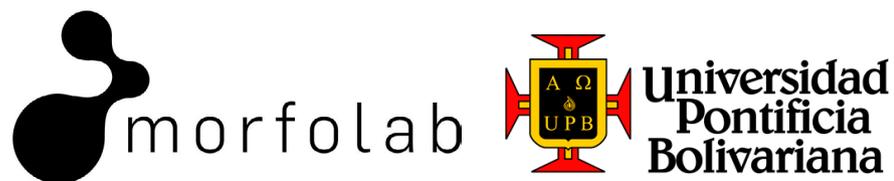


MORFOLAB - Investigación en Biónica en la Universidad Pontificia Bolivariana



Introducción

Equipo de investigación:

Phd. Andrés Valencia-Escobar,
Phd. Alejandro Zuleta-Gil,
Phd. Elsie María Arbeláez Ochoa,
Mg. Diana Urdinola Serna,
Mg. Paula Chacón Cifuentes,
Mg. David A. Torreblanca-Díaz,
Mg. Ever Patiño Mazo

Auxiliares de investigación (Morfolab):

Simón Chinchilla Quiroz,
Juan Carlos Henao Celada,
Andrés Herrera Arcila,
Valeria Londoño Orozco,
Juliana Vélez Patrouilleau,
José Manuel Agudelo Toro,
Camila Aguirre Vásquez, Lauren
Abreu, Daniela Muñoz, Sara
Peña, Manuela Roldan, María
Fernanda Zapata,
Juan Diego Buritica Marín,
Carolina Cardona,
Mariana Betancur Sánchez y
Valentina Cardona Echeverri,
Laura Vargas, Julio Zuluaga,
Julian Villa.

En el año 1997 se comenzó a gestar en Medellín-Colombia el Grupo de investigación en Biónica dentro la Facultad de Diseño Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana. Los fundadores fueron los arquitectos Luis Alfonso Ramírez, David Vanegas, Luis Sañudo, y los diseñadores industriales Fernando Sierra y Lina Obregón. Esta última acababa de terminar sus estudios de posgrado en Biónica y Diseño en el Instituto Europeo de Diseño de Milán, que en ese entonces estaba bajo la dirección de Carmelo di Bartolo, e invita a los demás integrantes que ya tenían experiencia investigativa en temáticas afines, a formar un grupo de investigación donde el centro fuera responder a la pregunta: cómo aplicar principios estructurales y formales de la naturaleza en el diseño y la arquitectura.

El primer proyecto de investigación del grupo tuvo como objetivo construir las bases del grupo a partir de la redacción de un Manual de Biónica, donde figuraban temas como: las estructuras de membrana, las estructuras infladas, las estructuras dinámicas, los plegados, la geometría, las estructuras geodésicas y la metodología biónica. Asimismo, y desde ese entonces, el grupo siempre ha tenido el acompañamiento del Semillero de investigación Morfolab, que es un espacio académico del pregrado de Diseño Industrial, cuyo objetivo es formar a los estudiantes en competencias de indagación, análisis y síntesis de información, mientras se apoyan los proyectos del grupo.

Posteriormente, en el año 2004, como respuesta a las nuevas dinámicas de apoyo a la investigación en Colombia, la Facultad de Diseño Industrial decide conformar el Grupo de Investigación de Estudios en Diseño (GED) con cuatro líneas de investigación. El Grupo de investigación en Biónica se reestructura conceptualmente, y bajo la coordinación del Diseñador Industrial Ever Patiño y en compañía del Ingeniero Andrés Valencia, pasa a ser la Línea de investigación en Morfología Experimental (LIME). Además del cambio administrativo, la Línea

cambia su perspectiva, para centrar sus estudios al concepto de la FORMA, entendida como un material dotado de una estructura física, que puede ser intervenido, explorado y controlado desde y por la tecnología natural y la humana, en busca de soluciones que puedan ser utilizadas en el Diseño Industrial. En la actualidad la LIME está conformada por investigadores con áreas de experticia diversa, como: ingeniería mecánica, materiales, tecnologías de fabricación digital y diseño industrial que han desarrollado una serie de proyectos de investigación que transitan entre los medios analógicos y los medios digitales para la exploración de la FORMA, donde lo analógico se instala con la experiencia directa y la relación entre FORMA (ver figura 1), material, y proceso; y lo digital utiliza los nuevos avances tecnológicos, donde las ayudas CAD, CAM, CAE (Computer Aided Design, Computer Aided Manufacturing y Computer Aided Engineering) para facilitar el proceso creativo de búsqueda y conformación de soluciones de diseño (ver figura 2). A su vez estos proyectos, están inscritos en lo que marca actualmente la vanguardia en la formalización y materialización del proceso de diseño de productos, como: los referentes naturales, el diseño algorítmico, la experimentación con tecnologías y el diseño de nuevos materiales y procesos (Valencia-Escobar & Urdinola, 2016).

Fig. 1. Estructura participativa Biogénesis construía en el Festival Internacional de la Imagen en Manizales, Colombia (2017), a partir de la exploración analógica con un algoritmo basado en el crecimiento progresivo y diferencial presente en el reino vegetal. Diseño de Diana Urdinola, David Torreblanca y Ever Patiño. Fotografía: Ever Patiño.



Fig. 2. Impresión 3D por rayos U.V del proyecto Texturas bioinspiradas con tecnologías de fabricación digital de la LIME. Fotografía: David Torreblanca.



Enfoque

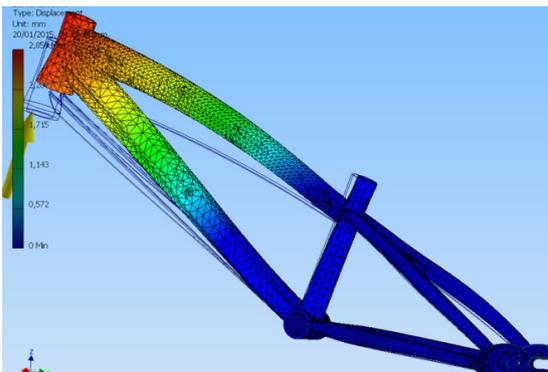
Ahora bien, la LIME tiene tres escenarios de intervención en la Facultad de Diseño Industrial que no son excluyentes, y en el cual participa todo el equipo de investigación (ver figura 3): (i) investigación formativa en pregrado, (ii) investigación estricta para la generación de nuevo conocimiento, e (iii) investigación aplicada para transferir el conocimiento al medio y generar impacto social e industrial. En la investigación formativa en pregrado, la LIME está presente en los cursos de proyecto y teoría dedicados al estudio de la FORMA, y los docentes a partir de los resultados de investigación apoyan la formalización en todos los cursos de proyecto. Paralelo a los cursos, todos los estudiantes de diseño interesados en la morfología y la experimentación formal, tienen la oportunidad de ser parte del semillero de investigación Morlofab, que como se mencionó anteriormente, es un espacio extracurricular donde los estudiantes sin necesidad de asistir a los cursos pueden desarrollar proyectos de investigación con la asesoría de la LIME.

Por otro lado, en la investigación aplicada para transferir el conocimiento al medio y generar impacto social e industrial, la LIME ha desarrollado diferentes proyectos en conjunto con otras líneas de investigación, otras universidades, instituciones culturales y la empresa privada.



Fig. 3. Equipo de investigación de la LIME. De izquierda a derecha: Phd. Andrés Valencia-Escobar, Phd. Alejandro Zuleta-Gil, Mg. Paula Chacón Cifuentes, Phd. Elsie María Arbeláez Ochoa, Mg. David Torreblanca-Díaz, Mg. Diana Urdinola Serna, Mg. Ever Patiño Mazo

Fig. 4. Análisis de elementos finitos y marco definitivo del mejoramiento funcional del marco para BMX de la empresa GW. Gráfico de la LIME y fotografía cortesía de GW.



