

Comunicación

Superficies en tensión: simulación digital de interacciones físicas para la generación de formas tridimensionales

Arazi, Gabriel

gabiarazi97@gmail.com

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

Palabras clave

Simulación, Superficies, Algoritmo, Bioinspirado, Morfología.

Resumen

La pregunta principal que guió la investigación que estoy desarrollando, en el marco del proyecto UBACyT 20020190100303BA, fue: ¿Cómo se pueden imitar las propiedades físicas presentes en la naturaleza para emplearlas en el diseño morfológico?

El trabajo se centra en la generación de superficies espaciales a partir de curvas planas, mediante un proceso físico de interacción entre una sección "activa", que se contrae, y otra "pasiva", que resiste la contracción.

Este proceso da lugar a una transformación de la superficie inicial, que se separa de la base al ejercerse la tensión y encontrar un punto de equilibrio.

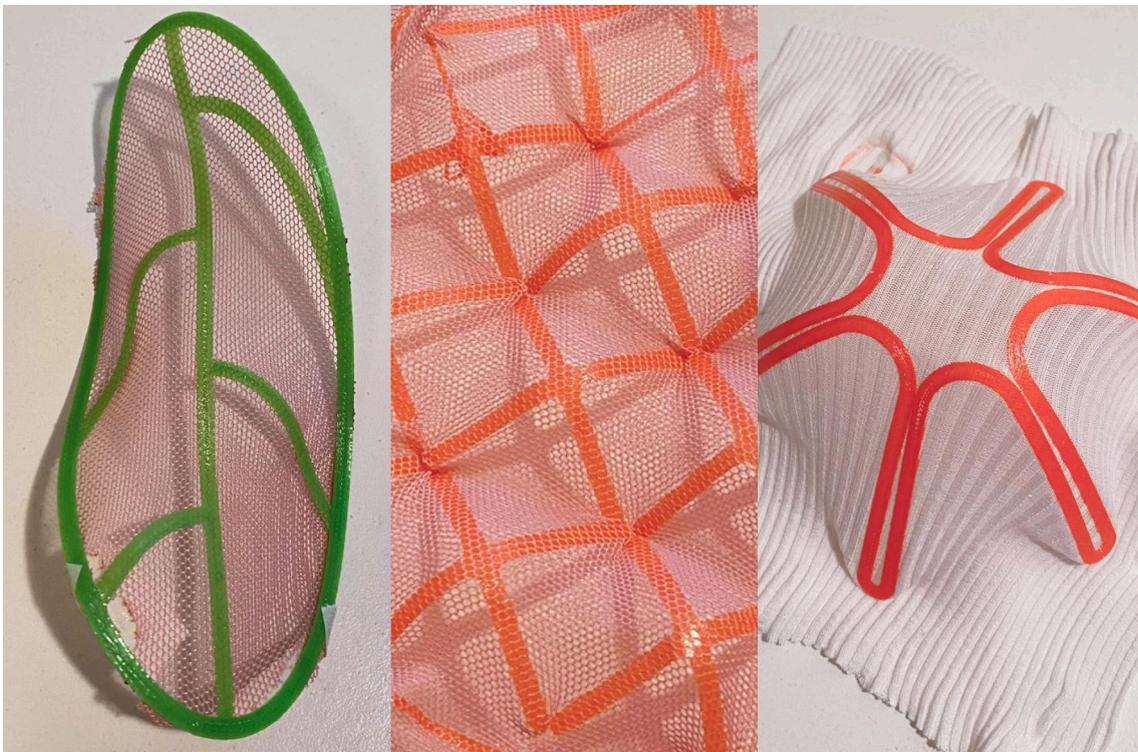
Introducción

En marco del proyecto de investigación “Morfologías en transformación mediadas por tecnología digital” (UBACyT 20020190100303BA) usé como referencia el trabajo de Maria Varela sobre modelos de estructuración laminar basados en patrones foliares y las experimentaciones de Brenda Pitkowski en las que utiliza la impresión 3D sobre tela previamente tensada (figura 1). En sus líneas de exploración desarrollan la técnica de los textiles programables, que se basa en generar una superficie espacial a partir de las fuerzas tensionadas entre el textil y la impresión, que se despega del plano luego de soltarse de la base.

La exploración formal a través de esta técnica requiere de mucho tiempo e iteraciones de prueba y error para poder entender y manejar los resultados de forma precisa. A raíz de esto, fue que me surgió la pregunta: ¿Se podría replicar este proceso de forma digital?

