

Colección Morfología y Diseño

Biomimética

y diseño

Compiladora
Diana Urdinola Serna



Universidad
Pontificia
Bolivariana

Colección Morfología y Diseño

Biomimética y diseño

Diana Urdinola Serna
Compiladora



660.6
U74

Urdinola Serna, Diana, compilador
Biomimética y diseño / compilador Diana Urdinola Serna -- Medellín: UPB, 2018. --
(Colección Morfología y Diseño)
72 p: 28 x 21.5 cm.
ISBN: 978-958-764-524-8

1. Diseño industrial – 2. Biomimética – I. Título – (Serie)

CO-MdUPB / spa / rda
SCDD 21 / Cutter-Sanborn

© Andrés Hernando Valencia Escobar
© Ever Patiño Mazo
© David Andrés Torreblanca Díaz
© Alejandro Zuleta Gil
© Andrea Bustamante
© Diana Urdinola-Serna (compiladora)
© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana
Vigilada Mineducación

Biomimética y diseño
ISBN: 978-958-764-524-8
Primera edición, 2018
Facultad de Diseño Industrial
CIDI

Proyecto: Repertorio de superficies y texturas bioinspiradas a través de experimentaciones morfológicas con tecnologías de fabricación digital. Radicado 601B-05/16-35
Línea de Investigación en Morfología Experimental

Gran Canciller UPB y Arzobispo de Medellín: Mons. Ricardo Tobón Restrepo

Rector General: Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda

Vicerrector Académico: Álvaro Gómez Fernández

Decana Escuela de Diseño Industrial: Juliana Restrepo Jaramillo

Directora de la Facultad de Diseño Industrial: Valentina Mejía Amézquita

Editor: Juan Carlos Rodas Montoya

Coordinación de Producción: Ana Milena Gómez Correa

Diagramación: Geovany Snehider Serna Velásquez

Corrección de Estilo: Isadora González Rojas

Diseño de Portada: Ever Patiño Mazo

Dirección Editorial:
Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2018
Email: editorial@upb.edu.co
www.upb.edu.co
Telefax: (57)(4) 354 4565
A.A. 56006 - Medellín - Colombia

Radicado: 1652-24-10-17

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito, sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

Contenido

Nota preliminar	7	Índice de recursos gráficos.....	80
Estrategias de la naturaleza.....	9	Biografía de los autores.....	84
<i>Andrea Bustamante Cadavid</i>			
Mecanismos de adaptación de la naturaleza	14		
<i>David Andrés Torreblanca Díaz</i>			
Materiales de la naturaleza	26		
<i>Alejandro Zuleta Gil</i>			
Geometrías y texturas en la naturaleza	33		
<i>Ever Patiño Mazo</i>			
Biomimética y métodos para el diseño.....	42		
<i>Andrés Valencia-Escobar</i>			
Metodología.....	49		
<i>Diana Urdinola-Serna</i>			

Nota preliminar

- **La biomimética como herramienta para el diseño**

Durante 20 años, la Línea de Investigación en Morfología Experimental de la Facultad de Diseño Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana, ha desarrollado investigaciones alrededor de la biomimética como herramienta para la elaboración de proyectos de diseño. Esta experiencia ha generado conocimiento y metodologías que son transferidas a la comunidad académica mediante diferentes estrategias.

Desde esta experiencia, se presentan una serie de textos que relatan diversos puntos de vista sobre la biomimética como herramienta para los proyectos de diseño, a su vez, se presenta la metodología de trabajo que se ejemplifica con dos resultados desarrollados por docentes y estudiantes.

“Biomimicry is an approach to innovation that seeks sustainable solutions to human challenges by emulating nature’s time-tested patterns and strategies. The goal is to create

products, processes, and policies—new ways of living—that are well-adapted to life on earth over the long haul.

The core idea is that nature has already solved many of the problems we are grappling with. Animals, plants, and microbes are the consummate engineers. After billions of years of research and development, failures are fossils, and what surrounds us is the secret to survival.”

Biomimicry Institute (2017)

En el campo del diseño, la biomimética representa hoy en día una estrategia de referencia que no solo gana adeptos de manera acelerada, también impacta contextos de intervención cada vez más diversos. Históricamente la biomimética ha sido utilizada tanto en el ejercicio profesional del diseño, como en el apoyo a procesos de formación académica en programas de pregrado y posgrado de esta área.

Como estrategia para la generación y la transferencia de conocimiento, se proponen dos tipos de actividades, la primera se enmarca en el desarrollo de proyectos de investigación liderados por los estudiantes, quienes presentan los resultados como el trabajo de grado para optar por el título de "Diseñador Industrial". Allí los estudiantes adelantan investigaciones con la naturaleza como objeto de estudio para encontrar referentes que permitan dar respuesta a necesidades y oportunidades de diseño; la segunda plantea dinámicas extracurriculares como es el caso del *III Taller Internacional de Biomimética*, que se presenta como un espacio de formación interdisciplinar que pretende generar una reflexión conceptual y metodológica al respecto del papel que juega hoy en día el uso de referentes naturales como soportes para proyectos de diseño. Estas estrategias buscan, además, contactar a estudiantes de diseño industrial, diseño gráfico, diseño de vestuario, diseño de espacios y arquitectura, con profesionales de áreas como: la biología, la ingeniería mecánica y la ingeniería de producto.

Esta compilación de textos se presenta como resultado del desarrollo de una metodología de diseño que, con frecuencia, se pone en práctica en las investigaciones de trabajo de grado de los estudiantes y en las investigaciones y actividades extracurriculares de la Línea de Investigación en Morfología Experimental.

Estrategias de la naturaleza

Andrea Bustamante Cadavid

abustca@gmail.com

Resumen

La naturaleza ofrece alternativas y soluciones probadas durante millones de años de experimentación, brindando óptimos modelos para la satisfacción de las necesidades humanas. El análisis biomimético produce ideas que, siendo reproducidas artificialmente, emulan la funcionalidad y los beneficios de lo natural. Colombia cuenta con una amplia biodiversidad, de la cual se pueden abstraer las formas, materiales, mecanismos o estrategias para una creación bioinspirada. Así, el Seminario Taller "Naturaleza y funcionalidad: la biomimética como herramienta para el diseño", llevado a cabo en el *III Taller Internacional de Biomimética*, presentó un espacio de conocimiento que aportó al desarrollo de objetos de diseño con el encargo funcional de proteger, cubrir, inmovilizar y apoyar. Entonces, a partir del uso de referentes naturales su recolección, documentación y análisis de propiedades y componentes, se realizaron abstracciones conceptuales con enorme potencial para estas propuestas de diseño.

Palabras clave

Naturaleza, biodiversidad, biomimética, bioinspiración, biología, diseño.

• Introducción

La naturaleza es todo lo existente en el universo excepto lo artificial; vista en términos de biodiversidad lleva al menos 3.800 millones de años de evolución, con múltiples sucesos de extinción y diversificación, que han fomentado la eficacia en las estrategias de sobrevivencia y reproducción de las especies (Curtis, Barnes, Schnek, & Massarini, 2008). La evolución ha originado a seres perfectamente adaptados, que han solucionado sus necesidades a través del tiempo y las generaciones, optimizando el uso de energía de forma simple y eficaz (Coineau & Kresling, 1994).

La diversidad biológica actual nos sorprende con más de 1, 643 948 especies alrededor del mundo, entre microorganismos, hongos, plantas y animales (Global Biodiversity Information Facility, 2016). En Colombia existen 56 343 especies registradas, y mundialmente somos el primer país en diversidad de aves y orquídeas; el segundo en anfibios, peces dulceacuícolas, plantas y mariposas; el tercero en palmas y reptiles, y el cuarto en mamíferos (Sistema de Información sobre Biodiversidad en Colombia, 2017). Toda esa diversidad esquematiza un sinnúmero de posibilidades para aplicar la biomimética al diseño en nuestro país.

Inicialmente, para analizar la vida o a un ser vivo en particular, es necesario reconocer su patrón de organización, muchos **organismos** o especies están compuestos por varios **sistemas** de órganos, cada órgano conformado por diversos **tejidos**, cada uno de los cuales han sido originados por **células**, no obstante, gran cantidad de microorganismos son unicelulares durante toda su vida (Starr, Taggart, Evers, & Starr, 2009). De acuerdo con este nivel de organización y a la funcionalidad que por medio de la biomimética se pretende abstraer, corresponde a ello la observación, análisis y reproducción micro o macroscópica de los sistemas que componen el organismo.

Ahora bien, la biomimética, también conocida como biónica o biomimesis, cuyo objetivo es el análisis de la naturaleza para motivar la creación e innovación humana, es una labor multidisciplinaria (ingeniería, diseño, medicina, arquitectura, artes, música, etc.), y fundamentada en los conceptos de las ciencias biológicas, físicas

y químicas, con el fin de obtener artificialmente productos o procesos que posean las cualidades de lo natural.

• **Diseño biológicamente inspirado**

La naturaleza es indispensable para nuestra sobrevivencia, y de su conocimiento y entendimiento dependen nuestros estilos de vida. La biomimética encuentra que la naturaleza tiene las soluciones a muchos problemas del ser humano, por tanto, para una creación bioinspirada es necesario instaurar un diálogo con la naturaleza, mediado por la curiosidad, el asombro y la observación detallada, consciente e intencionada del objeto de estudio.

En esta búsqueda, las especies sirven de referente desde la multiplicidad de formas, materiales y mecanismos compuestos por células, sustancias, tejidos, órganos y sistemas integrados para cumplir alguna tarea. Así, las estrategias de la naturaleza o de la vida, se basan en integrar perfectamente estos componentes en una unidad llamada organismo, que se ha adaptado perfectamente a las condiciones en las que habita.

En este sentido, cada especie presenta particularidades en las habilidades para sobrevivir y reproducirse en su medio natural, desarrolladas durante miles o millones de años de evolución y gradual adaptación al ecosistema. Entonces, cada organismo presenta infinidad de miradas en torno a la biomimética gracias al análisis detallado de sus componentes y de acuerdo a nuestras necesidades o preguntas (Figura 1).

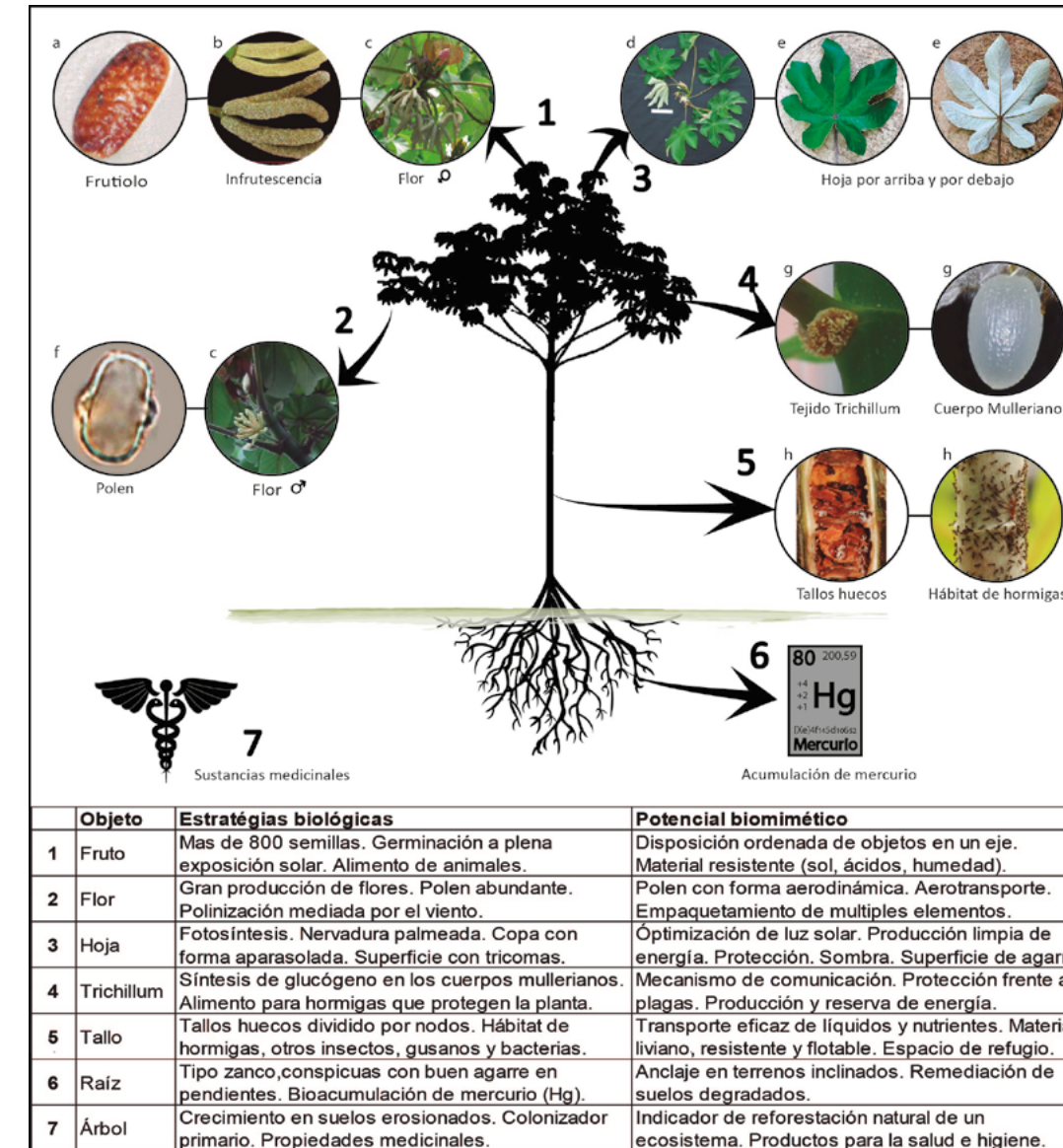


Figura 1. Análisis del potencial biomimético de algunos componentes de la especie *Cecropia peltata*. Elaborado por el autor haciendo uso de fotografías de otros autores: a. Linares y Moreno-Masquera (2010), b. Graham Wyatt (2006), c. Tormo-Molina (2014), d. Steven Paton (2003-2006), e. Pérez, Rodríguez, Areces, Minter y Minter (2017), f. Mercado-Gómez, Carmona-Duque, Jiménez-Bulla y Aceituno-Bocanegra (2015), g. Bischof, Umhang, Eicke, Streb, Qi y Zeeman (2013), h. Piter Marting (2017).

Así, la comprensión de las estrategias de la vida y su integración en el diseño, hace un acercamiento preliminar a referentes con potencial biomimético, este acercamiento permite adentrarse en este campo del conocimiento, para ampliar las posibilidades y aplicaciones para la mejora y desarrollo de nuevos instrumentos, procedimientos, sistemas, productos o tecnologías al servicio y satisfacción de nuestra especie.

Estratégicamente lo natural opera equilibradamente, creando las condiciones que favorezcan la vida, la optimización de los recursos y el ahorro de energía; asimismo, los modelos bioinspirados deben tener en cuenta la calidad, cantidad de materiales y procedimientos implicados en el diseño y producción de los objetos o tecnologías, midiendo implicaciones ecológicas desde el corto al largo plazo, procediendo responsablemente durante la manipulación y disposición de los organismos, con miras a su conservación y sostenibilidad ambiental.

• Comentario final

La invitación es a abstraer lo esencial de la singularidad de la vida, ya que tal mega diversidad refleja las múltiples estrategias desarrolladas por la naturaleza a través del tiempo. Es necesario ser conscientes que la naturaleza sigue siendo superior a lo que somos capaces de crear con el conocimiento y tecnología actual (Bar-Cohen, 2006), lo cual deja ver su magnificencia y potencial ilimitado, que además brinda la oportunidad de seguir siendo analizada y reanalizada con la tecnología futura.

Finalmente, debemos volver la mirada hacia la naturaleza. La biomimética invita a las disciplinas creativas como el diseño, a observar y aprender sobre cómo opera lo natural, sin perder de vista que los seres humanos somos parte de la naturaleza y por eso estamos llamados a resolver problemas inquietantes sobre nuestra especie; a generar estrategias que permitan mejorar nuestro estilo de vida sin afectar el medio ambiente, buscando con ello establecer una relación equilibrada entre el hombre y la naturaleza.

• Referencias

- Bar-Cohen, Y. (2006). Introduction to Biomimetics: The Wealth of Inventions in Nature as an Inspiration for Human Innovation. In Y. Bar-Cohen (Ed.), *Biomimetics: Biologically Inspired Technologies* (pp. 1–40). Boca Raton: CRC Press.
- Coineau, Y., & Kresling, B. (1994). Biónica y diseño: testimonios de la evolución de esta aproximación. *Temas de Disseny*, (10), 32–42.
- Curtis, H., Barnes, N. S., Schnek, A., & Massarini, A. (2008). *Biología* (7th ed.). Buenos Aires: Panamericana.
- Global Biodiversity Information Facility. (2016). Catalogue of Life. <https://doi.org/10.15468/rffz4x>
- Sistema de Información sobre Biodiversidad en Colombia. (2017). Biodiversidad en cifras. Recuperado de <https://goo.gl/hjdvfd>
- Starr, C., Taggart, R., Evers, C., & Starr, L. (2009). *Biología: la unidad y la diversidad de la vida*. México: Cengage Learning.



Mecanismos de adaptación de la naturaleza

David Andrés Torreblanca Díaz

david.torreblanca@upb.edu.co

Resumen

Las especies han desarrollado a través del tiempo diversos mecanismos, sistemas y estrategias para adaptarse, sobrevivir, evolucionar y perpetuarse. El ser humano desde sus orígenes ha observado la naturaleza como objeto de estudio para encontrar referentes y dar solución a los variados problemas de supervivencia y de adaptación a su entorno. El objetivo de este texto es analizar algunas cualidades relevantes de los mecanismos (o sistemas) existentes en la naturaleza y las amplias posibilidades de aplicación al mundo artificial a través de la biomímesis, para permitir al ser humano resolver diferentes necesidades, problemas y requerimientos. Se analizarán algunos casos representativos de mecanismos de seres vivos, también se expondrán casos de biomímesis, estos se han seleccionado porque ejemplifican las amplias posibilidades de artificialización.

En la naturaleza existe una variada cantidad de mecanismos y dispositivos con amplias posibilidades para ser transferidos a la realidad humana a través del proceso de biomímesis, esta transferencia no puede ser una copia exacta, ya que el contexto natural, sus características, materiales y funcionamiento son muy diferentes al mundo creado por el ser humano.

Palabras clave

Diseño, naturaleza, biomimética, biomímesis, mecanismos, morfología.

• Introducción

Los seres vivos han desarrollado a través del tiempo diversos mecanismos, sistemas y estrategias para adaptarse, sobrevivir, evolucionar y perpetuarse. El genio del Renacimiento, Leonar-

do Da Vinci alguna vez dijo: “el ingenio humano puede realizar muchas invenciones, pero nunca logrará invenciones más bellas, más sencillas y más apropiadas que las que hace la naturaleza, en cuyos logros nada queda incompleto ni nada es superfluo”. (Vogel, 2000, p. 17).

El ser humano desde sus orígenes ha observado los sistemas y mecanismos de la naturaleza con el objeto de utilizarlos como referentes para dar solución a los diversos problemas de adaptación a su entorno y supervivencia en la construcción continua del mundo humano. Ricard (2008) afirma: “Aun cuando no seamos plenamente conscientes de ello, la supervivencia de nuestra especie sigue dependiendo del equipamiento artificial que ha ido creando” (p. 79). El ser humano ha tenido que resolver diversas problemáticas, tales como la defensa ante sus depredadores, protección ante las adversidades climáticas, estrategias para cazar y obtener alimentos, creación de utensilios cotidianos, en otras palabras el ser humano ha tenido que diseñar su propio entorno y artefactos para subsistir.