Por ejemplo, en la figura 4 se puede ver el resultado del proyecto de mejoramiento funcional del marco de BMX desarrollado conjuntamente con el equipo de ingeniería de la empresa GW. Con el proyecto se logró disminuir en un 10% el peso y aumentar en 12% la rigidez del marco, con el que se ganó una medalla olímpica la deportista colombiana Mariana Pajón.

Por último, en la investigación estricta para la generación de nuevo conocimiento, la LIME ha aprovechado su recorrido histórico y el área de experticia de sus investigadores para desarrollar proyectos en diferentes temáticas: Biomimética y bioinspiración, *form-finding*, diseño de materiales, diseño estructural, *food design*, fabricación digital, diseño paramétrico, y estructuras no convencionales. Los casos que se van a mostrar más adelante tratarán de explorar las temáticas estudiadas, con el ánimo de demostrar su aplicabilidad en el diseño industrial, y su relación con el estudio de los principios y estrategias que se pueden encontrar en la naturaleza viva e inerte.

CASO 1 – BIOMECÁNICA / ANÁLISIS DE LOS PECIOLOS

El primer caso que se presentará de manera resumida relaciona la biomimética, el análisis estructural y la FORMA, en un proyecto donde se estudiaron los peciolo para buscar insumos que puedan ser utilizados para el diseño de sistemas estructurales, toda vez que su variedad es muy alta. Dentro de todas las partes de una planta, los peciolo de las hojas, son los órganos destinados a unir las hojas al tallo o a las ramas y por lo tanto a servir de soporte estructural y medio de transporte de fluidos para las hojas. La responsabilidad estructural del peciolo en una planta es altísima, casi tanto como la del tallo o las ramas. Una falla en esta parte le representa a la planta la pérdida de su unidad fundamental de producción de energía y de intercambio gaseoso (Valencia-Escobar & Urdinola, 2019).

Con el proyecto se conoció la configuración formal jerárquica del peciolo en varios niveles de escala, y se entendió éste como el resultado de la adaptación a las condiciones cambiantes del entorno para responder funcional y sistémicamente a las diferentes solicitaciones funcionales a las que se ve sometido. Así mismo, el proyecto se basó en biomecánica vegetal que propone utilizar los modelos analíticos desarrollados por la ingeniería para analizar las estructuras vegetales (Valencia-Escobar & Urdinola, 2019).

CONFIGURACIÓN MACROSCÓPICA GLOBAL

En el primer nivel de jerárquico de escala se tomó el peciolo como una unidad estructural sistémica o configuración macrocópica global (Valencia-Escobar, 2007). Desde este nivel se puede decir, que en la sección transversal se evidencian dos componentes principales: una cáscara exterior relativamente rígida llamado epidermis y un interior blando configurado por un tejido vascular y uno fundamental (figura 5) (Taiz & Zeiger, 2015). Los dos componentes están conformados por tejidos y sus características formales varían por especie, por la posición que ocupen en la planta, su estado de desarrollo y por las requisitos que le imponen el medio ambiente. (Valencia-Escobar & Urdinola, 2019).

A su vez, la sección transversal del peciolo presenta múltiples geometrías tanto en su perímetro externo como en la manera en que se distribuyen los tejidos en el interior. Como se ve en la figura 6, existen peciolo con sección epidérmica circular, ovalada, en U, tipo gota, triangular y

combinada de las anteriores que dan como resultado formas irregulares no simétricas. La forma de la sección del peciolo es relevante porque es la encargada de soportar los esfuerzos normales de tracción y compresión generados por la flexión y los esfuerzos cortantes generados por la torsión, y se sabe que no todas las geometrías se comportan de la misma manera ante estos esfuerzos (Valencia-Escobar & Urdinola, 2019).

El proyecto también evidenció que el interior de la sección del peciolo también es fundamental, ya que el exceso de flexibilidad puede ocasionar fallas estructurales. Por ello se deben vincular las propiedades del perímetro con la manera en que los tejidos internos se ubican en la sección. Hay dos patrones generales para esta ubicación: un relleno total o un relleno parcial (figura 7). Por otro lado, el peciolo no es una estructura prismática regular, es decir, su sección transversal cambia con respecto a su longitud, disminuyendo en tamaño y variando en forma desde la unión con el tronco hacia el extremo libre (Valencia-Escobar & Urdinola, 2019). Este aspecto se ha relacionado en algunos casos con una estrategia denominada resistencia constante, que implica que en una viga con sección transversal variable el valor de los esfuerzos sea siempre constante independientemente del punto en el que se mida, ya que se utiliza solo la cantidad de material necesario para soportar el momento flector (Niklas, 1993).

Fig. 5.
a) Sección transversal del peciolo de *Ravenala madagascariensis*.
b) Imagen microscópica que muestra los diferentes tejidos de la sección.

Fotografías:
Andrés
Valencia-Escobar.

Fig. 6. Diferentes geometrías de peciolo.

Fotografías
de Andrés
Valencia-Escobar.

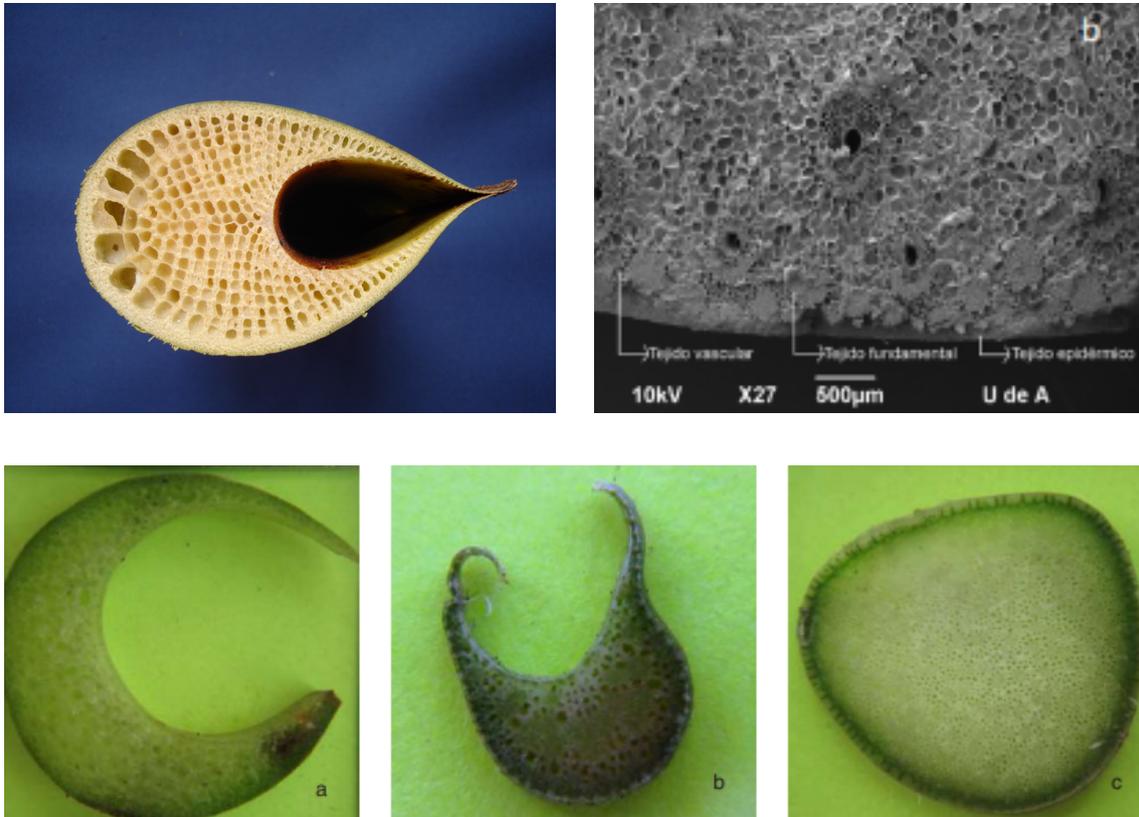


Fig. 6. Diferentes geometrías de peciolo.