Algunos antecedentes de esto son los trabajos de Fields, G. (2018) ; Perez, J. & Otaduy, M. & Thomaszewski, B. (2017) ; Oxman, N. (2007) ; Nojoomi, A., Jeon, J. & Yum, K. (2021). Guseinov, R., Miguel, E. y Bickel, B. (2017). En ellos se desarrollan técnicas similares, pero contando con tecnologías muy especializadas, como impresión 3d de biopolímeros, o software desarrollado a medida para el proyecto. Para esta investigación, se decidió que la herramienta a utilizar debía ser de fácil acceso, permitiendo realizar cambios en el algoritmo con facilidad, y que otros puedan replicarlo.

Figura 1: Ejemplos de textiles programables



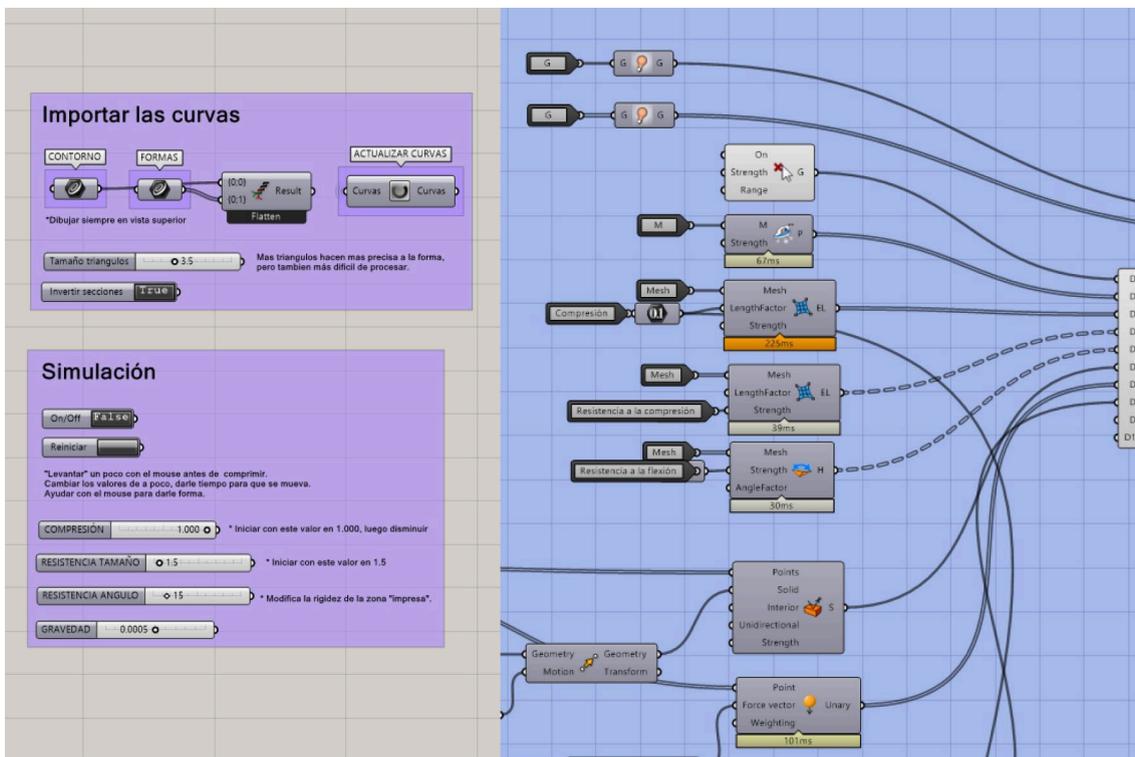
Pruebas realizadas por Brenda Pitkowski

Desarrollo técnico

Utilicé la herramienta Grasshopper dentro del software Rhinoceros 3D para generar un algoritmo que me permita ingresar el dibujo de las curvas en dos dimensiones como entrada de datos, además de ciertos parámetros, para luego encontrar la forma final. Me fue de utilidad contar con el *plug-in* incorporado “Kangaroo 2” (Piker, 2013). Este consiste de un componente de resolución física al que se le ingresa geometría, junto a objetivos y restricciones, que luego resuelve ajustando según los cálculos realizados.

Para poder entender cómo realizar el algoritmo, me basé en la documentación que ofrece este *plug-in*, y también de las pruebas tangibles desarrolladas por el equipo de investigación. Estas me sirvieron para poder analizar con mis propias manos cómo responde el textil frente a la tensión y distensión, comprendiendo las fuerzas implicadas.