Respecto al diseño de artefactos y sistemas basados en la naturaleza Lodato (2000) afirma:

Los sistemas biológicos se caracterizan por su miniaturización, sensibilidad y el alto grado de fiabilidad. Estas características de diseño ofrecen una amplia gama de posibilidades a investigar para poder intentar obtener principios de ingeniería a partir de sistemas naturales, y adaptar esos principios a la mejora de los sistemas creados por el hombre (p. 46).

La naturaleza ofrece diversos referentes y principios que podrían entregar información conceptual y técnica para optimizar la resolución de problemas del ser humano; en este texto se analizan entonces las características, cualidades y ventajas de mecanismos naturales, entendidos como respuestas adaptativas, y las posibilidades de transferir dichas características a sistemas artificiales.

• Mecanismos en la naturaleza

Existen diversas definiciones de mecanismos en la naturaleza, para este artículo se plantea la siguiente: sistemas autónomos-complejos que combinan forma y material permitiendo que, ante un estímulo de entrada, pueda obtenerse una respuesta sinérgica, esto con el objeto de que las especies puedan adaptarse a los cambios del entorno y permanecer o subsistir.

Se pueden observar en las especies de los seres vivos necesidades tales como: desplazamiento, alimentación, reproducción, protección, ataque, intimidación, entre otras. Los estímulos que activan estas necesidades pueden ser: fuerza, movimiento, sonido, luz, fluidos, temperatura, sustancias químicas, entre otros; y en el caso de las respuestas de los mecanismos, dependen del estímulo que la precede, estos pueden ser la generación, transformación, transmisión, aislamiento o regulación de: fuerzas, movimientos, temperatura, por nombrar algunos. (Figura 1).

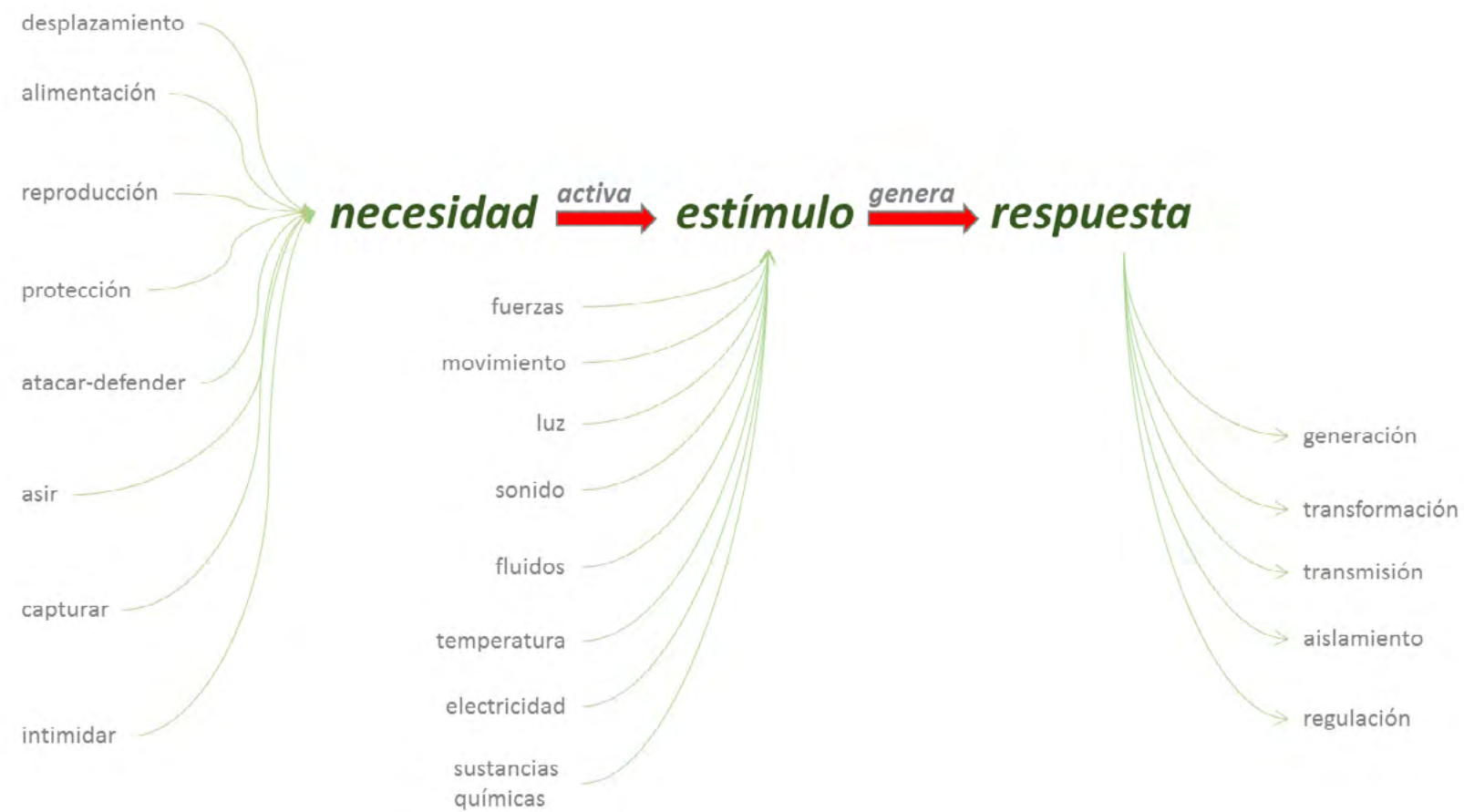


Figura 1. Esquema de funcionamiento de mecanismos naturales. Elaborado por el autor.

Existe en la naturaleza una amplia variedad de necesidades, estímulos y respuestas o mecanismos. “La vida crea una tecnología adecuada para cada caso, con una gran diversidad de diseños, materiales, dispositivos e invenciones mecánicas dentro de una amplia escala de complejidad” (Vogel, 2000, p. 15).

• **Casos de biomecanismos**

A continuación se analizan algunos casos representativos de mecanismos en seres vivos, los cuales ejemplifican cómo las diferentes especies proponen sistemas para adaptarse y sobrevivir a través del tiempo. Estos casos se seleccionaron por sus cualidades y se han agrupado por las necesidades que satisfacen, cada uno con diversos tipos de respuestas o mecanismos.

• **Biomecanismos para el desplazamiento**

Las especies de seres vivos han desarrollado ingeniosos mecanismos para desplazarse, saltar y trepar; por ejemplo las arañas *Salticidae* o saltadoras, pueden alcanzar una longitud de hasta 50 veces su tamaño, ya que tienen una bomba hidráulica que facilita su impulso, este sistema está situado en sus patas traseras. (Figura 2).



Figura 2. Arañas *Salticidae* o saltadoras. Fuente, de izquierda a derecha: Pixabay, 2016 y 2014.

Otro interesante dispositivo de desplazamiento es el que tiene el *Issus coleoptratus*, insecto del grupo taxonómico de los *Fulgoro-morfos*; este pequeño insecto no vuela, pero salta con gran fuerza moviendo sus patas a solo 30 μs (microsegundos) en forma sincronizada, debido a los engranajes microscópicos que posee en la parte superior de cada una de las patas traseras, en la zona denominada el trocánter. (Figura 3).



Figura 3. *Issus coleoptratus*. Fuente: Wikimedia Commons, 2009.

En el medio acuático se destaca la medusa. Un grupo de científicos norteamericanos del Laboratorio en Biología Marina en *Wood Hole, Massachusetts* tras realizar diversos estudios concluyeron que las medusas tienen un alto nivel de eficiencia en el uso de energía para su desplazamiento. Las medusas se desplazan de la siguiente manera: primero se contraen hacia adentro expulsando agua hacia atrás y se impulsan hacia adelante, luego vuelven a su posición original y se llenan nuevamente de agua. El impulso se facilita gracias a la flexibilidad de su tejido elástico. (Figura 4).



Figura 4. Medusa o *Pelagia noctiluca*. Fuente: Pixabay, 2015.

Los reptiles del infraorden de los saurópsidos escamosos, llamados *Gekkota* o comúnmente denominados *Geckos*, pueden trepar por cualquier tipo de superficie, adhiriendo sus patas incluso sobre superficies muy lisas como el vidrio; esto porque poseen más de 1000 millones de estructuras nanométricas (filamentos) en sus patas, que actúan en conjunto para generar la adherencia. El *Gecko* ha motivado investigaciones de diversas universidades, tales como la *UC Berkeley*, *Stanford*, *Lewis and Clark College* de Oregón y *University of Akron* en Ohio, todas estas de Estados Unidos. (Figuras 5).



Figura 5. Imágenes del Gecko. Fuente de izquierda a derecha: Pixabay, 2015 y 2013. Huffingtonpost. (2016, Noviembre 20). huffingtonpost. Retrieved from http://www.huffingtonpost.com/2012/08/09/how-do-geckos-feet-work_n_1761839.html?slideshow=true#gallery/243936/0

- **Biomecanismos para atrapar y cazar**

La evolución ha permitido que los diferentes depredadores perfeccionen sistemas para cazar; las plantas carnívoras por ejemplo utilizan diversas estrategias para atraer y atrapar a sus presas: primero captan su atención a través de su morfología, colores, líquidos dulces y aromas, para posteriormente atraparlas, ya sea porque resbalan por superficies muy lisas y caen dentro de contenedores, o bien son atrapadas por hojas que las envuelven e inmovilizan, activadas por sensores táctiles, entre otros sistemas. (Figura 6).



Figura 6. Plantas carnívoras. Fuente: Pixabay, 2016.

La *Mantidae*, comúnmente llamada mantis religiosa es un insecto carnívoro y depredador que se destaca por cazar velozmente, ya que tiene patas alargadas dotadas con espinas (con las que atrapan a sus presas), su cabeza triangular que gira a 180°, un cuello alto que facilita la visualización y un eficiente sistema de mimetización. (Figura 7).



Figura 7. Mantidae o más conocida como mantis religiosa. Fuente de izquierda a derecha: Pixabay, 2013 y 2012.

• **Biomecanismos de defensa**

Las diferentes especies cuentan con mecanismos para defenderse de sus depredadores. El pez globo, por ejemplo, se infla a través de la ingesta de agua, aumentando su volumen para verse amenazante, también emergen espinas de su piel para intimidar a sus depredadores y si es atacado libera un veneno llamado *Tetrodotoxina*. (Figura 8a).

En el variado mundo de los insectos, se observan también diferentes mecanismos de defensa, como el *Armadilium Opacum*, más conocido como cochinita de humedad o chanchito de tierra, que usa un mecanismo retráctil para enroscarse, transformándose en una forma esférica compacta para protegerse. La hembra

del escarabajo ciervo europeo tiene mandíbulas fuertes y de gran tamaño como mecanismo de defensa, el escarabajo rinoceronte también tiene fuertes cuernos con el mismo objetivo. (Figura 8b).



Figura 8. (a) *Armadilium Opacum* y (b) *Escarabajo Rinoceronte*. Fuente de izquierda a derecha: Pixabay, 2013 y 2015.

• **Biomímesis**

La biomímesis permite transferir características, cualidades y sistemas desde la naturaleza al mundo artificial a través de un proceso analítico, creativo e iterativo. (Figura 9).

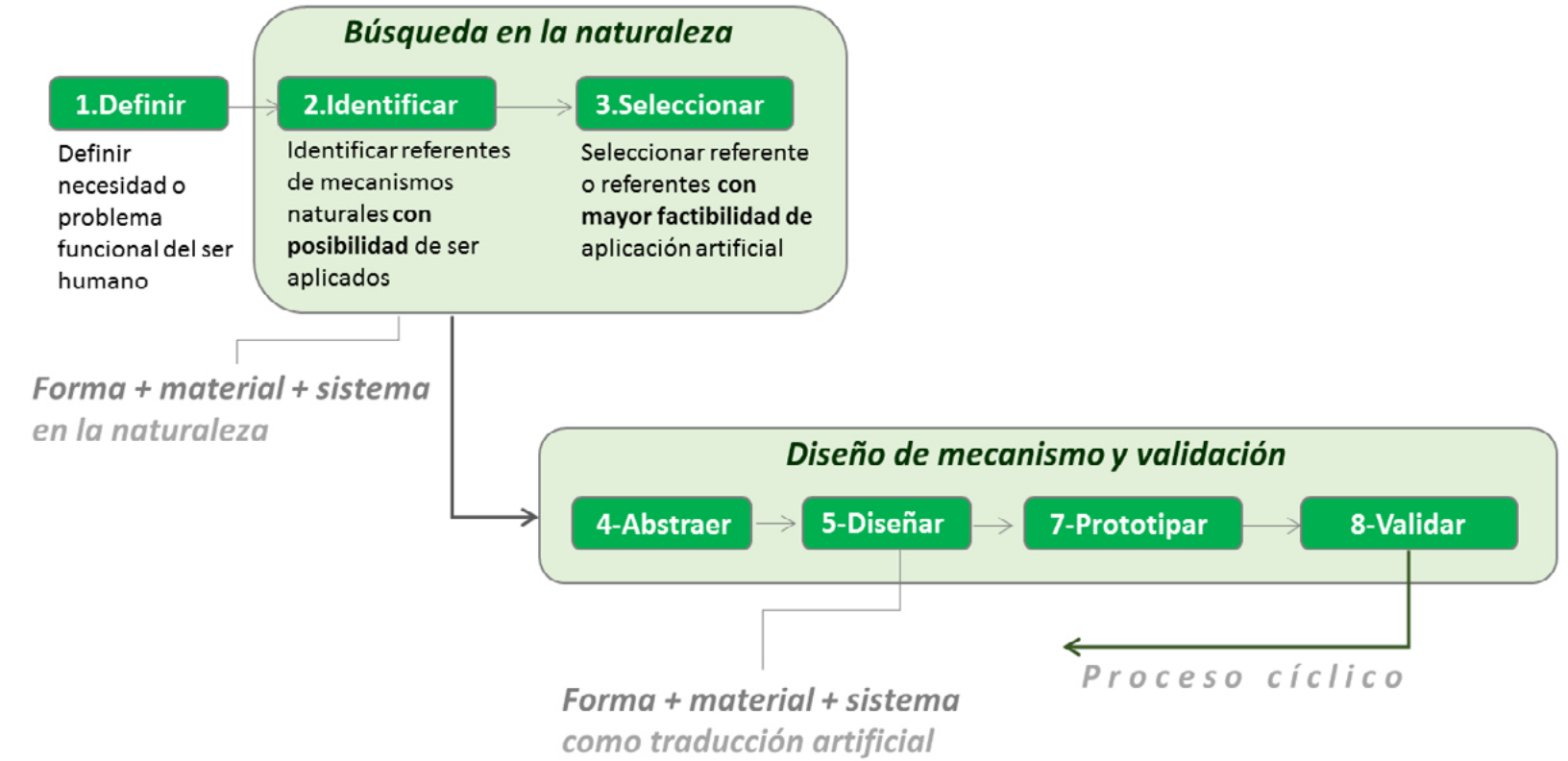


Figura 9. Propuesta metodológica para la biomímesis de mecanismos. Elaborado por el autor.

En el caso de la biomimesis de mecanismos y sistemas se pueden considerar diversos factores, tales como la morfología, los materiales, los sistemas mecánicos, el tipo de estímulo de entrada, el tipo de respuesta y las relaciones entre estos, entendiendo que un sistema biológico es un todo sinérgico que forma parte de una estrategia global de adaptación y supervivencia; no obstante es necesario tener presente la diferencia entre los sistemas naturales y del ser humano; como dice Vogel (2000) cuanto más se observan estos dos sistemas, menos similares parecen, ejemplifica: en la naturaleza priman las superficies curvas, las estructuras flexibles y húmedas, los biomecanismos se autoensamblan, los materiales naturales se autoreparan, en cambio en las artificiales priman las superficies planas, las estructuras rígidas y secas, es necesario reparar los materiales y los mecanismos deben ser ensamblados, entre otras diferencias. A la luz de este planteamiento es preciso considerar que los sistemas naturales no deben ser traducidos como una copia exacta, sino como referentes conceptuales para el diseño de nuevos productos.

A continuación se analizan algunos casos de biomimesis de mecanismos y sistemas. Se seleccionaron casos representativos que ejemplifican las posibilidades y ventajas para la artificialización de sistemas biológicos ante diferentes necesidades humanas:

Festo es una empresa alemana orientada al diseño de productos automatizados de última generación, altamente innovadora y que constantemente investiga en el área de nuevos materiales, siste-

mas mecánicos y aplicación de tecnologías de punta, esto para desarrollar diferentes productos basados en sistemas biológicos (Festo Corporate, 2017). (Figuras 10 y 11).

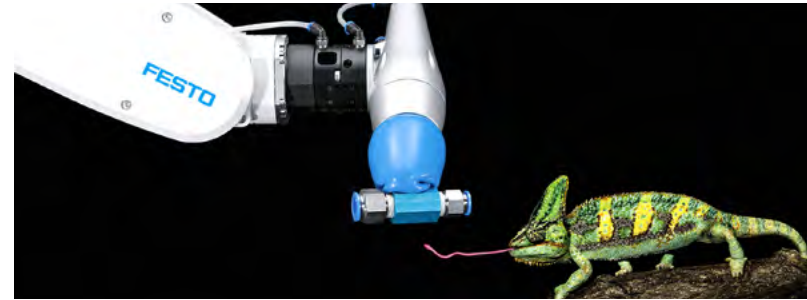


Figura 10. Sistemas robóticos bioinspirados. Fuente: Festo, 2017.



Figura 11. Sistemas robótico bioinspirados. Fuente: Festo Corporate, 2017.

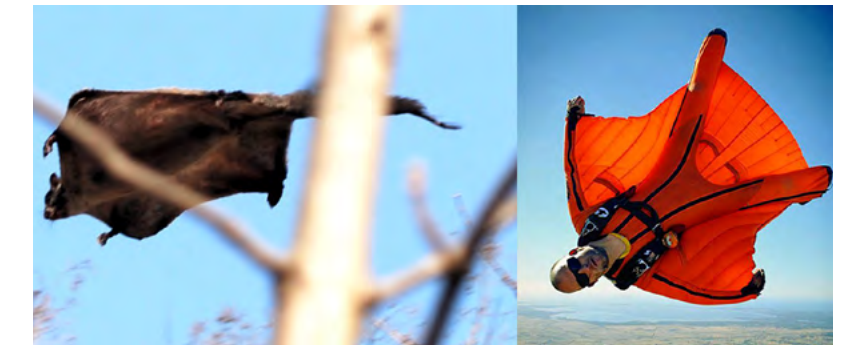
El diseño de la monoaleta *Lunocet Pro* se basó en la morfología y el sistema de propulsión de las aletas de delfines. Esta eficiente aleta permite al usuario alcanzar más de 30 km/h al nadar, gracias a su forma hidrodinámica, a su ligereza y resistencia mecánica, (construida con materiales compuestos de fibra de carbono

y de vidrio), además cuenta con un mecanismo interno de propulsión. (Figura 12).



Figura 12. Monoaleta *Lunocet Pro*, inspirada en la morfología de aletas de delfines. Fuente: Lunocet, 2017.

La ardilla voladora es un roedor nocturno que pertenece a la familia *Sciuridae* que inspiró la creación de un nuevo deporte extremo llamado vuelo de proximidad o *proximity fly*, que consiste en saltar al vacío usando un traje llamado *wingsuit*, basado en la morfología de la ardilla voladora, el cual al abrir los brazos genera una superficie que permite planear como el roedor mencionado. (Figuras 13a y 13b).