Fotografía de Andrés Valencia-Escobar.

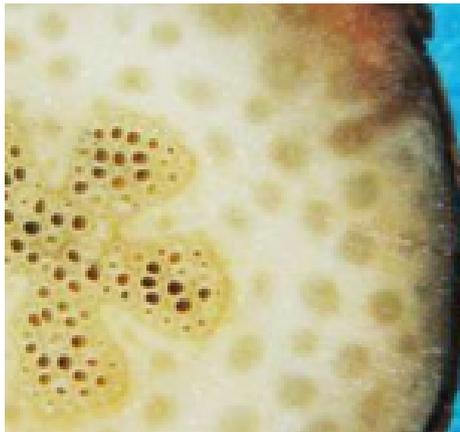


Fig. 7.

a) Sección transversal con relleno completo.

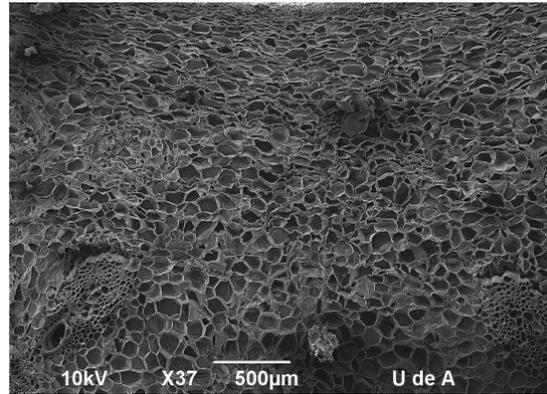
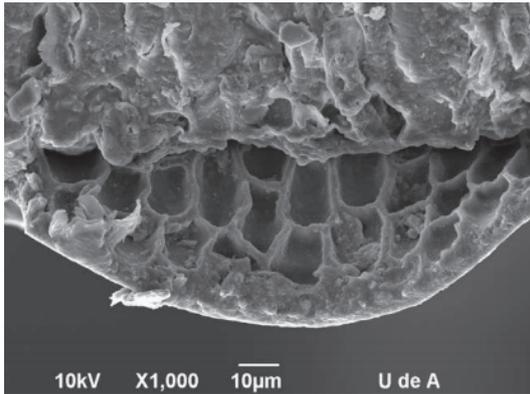
b) Sección transversal con relleno parcial.

Fotografías de Andrés Valencia-Escobar.



CONFIGURACIÓN MACROSCÓPICA LOCAL

En el segundo nivel jerárquico de escala o configuración macroscópica local, se estudió cada uno de los subsistemas estructurales que componen el sistema global (Valencia-Escobar, 2007). Se analizó la posición de los tejidos con respecto al eje centroidal o al eje neutro de la sección transversal y las características formales y funcionales de cada uno de ellos. Todos los tejidos vegetales están formados por agregados de células que difieren en propiedades y morfología. La epidermis, tejido externo que recubre el peciolo, se configura a partir de una capa continua de células que se organiza bidimensionalmente y que tiene muy poco espacio intersticial, lo que hace que el área de contacto entre las paredes celulares sea muy alta (Valencia-Escobar & Urdinola, 2019). La epidermis contribuye con cerca del 70% de la rigidez total a flexión mientras contribuye solo con entre un 5% y un 10% del peso total de la sección transversal (Niklas, 1992). También se encuentran en esta zona de la sección ases vasculares que incluyen xilema que transporta de agua y iones minerales y fibras de esclerénquima lignificada es decir, fibras con células con paredes gruesas recubiertas con lignina (ver figura 8) (Enos, Spatz & Speck, 2000).



CONFIGURACIÓN MICROSCÓPICA LOCAL

En el tercer nivel jerárquico o configuración microscópica local se identificó cómo la configuración microestructural de los materiales se relaciona con el sistema global (Valencia-Escobar, 2007). Al respecto se puede decir que la forma y el tamaño de las células y la manera como se agrupan para configurar cada uno de los tejidos, definen el desempeño estructural de estos y de las estructuras que con ellos se forman. Además de este aspecto, la composición química, el espesor y la nanoestructura de las paredes celulares se presentan como elementos de análisis complementarios (Teeri, 2007). Las células pueden agruparse formalmente en patrones bidimensionales, similares a un panal de abejas o tridimensionales, similares a una espuma, que dependen de las características de los tejidos que conformarán (ver figura 9).

Fig. 8. Corte de la epidermis de un peciolo en el que se evidencian las células que lo conforman.

Fotografía de Andrés Valencia.

CASO 2 – MOBILIARIO BIOREFERENCIADO/ ANÁLISIS DE *Bismarckia nobilis*.

Este proyecto fue desarrollado en su totalidad por estudiantes de la Facultad de Diseño Industrial pertenecientes al Morfolab con la asesoría de los investigadores de la LIME. En el proyecto se trabajó con una de las líneas contemporáneas más representativas dentro del diseño biomimético que está relacionada con la aplicación de principios funcionales estructurales abstraídos de los sistemas biológicos en el desarrollo de soluciones artificiales. Los estudiantes realizaron un análisis biomecánico de la hoja de planta *Bismarckia nobilis*, para desarrollar morfologías con base en la geometría de su superficie y utilizar su capacidad portante como principio estructural (Urdinola, 2018).

Fig. 9. Evidencia de la agrupación tridimensional de células en el interior de la sección transversal de un peciolo.

Fotografía de Andrés Valencia.

La *Bismarckia nobilis* es un tipo de palma procedente de Madagascar y pertenece a la familia de las Aceráceas. Se compone de un tronco, los peciolos y las láminas o superficies de las hojas, siendo estas últimas la base del estudio desarrollado (Ver figura 10). Por otro lado, su lámina presenta una superficie grande, que puede alcanzar los tres metros de ancho, gracias, entre otras cosas, a su morfología en zigzag que distribuye el viento que incide sobre su estructura.

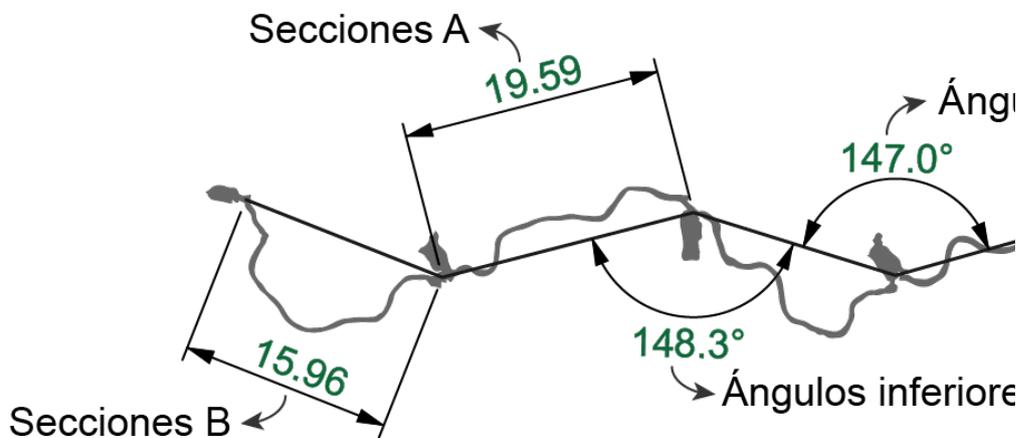
Fig. 10. Foto de la palma *Bismarckia nobilis* en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Fotografía de: Simón Chinchilla Quiroz,
Juan Carlos Henao Celada,
Andrés Herrera Arcila.

