar con procesos industriales más complejos.

## Bibliografía

Bielicki, F. (2019). Low-cost Inflatable soft robot. Recuperado de: [www.iaacblog.com](http://www.iaacblog.com)

Cabrera A. (2019). How to do a simple inflatable. Fabricademy. Recuperado el 12/05/2023 de: [www.lass.textile-academy.org](http://www.lass.textile-academy.org)

Chia, HY. & Hsien, HP. (2018). The fabrication and application of parametric inflatable structure.

Villafaña, B. (s.f.). MotorSkins: the metamaterial that is changing people's lives through assisted movement. Recuperado de: [www.designwanted.com](http://www.designwanted.com)