Figura 2: Captura de pantalla Grasshopper 3d



Autor: Gabriel Arazi

Descripción del Algoritmo:

El primer paso para llevar a cabo la operación deseada, es crear una curva cerrada que sirva como el contorno, la cual va a actuar como la zona “activa”, (que corresponde al textil en su representación tangible). Luego se ingresa una o más curvas cerradas que estén dentro de la curva de contorno, que van a actuar como la zona “pasiva” que resiste a la contracción. A continuación, se convierten estas curvas realizadas en formato “NURBS” en una malla de

triángulos, con una medida “x” aplicada al largo de las aristas. Mientras más pequeña sea esta medida, más triángulos tendrá la malla, por lo tanto más definición, y al mismo tiempo más dificultad para su procesamiento.

Luego, se aplican los objetivos y restricciones al componente de resolución física “*Kangaroo 2*” detallados a continuación:

- “*EdgeLengths*” en la sección activa. Utilizado para indicar la disminución del tamaño de las aristas de la malla. Inicia siendo 100% su valor, y desciende hasta el porcentaje de contracción deseado.
- “*EdgeLengths*” en la sección pasiva. Se mantiene siempre constante su valor, lo que le indica al algoritmo que el largo de las aristas en la sección pasiva no debe disminuir.
- “*Shell*” en la sección pasiva. Ejerce una fuerza de resistencia para evitar el cambio de ángulo entre las caras de cada triángulo. Esto le otorga rigidez.
- “*SolidPointCollide*” Se detectan las colisiones entre los vértices de la malla y un plano colocado bajo la figura, el cual funciona como suelo.
- “*Load*” Se aplica una carga gravitatoria sobre la figura en el eje Z.
- “*SoftBodyCollide*” Detecta las colisiones de la figura consigo misma, evitando que se entrecruce y atravesese.
- “*Grab*” Permite que se pueda mover la figura utilizando el cursor, lo que ayuda para orientar el movimiento, adaptando el resultado final.
- “*Smooth*” Se aplica sobre toda la malla un suavizado para generar más uniformidad en la superficie.

Exploración morfológica

Ya contando con el algoritmo, se realizaron una serie de pruebas con distintas formas base. Se comenzó replicando los modelos de hojas parametrizadas del trabajo de Maria Varela (figura 1) para verificar su correcto funcionamiento y ajustar los parámetros. Después de obtener resultados similares a las pruebas materiales, me hice la pregunta: ¿Es posible reconocer los patrones de comportamiento de las interacciones en tensión, y manipular su resultado final?

Probé distintas alternativas para tratar de responderlo. Para ordenar mejor los resultados, los dividí en grupos según características compartidas. A continuación se presenta en la figura 2 el resultado de algunas exploraciones que agrupé dentro de la categoría “cruces”.

Se puede observar cómo cambia el resultado final a partir de los diferentes patrones bidimensionales. Es notable como la proporción de la zona “pasiva”, que resiste a la contracción, influye generando mayor curvatura en la dirección en la que sea más alargada.

También se puede ver como la multiplicidad de figuras “pasivas” compartiendo un mismo área “activa” generan quiebres y discontinuidades que no se darían si solo hubiese una figura. Por lo tanto, se debe considerar a la interacción entre múltiples figuras como algo determinante.

También es de gran influencia la forma del área “activa” y su relación de posición con las áreas “pasivas”. Las superficies generadas en los espacios que están más alejados de la zona “pasiva” se curvan más en el espacio, generando inflexiones interesantes.

Los vértices presentes en la figura base, se mantienen al generarse la tridimensionalidad. Por lo tanto, si se quiere dar mayor continuidad a la curva limitante de la superficie, se podrían hacer contornos continuos, que luego serán replicados en la forma final.

Conclusiones

A partir de las pruebas realizadas, se vuelve más sencillo iterar con velocidad y facilidad sobre los diseños de modo virtual, en comparación a su producción material. Esto permite adaptar con precisión las curvas base para luego obtener los resultados deseados. También se entienden mejor las dinámicas del movimiento, logrando predecir el comportamiento final.

Más allá de eso, lo que resulta de mayor interés, son las múltiples posibilidades de diseño morfológico que habilita este método. La digitalización del proceso otorga nuevas alternativas de intervención, que con las pruebas materiales no podrían darse.