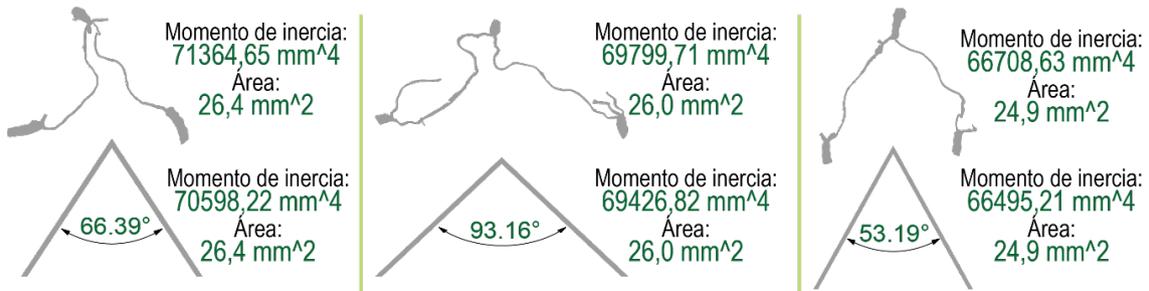


Fig. 11. Corte transversal de un ejemplar destinado para la prueba de compresión, las variables se definen con respecto a las costillas que le aportan rigidez a la lámina. Se muestran las variables: ángulos superiores (beta), ángulos inferiores (alfa), longitud de secciones A, longitud de secciones B, y longitud total transversal (sumatoria de secciones A y B).

Esquemas de: Simón Chinchilla Quiroz,
Juan Carlos Henao Celada,
Andrés Herrera Arcila.



Para el desarrollo del proyecto los estudiantes caracterizaron la capacidad portante presente en la lámina, estableciendo ejemplares de 20 cm por 20 cm para la prueba de compresión (ver figura 11), y ejemplares de 25 cm por el largo del pliegue para la prueba de flexión (ver figura 12), que permitieran el desarrollo de las pruebas en las cuales se iban a comparar las características morfológicas con la capacidad portante.



Las pruebas realizadas sobre los ejemplares arrojaron diversidad de datos e información, puesto que las relaciones variaban según la variable morfológica analizada. Para algunos casos fue inversa, mientras que para otros fue directa, por tanto, fue posible deducir que la relación existente entre la morfología y la capacidad portante no es constante. También se encontró que el comportamiento de la relación entre la carga y la deformación de la lámina es lineal debido a que en las líneas de regresión se obtuvo un r^2 de 0.9 y en la pendiente se obtuvo como resultado que, a mayor inclinación de la pendiente, mayor es la rigidez de la lámina (Urdinola, 2018).

Fig. 12. Digitalización del corte de los ejemplares destinados para la prueba de flexión con su respectiva geometría regular, donde se muestran las variables: área transversal, momento de inercia y ángulo.

Esquema de: Simón Chinchilla Quiroz, Juan Carlos Henao Celada, Andrés Herrera Arcila.

APLICACIÓN DE LOS HALLAZGOS

La relación existente entre la morfología y la capacidad portante presente en la lámina de la *Bismarckia nobilis* se manifiesta en la materialización del perfil metálico que compone la estructura que soporta una serie de listones de madera. Esto da como resultado una pieza de mobiliario que al modularse propone un crecimiento que hace referencia a la forma de la lámina estudiada. Esta propuesta invita desde, la morfología a diversas posiciones que responden a dos momentos, uno de tiempo corto y otro de tiempo prolongado (ver figura 13 a la 15) (Urdinola, 2018).



Fig. 13. Perfil diseñado según la morfología de la lámina de la *Bismarckia nobilis*.

Diseño de: Simón Chinchilla Quiroz, Juan Carlos Henao Celada, Andrés Herrera Arcila.



Fig. 14. Pieza de mobiliario conformada por el perfil y los listones de madera.

Diseño de: Simón Chinchilla Quiroz, Juan Carlos Henao Celada, Andrés Herrera Arcila.



Fig. 15. Posibles posturas de los usuarios y modulaciones del sistema.

Diseño de: Simón Chinchilla Quiroz, Juan Carlos Henao Celada, Andrés Herrera Arcila.



CASO 3 – FUERZAS NATURALES / Form-finding

Uno de los problemas tratados por la LIME ha sido la caracterización y utilización de las técnicas de *form-finding* en el diseño industrial. El *form-finding*, ha sido utilizado sobre todo en el diseño arquitectónico, y se puede definir como sistemas generativos basados en principios físicos, como la gravedad, la tensión superficial y el magnetismo para favorecer la exploración morfológica (Patiño & Maya, 2018). Dos de las principales características son la auto organización y la bioinspiración. La auto organización se refiere a la capacidad de algunos sistemas físicos y/o biológicos de organizarse y cambiar su forma de manera más o menos autónoma (Otto & Rasch, 1995); y la *bioinspiración*, es en términos generales la imitación de las formas y estructuras de la naturaleza, que en el caso del *form-finding*, la imitación se genera por la influencia directa de la utilización de principios físicos sobre el material (Patiño & Maya, 2018), es decir, la FORMA que adoptará el material depende del proceso de transformación morfológica (Otto & Rasch, 1995), por tanto, si se copia el proceso, se puede generar una FORMA con una geometría similar a la encontrada en la naturaleza (Patiño & Maya, 2018). La LIME ha clasificado y caracterizado 40 técnicas de *form-finding* (ver figura 16), a partir de una revisión en la literatura científica, determinando de manera conceptual, empírica y matemática los fenómenos físicos asociados a cada técnica, las entradas, las salidas, los procesos de transformación, las posibles variables de exploración de la FORMA y las principales ecuaciones de los fenómenos físicos y/o químicos asociados.

Por ejemplo, en la caracterización de la técnica (4) “células ligeras”, de la figura 17, se presentan cada uno de los elementos analizados. La técnica se basa en inflar con aire (presión interna) globos de látex y por la restricción que imponen hilos, cuerdas y/o marcos a la membrana, ésta se configura con dobles curvaturas positivas o geometrías esferoides. Las posibles variables que pueden interactuar en la experimentación pueden ser el tipo de globo, la presión, y el tipo restricción. El tipo de globo se puede establecer por el calibre del material y la forma, pero en este caso se determina por el tamaño, siendo grande un tamaño inflado aproximado de 50cm de diámetro, mediano de 25cm, y pequeño de 15cm.

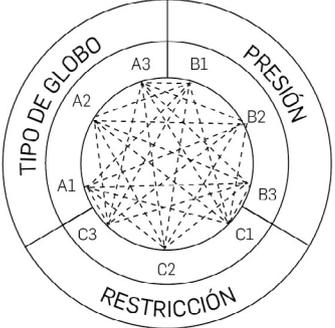
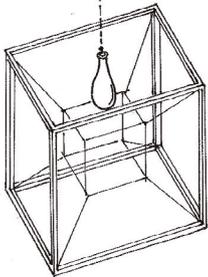
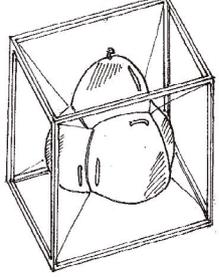
Igualmente, la presión interviene en la forma final que tomará la membrana, pues sin aire, el globo carece de estructura. Para este caso, al dificultarse la medición de los psi se valora en relación con el porcentaje de inflado aproximado; presión alta es 100%, presión media es 70%, y presión baja es 40%. Y por último, el tipo de restricción es el tipo de limitación que se utilizará en la exploración; puede ser generando una red con los hilos dentro del marco, amarrar con hilos pero sin marco, y tensionando externamente desde el marco. Esto da un total de 3 variables, cada uno con 3 niveles, 3^3 experimentos, es decir, 27 posibilidades de exploración formal.