Figuras 13. (a) y (b). De izquierda a derecha ardilla voladora y deporte extremo *proximity fly*. Fuentes: Wikimedia Commons 2008 y Phoenix-fly, 2016.

• Comentario final

A partir de los antecedentes, casos y análisis expuestos se pueden plantear las siguientes conclusiones:

- Debido a la similitud existente entre las problemáticas de la naturaleza y las del mundo del ser humano, es pertinente traspasar características biológicas al mundo artificial a través de analogías para resolver diferentes necesidades, problemas y requerimientos.
- La biomimética es una herramienta efectiva para la transferencia innovadora de mecanismos y sistemas naturales al mundo artificial, a través del proceso de biomimesis.

- El diseño de productos o sistemas basados en mecanismos de la naturaleza no puede ser una copia exacta ya que el contexto natural, sus características, materiales y funcionamiento son muy diferentes a los del mundo artificial, por tanto los biomecanismos deben ser considerados tan solo como referentes conceptuales para el desarrollo de propuestas innovadoras.

- **Referencias**

Festo Corporate. (2017). Corporate Website: Festo Corporate. Recuperado de <https://goo.gl/zdeebW>

Lodato, F. (2000). Biónica: la naturaleza como herramienta de innovación. *Experimenta*, (31), 46–51.

Ricard, A. (2008). *La aventura creativa: las raíces del diseño*. Barcelona: Ariel.

Vogel, S. (2000). *Ancas y palancas: mecánica natural y mecánica humana*. Barcelona: Tusquets.



Materiales de la naturaleza

Alejandro Zuleta Gil

alejandro.zuleta@upb.edu.co

Resumen

Desde el origen de los tiempos, la naturaleza ha evolucionado tras la solución de los diversos problemas planteados por el entorno, lo cual ha permitido que esta encuentre las estrategias necesarias para crear, transformar y adaptarse a las diferentes exigencias que se le plantean, viéndose obligada a desarrollar materiales más eficientes tanto desde el punto de vista químico como estructural. Gracias a esto, ha sido posible plantear nuevas tecnologías que han dado solución a problemas y retos en campos como el diseño y la ingeniería. Con este texto se pretende dar una mirada amplia a los materiales en la naturaleza, tanto desde el punto de vista composicional como estructural, con el fin de proporcionar conceptos básicos que puedan ser empleados por varias disciplinas y que permitan la generación de ideas para la concepción de nuevos materiales.

Palabras clave

Materiales naturales, biomimética, estratificación jerárquica, composición química.

• Introducción

Los materiales en la naturaleza son extraordinariamente eficientes pues estos cumplen la gran cantidad de requerimientos que son exigidos por el entorno para que organismos como las plantas y los animales realicen correctamente sus funciones con la menor cantidad de material posible. Dichas funciones involucran altas demandas mecánicas, químicas, térmicas o eléctricas (Ashby, 2008) que bien pueden ir desde la optimización estructural hasta el correcto uso de sus constituyentes químicos para la protección de organismos a agentes externos o para la regeneración de tejidos o extremidades. Basándose en esto, se han diseñado nuevas tecnologías que han permitido dar solución a problemas de diseño o ingeniería. Sin embargo, es importante tener presente que la solución de problemas puede conducir hacia la concepción de un material muy diferente a la del material biológico que sirvió como inspiración, pero que contiene los principios estructurales, mecánicos, químicos y físicos que posibilitan resolver problema.

Es por ello que en la actualidad gran diversidad de disciplinas se encargan de estudiar este tipo de materiales.

El objetivo de este texto es brindar una mirada general de los materiales en la naturaleza, tanto desde sus características químicas como funcionales, con el fin de ofrecer herramientas conceptuales para que sean empleadas en la generación de ideas para los proyectos de diseño.

• Los materiales

Es ampliamente aceptado que la mayoría de los materiales naturales son materiales compuestos, los cuales se basan en un número limitado de componentes poliméricos (p. ej. colágeno, quitina, keratina) y minerales (p. ej. carbonato de calcio, fosfato de calcio, sílice, hidroxiapatita y magnetita), en donde sus propiedades varían gracias a la configuración jerárquica de su estructura (Aizenberg & Fratzl, 2009), esta va desde la nano hasta la macro escala (Naleway, Porter, McKittrick, & Meyers, 2015). Además, algo para resaltar es que este tipo de materiales son sintetizados bajo condiciones atmosféricas normales (~ 300 °K y 1 atm).

De acuerdo con lo mencionado por Aizenberg y 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 nos permiten entonces encontrar la relación que hay entre los materiales biológicos (materiales naturales), los biomateriales (materiales sintéticos para aplicaciones biomédicas) y la biomimética (materiales bioinspirados y diseño) (Chen, McKittrick, & Meyers, 2012).

1. Composición química

En los materiales biológicos se destaca la deficiencia de elementos metálicos (solo presentes algunos pocos como el hierro, magnesio, potasio) y la prevalencia de elementos livianos tales como el hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno, silicio, fósforo, azufre, y calcio (Chen et al., 2012). Los principales constituyentes son las proteínas, los polisacáridos y los biominerales. Algunos ejemplos de los dos primeros son los polímeros naturales, la queratina, la elastina, la resilina, la abductina y el colágeno. La queratina es un material compuesto, el cual se encuentra reforzado con fibras poliméricas (derivadas de las proteínas) que le brindan resistencia mecánica (Meyers, Chen, Lin, & Seki, 2008), haciendo de este un material presente en el cabello, las uñas, pezuñas, cuernos y la capa epidérmica de la piel; así como en las escamas, plumas y los picos de las aves. Por otro lado, la elastina es una proteína elástica que tiene la capacidad de almacenar energía y entregarla nuevamente de manera eficiente, esta puede ser también encontrada en la piel, en el ligamento nual y paredes arteriales de los vertebrados. Otra proteína elástica es la resilina, pues cuenta con una alta resiliencia y tiene la capacidad de soportar grandes deformaciones (hasta tres veces su longitud inicial) lo que hace

de este un material importante para los sistemas de vuelo de los insectos y las articulaciones de las langostas. Además, la resilina es autoflorescente, posee propiedades de autoensamblaje (*self-assembly*) y experimenta transiciones de fase con los cambios de temperatura (Su, Kim, & Liu, 2014). La abductina es una fibra elástica presente en los sistemas de propulsión de algunos moluscos, sin embargo esta proteína, a diferencia de la elastina y la resilina, es un poco más rígida gracias a que cuenta con la presencia de 3% (en peso) de carbonato de calcio, lo que aumenta su módulo de elasticidad. Finalmente, el colágeno es la proteína más abundante y se encuentra en los huesos, dientes, cartílagos, vasos sanguíneos y las escamas del pescado (Ashby, 2008; Chen et al., 2012; Shah, 2014).

Los biominerales se clasifican en tres grupos principales: carbonatos, fosfatos y silicatos. Algunos de estos se encuentran comúnmente en los huevos de las aves, espinas de los erizos, los caparazones de los moluscos y algunas derivaciones de este compuesto, como la hidroxiapatita, se encuentran presentes en huesos y dientes. En la Tabla 1 se describen otros ejemplos de biominerales.

Tabla 1. Algunos minerales presentes en organismos vivos. Tomado de Chen et al. (2012) y Mann (1988).

Nombre	Formula química	Distribución
Atacamita	$\text{CuCl}(\text{OH})_3$	Mandíbula de los gusanos de sangre
Sulfato de bario	BaSO_4	Alga (sensor de gravedad)
Carbonato de calcio		
Calcita	CaCO_3	Caparazón de los moluscos, espinas de erizo de mar
Aragonita		Corales, caparazón de los moluscos
Oxalato de calcio	CaC_2O_4	Plantas, cálculos renales
Sulfato de calcio	CaSO_4	Sensor de gravedad de las medusas
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Espinas del erizo de mar, dientes
Ferrihidrita	$5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Plantas, animales (Ferritina: Proteína al interior de las células)
Greigita	Fe_3S_4	Patatas del caracol <i>Crysmallon squamiferum</i> (sensor magnético)
Hidroxiapatita	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$	Huesos, dientes, osteodermos
Magnetita	Fe_3O_4	Rádula de los moluscos, picos de las palomas
Pirita	FeS_2	Patatas del caracol <i>Crysmallon squamiferum</i> (sensor magnético)
Óxido de silicio	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Exoesqueleto de las diatomeas, espículas de las esponjas

2. La estructura y el comportamiento mecánico

Es la estructura y la disposición de los componentes de los materiales naturales la responsable de las sorprendentes propiedades mecánicas observadas en este tipo de materiales la cual, como se mencionó anteriormente, tiene una configuración estructural jerárquica compleja a diferentes escalas espaciales (nano, micro, meso y macro). Esta complejidad inherente crea diversas posibilidades en soluciones mecánicas y estructurales en todos los niveles jerárquicos que se han optimizado durante el curso de la evolución. Como ejemplos de esto están los túbulos de la dentina y los cuernos del carnero, los cuales son capaces de absorber energía, lo que mejora su resistencia al impacto (Naleway et al., 2015). Naleway et al. (2015) se refieren a ocho tipos de configuraciones estructurales como las más representativas para los materiales biológicos: fibrosas, helicoidales, gradientes, por capas, tubulares, celulares, de sutura y de solapamiento (Figura 1). En este texto nos referiremos a cinco de ellas.

Las estructuras fibrosas son altamente resistentes bajo tensión pero tienen un pobre comportamiento mecánico bajo compresión. Esta diferencia resulta en un comportamiento anisotrópico del material. Este tipo de estructura se encuentra comúnmente en materiales biológicos blandos, sin embargo, hay algunas excepciones, como lo son las fibras de quitina presentes en los exoesqueletos de los artrópodos y las fibras de colágeno en los huesos.

Las estructuras helicoidales proporcionan, junto con el uso de fibras, una mayor rigidez torsional y tenacidad en diversas direcciones. Esto gracias a que este tipo de estructuras brinda tres atributos estructurales: (i) isotropía en diversas direcciones, (ii) tenacidad (planos desalineados que impiden el avance de la propagación de la grieta) y (iii) aumento significativo en la resistencia a la compresión y la rigidez más estructuras fibrosas (Elices, 2000; Naleway et al., 2015; Wang, Cui, Qin, Wang, & Wang, 2016). Algunos ejemplos incluyen los exoesqueletos de los crustáceos, el colágeno óseo en exoesqueletos de insectos y en las escamas de los peces.

Por otra parte, las estructuras gradientes son aquellas que combinan material variando gradualmente sus propiedades o composición a lo largo de su sección transversal. Algunos ejemplos de estos son los dientes de los mamíferos y el pico del calamar (Chen et al., 2012). En contraste, las estructuras por capas consisten en múltiples interfaces pero que en este caso varían de manera abrupta las propiedades del material a través de su espesor (Naleway et al., 2015).

Otros tipos de estructuras son las tubulares y las celulares. Las primeras consisten en conjuntos de poros que se encuentran alineados, los cuales sirven para proporcionar nutrientes y ayudar a detener la propagación de las grietas y la absorción de impactos, por lo que es común encontrarlas en los dientes y en los cuer-

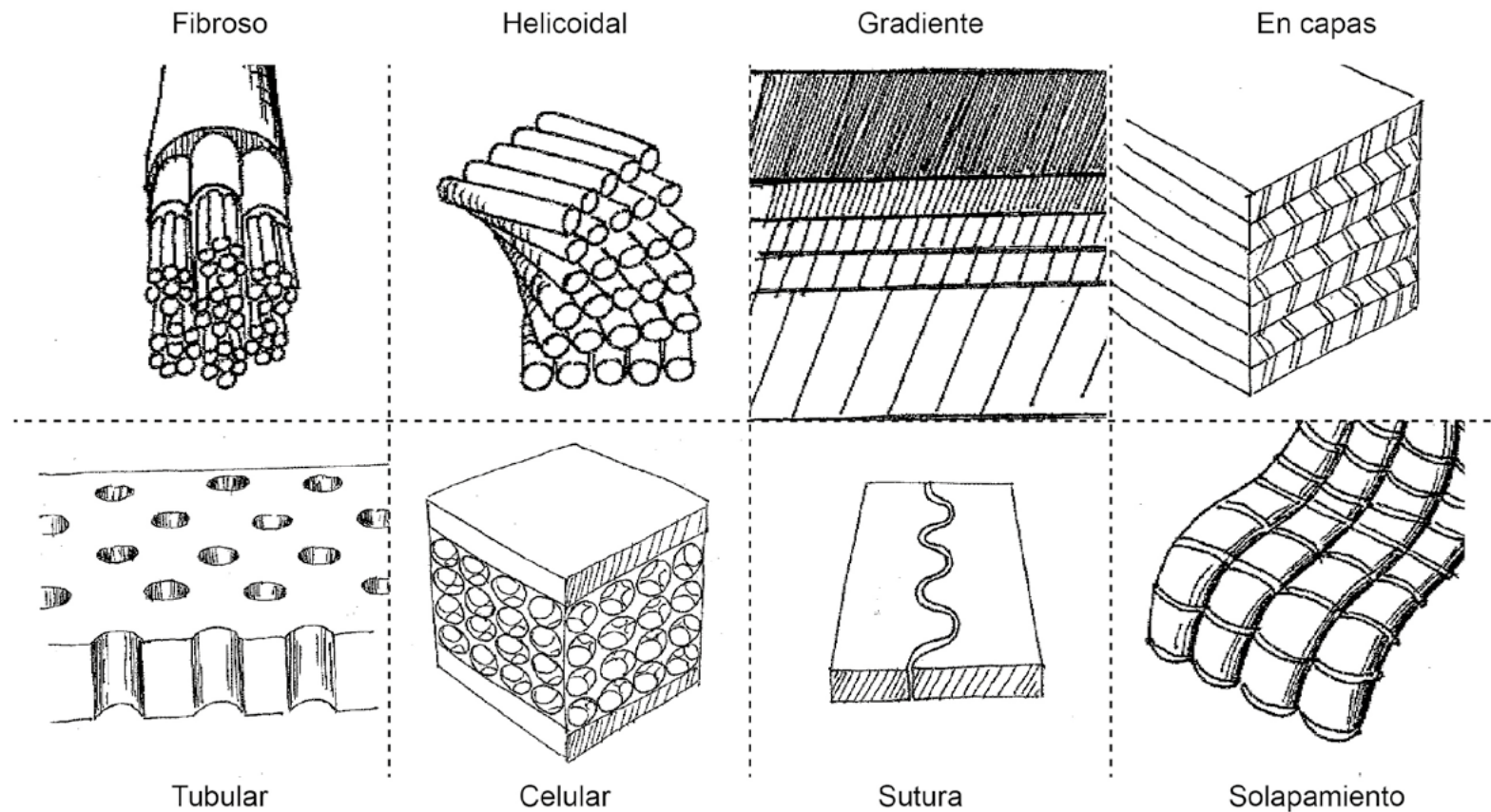


Figura 1. Representación esquemática de las estructuras biológicas más comunes. Basado en Naleway et al. (2015). Dibujo de Ever Patiño basado en Naleway et al. (2015).

nos de animales, encargados de soportar cargas a elevada velocidad. Por otro lado, las estructuras celulares son tal vez unas de las estructuras de mayor presencia en la naturaleza gracias a que además mejoran algunas propiedades mecánicas como la resistencia al impacto, al pandeo, a la flexión y a la compresión, además logra optimizar la cantidad de estructuras haciéndolas resistentes y livianas. Algunos ejemplos de estas estructuras se hallan en los huesos, las plumas, los caparazones de cangrejos y tortugas, las púas del puerco espín, entre otros.

• Comentario final

La comprensión de las propiedades de los materiales a diversas escalas aclara la relación entre estructura y multifuncionalidad, lo cual posibilita la abstracción de los principios de diseño útiles para su adaptación en el proyecto de diseño; es por ello que la mayor parte del trabajo actual aún se centra en la síntesis de estructuras de múltiples jerarquías, inspiradas por alguno de los materiales biológicos.

• Referencias

- Aizenberg, J., & Fratzl, P. (2009). Biological and Biomimetic Materials. *Advanced Materials*, 21(4), 387–388. <https://doi.org/10.1002/adma.200803699>
- Ashby, M. F. (2008). *The CES EduPack Database of Natural and Man-Made Materials*. Cambridge, UK: Granta Design.

- Chen, P. Y., McKittrick, J., & Meyers, M. A. (2012). Biological materials: Functional adaptations and bioinspired designs. *Progress in Materials Science*, 57(8), 1492–1704. <https://doi.org/10.1016/J.PMATSCI.2012.03.001>
- Elices, M. (2000). *Structural Biological Materials: Design and Structure-Property Relationships*. Oxford, UK: Pergamon.
- Mann, S. (1988). Molecular recognition in biomineralization. *Nature*, 332(6160), 119–124. <https://doi.org/10.1038/332119a0>
- Meyers, M. A., Chen, P. Y., Lin, A. Y. M., & Seki, Y. (2008). Biological materials: Structure and mechanical properties. *Progress in Materials Science*, 53(1), 1–206. <https://doi.org/10.1016/J.PMATSCI.2007.05.002>
- Naleway, S. E., Porter, M. M., McKittrick, J., & Meyers, M. A. (2015). Structural Design Elements in Biological Materials: Application to Bioinspiration. *Advanced Materials*, 27(37), 5455–5476. <https://doi.org/10.1002/adma.201502403>
- Shah, D. U. (2014). Natural fibre composites: Comprehensive Ashby-type materials selection charts. *Materials & Design*, 62, 21–31. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2014.05.002>
- Su, R. S. C., Kim, Y., & Liu, J. C. (2014). Resilin: Protein-based elastomeric biomaterials. *Acta Biomaterialia*, 10(4), 1601–1611. <https://doi.org/10.1016/J.ACTBIO.2013.06.038>
- Wang, L., Cui, Y., Qin, Q., Wang, H., & Wang, J. (2016). Helical Fiber Pull-out in Biological Materials. *Acta Mechanica Solida Sinica*, 29(3), 245–256. [https://doi.org/10.1016/S0894-9166\(16\)30159-8](https://doi.org/10.1016/S0894-9166(16)30159-8)



Geometrías y texturas en la naturaleza

Ever Patiño Mazo

ever.patino@upb.edu.co

Resumen

Este texto se centra en la relación de los principios morfológicos evidentes en la naturaleza y su aplicación en el diseño industrial. Para esto se determinan los límites conceptuales del término “geometría” y su utilidad dentro de la ciencia y las disciplinas creativas. Igualmente, con el objetivo de evitar el reduccionismo, se establece un panorama amplio para explicar el problema de la geometría desde la complejidad y sus relaciones sistémicas. Posteriormente, se muestran las diferentes agrupaciones de patrones formales que han propuesto los principales investigadores de la morfología de la naturaleza, estableciendo un puente con el diseño, a través de diferentes proyectos del Laboratorio de Diseño Colombiano REFORMA. Por último, y luego de ahondar en los conceptos generales de morfología y geometría, el texto se concentra en describir las propiedades y funciones de las texturas de las pieles de la naturaleza vegetal, estudiadas por la Línea de Investigación en Morfología Experimental de la Universidad Pontificia Bolivariana en el proyecto en curso: Repertorio

de superficies y texturas bioinspiradas, a través de experimentaciones morfológicas con Tecnologías de Fabricación Digital.

Palabras clave

Morfología, patrones geométricos, biomimética, diseño, complejidad, pieles, texturas, superficies.