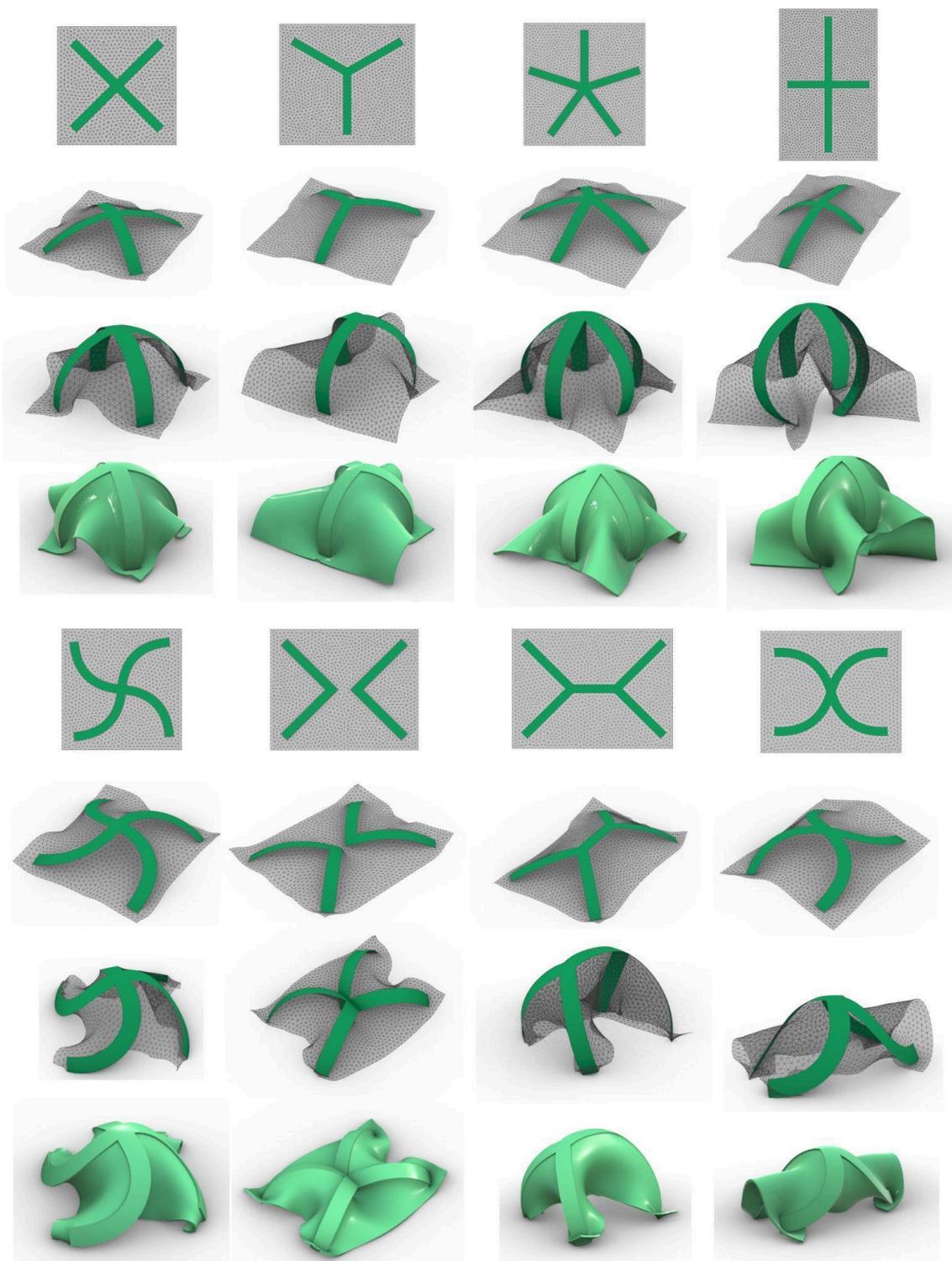
La concreción de las formas ya no está limitada al textil. Se podría imprimir en 3D la forma final y a partir de esos modelos incorporar otras tecnologías convencionales, como por ejemplo la fundición.

Continuación

A lo largo del trabajo, surgieron nuevas preguntas que quedan pendientes de responder. ¿Con qué materiales podría fabricarse? ¿Con qué procesos? ¿Pueden adaptarse las formas a distintos procesos? ¿Que otras categorías de formas podrían armarse? ¿Se podrían alterar más parámetros? ¿Es posible combinar superficies y formar volúmenes cerrados? ¿Podría usar las fuerzas de gravedad de maneras distintas?