Para ilustrar mejor, una de las combinaciones puede ser A1+B1+C1, es decir, globo grande, con presión alta y en red con marco. De manera similar, se presentan las ecuaciones vinculadas al principal proceso físico que influencia el fenómeno, con el interés de entender dicho fenómeno y permitir la posible simulación digital a partir de la programación en un software.



Fig. 16. Fotografías de las 40 técnicas caracterizadas.

Fotografías de Ever Patiño.

4 Técnica: Células ligeras			
Grupo	Entrada	Proceso o regla	Posibles variables de experimentación
Inflar	Globos de látex, marcos y cuerdas	Presión interna	<p>A. TIPO DE GLOBO Grande Mediano Alargado</p> <p>B. PRESIÓN Alta Media Baja</p> <p>C. RESTRICCIÓN En red con marco Líneas sin marco Tensionado con marco</p> 
Ecuación del proceso asociado		Salida	
$p = t1 / r1 + t2 / r2 \quad (1)$ $\min n(p) \geq 0,2 \cdot \max n(p) \quad (2)$		Dobles curvaturas positivas o geometrías esferoides	
Nomenclatura	Referencias	Diagrama del proceso	Diagrama del resultado
<p>p= presión t= tensión de membrana r= radio de curvatura</p>	<p>(Otto, 2011) (Dickson, 2003) (Otto & Rasch, 2001) (Patiño, Arango & Jaramillo, 2015) (Sastre, 2012)* (Eggers, 1977)*</p>		

Registro fotográfico

Fotografías: Ever Patiño

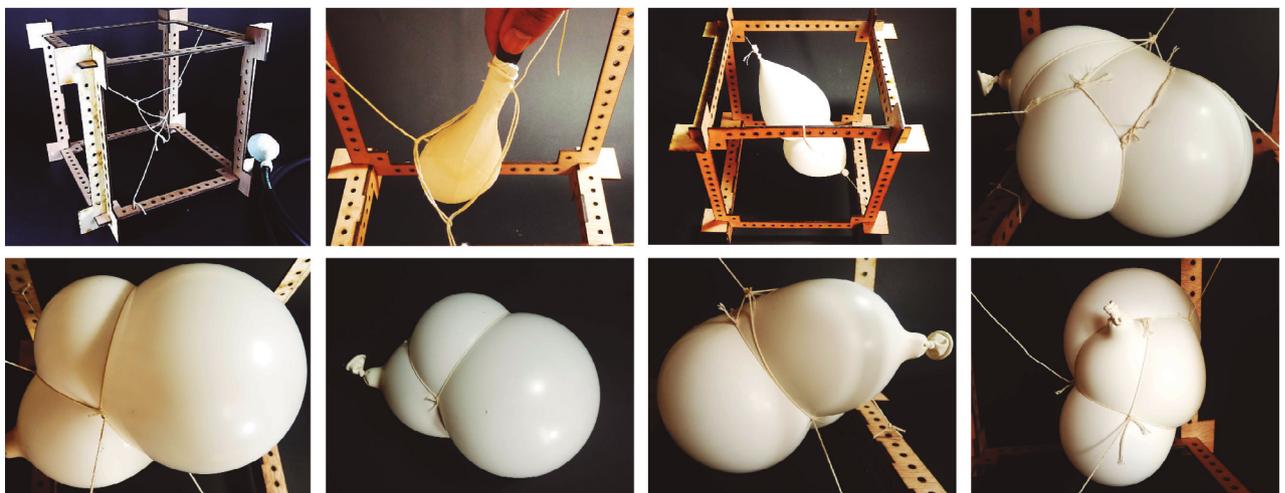


Fig. 17. Caracterización de la técnica 4 "células ligeras".

La ecuación (1) de la figura 10 explica matemáticamente la relación entre la presión, la tensión de membrana y el radio de curvatura. El radio de curvatura en una forma como está, es diferente en cada punto de la membrana, lo que ocasiona una red de puntos en la superficie con características geométricas y físicas diferentes. Por otro lado, la expresión (2) explica el equilibrio necesario para que no se generen arrugas.

Aplicaciones

Además de la caracterización y clasificación anteriormente mencionada ha sido importante comprobar la utilización de las técnicas en el Diseño Industrial. La LIME y el Morfolab han desarrollado diferentes proyectos para demostrar la eficacia de la aplicación del *form-finding* en el proceso creativo y de materialización del diseño, y posibilitar que estas técnicas sean seleccionadas por su potencial de generar formas novedosas y atractivas visualmente. La metodología se basó en la experimentación analógica y creativa con las técnicas: (i) fabricación de modelos físicos para explorar con los materiales y procedimientos, (ii) definición entradas, variables y salidas de cada técnica, (iii) generación de catálogos de formas, (iv) utilización de los catálogos en procesos de ideación, (v) diseño y fabricación de los prototipos que se pueden ver de la figura 18 a la 20.

Fig. 18. Técnica 24: Deformación de láminas plásticas por calor y gravedad. Con esta técnica se cubrieron las caras de la instalación participativa “Biogénesis 2018”. Fotografías de Ever Patiño.



Fig. 19. Instalación “Biogénesis 2018”. Consta de una estructura geodésica de madera contrachapada flexibilizada por corte láser y una piel de poliestireno deformado por calor y gravedad. Diseño de la LIME. Fotografías de Ever Patiño.





Fig. 20. Maceta para exteriores con irrigación automática de agua utilizando la técnica 33: Moldes flexibles y concreto.

Diseño y fotografías de José Manuel Agudelo Toro.

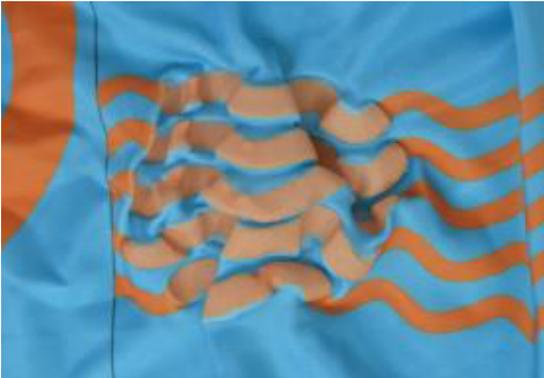


Figura 21(a) y (b). Técnica 29: membranas pre tensadas y curvatura. Una membrana elástica se tensiona en un marco se impregnan una zonas con resina, se deja secar, se retira el marco y la membrana adopta una forma tridimensional.

Fotografías de Valeria Londoño Orozco.



Figura 22. Diseño de una maleta plegable utilizando la técnica 29 de membranas pre tensadas y curvatura en algunas zonas. Diseño y fotografías de Valeria Londoño Orozco.

CASO 4 – MATERIALES BIOLÓGICOS / Material polimérico comestible

A partir de los procesos evolutivos, la naturaleza ha encontrado estrategias para crear, transformarse y adaptarse a las diferentes exigencias que le plantea el medio ambiente, viéndose obligada a desarrollar materiales más eficientes química y estructuralmente. A partir de la biomimética, ha sido posible desarrollar nuevas tecnologías para dar solución a problemas y retos en campos como el diseño y la ingeniería (Zuleta-Gil, 2018).