• Introducción

Sin lugar a dudas la ciencia es una construcción humana que le ha permitido al hombre explicar desde un punto de vista objetivo y sistemático las causas y los efectos de lo que sucede en su mundo. De la misma manera, existen otros puntos de vista a lo largo de la historia de la humanidad que han tenido otro tipo de explicaciones a estos sucesos; la religión, la filosofía o simplemente la construcción diaria de lo cotidiano a partir del raciocinio o la intuición, son otras formas muy utilizadas de acercarse al conocimiento. Sin pretender tomar partido en tales discusiones pro-

fundas, se dirá que así como la ciencia es la manera más objetiva de conocer que tiene el hombre, la geometría es la herramienta más útil e imparcial que tiene el diseñador para acercarse al entendimiento de la morfología de los espacios y objetos construidos por el hombre, y de los individuos y modelos fabricados por la naturaleza.

La geometría para el diseño, más allá de los principios establecidos por Euclides, se puede definir como la integración de conceptos matemáticos con el ánimo de analizar, interpretar, componer y descomponer físicamente las formas que existen en el universo. En la Figura 1 se puede ver una ejemplificación de la utilización de la geometría como herramienta que permite visualizar y leer las morfologías, en ella se observa gráficamente una explicación realizada por primera vez en los años 80's por Peter Stevens (1987), donde se relaciona la geometría de la construcción natural con la geometría de la construcción humana.

Este ejemplo evidencia uno de los principios de crecimiento con mayor presencia en la emergencia de las formas vivas, este es el crecimiento diferencial, que quiere decir básicamente que la forma macroscópica que apreciamos de cualquier modelo natural, obedece a un crecimiento de velocidades múltiples y variadas de las células, tejidos y órganos que lo componen (Patiño & Arbeláez, 2009). Se diferencia considerablemente de la mayoría de la tecnología humana, en la medida en que mientras que la tecnología artificial es regular y homogénea, la tecnología natural es

irregular, heterogénea y adaptable a lo que pasa dentro y fuera del objeto.

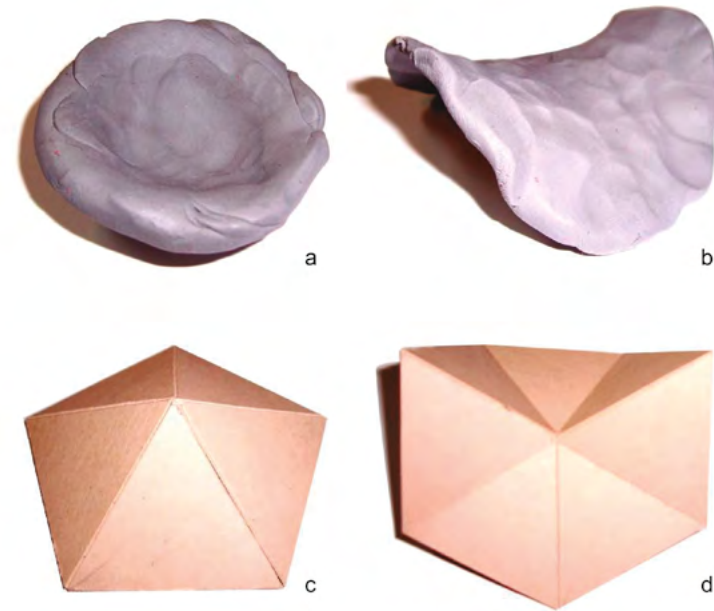


Figura 1. Relación del crecimiento natural con el crecimiento artificial. Fotos del autor.

En la Figura 1a se puede ver una pasta de modelar, también llamada plastilina, a la que se le ha ejercido una presión en el centro sin tocar la periferia, el resultado es un cuenco, al otro lado, en la Figura 1b se encuentra el procedimiento contrario, no se ha tocado el centro y solo se ha presionado la periferia, el resultado

es una forma anticlástica en silla de montar, en los dos casos una superficie que era inicialmente plana, salió al espacio tridimensional a partir de cambios de velocidades de crecimiento entre su centro y su periferia, es decir, utilizando un principio de crecimiento biológico, un crecimiento diferencial.

Ese comportamiento natural se puede emular con triángulos regulares como se ve en la Figura 1c. Si se tienen 6 triángulos equiláteros, unidos por un vértice en común, se configura hexagonalmente ocupando un espacio bidimensional, si se elimina uno de esos triángulos, y se obliga a los polígonos restantes a seguir unidos, la superficie inmediatamente sale a la tridimensionalidad y adopta la forma de un cuenco, o sección de un icosaedro. Por el contrario, si a los 6 triángulos se les adiciona un séptimo, como en la Figura 1d, la superficie sale nuevamente a la tridimensionalidad pero esta vez en forma de silla de montar. Es evidente entonces, cómo un crecimiento que ejemplifica el crecimiento natural guarda analogías directas con el crecimiento geométrico, y por tanto, explica de una manera más clara las propiedades que tiene el espacio y que afecta tanto a lo natural como a lo artificial.

Igualmente, esa forma resultante, que puede ser una hoja de sección cónica, en la que han actuado presiones de diferentes velocidades, y que se puede describir geoméricamente, es el resultado de una multitud de relaciones sistémicas, en donde la mejor forma de entender su origen es comprendiendo, primero que en ella han actuado fuerzas fundamentales como la gravedad, la tensión su-

perficial y la presión atmosférica; segundo, que esa configuración geométrica es el resultado de siglos de procesos de optimización, en donde la selección natural ha adaptado, intercambiado genes, y mutado la especie biológica para que esta sea el mejor resultado con la energía y el material disponibles; tercero, la forma cónica que se está utilizando como ejemplo, no es solo eso, sino que tiene unas bifurcaciones que le ayudan a mantenerse erguida, tiene una estructura celular que está respondiendo a la necesidad de captar luz y tiene una estructura que debe responder no solo a la función primaria, sino a una gran matriz de multifunciones presentes en su macroestructura y microestructura; y por último, ese individuo que comúnmente se estudia separado de su entorno, debe responder de la misma manera a los requisitos y cambios que le impone el ecosistema, donde se entretajan una multitud de relaciones como el mutualismo, el parasitismo y otras igual de complejas. Es decir, que eso que parecía entenderse como el resultado de unas restricciones físicas, es el efecto de esto y de muchas más causas que generan una red de complejidad creciente.

• Patrones geométricos

Ahora bien, los patrones geométricos son formas o configuraciones que presentan una mayor frecuencia en la naturaleza que otras morfologías, y esto como ya se ha expuesto, responde a procesos emergentes que tienen en común y a funciones que son compartidas. En la tabla 1 se puede ver una síntesis de dichos patrones basada en clasificaciones y categorías propuestas por

Wagensberg (2013), Stevens (1987) y Thompson (2003), en donde se pueden apreciar la función principal a la que obedecen, las funciones secundarias que tienen en común, y cuáles son los mecanismos de emergencia que utiliza la naturaleza para construirlos.

Patrón	Función principal	Función secundaria	Mecanismos de emergencia
Esfera y formas esferoides	Proteger	Contener, independizar, estabilizar estructuralmente, desplazar, autodefender	Isotropía, rotación, homogeneidad, deterioro
Hexágono y pentágono	Pavimentar (bi y tridimensionalmente)	Autoorganizar, ocupar el espacio, ahorrar material, proteger	Compresión de círculos, propagación de fracturas, cristalización de líquidos, presión isotropa
Espiral	Empacar	Guardar, ahorrar espacio, permitir movilidad.	Crecimiento diferencial, velocidad diferencial, competencia por luz y agua
Hélice	Agarrar	Empacar otro material, aumentar fricción	Movimiento, crecimiento diferencial, competencia
Puntas y conos	Penetrar	Concentrar, dispersar, defender, atacar, comer, excavar	Deformación, concentración
Ondas y formas sinuosas y serpenteantes	Comunicar	Desplazar, mover, ocupar el espacio	Fluctuaciones periódicas, orden, fuerzas contrapuestas
Fractales, ramificaciones y explosiones	Colonizar	Transportar, ocupar el espacio, minimizar tiempo y material	Competencia, orden

Tabla 1. Patrones geométricos. Elaborado por el autor.

A continuación se relacionarán algunos de estos patrones con proyectos de diseño desarrollados por REFORMA Laboratorio de Diseño (2017), con el objetivo de establecer una relación directa de los patrones y formas geométricas con el quehacer del diseño.

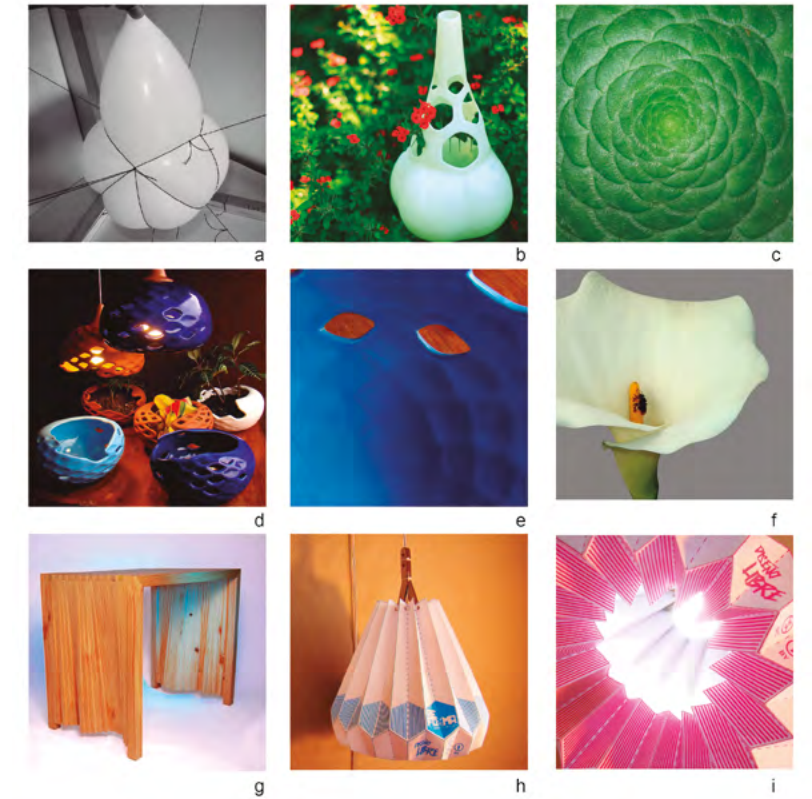
En el primer proyecto llamado *Florero célula*, que se puede ver en las Figuras 2a y 2b, se estudió el crecimiento celular, el cual es una de las principales causas, según Wagensberg (2013), de que el patrón que más predomine en el universo sea la esfera y las formas esferoides. El proyecto inicia con la experimentación de membranas elásticas, fluidos, diferencias de presión y restricciones que emulan las propiedades del material orgánico. El resultado son geometrías curvas, que sin ser las analogías directas de un referente natural, copian delicadamente las formas vivas y orgánicas de la naturaleza (Patiño, Arango, & Jaramillo, 2015).

El segundo proyecto que se observa en las Figuras 2c, 2d y 2e, se llama *Fisuras y resquicios*, en él se utilizó la hélice logarítmica para darle una estructura geométrica necesaria para que a partir de un solo molde se pudieran fabricar tres objetos diferentes: un matero, una lámpara y un frutero. Dicha espiral sobre una superficie de doble curvatura, logra generar una matriz con cierto ritmo y armonía, donde dependiendo de la función que va a soportar el objeto se puedan perforar más o menos rombos. En los tres casos las perforaciones cumplen un objetivo estético, en la medida en que aporta movimiento a la forma esferoide, mientras muestran un crecimiento y una ruptura simétrica.

El siguiente proyecto se puede ver en las Figuras 2f y 2g, en él se utilizó la ley de la mínima acción de Moreau, la cual plantea que la naturaleza opera siempre con la máxima economía posible, como la sinuosidad de un río que ocurre para evitar la fricción ocasionada por las orillas, lo que da como resultado una forma curva

de cambios suaves de dirección (Hildebrandt & Tromba, 1985). Igualmente, este tipo formas sinuosas o serpenteantes también son el resultado de crecimientos diferenciales como la flor de la Figura 3f, en donde las diferentes velocidades de crecimiento hacen que en el borde del cono se genere una superficie alabeada. Este proyecto planteado en el 2005, año en el que la fabricación digital no estaba popularizada ni era asequible en Colombia, buscó generar formas de geometrías complejas con técnicas básicas de carpintería y ebanistería. El resultado planteado desde la conceptualización, comunica movimiento sin necesidad de representarlo mecánicamente y comprende objetos de mobiliario y accesorios decorativos donde las formas sinuosas presentes en la naturaleza se producen con listones de pino cortados y ensamblados manualmente (Patiño et al., 2015).

Por último, el proyecto *Lámpara libre*, que se puede ver en las Figuras 2h y 2i, presenta simultáneamente varios patrones y principios naturales. En primer lugar la configuración cónica, permite concentrar la luz en un punto para luego proyectar el halo de manera homogénea. Por otro lado, utiliza líneas rectas en explosión que le permiten estructurar de la manera más óptima posible, esto se logra minimizando el tiempo de producción y del material necesario para rigidizar la pantalla. Este tipo de eficiencia mecánica se ve con frecuencia en hojas y tallos, las cuales deben distribuir eficientemente el material del que disponen para alcanzar grandes luces con un mínimo esfuerzo. Igualmente, la lámpara presenta hexágonos con vocación de pentágonos, en tanto que estos buscan cambiar la dirección del pliegue.



Figuras 2 a-i. Patrones naturales en objetos de diseño. Fotos del autor.

• Geometrías en las pieles

Para terminar, y luego de relacionar los patrones naturales con objetos de diseño, se describirán algunas de las propiedades y funciones de las texturas de las pieles en la naturaleza, que si bien comparten algunos de los principios generativos, la finalidad de estas tiene unas particularidades que las hacen únicas. Este

segmento hace parte del marco teórico del proyecto actualmente en curso titulado: *Repertorio de superficies y texturas bioinspiradas*, a través de experimentaciones morfológicas con tecnologías de fabricación digital.

Al proyecto no le interesa el análisis o emulación de todo el individuo como forma estructural sino específicamente la superficie frontera que separa su interior de su exterior (Wagensberg, 2013) o considerando cualquier individuo como un todo, ya sea una célula o un animal, le atañe es el perímetro, membrana o piel que diferencia la totalidad del sistema de su entorno (Capra, 2003). Por otra parte, en estas superficies, contrario a la construcción humana, predominan las formas curvas y complejas; las únicas superficies relativamente planas, son las estructuras fotosintéticas u hojas de algunas plantas y algas que deben disponer la mayor área de superficie en dirección al cielo. Y en un menor tamaño las escamas del pez, las alas de murciélago y las palmas de pato (Vogel, 2000).

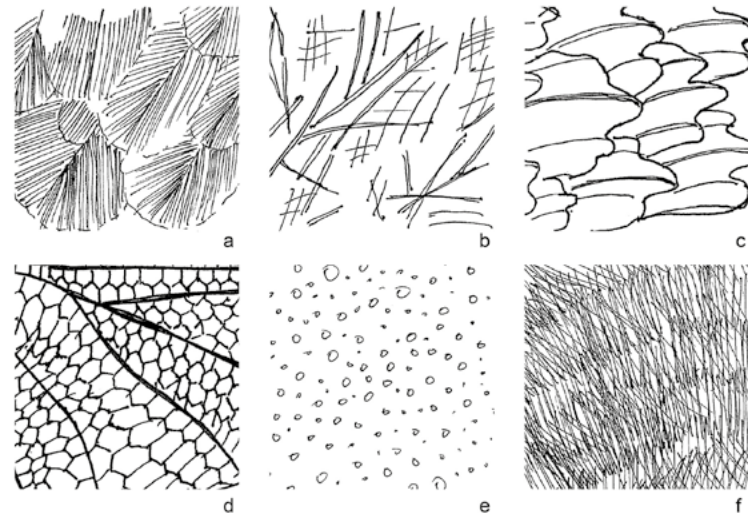


Figura 3. Diferentes superficies frontera. Dibujo del autor.

Estas superficies frontera responden a necesidades específicas que difieren según la función que 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 o calientes; en algunos casos hacen parte de la respiración y transporta gases y secreciones; también 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).

Estas superficies que son la interface del cuerpo con el medio ambiente cambian de nombre y de propiedades según el tipo

de organismo. En la Figura 3 se pueden ver varios ejemplos que evidencian esta heterogeneidad. Por ejemplo en la Figura 3a se aprecia un plumaje que protege al ave de abrasiones, arañazos y ataques directos, así como la antigua armadura japonesa de plumas era una armadura eficaz ante las catanas (Gordon, 1999). En la 3b está la piel humana, la cual evita la pérdida de agua por las proteínas fibrosas llamadas queratinas y por la red de líneas entrecruzadas (Lillywhite, 2006). En la Figura 3c está el microdentículo dérmico del tiburón, el cual reduce el asentamiento de algas sin causar alta resistencia al agua (The Biomimicry Institute, 2016). En la 3d se ve la estructura y el material de las alas de la libélula, que permiten optimizar el vuelo, disminuyendo el peso y aumentando la resistencia (Rajabi, Moghadami, & Darvizeh, 2011). La Figura 3e es una cáscara de un pomelo, en donde los poros le permiten resistir los impactos de caída desde lo alto del árbol (Fischer et al., 2010). Y por último, el pelaje de la ardilla de roca -*Spermophilus variegatus*- evidenciado en la Figura 3f, le permite termoregular su organismo debido a las propiedades ópticas y estructurales del pelo (Walsberg & Schmidt, 1989).

• Comentario final

Tanto la geometría de las pieles, como los patrones de la naturaleza y su aplicación al diseño son una pequeña muestra del vasto catálogo que es visible a diferentes escalas en los ecosistemas vivos. La biodiversidad y la complejidad de formas y funciones a las que deben responder las especies es tan grande que es lógico pensar que cualquier problema de diseño puede estar resuelto

desde hace siglos por la naturaleza, y que solo es necesario un estudio sistemático de observación, análisis y síntesis para abstraer las formas y principios y aplicarlas eficientemente en los proyectos de diseño.