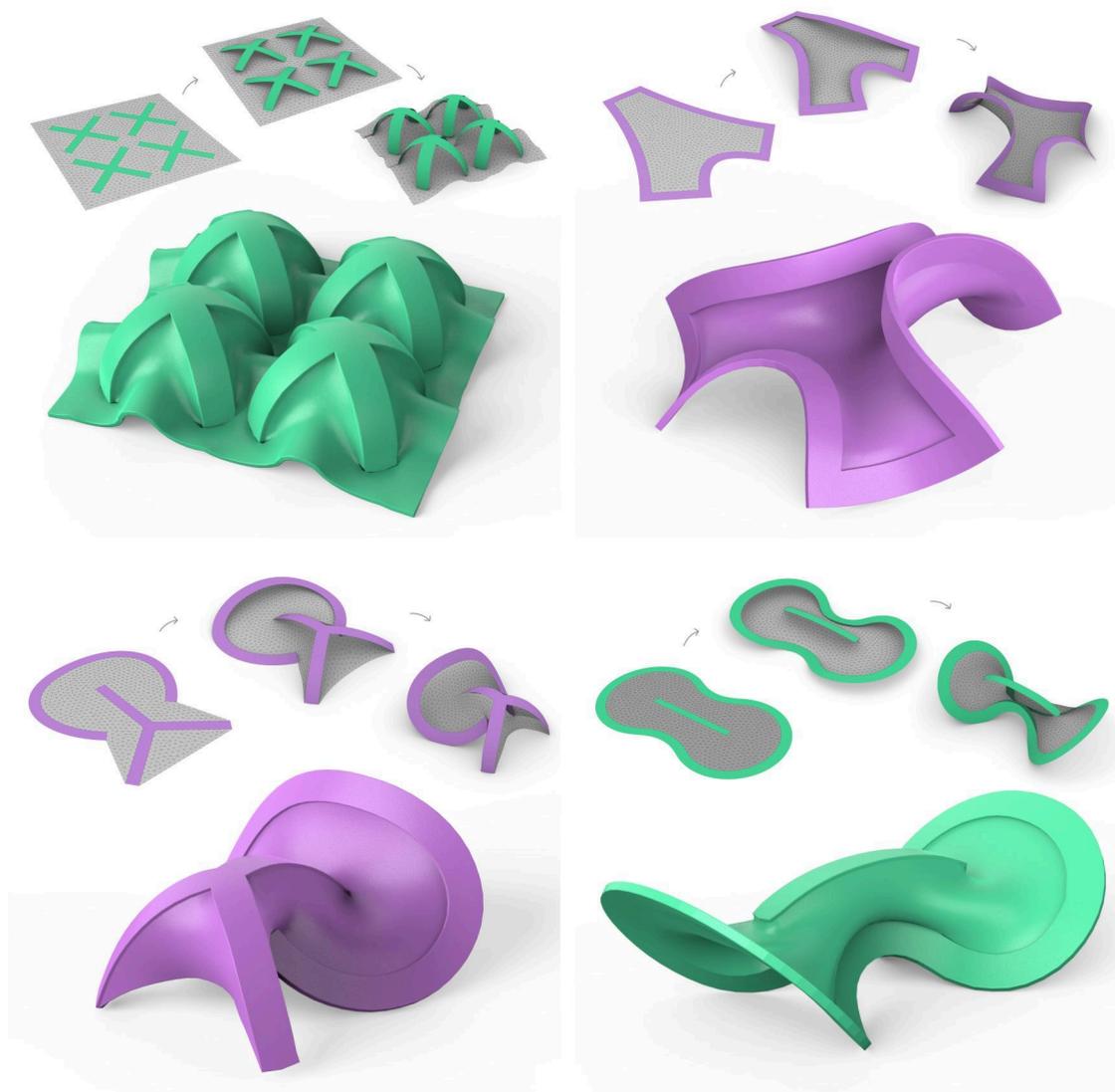
De este modo, proyectamos diversas aproximaciones para continuar indagando en la temática.

Figura 3: Experimentación en cruces



Autor: Gabriel Arazi

Figura 4: Experimentaciones variadas



Autor: Gabriel Arazi

Bibliografía

Fields, G. (2018). Self Forming Structures: An Exploration into 3D Printing on Pre-stretched Fabric. Nervous System Inc. Recuperado el 06/07/2024 de: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=8011>

Guseinov, R., Miguel, E. y Bickel, B. (2017). CurveUps: shaping objects from flat plates with tension-actuated curvature. *ACM Transactions on Graphics*. 36. 1-12.

Nojoomi, A., Jeon, J. & Yum, K. (2021). 2D material programming for 3D shaping. *Nat Commun* 12, 603.

Oxman, N. (2007). Material-based Design Computation An Inquiry into Digital Simulation of Physical Material Properties as Design Generators

Piker, D. (2013). Kangaroo: Form Finding with Computational Physics. En *Architectural Design* 83, pp.136-137

Perez, J. & Otaduy, M. & Thomaszewski, B. (2017). Computational design and automated fabrication of kirchhoff-plateau surfaces. *ACM Transactions on Graphics*. 36. 1-12.