Ahora bien, la mayoría de los materiales naturales son materiales compuestos, los cuales se basan en un número limitado de componentes poliméricos (p. ej.: colágeno, quitina, queratina) y minerales (p. ej. carbonato de calcio, fosfato de calcio, sílice, Hidroxiapatita y magnetita) (Zuleta-Gil, 2018). De acuerdo con lo mencionado por Aizenberg y Fratzl (Aizenberg & Fratzl, 2009), el estudio de materiales biológicos debería contemplar al menos tres diferentes aspectos: (i) dilucidación de las relaciones estructura-función en materiales biológicos, (ii) extracción de los principios fisicoquímicos y (iii) desarrollo de medios para la síntesis y fabricación de materiales biomiméticos teniendo en cuenta las capacidades existentes y las limitaciones impuestas por la tecnología y la economía. Esos tres aspectos permiten relacionar los materiales biológicos y la biomimética (Chen, McKittrick, & Meyers, 2012), para buscar materiales de menor impacto ambiental en comparación, por ejemplo, de los polímeros obtenidos del petróleo, que generan una mayor cantidad de residuos sólidos, cuya degradación requiere cientos de años (Nair, Sekhar, Nampoothiri & Pandey, 2017).

La gelatina es una de las alternativas que se han encontrado para la elaboración de materiales poliméricos biodegradables, que además de cumplir con exigencias estructurales sean amables con el medio ambiente. Es una proteína animal translúcida y sin sabor que se obtiene del tratamiento de huesos y tejidos animales para extraer colágeno, que se pulveriza después de un proceso de molienda, para obtener películas de polímero después de disolver el polvo en agua a temperaturas superiores a 40 ° C y posteriormente enfriarlo a temperatura ambiente. En ese momento aumenta su rigidez (Souissi et al., 2017) (Bigi, et al., 2002).

A partir de lo anterior se presenta el resumen del proyecto de desarrollo e implementación de un material comestible sintetizado a partir de gelatina, realizado conjuntamente entre la LIME y el Morfolab. En donde, además, se propuso una metodología para el diseño controlado de FORMAS que cambian de un espacio bidimensional a un espacio tridimensional para convertirse en contenedores hechos de láminas del material sintetizado.

Preparación del material

Para sintetizar el material polimérico comestible, se utilizó gelatina en polvo comercial (piel bovina), glicerina USP, aceite de árbol de té disuelto en agua dulce. Todo en cantidades controladas, mezclado, calentado y vertido sobre una superficie rígida (ver figura 23). Posteriormente se midieron y caracterizaron mecánicamente las muestras.

Diseño de contenedores

Sobre la base de las características del material resultante, se desarrolló una metodología para obtener formas volumétricas con características de contención. El diseño de las formas comienza con el requisito de cambiar de un plano bidimensional a un plano tridimensional (formas volumétricas) considerando como punto de partida las láminas bidimensionales del material desarrolladas.

Cuando la lámina cambia de un plano bidimensional a un plano tridimensional, se genera una superficie curva con posibilidades funcionales para contener objetos. Para la generación de formas, se utilizaron polígonos regulares como las formas originales de la figura 24, que eran un círculo con un radio de 75 mm y un cuadrado con una longitud lateral de 150 mm. Posteriormente, se hicieron cortes rectos y curvos a partir de vértices y caras para evitar alcanzar el punto medio del polígono. Este proceso se describe en la figura 24.

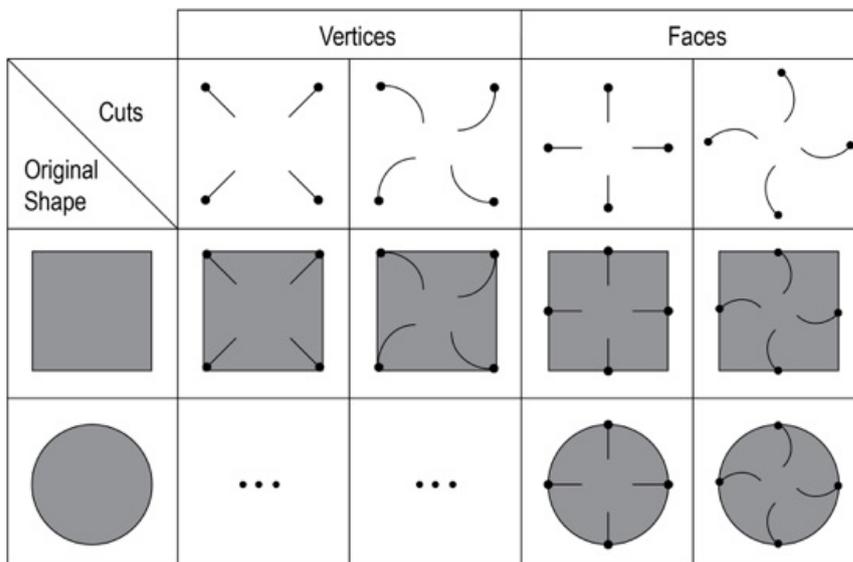
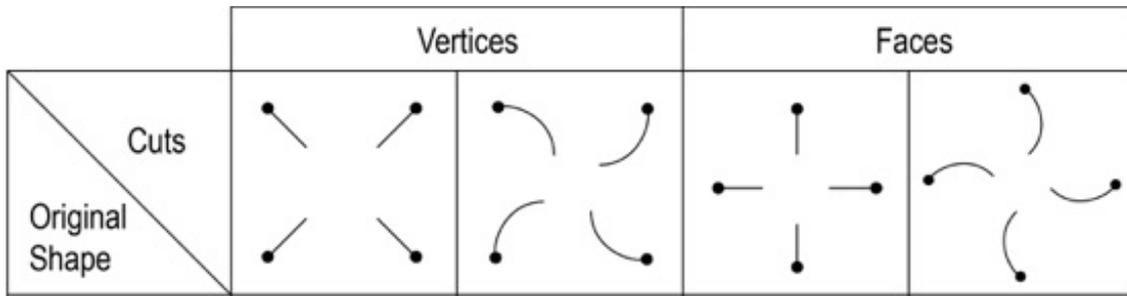


Fig. 23. Proceso de generación de láminas.

- (a) Preparación de la mezcla.
- (b) Adición de glicerina.
- (c) Verter y
- (d) Esparcir la mezcla sobre toda el área del molde.

Fig. 24. Cortes rectos y curvos hechos de vértices y caras de polígonos regulares.

Basado en los polígonos regulares y los pliegues y cortes realizados en las hojas, se diseñaron cuatro formas con características de contención de diferentes objetos secos a temperatura ambiente. Estas formas se obtuvieron vertiendo el material en moldes de acetato de vinilo. Luego, se pliegan y se ensamblan para lograr el tamaño de volumen deseado de acuerdo con la geometría de la forma. La figura 25 muestra los detalles de diseño para cada contenedor, comenzando desde su forma original hasta su forma final, junto con las intervenciones geométricas subyacentes.