• Referencias

- Capra, F. (2003). *Las conexiones ocultas: implicaciones sociales, medioambientales, económicas y biológicas de una nueva visión del mundo*. Barcelona: Anagrama.
- Fischer, S. F., Thielen, M., Loprang, R. R., Seidel, R., Fleck, C., Speck, T., & Bührig-Polaczek, A. (2010). Pummelos as Concept Generators for Biomimetically Inspired Low Weight Structures with Excellent Damping Properties. *Advanced Engineering Materials*, 12(12), B658–B663. <https://doi.org/10.1002/adem.201080065>
- Gorb, S. (2006). *Functional Surfaces in Biology: Mechanisms and Applications*. In Y. Bar-Cohen (Ed.), *Biomimetics: Biologically Inspired Technologies* (pp. 381–398). Boca Raton: CRC Press.
- Gordon, J. E. (1999). *Estructuras o por qué las cosas no se caen*. Madrid: Celeste.
- Hildebrandt, S., & Tromba, A. (1985). *Matemáticas y formas óptimas*. Barcelona: Prensa Científica.
- Lillywhite, H. B. (2006). Water relations of tetrapod integument. *Journal of Experimental Biology*, 209(2), 202–226. <https://doi.org/10.1242/jeb.02007>
- Patiño, E., Arango, M., & Jaramillo, J. D. (2015). Biomimética o la traducción de los fenómenos biológicos al diseño. *IconoFacto*, 11(16), 201–212.
- Patiño, E., & Arbeláez, E. M. (2009). *Generación y transformación de la forma: morfología, geometría, naturaleza y experimentación*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

- Rajabi, H., Moghadami, M., & Darvizeh, A. (2011). Investigation of Microstructure, Natural Frequencies and Vibration Modes of Dragonfly Wing. *Journal of Bionic Engineering*, 8(2), 165–173. [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(11\)60014-0](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(11)60014-0)
- REFORMA Laboratorio de Diseño. (2017). Sitio Web REFORMA Laboratorio de Diseño. Recuperado de <http://www.reformalab.com/>
- Stevens, P. S. (1987). *Patrones y pautas en la naturaleza*. Barcelona: Salvat.
- The Biomimicry Institute. (2016). Sharklet surface texture: Shark-inspired surface reduces bacterial growth without causing resistance. Recuperado de <https://goo.gl/YSWx25>
- Thompson, D. W. (2003). *Sobre el crecimiento y la forma*. Madrid: Cambridge University Press.
- Vogel, S. (2000). *Ancas y palancas: mecánica natural y mecánica humana*. Barcelona: Tusquets.
- Wagensberg, J. (2013). *La rebelión de las formas o cómo perseverar cuando la incertidumbre aprieta*. Barcelona: Tusquets.
- Walsberg, G. E., & Schmidt, C. A. (1989). Seasonal Adjustment of Solar Heat Gain in a Desert Mammal by Altering Coat Properties Independently of Surface Coloration. *Journal of Experimental Biology*, 142(1), 387–400.



Biomimética y métodos para el diseño

Andrés Valencia Escobar

andres.valencia@upb.edu.co

Resumen

Los tres mil ochocientos millones de años que la naturaleza lleva evolucionando han generado un inmenso conjunto de soluciones biológicas que responden de manera eficiente a requerimientos complejos. El diseño como disciplina creativa se ha visto, se ve y se verá beneficiado de esta diversidad de ideas naturales en función de su capacidad para tomar como referencia las formas, los materiales o las estrategias que reconoce en el entorno natural. Un esquema metodológico ordenado y sistemático que lleve al diseñador desde la solución natural hasta la solución artificial, unido a una serie de criterios que propicien la toma de decisiones pertinentes durante su implementación, es la base para que los seres humanos puedan de manera respetuosa, beneficiarse de lo que la selección natural ha generado. Este texto tiene como objetivo esbozar las condiciones bajo las cuales es posible definir este procedimiento, plantear un modelo básico de criterios de trabajo y proponer un esquema para su implementación.

Palabras clave

Biomimética, métodos de diseño, diseño industrial.

• Introducción

Tener a la naturaleza como una fuente de inspiración y como un referente de sostenibilidad, funcionamiento eficiente y equilibrado es hoy en día un pensamiento común entre las disciplinas creativas. Entender que tres mil ochocientos millones de años de evolución han generado que los sistemas biológicos que hoy existen se hayan adaptado a un complejo sistema de condiciones físicas y químicas es el punto inicial para abordar a la naturaleza en su conjunto como un objeto de estudio tanto científico como proyectual. Este proceso debe responder a un esquema de trabajo sistemático que propicie no solo la búsqueda de los elementos naturales, sino también su caracterización, abstracción y transferencia al diseño. Este texto ilustra una propuesta metodológica que atiende

el proceso de manera sistémica, mediante un esquema de trabajo que sugiere un procedimiento para ponerla en práctica.

• Definiciones básicas

El proceso de observar la naturaleza con el fin de extraer de ella, mediante la abstracción, principios o patrones funcionales, formales, materiales o comportamentales que puedan ser tomados como referencia para complementar el proceso de desarrollo de soluciones eficientes a las necesidades humanas, se conoce como biomimética. Este proceso puede ser aplicado tanto para soluciones materiales como inmateriales. Es decir, puede trabajar con base en referentes que propicien el diseño de productos físicos, como el Velcro™ diseñado por George de Mestral en 1941 a partir de la observación de las semillas que se adherían al pelaje de su perro luego de los paseos por la pradera suiza (Vincent y Mann, 2002), o de productos estratégicos, tales como algoritmos que permiten definir las rutas más eficientes para los camiones de una empresa de mensajería de manera que puedan hacer sus recorridos con el menor consumo de combustible, basados en el comportamiento de colonias de hormigas durante la búsqueda de alimentos (Rizzoli et al, 2007). Para su desarrollo exitoso se presenta como definitivo el hecho de que el diseñador esté dispuesto a dejarse sorprender a través de una actitud curiosa y atenta por lo que la naturaleza tiene. Es importante mencionar también que la biomimética puede ser usada para el diseño de la totalidad de la solución artificial o de una parte de ella.

Como actitudes complementarias a la curiosidad y la atención se ha definido según Benyus (1997) que es necesario que las búsquedas que se hagan sean cada vez más profundas, que las observaciones traspasen la superficie, que se busque aquello que otros no han visto o ver lo ya visto con otros ojos y que se usen múltiples perspectivas de observación. Además, y tomando como referencia el planteamiento de Vogel (2000), es claro que el diseñador que espera usar la biomimética como herramienta para el diseño, debe tener en cuenta que las respuestas que ha dado la naturaleza a sus necesidades funcionales y estratégicas responden a condiciones similares pero no idénticas a las que se plantea el hombre para su entorno. También, que la evolución y su selección natural como responsables de la multiplicidad de sistemas biológicos a los que se puede tener acceso, es un proceso que difiere enormemente de aquel que usa el ser humano para diseñar, y por ello, su análisis y comparación deberá hacerse con sumo cuidado.

• Contextos de aplicación

La biomimética puede ser aplicada bajo dos esquemas (Figura 1). El primero, se establece cuando una necesidad insatisfecha dentro del dominio artificial es inicialmente identificada y luego trasladada al entorno natural para orientar la búsqueda de soluciones relacionadas. El segundo, parte de la identificación de una solución natural particular que represente una oportunidad de aplicación en el entorno artificial (Vincent, Bogatyreva, Bogatyrev, Bowyer, & Pahl, 2006). En ambos esquemas se sigue

básicamente el mismo procedimiento y difieren en que para el primero obviamente se tiene una intención de búsqueda específica, mientras que para el segundo, el hallazgo puede llegar de manera intempestiva e inesperada.



Figura 1. Esquemas de aplicación de la biomimética. Elaborada por el autor.

De la naturaleza es posible abstraer tanto estrategias, es decir, aquello que no es tangible pero que se puede describir como una manera de atender un asunto particular; como resultados de la aplicación de estrategias, es decir, aspectos tangibles y evidentes. Para las estrategias pueden tomarse como referencia procesos, procedimientos o comportamientos por medio de los cuales la naturaleza consiga un resultado determinado. Mientras que los resultados físicos pueden ser específicamente formas, materiales o mecanismos. Para estos, es importante también enfocar la atención hacia las relaciones posibles entre los tres aspectos y el desempeño funcional observado. En algunos casos además, no solo es importante reconocer estrategias y resultados de sus

aplicaciones, sino también los porqué, es decir, las razones, leyes o principios a los que obedecen los aspectos identificados.

Estos principios generalmente involucran las interacciones de los sistemas biológicos con las fuerzas naturales como la fuerza de la gravedad y la tensión superficial o con aspectos de carácter físico, químico y termodinámico que rigen la manera como todo sistema, vivo o inerte, deberá responder ante determinados estímulos en función de sus características particulares. Algunos expertos han agrupado estos principios en conjuntos. Uno de los más representativos es el propuesto por el *Biomimicry Institute* (Baumeister, 2014) que utiliza seis grandes categorías para abarcar el funcionamiento de la vida en el planeta tierra:

- Evolucionar para sobrevivir
- Adaptarse a condiciones cambiantes
- Estar localmente sintonizado y ser responsable
- Integrar el desarrollo con el crecimiento
- Ser eficiente en términos de recursos materiales y energéticos
- Usar química amigable para la vida

• Modelo metodológico

El modelo de aplicación de la biomimética está estructurado a partir de los siguientes cinco (5) pasos:

- Reconocer las soluciones en la naturaleza
- Entender cómo funciona la naturaleza

- Abstractar los patrones o principios de la naturaleza
- Aplicar la abstracción en el desarrollo de soluciones artificiales
- Probar la eficiencia de las soluciones artificiales

El reconocimiento de las soluciones en la naturaleza implica por un lado la identificación y selección de los objetos naturales de estudio y por el otro, la delimitación física y conceptual de estos en función de la intención de búsqueda. Una vez reconocidas las soluciones es necesario entender el funcionamiento de estas. Esta comprensión implica la caracterización, el análisis y la síntesis de información relacionada con la solución y el foco de búsqueda. El proceso de caracterización puede hacerse de manera absoluta o de manera relativa. Para la primera, lo que se hace es seleccionar un grupo de individuos de una especie particular y trabajar sobre él de forma que puedan encontrarse atributos y condiciones particulares. El modelo relativo trabaja con varias especies de manera simultánea a partir de atributos particulares para buscar convergencias -aspectos comunes- o divergencias -aspectos diferenciados- entre ellas.

Con las características detalladas y las relaciones entre ellas establecidas, se continúa con la abstracción de los elementos que serán transferidos al diseño. Esta abstracción consiste en proponer una analogía que puede ser física o estratégica y que rescatará lo más relevante de los atributos o las relaciones. Esto es un proceso mental cuyo resultado, según Cohen y Reich (2016) depende del nivel creativo y analógico que tenga el diseñador. Es importante mencionar además que, sea cual sea el resultado, una

copia directa de lo observado en la naturaleza no es una buena posibilidad, toda vez que las condiciones para y bajo las cuales los sistemas naturales evolucionaron son diferentes a las que se dan en el entorno artificial y por ello, su transferencia literal conllevará muchos riesgos (Rossin, 2010; Vogel & Vogel, 2000).

La abstracción deberá ser luego aplicada en el diseño de una solución a una necesidad artificial. Esta aplicación implica la información o definición de un conjunto finito de requerimientos que deben ser satisfechos por la solución, la formalización o ajuste de las condiciones formales y materiales de la solución para atender los requerimientos y la conformación o construcción de un conjunto de modelos y prototipos que materialicen el diseño propuesto. Es importante mencionar acá que, en el caso que la solución se haya planteado como una estrategia, los pasos a seguir pueden ser los mismos entendiendo que la formalización no involucra recursos físicos sino procedimentales.

Con la o las soluciones diseñadas, el proceso finaliza con su validación a la luz de los requerimientos propuestos. Esta validación implicará que se mida un nivel de eficiencia en el desempeño del resultado de forma que pueda ser comparado con otras soluciones existentes y contrastadas con base en los recursos empleados para su desarrollo. No es un proceso lineal y es muy probable que sea la iteración la herramienta que mejor pueda apoyarlo. Esta iteración puede ser entendida como un ejercicio de repetición periódica de un proceso donde los resultados de la primera implementación se convierten en la entrada para la segunda y

así sucesivamente hasta alcanzar un resultado lo suficientemente ajustado a los requerimientos. Igualmente, esta secuencia de aplicación se ha propuesto como cíclica, es decir, que en cualquiera de las etapas del proceso puede llegar a ser necesario regresar a la anterior para ajustar alguno de los parámetros.

Como ejemplificación de este modelo puede verse cómo la compañía alemana Arnold Glass utilizó la biomimética para atender la necesidad de disminuir la mortalidad de aves por efecto de los golpes que estas sufrían al atravesar zonas urbanas en donde las edificaciones utilizaban fachadas de vidrio. Esta condición arquitectónica genera una reflexión especular del entorno confundiendo a las aves sobre lo que tenían al frente. Solo en Estados Unidos por ejemplo, según Loss, Will, Loss y Marra (2014), mueren al año entre 365 y 988 millones de pájaros por esta causa.

A partir de la comprensión del funcionamiento del sistema visual de las aves, que son capaces de ver en el espectro ultravioleta y del análisis de una estrategia utilizada por algunas arañas que tejen un patrón geométrico particular en el centro de sus telarañas con tipo de seda que refleja la luz ultravioleta, se pudo identificar que las arañas usan estos patrones para atraer insectos que confunden la red con una flor y también para hacer visibles sus redes a los pájaros.

Luego, el proceso consistió en definir cuál debería ser el soporte material y formal para una solución técnica que atendiera la necesidad. Se hizo un desarrollo de una tinta que es transparente al ojo

humano pero que refleja la luz ultravioleta, que fue aplicada en un patrón como el mostrado en la Figura 2, sobre la película polimérica que se utiliza en la mitad de los vidrios arquitectónicos. El diseño del patrón fue resultado también de un proceso experimental.

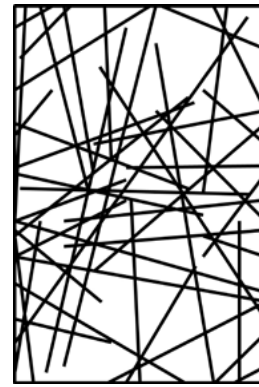


Figura 2. Patrón geométrico utilizado por Arnold Glass para distribuir la tinta reflectora de luz ultravioleta (elaborada por el autor).

Finalmente el proyecto fue evaluado a través de pruebas científicas en túneles de viento (Haffey, 2014), demostrando una efectividad de cerca del 95%. Hoy en día el producto comercial se denomina Ornilux y ha sido implementado ampliamente tanto en Norteamérica como en Europa.

• Comentario final

El seguimiento de un proceso claro y sistemático le permite al diseñador tomar como referencia a los sistemas biológicos, con el fin de atender un conjunto de requerimientos específicos para el

desarrollo de una solución artificial. La mirada crítica y cuidadosa en términos de cuándo, cómo y qué observar en la naturaleza aporta al proceso los lineamientos necesarios para que su resultado tenga una alta probabilidad de éxito.

• Referencias

- Baumeister, D. (2014). *Biomimicry resource handbook: a seed bank of best practices*. North Charleston: Createspace.
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: William Morrow.
- Cohen, Y. H., & Reich, Y. (2016). The Biomimicry Design Process: Characteristics, Stages and Main Challenge. In *Biomimetic Design Method for Innovation and Sustainability* (pp. 19–29). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-33997-9_2
- Haffey, W. R. (2014). *Reducing bird-glass collisions: Testing patterned glass in a novel flight tunnel*. (Tesis de Maestría). Fordham University, Department of Biology, New York.
- Loss, S. R., Will, T., Loss, S. S., & Marra, P. P. (2014). Bird–building collisions in the United States: Estimates of annual mortality and species vulnerability. *The Condor*, 116(1), 8–23. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-13-090.1>
- Rossin, K. J. (2010). Biomimicry: nature's design process versus the designer's process. In *WIT Transactions on Ecology and the Environment* (Vol. 138, pp. 559–570). <https://doi.org/10.2495/DN100501>.
- Rizzoli, A. E., Montemanni, R., Lucibello, E., & Gambardella, L. M. (2007). Ant colony optimization for real-world vehicle routing problems. *Swarm Intelligence*, 1(2), 135–151.

- Vincent, J. F. V., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A., & Pahl, A.-K. (2006). Biomimetics: its practice and theory. *Journal of the Royal Society, Interface*, 3(9), 471–482. <https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0127>
- Vincent, J. F., & Mann, D. L. (2002). Systematic technology transfer from biology to engineering. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 360(1791), 159–173.
- Vogel, S. (2000). *Cats' Paws and Catapults: Mechanical Worlds of Nature and People*. New York: W. W. Norton & Company.
- Vogel, S., & Vogel, J. G. (2000). Copying life's devices. *Current Science*, 78(12), 1424–1430.



Metodología

Diana Urdinola-Serna
diana.urdinola@upb.edu.co

Etapa 1

- **El planteamiento**

A partir de una metodología que combina la conceptualización con la experiencia y la experimentación, se propone un ejercicio con un proceso sistematizado que permite identificar aquellas conexiones inesperadas que plantea la naturaleza. Estas conexiones se presentan como el referente para lograr un acercamiento al desarrollo o mejoramiento de proyectos de diseño en los que se hace evidente la naturaleza como fuente de inspiración.

El proceso propuesto se puede inscribir en las metodologías tipo *bottom-up*. Este tipo de metodologías son experimentales y presentan un nivel de incertidumbre alto, ya que comienzan por la observación de un problema técnico natural, estructural o morfológico, para luego visualizar oportunidades de aplicación que respondan a necesidades de un usuario particular, lo que podría ocasionar desajuste entre los elementos que constituyen el problema. Estos métodos son contrarios a los convencionales, o tipo *top-*

down, en donde el proyecto de diseño es descendente y comienza con la delimitación de una necesidad o un problema observado en contexto de uso específico, para posteriormente buscar las soluciones biológicas que respondan a los requerimientos planteados. (Parvan, M. Schwalmberger, A. Lindemann, Udo. 2011) En cualquier caso, el proceso propuesto es ideal para contextos educativos, en donde la finalidad, más allá de encontrar soluciones de diseño óptimas es formar en el diseño y en la investigación.

El propósito de este proceso es analizar las formas, fenómenos, mecanismos y estrategias como referentes para la resolución de necesidades. Esta búsqueda resulta extensa debido a los múltiples caminos y variables de análisis, por esto es necesario acotar el escenario de observación.

En el texto *Biomimicry Resource Handbook: a seed bank of best practices*, D. Baumeister (2014) propone una serie de herramientas para la observación de la naturaleza y su correcta traducción al lenguaje del diseño. Las instancias esenciales que propone D. Baumeister hacen referencia a: descubrir, crear, evaluar y anali-

zar, instancias metodológicas que se combinan a su vez con los métodos para el desarrollo de proyectos de diseño.

A partir de esta propuesta, nace la metodología de trabajo donde delimitar, observar, descubrir, crear y evaluar se propone como las instancias metodológicas del proceso. Estas instancias metodológicas, guían el proceso mediante formatos de recolección de datos diseñados para sistematizar la información desde diferentes variables y acciones clave.

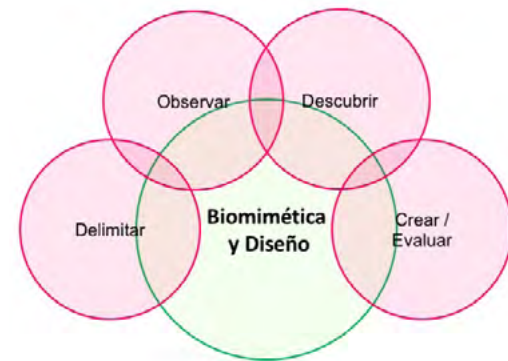


Figura 1. Instancias metodológicas. Elaborada por el autor.

• **Delimitar**

Identificar el contexto, los intereses y las necesidades específicas del proyecto son los criterios que se proponen para delimitar el escenario de búsqueda. Para ejemplificar, se presenta posible escenario de búsqueda de las texturas bioinspiradas como una

temática que referencia las diferentes superficies y texturas (visuales o táctiles) que cubren los elementos de la naturaleza:

• **Escenario de búsqueda: superficies de interacción corporal**

Este escenario comprende las superficies que son mensurables desde la relación que tienen con el cuerpo del sujeto. Wagensberg (2004) explica: "El tamaño de un objeto se refiere a su espacio interior, al pedazo de espacio encerrado por la frontera que separa su interior de su exterior" (p. 22).

Entonces las superficies de interacción corporal se proponen como aquella superficie frontera que separa el cuerpo del entorno. Estas superficies además de ser frontera cumplen con una función específica que puede ser: inmovilizar, proteger o apoyar. Con estas posibilidades funcionales se abre un posible campo de intervención para la generación de propuestas.



Figura 2. Campos de intervención. Elaborada por el autor.

• **Observar**

En los proyectos de diseño la observación es la instancia inicial, allí se establecen las variables y los conceptos a analizar. Cuando se mezcla la observación, entendida como el primer paso que da inicio al proceso de diseño, con la naturaleza como principal escenario de estudio, resulta esencial preparar de manera rigurosa los pasos a seguir para lograr un resultado exitoso mediado por el escenario de búsqueda, la selección de un campo de intervención y un objeto de estudio.

• **Pasos para la observación**

Selección del objeto de estudio: la naturaleza presenta un amplio universo de posibilidades para la observación, por esto el primer paso es seleccionar un objeto de estudio que puede hacer referencia a los reinos: animal, vegetal, protista, mórneras u hongos. Es importante tener presente que cada uno de estos reinos cuenta con características mesurables que van de lo micro a lo macro, en consecuencia las herramientas y los recursos para el proceso de observación son variables.

Plantear una pregunta: la pregunta es el elemento rector que guía el proceso. Debe proponerse teniendo en cuenta la delimitación del tema (escenario de búsqueda) y el objeto de estudio.

Ejemplo: ¿Cómo las plantas (objeto de estudio) inmovilizan (campo de intervención) sus tallos a partir de la utilización de morfologías y sistemas estructurales óptimos?

LA BIOMIMÉTICA COMO HERRAMIENTA PARA EL DISEÑO / NATURALEZA Y FUNCIONALIDAD
Superficies de interacción corporal * Desarrollar las fichas 1 y 2 para cada una de las especies seleccionadas en cada visita.
Observar y analizar.

Campo de intervención seleccionado: Objeto de estudio seleccionado: Lugar de observación:	Estudiantes:
---	--------------

<p>El primer paso se plantea desde la creación de una pregunta que contenga el campo de intervención seleccionado, el objeto de estudio y que además se pueda responder desde la biomimética.</p> <p><i>Ejemplo: ¿Cómo las plantas (objeto de estudio) inmovilizan (campo de intervención) sus tallos para generar estructura e impedir el movimiento?</i></p> <p>Pregunta (redactar): _____ _____ _____</p> <p>Pasos a seguir: 1. Seleccionar de 3 a 4 especies (en cada salida de observación) que respondan la pregunta planteada por el equipo. Desarrollar las fichas 1 y 2 para cada una de estas especies. 2. Registre la especie con una fotografía general y mínimo tres fotografías de detalle entendidas como un zoom o diferentes vistas. También puede hacer uso de dibujos y esquemas.</p>	<p>Especie (Nombre científico o común):</p> <p style="text-align: right;">1</p>
--	--

Fotografías, dibujos, descripciones y comentarios.

Figura 3. Formato para planear la observación. Elaborada por el autor.

• **Descubrir**

Para responder a la pregunta e ir más allá de lo observado, D. Baumeister (2013) propone en esta instancia observar, además de la morfología, los mecanismos y la estrategia funcional que la especie en cuestión (según el objeto de estudio) utiliza para dar solución a la pregunta. Estos dos conceptos deben contextualizarse desde la biología y el diseño:

- a. **Mecanismo:** es el proceso que realiza una especie para cumplir una función específica. Para la observación deben describirse todos los elementos que intervienen en el caso analizado, desde el ambiente circundante y sus características climáticas, hasta las partes de la especie y sus características.
- b. **Estrategia funcional:** es la sumatoria de los diferentes procesos que desarrolla la especie para cumplir la función. Esta suma es intencionada y coherente, además se describen las características que enuncian la relación entre forma y función.

Luego de describir el mecanismo y la estrategia funcional, se hace la traducción al lenguaje del diseño, donde se reemplazan las descripciones biológicas por descripciones técnicas, funcionales y morfológicas.

LA BIOMIMÉTICA COMO HERRAMIENTA PARA EL DISEÑO / NATURALEZA Y FUNCIONALIDAD
Superficies de interacción corporal

Descubrir y analizar

<p>El segundo paso se centra en el análisis funcional de la especie observada. Las descripciones resultan del proceso de observación, la deducción y una posible consulta adicional.</p> <p>Mecanismo Describa de manera detallada el mecanismo que la especie utiliza para enfrentar la función seleccionada (inmovilizar, proteger, cubrir y apoyar). Aquí, se especifican todos los elementos que intervienen, desde el ambiente circundante hasta las partes de la especie.</p> <p>Estrategia funcional Describe de manera simple como la especie responde a la función seleccionada desde la forma y desde la acción.</p> <p>Traducción al diseño Describe en las palabras del diseño la información que arroja el mecanismo, la función y la estrategia.</p>	<p>Mecanismo</p> <p style="text-align: right;">2</p> <p style="text-align: center;"><i>Fotografías, dibujos, descripciones y comentarios.</i></p>
	<p>Estrategia funcional</p> <p style="text-align: center;"><i>Descripciones y comentarios.</i></p>
	<p>Traducción al diseño</p> <p style="text-align: center;"><i>Descripciones y comentarios.</i></p>
	<p><i>Descripciones y comentarios.</i></p>

Figura 4. Formato para descubrir y analizar. Elaborada por el autor.

• **Crear y evaluar**

Esta última instancia encamina el proyecto de diseño, aquí se sintetizan las formas y su relación con la función por medio de la traducción de los mecanismos, estrategias funcionales y morfologías de la naturaleza a mecanismos, estrategias, funciones y morfologías para el diseño. Esta traducción es esencial y se logra a partir del análisis funcional y geométrico. Las siguientes preguntas se plantean como un detonante para la traducción:

- ¿Cómo son las formas? (tipos de geometrías, simetrías y proporciones)
- ¿Responden a algún tipo de movimiento? (dibuje las partes y traduzca los movimiento con flechas)
- ¿Cómo se comporta el material en relación con la morfología y el mecanismo?
- ¿Cómo se organizan en el espacio? (modulaciones y ensamblables entre los módulos)
- ¿Cuenta con texturas visuales o táctiles?

Posteriormente se realizan las propuestas de diseño tomando como referencia el análisis anterior.

LA BIOMIMÉTICA COMO HERRAMIENTA PARA EL DISEÑO / NATURALEZA Y FUNCIONALIDAD
Superficies de interacción corporal

Crear

<p>Análisis morfológico</p> <p><i>Para el desarrollo de la fase final, seleccione una de las especies analizadas con las fichas 1 y 2.</i></p> <p>El tercer paso encamina el proceso de diseño, aquí se sintetizan las formas y su relación con la función por medio de la traducción: de las formas de la naturaleza a las formas de la geometría.</p> <p>Haciendo uso de fotografías y dibujos, traduzca las formas de la especie en el idioma de la geometría respondiendo las siguientes preguntas:</p> <p>¿Cómo son las formas? (tipos de geometrías y simetrías) ¿Responden a algún tipo de movimiento? (dibuje las partes y traduzca los movimiento con flechas) ¿Cómo se organizan en el espacio? (modulaciones y ensamblables entre los módulos) ¿Cuenta con texturas visuales o táctiles?</p> <p><i>*Haga uso del análisis geométrico (ángulos, líneas, polígonos, sólidos, superficies, ejes de simetría entre otros)</i></p>	<p>3</p> <p style="text-align: center;"><i>Fotografías, dibujos, descripciones y comentarios.</i></p>
--	---

Figura 5. Formato para crear. Elaborada por el autor

Etapa 2

• La implementación

Para ilustrar la implementación de la metodología propuesta se presentan dos casos: el primero hace referencia al proceso desarrollado por un grupo de estudiantes durante el *III Taller Internacional de Biomimética*, el resultado muestra el tránsito por las instancias metodológicas para llegar a una propuesta conceptual de diseño. El segundo caso presenta el proceso metodológico, el resultado y su implementación en un proyecto de diseño presentado por un grupo de estudiantes como trabajo de grado.

Ejemplo 1

Metodología para el desarrollo de un sistema de protección para la rodilla

Estudiantes: Carolina Mejía Yepes, Andrés Gaviria Palacio, Sara Echeverri, Estefanía Velásquez, Ana María Restrepo, Karen Soto y Felipe Ramírez.

1. Delimitar

Milpiés como referente para superficies de protección corporal

Proteger es una necesidad que ha estado presente en la naturaleza desde su misma creación. Habitar un mismo planeta con diferentes especies y comportamientos ha hecho que so-

brevivir sea cuestión estratégica. La evolución y la adaptación permiten responder a los diferentes cambios del ambiente, logrando que las estrategias de protección se evidencien físicamente en la forma y el color de caparazones y pieles.

En entornos naturales la autoprotección se logra gracias a fenómenos amenazantes como temperaturas extremas, depredadores, la adhesión de cuerpos extraños como el polvo, entre otras adaptaciones de tipo biológico.

En el caso de los diplópodos, caracterizados por tener dos patas por cada diplosegmento de su cuerpo, el método de protección se desarrolla en varias estrategias complementarias, pero todas enfocadas en un mismo objetivo: evitar ser devorado por sus depredadores. Esta estrategia sucede de dos maneras, la primera mediante las glándulas que expelen cianuro de hidrógeno, la segunda por cambios morfológicos y movimientos de los diplosegmentos del cuerpo producto de contracciones y expansiones.

Por otra parte, los milpiés plantean las estrategias de protección mediante las relaciones entre la forma de su cuerpo, el material y el movimiento. El cuerpo del milpiés cuenta con quitina y sales minerales de calcio haciendo que su exoesqueleto sea rígido con características para amortiguar golpes o impactos directos, además de ser una coraza que protege o

impide el acceso a los órganos internos del animal. Con referencia a la morfología, este diplópodo perteneciente al orden de los Polydesmida tiene el exoesqueleto compuesto por diplosegmentos, pequeñas partes que se deslizan unas sobre otras, simulando una rótula.

Esta propuesta busca aplicar la morfología, los mecanismos y las estrategias de defensa del milpiés para hallar una solución bioinspirada que proteja o cubra la rodilla humana cuando se practican deportes como el patinaje.

2. Observar

La observación se hizo en dos lugares con características diferentes, el objetivo era tener variedad de especímenes. En primer lugar, se realizó la observación de la naturaleza y sus fenómenos nocturnos en el Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe, en segundo lugar la observación de la diversidad que presenta la Reserva Ecológica de San Sebastián de la Castellana en el municipio de El Retiro.

a. Objeto de estudio: artrópodos

b. Pregunta: ¿cuáles son los mecanismos de protección que usan los artrópodos para sobrevivir?

LA BIOMIMÉTICA COMO HERRAMIENTA PARA EL DISEÑO / NATURALEZA Y FUNCIONALIDAD

Superficies de interacción corporal

* Desarrollar las fichas 1 y 2 para cada una de las especies seleccionadas en cada visita.

Observar y analizar.

Campo de intervención seleccionado: Proteger- Cubrir	Estudiantes: Carolina Mejía Yepes, Andrés Gaviria Palacio, Sara Echeverri, Estefanía Velásquez, Ana María Restrepo, Karen Soto, Felipe Ramírez
Objeto de estudio seleccionado: Artrópodos	
Lugar de observación: Reserva San Sebastian / El Retiro / Antioquia	

El primer paso se plantea desde la creación de una pregunta que contenga el campo de intervención seleccionado, el objeto de estudio y que además se pueda responder desde la biomimética.

Ejemplo: ¿Cómo las plantas (objeto de estudio) inmovilizan (campo de intervención) sus tallos para generar estructura e impedir el movimiento?

Pregunta
¿Cuáles son los mecanismos de protección que usan los artrópodos para sobrevivir?

Pasos a seguir:
1. Seleccionar de 3 a 4 especies (en cada salida de observación) que respondan la pregunta planteada por el equipo y desarrollar las fichas 1 y 2 para cada una de estas especies.
2. Registre la especie con una fotografía general y mínimo tres fotografías de detalle entendidas como un zoom o diferentes vistas. También puede hacer uso de dibujos y esquemas.

Especie (Nombre científico o común): Milpiés (Nombre común)
Nombre científico: Diplópodo
Orden: polydesmida




Figura 6. Observación y análisis del Milpiés. Tomado del proyecto *Diploprotection*.

3. Descubrir

Luego se realizó un análisis del mecanismo, la estrategia funcional y la traducción de estos en términos del diseño.

LA BIOMIMÉTICA COMO HERRAMIENTA PARA EL DISEÑO / NATURALEZA Y FUNCIONALIDAD
Superficies de interacción corporal

Descubrir y analizar

<p>El segundo paso se centra en el análisis funcional de la especie observada. Las descripciones resultan del proceso de observación, la deducción y una posible consulta adicional.</p> <p>Mecanismo Describa de manera detallada el mecanismo que la especie utiliza para enfrentar la función seleccionada (inmovilizar, proteger, cubrir y apoyar). Aquí, se especifican todos los elementos que intervienen, desde el ambiente circundante hasta las partes de la especie.</p> <p>Estrategia funcional Describe de manera simple como la especie responde a la función seleccionada desde la forma y desde la acción.</p> <p>Traducción al diseño Describe en las palabras del diseño la información que arroja el mecanismo, la función y la estrategia.</p>	<p>Mecanismo</p> <p>Exoesqueleto endurecido por sales minerales de calcio y quitina</p> <p>Posición neutra Posición de defensa Se enrolla para evitar ser una presa fácil para depredadores</p>
	<p>Estrategia funcional</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los segmentos se deslizan unos entre otros para comprimirse o expandirse. - Transformaciones morfológicas permiten camuflarse en el espacio. - Exoesqueleto de material inerte que protege parte interna.
	<p>Traducción al diseño</p> <p>- Un sistema que permita proteger animales o personas frente a condiciones climáticas, sea lluvia o calor, por medio de un sistema plegable con diferentes segmentos o módulos que le permitan contraerse y expandirse cuando se necesite.</p> <p>- Un sistema que permita el resguardo ya sea para dormir, vivir o descansar por medio de una estructura flexible y plegable, con un esqueleto rígido que proteja a sus habitantes de condiciones ambientales como animales, frío o lluvia. Es decir, a partir de una módulos de estructura rígida crear un elemento plegable que sea ligero para el transporte pero lo suficientemente rígido para amortiguar factores externos.</p>

Figura 7. Análisis del mecanismo, la estrategia funcional y la traducción en términos del diseño. Tomado del proyecto Diploprotection.

4. Crear y evaluar

Tomando como referencia la traducción a términos del diseño, se realizó el análisis morfológico del espécimen con la intención de comprender las relaciones entre forma, material y función.

LA BIOMIMÉTICA COMO HERRAMIENTA PARA EL DISEÑO / NATURALEZA Y FUNCIONALIDAD
Superficies de interacción corporal

Crear

<p>Análisis morfológico</p> <p>Para el desarrollo de la fase final, seleccione una de las especies analizadas con las fichas 1 y 2.</p> <p>El tercer paso encamina el proceso de diseño, aquí se sintetizan las formas y su relación con la función por medio de la traducción: de las formas de la naturaleza a las formas de la geometría.</p> <p>Haciendo uso de fotografías y dibujos, traduzca las formas de la especie en el idioma de la geometría respondiendo las siguientes preguntas:</p> <p>¿Cómo son las formas? (tipos de geometrías y simetrías) ¿Responden a algún tipo de movimiento? (dibuje las partes y traduzca los movimientos con flechas) ¿Cómo se organizan en el espacio? (modulaciones y ensamblajes entre los módulos) ¿Cuenta con texturas visuales o táctiles?</p> <p><i>*Haga uso del análisis geométrico (ángulos, líneas, polígonos, sólidos, superficies, ejes de simetría entre otros)</i></p>	<p>3</p> <p>El mil pies está conformado por varios diplosegmentos, cada uno de estos unido por una membrana delgada de quitina. Cada uno de estos segmentos está compuesto por dos partes una más pequeña que la otra. Estas microestructuras forman la macroestructura del animal llamada exoesqueleto.</p>
---	---

Figura 8. Análisis morfológico 1 para crear y evaluar propuestas de diseño. Tomado del proyecto Diploprotection.

LA BIOMIMÉTICA COMO HERRAMIENTA PARA EL DISEÑO / NATURALEZA Y FUNCIONALIDAD
Superficies de interacción corporal

Crear

<p>Análisis morfológico</p> <p>Para el desarrollo de la fase final, seleccione una de las especies analizadas con las fichas 1 y 2.</p> <p>El tercer paso encamina el proceso de diseño, aquí se sintetizan las formas y su relación con la función por medio de la traducción: de las formas de la naturaleza a las formas de la geometría.</p> <p>Haciendo uso de fotografías y dibujos, traduzca las formas de la especie en el idioma de la geometría respondiendo las siguientes preguntas:</p> <p>¿Cómo son las formas? (tipos de geometrías y simetrías) ¿Responden a algún tipo de movimiento? (dibuje las partes y traduzca los movimientos con flechas) ¿Cómo se organizan en el espacio? (modulaciones y ensamblajes entre los módulos) ¿Cuenta con texturas visuales o táctiles?</p> <p><i>*Haga uso del análisis geométrico (ángulos, líneas, polígonos, sólidos, superficies, ejes de simetría entre otros)</i></p>	<p>3</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aumento progresivo del tamaño (en volumen y en longitud) de los diplosegmentos. 2. Aumento es directamente proporcional a ángulo de la curva. De y a y+ 3. Forma de enrollarse tiende a generar figuras cíclicas o en forma de espiral. 4. Proporción de segmento menor frente segmento mayor. Este último es dos veces y medio más que el inferior. 5. Patas en posición de resguardo flexionadas. Estructura articulada con un patrón cónico. 6. Estructura interna compuesta por diferentes aros que demarcan el punto de unión entre un y otro diplosegmento
---	--

Figura 9. Análisis morfológico 2 para crear y evaluar propuestas de diseño. Tomado del proyecto Diploprotection.

Luego se presenta en la instancia metodológica final una propuesta que responde a una necesidad específica que puede ser resuelta desde las oportunidades que ofrece el análisis morfológico del milpiés.

5. Crear y evaluar

Propuesta resultante del análisis del milpiés

¿Cuales son los mecanismos de protección que utilizan los artrópodos a la hora de sobrevivir en el ambiente?	Referente seleccionado	Propuesta de diseño
 Pyrophorus Noctilus -Girar -Saltar	 <p>Seleccionado por su estructura de doble curvatura que ayuda a una mejor resistencia y su mecanismo de rotula</p>	<h3>Diploprotection</h3> <p>Sistema de protección para la rodilla Responde al movimiento de la rodilla a la hora de una caída Este producto esta diseñado para personas que practiquen patinaje</p> 
 Cantharidae -Exoesqueleto -Bioluminiscencia	<h3>Diplopodo</h3>  <p>Mecanismo de rotula ente los diplosegmentos</p>	
 Acrididae Caparazón	 <p>Caparazón dura de doble curvatura Hecha de quitina y minerales de calcio</p>	<h3>Vistas</h3>  <p>Construcción del neopreno Apertura del segmento Apertura del neopreno</p>
 Curculionidae -Caparazón -Arco estructural con protuberancias	 <p>Caparazón dura de doble curvatura Hecha de quitina y minerales de calcio</p>	
 Diplopodo -Caparazón -Expeler -Movimiento de rotula	 <p>Mecanismo de compresión y expansión cuando se siente en peligro</p>	<h3>Materiales</h3> <p>Caucho celular neopreno silicona</p> 
 Gasterópodo Caparazón como soporte anatómico	<h3>Características Biomimeticas</h3> <p>Sistema de rotula entre segmentos a través de una membrana y carcaza de doble curvatura para mejor protección a impactos</p>	
 Oryctes Nasicornis -Escarbar -Caparazón		

Figura 10. Resultado final Sistema de Protección para la Rodilla. Tomado del proyecto Diploprotection

Las siguientes imágenes muestran el resultado final en la fase metodológica 4. Crear y evaluar, de otros proyectos desarrollados en el Taller.