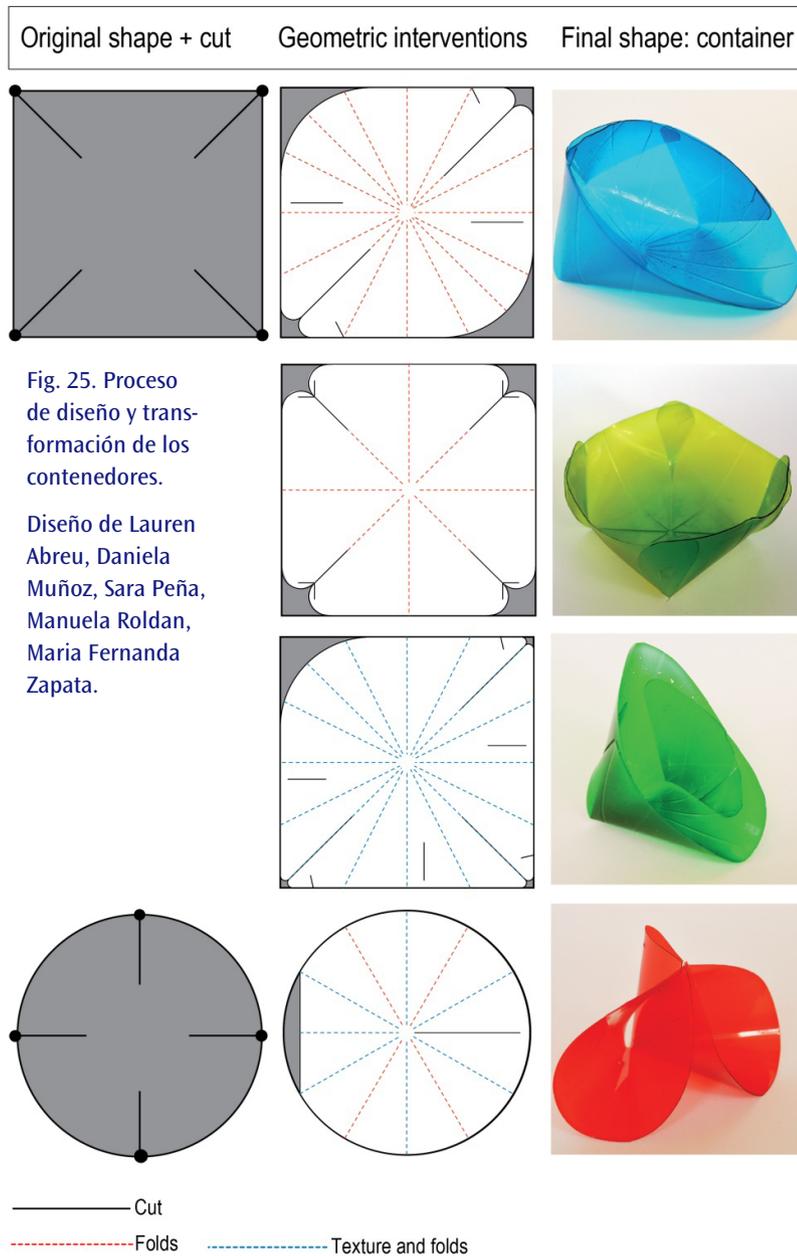


Fig. 25. Proceso de diseño y transformación de los contenedores.

Diseño de Lauren Abreu, Daniela Muñoz, Sara Peña, Manuela Roldan, Maria Fernanda Zapata.

CASO 5 – TEXTURAS BIOINSPIRADAS / Diseño paramétrico y fabricación digital

La bioinspiración se encarga específicamente del análisis por analogía de una geometría natural particular (Patiño et al., 2017); es decir, hace parte del diseño por analogía, el cual estudia un dominio para transferir sus características por medio de la asociación a otro dominio que presenta problemas de diseño (Moreno et al., 2015). En este caso, el primer dominio son las superficies vegetales, las características hacen referencia a las propiedades geométricas y el segundo dominio son superficies y texturas de objetos, textiles y espacios (Patiño et al., 2017). Asimismo, se ha comprobado que si un objeto industrial se diseña a partir de la biomimética o la bioinspiración tendrá mayor probabilidad de adquirir características que lo harán innovador y eficiente (Patiño, et al., 2019) (Vincent, et al., 2016) (Jirapong, Krawczyk, & Elnimeiri, 2002).

Asimismo, el desarrollo de superficies funcionales obtenidas a partir de la copia de texturas presentes en la naturaleza ha despertado mucho interés debido a las diversas aplicaciones que desde este ejercicio se puedan derivar (Patiño, et al., 2019). Ya que estas superficies frontera responden a necesidades específicas que difieren según la función que se necesita suplir el organismo: puede delimitar dando forma al individuo y proporcionando estructura al cuerpo; puede ser una barrera contra los ambientes secos, húmedos, fríos y/o calientes; en algunos casos hace parte de la respiración y transporta gases y secreciones; hacen parte de la termorregulación por el uso de pigmentos y componentes químicos y a menudo intervienen en los sistemas de comunicación; y muchas de las superficies especializadas hacen parte de mecanismos, retienen aire, muelen alimentos y limpian el cuerpo (Gorb, 2006)

Por otra parte, en las últimas décadas, se ha observado un avance acelerado de las tecnologías digitales involucradas en el proceso proyectual realizado por diseñadores, arquitectos y otros profesionales creativos: los softwares CAD (*Computer Aided Design*) han evolucionado y se han transformado en *software* CAD generativos, paramétricos y asociativos, y las Tecnologías de Fabricación Digital (TFD) han ampliado sus posibilidades y ventajas técnicas (Torreblanca-Díaz, 2019).

A partir de lo anterior se propone el proyecto “Repertorio de superficies y texturas bioinspiradas, a través de experimentaciones morfológicas con Tecnologías de Fabricación Digital”, en este proyecto se propone el desarrollo de un repositorio de texturas digitales y parametrizadas en línea, en la modalidad *open source*, cuya finalidad es proveer a los diseñadores y arquitectos insumos para mejorar y potenciar sus proyectos de diseño en aspectos como: la funcionalidad, la estética, la usabilidad y la sensorialidad.

Síntesis de la metodología

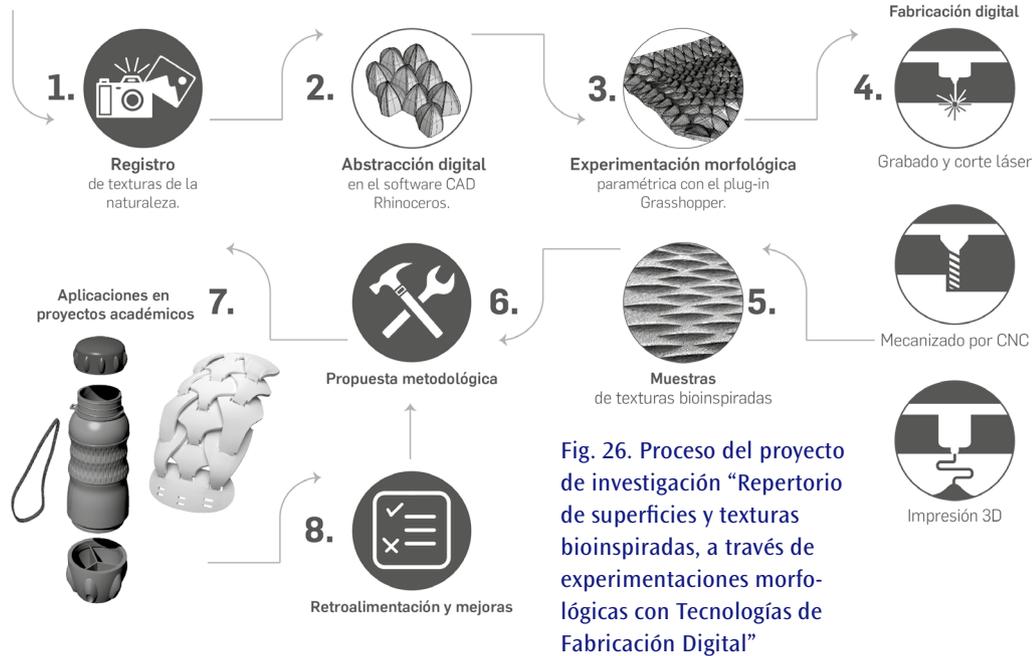
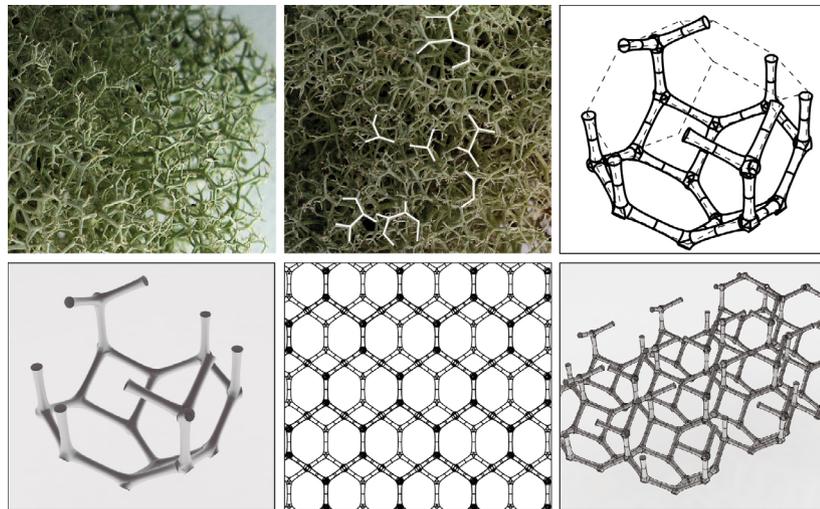


Fig. 26. Proceso del proyecto de investigación “Repertorio de superficies y texturas bioinspiradas, a través de experimentaciones morfológicas con Tecnologías de Fabricación Digital”

Fig. 27. Ejemplo del proceso de registro fotográfico del líquen *lcmadophila adversa*, abstracción y modelación digital.

Fotografía de Silvia Gallego, dibujo de Ever Patiño.



La metodología inició con el registro fotográfico de especies vegetales de la ciudad de Medellín, luego se hizo la abstracción digital en el software *CAD Rhinoceros*, posteriormente se realizó la parametrización y transformaciones morfológicas de las texturas con el *plug-in Grasshopper*, se fabricaron muestras con diferentes tecnologías de fabricación digital, se formuló una propuesta metodológica y por último se realizó la aplicación de las texturas bioinspiradas en proyectos de grado (ver figura 26 y 27) (Torreblanca-Díaz, 2019).

Muestras

Una vez desarrollado el proceso de abstracción y modelación digital se realizó la parametrización utilizando el *plug-in Grasshopper*. Esto permitió hacer transformaciones morfológicas siguiendo principios de crecimiento natural como el crecimiento diferencial como el de las conchas de mar y el crecimiento de las topologías desde el interior como las células animales (Patiño & Arbeláez, 2009) (ver figura 28).

Posteriormente, se realizó la materialización de las muestras físicas a través las siguientes tecnologías de fabricación digital: impresión 3D, fresado por CNC, corte y grabado con láser. Las muestras en ingeniería, arquitectura y diseño se pueden definir como *una parte o porción de un material en un formato estandarizado, utilizadas para representar y analizar las características y propiedades de dicho material*. El objetivo de las muestras de *texturas bioinspiradas* fue, por un lado, evaluar la posibilidad de materialización de las texturas con diferentes tecnologías de fabricación digital, por otro lado, facilitar la comprensión y selección de las texturas por sus futuros usuarios por medio del contacto sensorial directo; esto considerando que la interacción con los materiales y texturas es realizada a través de todos los sentidos y es definida como experiencia multisensorial (Schifferstein & Hekkert, 2007).



Fig. 28. Transformación compleja de crecimiento diferencial topológico progresivo, hecho en el *plug-in Grasshopper*, muestra fabricada en la tecnología FDM (*Fused Deposition Modeling*), material ABS. Imagen y fotografías de David A. Torreblanca-Díaz.



Fig. 29. Muestras de texturas bioinspiradas realizadas a través de las tecnologías de la tecnología FDM (*Fused Deposition Modeling*), marcado con láser y fresado por CNC (*Computer Numerical Control*). Fotografías de David A. Torreblanca-Díaz.

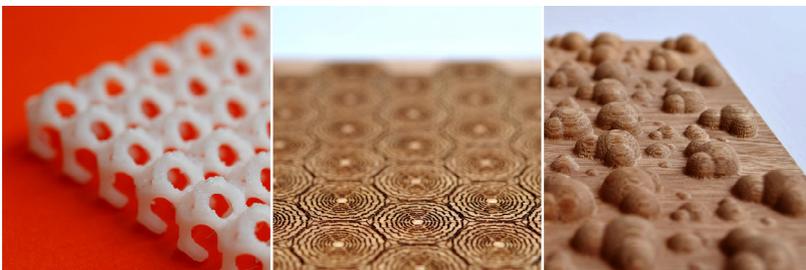


Fig.30. Muestras de texturas bioinspiradas realizadas a través de la tecnología de fresado por CNC (*Computer Numerical Control*) e impresión 3D por rayo U.V., fotografías de David A. Torreblanca-Díaz.

Aplicación

Del proyecto se desprendieron diferentes aplicaciones de diseño que sirvieron para comprobar la aplicabilidad del repertorio y de la metodología desarrollada. Uno de ellos es un sistema de protección para chalecos de motocicletas desarrollado por un estudiante del Morfolab. Para el desarrollo de la aplicación se realizó inicialmente un análisis del estado del arte de productos de protección para motociclistas, luego se realizaron observaciones no participantes en las calles de Medellín, y entrevistas a usuarios de motocicletas. Con la información obtenida se hizo un levantamiento de requerimientos, los cuales estuvieron relacionados, en primer lugar, con la función de proteger, y en segundo lugar con: multifuncionalidad, resistencia a las caídas y golpes, flexibilidad, movilidad del cuerpo y biomecánica, bloqueo de movimientos con posibilidad de generación de lesiones, desarrollo del sistema, y por último, seguridad (Torreblanca-Díaz, 2018).

El paso siguiente fue seleccionar la textura de la piña de la especie *Pinus pinea* para conceptualizar el producto y comenzar con darle forma a los requerimientos. La materialización del prototipo se realizó con la tecnología de fabricación digital aditiva FDM, de su sigla en inglés Fused Deposition Modelling, el material usado es Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS). Se seleccionó esta tecnología porque permite construir formas complejas, una definición geométrica adecuada para los fines del proyecto y se pueden utilizar materiales con una resistencia mecánica similar a los utilizados en procesos industriales, en este caso el polímero ABS. La impresión se realiza en una máquina marca Zortrax modelo M200 (Torreblanca-Díaz, 2018) (ver figura 31).



Fig. 31. Propuesta conceptual y prototipo de chaleco de protección para motociclistas, realizado con la tecnología FDM. Diseño de Juan Diego Buriticá Marín, perteneciente al Semillero de investigación MORFOLab.

PUBLICACIONES

Los investigadores de la LIME han publicado en revistas indexadas internacionalmente sobre los proyectos desarrollados. Además, ha sido importante participar como ponentes en eventos reconocidos por las comunidades académicas en las que se inscriben las temáticas estudiadas. Asimismo, la LIME por medio de la Editorial de la Universidad Pontificia Bolivariana ha publicado 5 libros (ver figura 32):

- “La estructura: Un elemento técnico para el diseño” de Andrés Valencia Escobar (2007).
- “Generación y transformación de la forma: Morfología, geometría, naturaleza y experimentación” de Ever Patiño y Elsie Arbeláez (2009).
- “Estructura ligeras” de Fernando Sierra, Luis Sañudo y David Vanegas (2006)
- “Geometría para el diseño” de Elsie Arbeláez y Diana Bravo (2019).
- “Biomimética y diseño”, compilado por Diana Urdinola y con textos de Andrés Valencia-Escobar, Alejandro Zuleta-Gil, David Torreblanca-Díaz, Diana Urdinola, Andrea Bustamante y Ever Patiño (2018).



Fig. 32.
Publicaciones
de la LIME.