¿CÓMO LAS ESTRUCTURAS CORPORALES DE LOS INSECTOS PERMITEN APOYARSE EN DIFERENTES SUPERFICIES PARA DESPLAZARSE ?

REFERENTES NATURALES

TETTIGONIDAE "EL GRILLO"



BOMBUS SP " EL ABEJORRO"



ASTRACCIÓN



BOCETACIÓN



DISEÑAR

Textura en la suela de la zapatilla para escalar potencializando el apoyo y el movimiento.



Texturas rugosas

Puntos de apoyo del pie.



VALIDAR



Patrón de las uñas delgadas de la abeja.

Patrón de las garras del grillo.

BEEGRASHOPPER TEXTURE

Marcela Velez Ochoa
 Daniela Granada Gómez
 Christian Rayo Ochoa
 Andres Felipe Correa Idárraga



Figura 11. Resultado final Textura Beegrashopper. Tomado del proyecto Beegrashopper Texture.

Biomimética: Helechos y funcionalidad

PREGUNTA

¿Cómo el tallo de las plantas soporta la carga del resto de la estructura para brindar estabilidad y apoyo?

JUSTIFICACION:

"Apoyar" es indispensable antes que cualquier otra función, pues el sistema debe sostenerse antes que cubrir o inmovilizar.

El tallo es el elemento principal que da estructura a las plantas y sostiene el sistema compuesto por flores, frutos, hojas, ramas, etc. Para lograrlo, este utiliza fibras verticales para resistir a la flexión. La geometría de la sección transversal del tallo permite soportar la compresión, mientras que los nodos generan estructuras ramificadas que distribuyen las cargas para resistir los diferentes factores ambientales.

REQUERIMIENTOS

1. El objeto debe funcionar como superficie de apoyo de otro elemento, y además resistir su propio peso.
2. El objeto debe tener una estructura fibrosa con orientación vertical para resistir las cargas de compresión y flexión.
3. El objeto debe tener un perfil tubular para mejorar sus propiedades de rigidez y estabilidad.
4. El objeto debe distribuir las cargas de forma simétrica y ramificada, con unos nodos o puntos de transición.
5. El objeto debe incluir una estructura laminar que le permita reforzar los nudos y apoyar más elementos.



Planta Familia de los de los helechos, con tallo rígido y ramificaciones a partir de este.



Chusquea, presenta un único tallo del cual se desprenden las hojas y da lugar a uniones resistentes, generando estabilidad estructural.



Cavendishia, estructura cupular de base pentagonal resistente a la compresión.



Su sección transversal cuadrada con pliegues en las aristas, permiten una mejor respuesta estructural a cargas en diferentes direcciones.

HELECHO

Planta herbácea de frondas, provista de un eje central cuyo punto medio se encuentra reforzado por hojas que se superponen entre ellas para reforzar así dicha estructura principal.

Mecanismo: El eje central cuenta con un calibre mayor volviéndolo más resistente y rígido que el resto de la estructura. Además está reforzado por una capa externa que permite contener las fibras longitudinales para que estas sean capaces de resistir las cargas.

Vista superior del tallo. Corte longitudinal del tallo. Corte transversal del tallo.



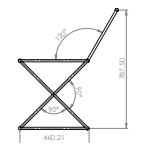
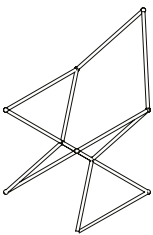
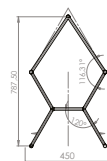
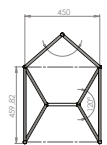
Silla de interior diseñada a partir de un principio de nodos que convergen en diferentes puntos para generar una estructura capaz de resistir las condiciones de apoyo y soportar las cargas como lo hace la planta.



Nodos, puntos de ensamble.



Puntos de convergencia.



Georgina Arcila Hoyos
Angie Canoá Gómez
Cristina López
Valentino Mejía Toro
Adriana Ranaldi Castillo



Figura 12. Resultado final superficie de apoyo. Tomado del proyecto Helechos y funcionalidad.

Ejemplo 2

Diseño de mobiliario exterior basado en el análisis biomecánico de la hoja de la palma *Bismarckia nobilis*

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

1. Delimitar

El diseño de mobiliario exterior en Colombia está basado en criterios de inclusión, accesibilidad, movilidad, sostenibilidad y apropiación. La incidencia de un urbanismo interactivo e incluyente en los espacios educativos institucionales del país es de vital importancia para el desarrollo de las actividades académicas por parte de los estudiantes, además le otorga a la institución el mejoramiento de la calidad estético-comunicativa, confort y apropiación del espacio por parte de la comunidad educativa. El mobiliario exterior es pensado en conjunto con las edificaciones de la institución y tiene como finalidad completar el tránsito de la comunidad por el espacio, teniendo en cuenta las prácticas y actividades, como: recreación, permanencia, descanso, entre otras.

Por otro lado, el análisis biomecánico de plantas hace referencia al estudio de los seres vivos desde una perspectiva físico-mecánica, teniendo en cuenta cómo la organización estructural de las plantas ha enfrentado las adversidades del medio. Este análisis es una base fundamental para el diseño,

desde allí se pueden encontrar soluciones a los problemas que atañen al diseñador desde la morfología hasta la funcionalidad, teniendo en cuenta que la riqueza formal, funcional y estructural de las plantas se convierte en un atractivo.

La *Bismarckia nobilis* es un tipo de palma, que se compone de tronco, pecíolos y láminas. Esta ha sido estudiada previamente por un grupo de diseñadores en cuanto a la relación entre la morfología y su capacidad portante. Los resultados de esta investigación fueron tanto inversa como directamente proporcionales a la morfología.

A partir de los resultados obtenidos en el análisis biomecánico de la planta *Bismarckia nobilis*, es posible el planteamiento de morfologías con base en la geometría de la lámina y la relación con su capacidad portante como principio estructural.

2. Observar

Para el proceso de observación se seleccionaron dos plantas de *Bismarckia nobilis* del Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe, de estas plantas se tomaron varias muestras.

- a. Objeto de estudio: *Bismarckia nobilis*
- b. Pregunta: ¿Cómo implementar las características del comportamiento mecánico de la planta *Bismarckia nobilis* en el desarrollo de una pieza de mobiliario?

3. Descubrir

La *Bismarckia nobilis*, comúnmente conocida como palmera de Bismarck, es el único ejemplar que comprende el género *Bismarckia*, es un tipo de palma procedente de Madagascar y pertenece a la familia de las Aceráceas (anteriormente Palmáceas). Esta palma se compone de un tronco, los pecíolos y las láminas, siendo esta última sección la base del estudio previo. Además, presenta una gran versatilidad en cuanto al entorno en donde crece pues soporta gran variedad de climas. Ver Figura 1.



Figura 13. Foto de la palma *Bismarckia nobilis* en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Autor. Fotografía: Chinchilla, Henao y Herrera.

Al igual que las demás plantas, este ejemplar debe resistir a los factores externos y adversos que propicia la naturaleza, por ende, desarrolló una morfología que le permite no verse afectada por estas cargas externas. Por su parte, la lámina de la *Bismarckia nobilis* presenta una superficie muy grande, que puede alcanzar los 3 metros de ancho, con respecto a su capacidad portante, y también presenta una morfología en zigzag que distribuye el viento que incide sobre la misma. Ver Figura 2.



Figura 14. Guía estructural a partir de la cual se genera el panel de tejidos. Fotografía: Chinchilla, Henao y Herrera.

Para el desarrollo de la investigación acerca de la relación existente entre la morfología y la capacidad portante presente en la lámina de la *Bismarckia nobilis*, se partió de la definición de las variables morfológicas existentes (Figuras 3a y 3b), que son las mismas utilizadas en la mecánica de materiales tradicional, debido a que estas son las variables geométricas que se combinan con el análisis estructural. Posteriormente

se caracterizó la capacidad portante presente en la lámina, por tanto, se establecieron ejemplares de 20 cm por 20 cm para la prueba de compresión, y ejemplares de 25 cm por el largo del pliegue para la prueba de flexión, que permitieran el desarrollo de las pruebas en las cuales se iban a comparar las características morfológicas con la capacidad portante.

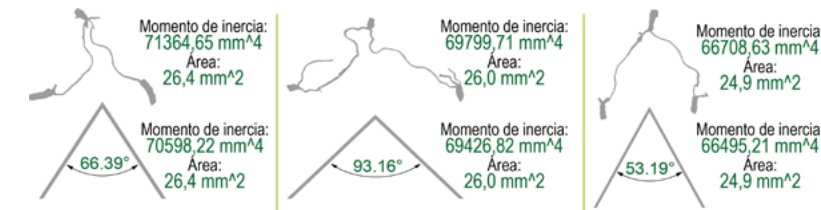


Figura 15a. Digitalización del corte de los ejemplares destinados para la prueba de flexión con su respectiva geometría regular, donde se muestran las variables: área transversal, momento de inercia y ángulo. Chinchilla, Henao y Herrera.

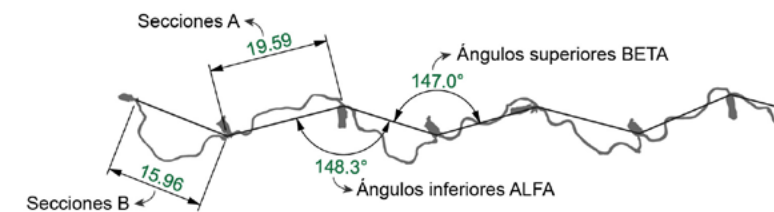


Figura 15b. Corte transversal de un ejemplar destinado para la prueba de compresión, las variables se definen con respecto a las costillas de rigidización de la lámina. Se muestran las variables: ángulos superiores (beta), ángulos inferiores (alfa), longitud de secciones A, longitud de secciones B, y longitud total transversal (sumatoria de secciones A y B). Chinchilla, Henao y Herrera.

Las pruebas realizadas sobre los ejemplares arrojaron diversidad de datos e información, puesto que las relaciones se modificaban 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.

4. Crear y evaluar

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.



Figura 16. Perfil diseñado según la morfología de la lámina de la *Bismarckia nobilis*. Fotografía: Chinchilla, Henao y Herrera.

(a)



(b)



Figura 17. (a) Pieza de mobiliario conformada por el perfil y los listones de madera y (b) Vista general de la pieza de mobiliario conformada por el perfil y listones de madera. Fotografía: Chinchilla, Henao y Herrera.

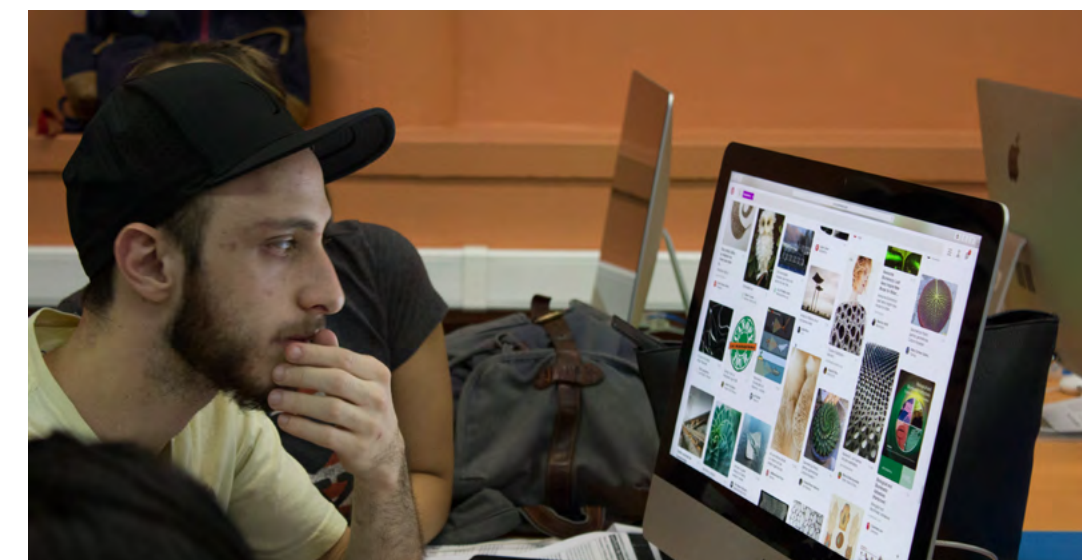


Figura 18a. Render de las posibles posiciones. Fotografía: Chinchilla, Henao y Herrera.



Figura 18b. Render de las posibles modulaciones. Fotografía: Chinchilla, Henao y Herrera.

Galería de imágenes



Estudiantes participantes del taller en la etapa de delimitación temática. Fotografía: Gallego Mejía.



Observación nocturna en el Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe. Fotografía: Gallego Mejía.



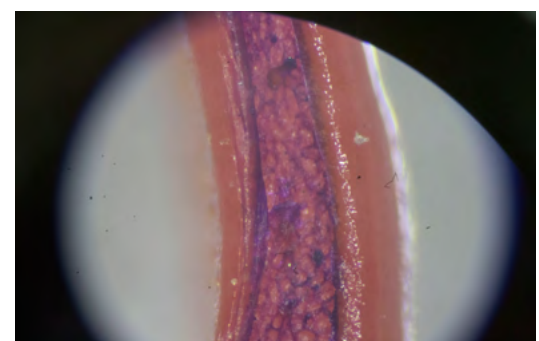
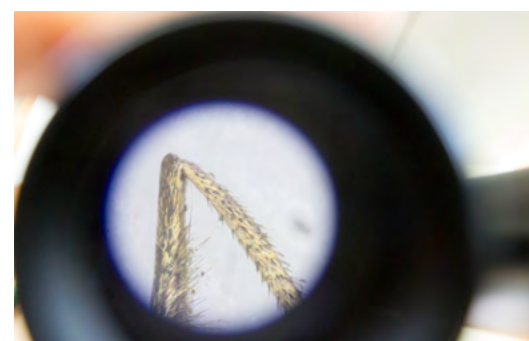
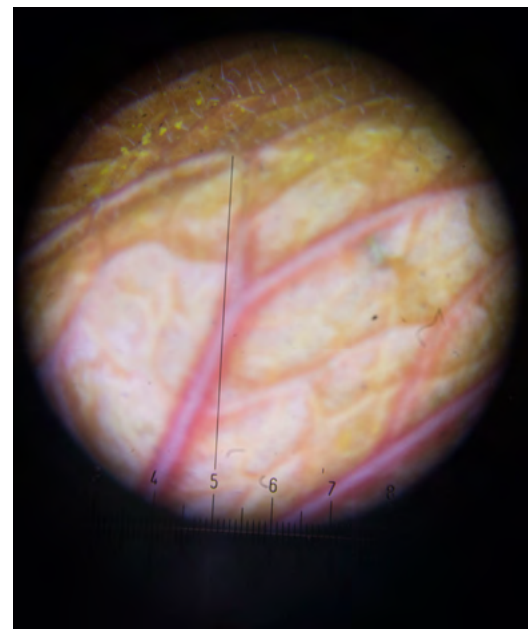
Observación diurna en la Reserva San Sebastián de la Castellana Municipio El Retiro, Antioquia. Fotografía: Gallego Mejía.



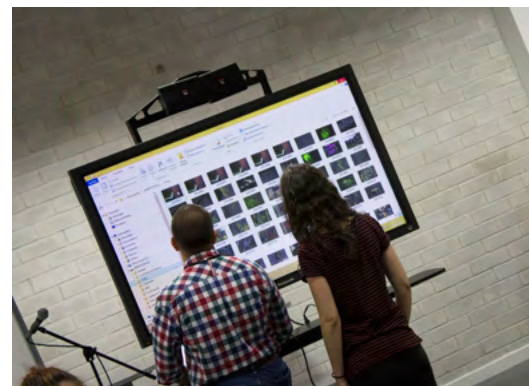
Observación diurna en la Reserva San Sebastián de la Castellana Municipio El Retiro, Antioquia. Fotografía: Gallego Mejía.



Observación diurna en la Reserva San Sebastián de la Castellana Municipio El Retiro, Antioquia. Fotografía: Gallego Mejía.



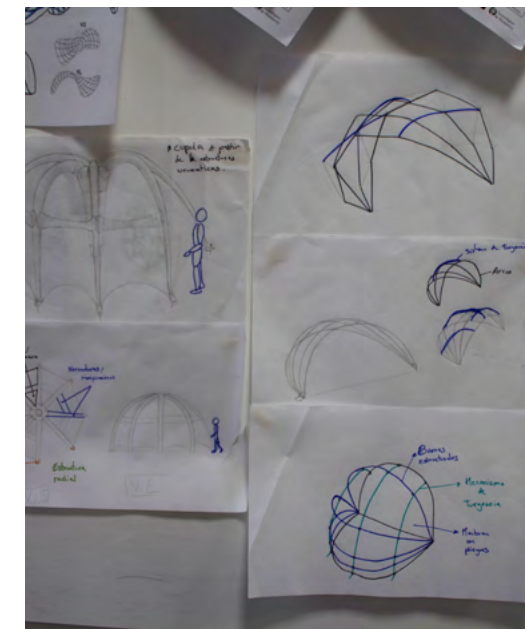
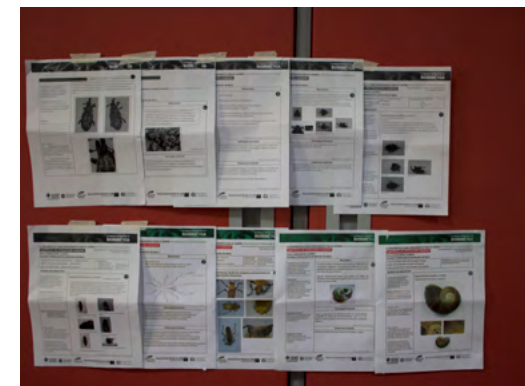
Observación en el Instituto Tecnológico de Medellín ITM. Fotografía: Gallego Mejía.



Observación en el Instituto Tecnológico de Medellín ITM. Fotografía: Gallego Mejía.



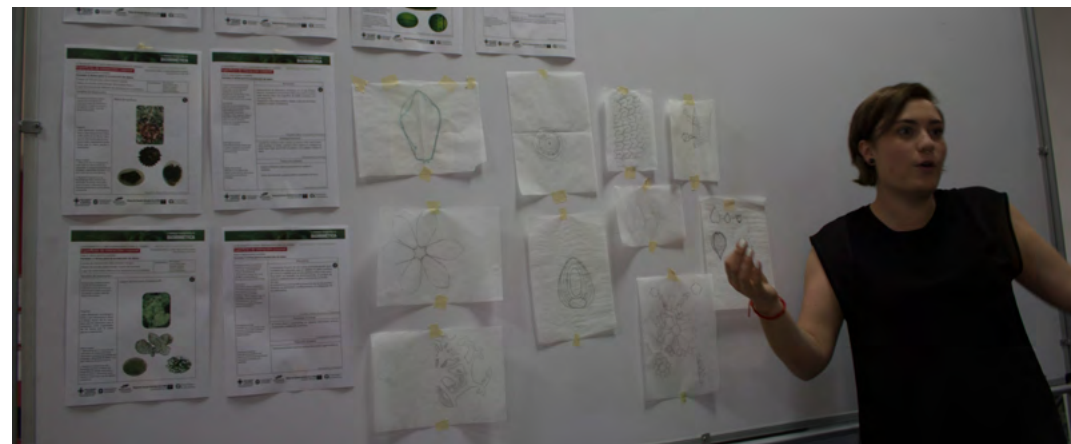
Observación en el Instituto Tecnológico de Medellín ITM. Fotografía: Gallego Mejía.



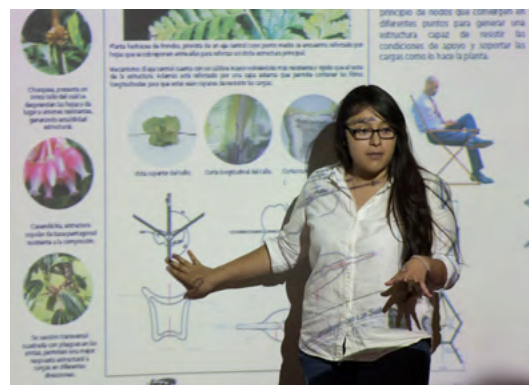
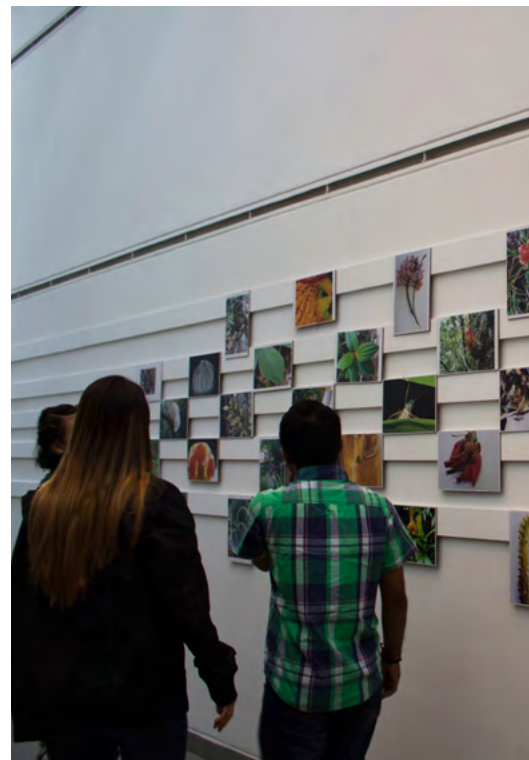
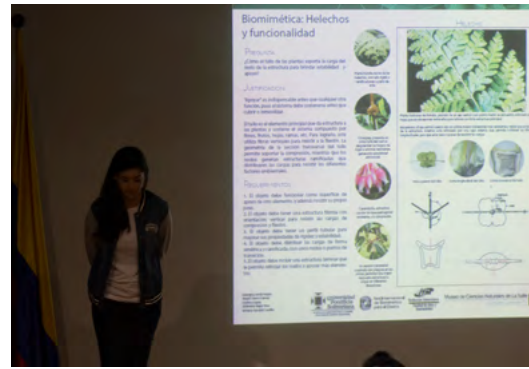
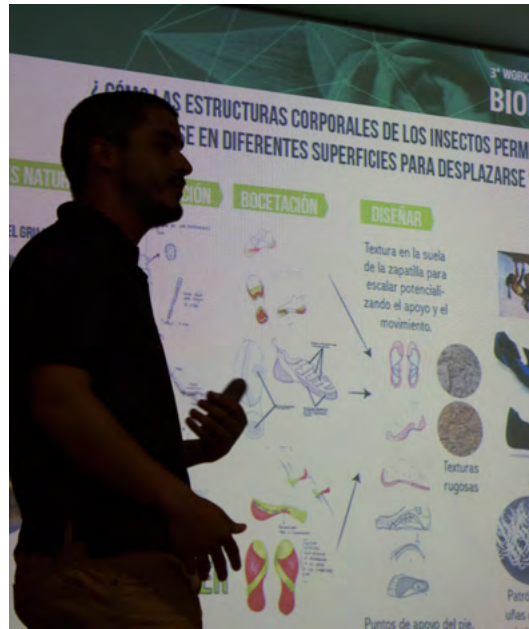
Creación de propuestas de diseño. Fotografía: Gallego Mejía



Creación de propuestas de diseño. Fotografía: Gallego Mejía



Creación de propuestas de diseño. Fotografía: Gallego Mejía



Socialización de resultados. Fotografía: Gallego Mejía



Fotografía de los asistentes al taller: profesores y estudiantes en la visita a la Reserva San Sebastián de La Castellana, Municipio El Retiro Antioquia.

Índice de recursos gráficos

1. Biomimética y métodos para el diseño

Andrés Valencia-Escobar

Figura 1. Esquemas de aplicación de la biomimética. Elaborada por el autor.

Figura 2. Patrón geométrico utilizado por Arnold Glass para distribuir la tinta reflectora de luz ultravioleta. Elaborada por el autor.

2. Geometrías y texturas en la naturaleza

Ever Patiño Mazo

Figura 1. Relación del crecimiento natural con el crecimiento artificial.

Fotos del autor.

Figura 2. Patrones geométricos. Elaborado por el autor.

Figura 3. Patrones naturales en objetos de diseño. Fotos del autor.

Figura 4. Diferentes superficies frontera. Dibujo del autor.

3. Mecanismos en la naturaleza y sistemas bioinspirados

David Andrés Torreblanca Díaz

Figura 1. Esquema de funcionamiento de mecanismos naturales. Elaborado por el autor.

Figura 2. Arañas Salticidae o saltadoras. Fuente, de izquierda a derecha: Pixabay, 2016 y 2014.

Figura 3. Issus coleoptratus. Fuente: Wikimedia Commons, 2009.

Figura 4. Medusa o Pelagia noctiluca. Fuente: Pixabay, 2015.

Figura 5. Imágenes del Gecko. Fuente de izquierda a derecha: Pixabay, 2015 y 2013.

Figura 6. Plantas carnívoras. Fuente de izquierda a derecha: Pixabay, 2016.

Figura 7. Mantidae o más conocida como mantis religiosa. Fuente de izquierda a derecha: Pixabay, 2013 y 2012.

Figura 8a y 8b. Fuente de izquierda a derecha: Pixabay, 2013 y 2015.

Figura 9. Propuesta metodológica para la biomimesis de mecanismos. Fuente: el autor.

Figura 10. Sistemas robóticos bioinspirados. Fuente: (Festo Corporate, 2017).

Figura 11. Sistemas robótico bioinspirados. Fuente: (Festo Corporate, 2017).

Figura 12. Monoaleta Lunocet Pro, inspirada en la morfología de aletas de delfines. Fuente: Lunocet, 2017.

Figuras 13a y 13b. De izquierda a derecha ardilla voladora y deporte extremo proximity fly. Fuentes: Wikimedia Commons 2008 y Phoenix-fly, 2016.

4. Materiales de la naturaleza

Alejandro Zuleta Gil

Tabla 1. Algunos minerales presentes en organismos vivos. Tomado de Chen et al. (2012) y Mann (1988).

5. Estrategias de la naturaleza

Andrea Bustamante

Figura 1. Análisis del potencial biomimético de algunos componentes de la especie *Cecropia peltata*. Elaborado por el autor haciendo uso de fotografías de otros autores: *a.* Linares y Moreno-Mosquera (2010), *b.* Graham Wyatt (2006), *c.* Tormo-Molina (2014), *d.* Steven Paton (2003-2006), *e.* Pérez, Rodríguez, Areces, Minter y Minter (2017), *f.* Mercado-Gómez, Carmona-Duque, Jiménez-Bulla y Aceituno-Bocanegra (2015), *g.* Bischof, Umhang, Eicke, Streb, Qi y Zeeman (2013), *h.* Piter Marting (2017).

Referencias

Bischof, S., Umhang, M., Eicke, S., Streb, S., Qi, W. y Zeeman, S. C. (2013). *Cecropia peltata* Accumulates starch or soluble glycogen by differentially regulating starch biosynthetic Genes. *The Plant Cell* 25: 1400–1415. doi: 10.1105/tpc.113.109793

Linares E. L. y Moreno-Mosquera, E. A. (2010). Morfología de los frutiolos de *Cecropia* (cecropiaceae) del pacífico colombiano y su valor taxonómico en el estudio de dietas de murciélagos. *Revista Caldasia* 32(2). Recuperado de: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/36223/37736>

Mercado-Gómez, J.D., Carmona-Duque, D.T., Jiménez-Bulla, L.C., Aceituno-Bocanegra, F.J. (2015). Flora palinológica de la cuenca media del río San Eugenio, Risaralda (Cordillera Central), Colombia. *Actualidades Biológicas* 37(103): 185-200. doi: 10.17533/udea.acbi.v37n103a07

Pérez, J.M., Rodríguez, M., F. Areces, F., Minter, D.W., Minter, W.J.K.. (2017). *Plantas de Viñales: guía ilustrada de plantas de Cuba Occidental*. Parque Nacional Viñales, Cuba: Fundación Trufa Cibernética. Recuperado de: <http://www.cybertruffle.org.uk/vinales/esp/index.htm>

Tormo-Molina, R. (2014). *Plantas y Hongos*. Badajoz, España: Universidad de Extremadura. Recuperado de http://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Cecropia_peltata.htm

[Fotografía de Graham Wyatt]. (Panamá, 2006). Tomas Pickering and Graham Wyatt. Barro Colorado, Panamá. Recuperado de <http://www.discoverlife.org/mp/20q?search=Cecropia+peltata>

[Fotografía de Piter Marting]. (2017). *Azteca-Cecropia* Behavioral Ecology. Arizona, Estados Unidos: Arizona State University. Recuperado de: <http://aztecacecropia.com/>

[Fotografía de Steven Paton]. (Panamá, 2003-2006). Smithsonian Tropical Research Institute. Barro Colorado, Panamá. Recuperado de <http://www.discoverlife.org/mp/20q?search=Cecropia+peltata>

6. Metodología

Diana Urdinola

Figura 1. Instancias metodológicas. Elaborada por el autor.

Figura 2. Campos de intervención. Elaborada por el autor.

Figura 3. Formato para planear la observación. Elaborada por el autor.

Figura 4. Formato para descubrir y analizar. Elaborada por el autor.

Figura 5. Formato para crear. Elaborada por el autor.

Ejemplo 1

Metodología para el desarrollo de un sistema de protección para la rodilla

Figura 1. Observación y análisis del Milpiés. Tomado del proyecto Diploprotection.

Figura 2. Análisis del mecanismo, la estrategia funcional y la traducción en términos del diseño. Tomado del proyecto Diploprotection.

Figura 3. Análisis morfológico 1 para crear y evaluar propuestas de diseño. Tomado del proyecto Diploprotection.

Figura 4. Análisis morfológico 2 para crear y evaluar propuestas de diseño. Tomado del proyecto Diploprotection.

Figura 5. Resultado final Sistema de Protección para la Rodilla. Tomado del proyecto Diploprotection

Figura 6. Resultado final Textura Beegrashopper. Tomado del proyecto Beegrashopper Texture.

Figura 7. Resultado final superficie de apoyo. Tomado del proyecto Helechos y funcionalidad.

Ejemplo 2

Diseño de mobiliario exterior basado en el análisis biomecánico de la hoja de la palma *Bismarckia nobilis*.

Figura 1. Foto de la palma *Bismarckia nobilis* en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Fotografía: Chinchilla, Henao y Herrera.

Figura 2. Guía estructural a partir de la cual se genera el panel de tejidos. Fotografía: Chinchilla, Henao y Herrera.

Figura 3a. 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. Chinchilla, Henao y Herrera.

Figura 3b. Corte transversal de un ejemplar destinado para la prueba de compresión, las variables se definen con respecto a las costillas de rigidización de 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). Chinchilla, Henao y Herrera.

Figura 4. Perfil diseñado según la morfología de la lámina de la *Bismarckia nobilis*. Fotografía: Chinchilla, Henao y Herrera.

Figura 5a. Pieza de mobiliario conformada por el perfil y los listones de madera. Fotografía: Chinchilla, Henao y Herrera.

Figura 5b Vista general de la pieza de mobiliario conformada por el perfil y listones de madera. Chinchilla, Henao y Herrera.

Figura 6a. Render de las posibles posiciones. Chinchilla, Henao y Herrera.

Figura 6b. Render de las posibles modulaciones. Fotografía: Chinchilla, Henao y Herrera.

7. Galería de imágenes

Fotografías de: Silvia Gallego Mejía

Biografía de los autores

- **A. Valencia-Escobar**

Andrés Hernando Valencia Escobar

Ingeniero Mecánico, Magíster en Ingeniería en el Área de Nuevos Materiales y Doctor en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana. Trabajó desde el año 1999 y hasta el año 2004 en compañías manufactureras de la ciudad de Medellín, en donde desempeñó cargos administrativos en departamentos de mantenimiento y producción.

Desde el año 2000 es docente investigador de la Facultad de Diseño Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana en la que actualmente tiene la categoría de Titular, y acompaña cursos de pregrado y posgrado relacionados con el análisis estructural de sistemas y productos, el diseño y selección de materiales, la morfología experimental, la biomimética, la investigación formativa, el diseño de mobiliario y el diseño de bicicletas.

Actualmente es también docente invitado de la Facultad de Ingeniería en Nanotecnología y de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana. Lidera la Línea de Investigación en Morfología Experimental del Grupo de Investigación de Estudios en Diseño (GED), donde desarrolla proyectos de investigación y desarrollo para el diseño de productos industriales.

- **Ever Patiño Mazo**

Diseñador Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana (2002), ha desarrollado proyectos de investigación en torno a la biomimética, las estructuras no convencionales y la experimentación en el diseño en la misma universidad. Co-autor del libro Generación y transformación de la forma (2009), autor del libro Introducción a la investigación formativa en Diseño (2015) y compilador del libro Por un Diseño crítico y social (2015). Así mismo ha publicado artículos y dictado conferencias y talleres en los contextos nacional y latinoamericano sobre investigación y diseño, biomimética y morfología estructural. Desde 2004 es docente de la Escuela de Arquitectura y Diseño de la UPB. Se desempeñó como Jefe de la Línea de Investigación en Morfología Experimental de la misma universidad (2004-2007). Es asesor independiente de proyectos de unidades productivas y artesanales de la ciudad de Medellín. Es socio-fundador y director del laboratorio de

diseño REFORMA (www.reformalab.com), en donde desarrolla proyectos de diseño independiente y experimental desde el 2008.

- **David A. Torreblanca-Díaz**

David Andrés Torreblanca Díaz

Diseñador de productos, Magíster en Tecnologías del Diseño. Ha desarrollado investigaciones y exploraciones en las áreas de la biomimética, morfología, softwares CAD paramétricos y asociativos, tecnologías de fabricación digital y técnicas de representación en proyectos de diseño. Es el investigador principal del proyecto: repertorio de superficies y texturas bioinspiradas, a través de experimentaciones morfológicas con tecnologías de fabricación digital.

Experiencia en docencia universitaria y desarrollo curricular desde el año 2002 en diferentes instituciones de educación superior en Chile y Colombia en programas de Diseño Industrial, su actividad docente se ha centrado en asignaturas de taller de diseño, técnicas de representación (análogas y digitales), materiales y procesos de fabricación, investigación para el diseño de productos. Ha sido relator en diferentes conferencias y workshops a nivel nacional e internacional.

Actualmente es profesor asociado e investigador del Grupo de Investigación de Estudios en Diseño (GED), en la Línea de Investigación en Morfología Experimental (LIME) en el programa de Diseño Industrial en la Universidad Pontificia Bolivariana.

- **A.A Zuleta**

Alejandro Zuleta Gil

Ingeniero de Materiales, Magíster en Ingeniería y Doctor en Ingeniería. Actual miembro del Grupo de Investigación de Estudios en Diseño (GED) y con más de diez años de experiencia investigativa. Ha trabajado en temas tales como: Caracterización de materiales, modificación superficial, corrosión y degradación de materiales, síntesis de materiales micro y nanoestructurados, simulación de procesos de fundición y aleaciones ligeras.

Entre algunos de los proyectos de investigación en los que ha trabajado se encuentran:

- Modificación superficial de Mg por medio de recubrimientos electroless Ni-P.
- Desarrollo de películas Ni-P modificadas con óxidos de hierro y estudio de su oxidación a temperaturas elevadas
- LATEST2 (Light Alloys towards Environmentally Sustainable Transport: 2nd Generation) in UK.
- Desarrollo de implantes quirúrgicos avanzados.
- Obtención de espumas metálicas de geometría controlada.
- Biomimetización de un metal celular biodegradable para regeneración ósea a partir de aleaciones de magnesio.
- Desarrollo de una herramienta informática para la selección de materiales termoplásticos.

Actualmente es docente de tiempo completo dentro del programa de Diseño Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana.

- **Andrea Bustca**
Andrea Bustamante

Bióloga egresada de la Universidad de Antioquia. Se ha desempeñado por más de 7 años en el área de curaduría de colecciones biológicas en museos, específicamente en la preservación, la conservación y la divulgación de la diversidad natural. Actualmente trabaja como Curadora Adjunta en el Museo de Ciencias Naturales de La Salle, un proyecto cultural del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín, Colombia. Su atención se ha centrado en el estudio de la entomología en las áreas taxonomía (identificación de especies), ecología y métodos en campo; trabajando tanto en ecosistemas terrestres como en ambientes subterráneos o cavernas. Ha participado como ponente en actividades relacionadas con la divulgación de la biodiversidad y la biomimética.

- **Diana Urdinola-Serna**
Diana Urdinola

Diseñadora Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana, Magíster en Lógica y Técnica de la Forma de la Universidad de Buenos Aires, ha desarrollado investigaciones en temas afines a la morfología como origami fluido, transformación de láminas ar-

ticuladas y geometría y diseño. También ha trabajado en proyectos de diseño y alimentos. Actualmente es docente investigadora de la Línea de Morfología Experimental y coordinadora del área Tecnoproductiva del programa de Diseño Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana

Agradecimientos

Profesor invitado

Xavier Martínez



Diseñador Industrial, Magíster en Diseño y Desarrollo de nuevos productos.

Docente en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Registro fotográfico

Silvia Gallego Mejía

Diseñadora Industrial, especialista en Diseño Estratégico e innovación Docente y coordinadora del área de proyecto del ciclo disciplinar del programa de Diseño Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana.

	SU OPINIÓN	
<p>Para la Editorial UPB es muy importante ofrecerle un excelente producto. La información que nos suministre acerca de la calidad de nuestras publicaciones será muy valiosa en el proceso de mejoramiento que realizamos. Para darnos su opinión, comuníquese a través de la línea (57)(4) 354 4565 o vía e-mail a editorial@upb.edu.co Por favor adjunte datos como el título y la fecha de publicación, su nombre, e-mail y número telefónico.</p>		

Esta obra se publicó
en archivo digital en el mes
de marzo de 2018.

La Biomimética representa hoy en día una estrategia de referencia que no solo gana adeptos de manera acelerada, también impacta contextos de intervención cada vez más diversos. En el campo del diseño, la Biomimética se presenta históricamente como una actividad que ha sido utilizada tanto para el ejercicio profesional de la disciplina, como para el apoyo a procesos de formación académica en programas de pregrado y posgrado.

Como estrategia para el intercambio, generación y transferencia de conocimiento, se plantea el *III Taller Internacional de Biomimética* como un espacio de formación interdisciplinar que pretende generar una reflexión conceptual y metodológica al respecto del papel que juega hoy en día el uso de referentes naturales como soportes para proyectos de diseño. Este texto se enfoca en la socialización de la conceptualización y los resultados de procesos de diseño que toman la biomimética como referente.



ISBN: 978-958-764-524-8

