



SIGRADI2018
TECHNOPOLITICAS
xxii congresso da sociedade
iberoamericana de gráfica digital
22th conference of the
iberoamerican society
of digital graphics
07|08|09|novembro|2018
iau usp | são carlos | sp br

Bio-inspired parametric textures applications in academic design projects

David Andrés Torreblanca Díaz

Universidad Pontificia Bolivariana | Colombia | david.torreblanca@upb.edu.co

Abstract

Designers, architects and different creative professionals have used biomimicry, as a recurrent tool to solve human problems through the identification of strategies, characteristics and solutions in nature. This article presents the first highlighted experiences of bio-inspired parametric textures applications in academia, particularly in final degree projects, which are carried out through the methodology proposed in the bio-inspired parametric textures research project. This paper is divided into two parts: the first part is focused on bio-inspired textures applications methodology; the second part is oriented to show two cases of final degree projects in the industrial design career.

Keywords: Biomimetics; Experimental morphology; Digital manufacturing; Parametric design; Design

INTRODUCCIÓN

Las especies en la naturaleza han logrado sobrevivir a lo largo de tres mil ochocientos millones de años, esto ha sido resultado de un proceso dinámico de adaptación a través de la generación de diversos materiales, mecanismos, sistemas, estrategias y transformaciones morfológicas. Según Stevens (1995) los diferentes diseños y morfologías de la naturaleza han evolucionado hasta alcanzar formas cada vez más adaptadas a su entorno, con configuraciones que han utilizado la menor energía posible, planteando que las formas más eficientes son las con mayores posibilidades de existir. Diseñadores, arquitectos y diferentes profesionales creativos han utilizado como referencia a la naturaleza para resolver problemas del ser humano, a través de la biomimesis. Según Benyus (2012) biomimesis proviene del griego *bios*, vida y *mimesis*, imitación, definiendo la biomimética como una nueva ciencia que estudia los modelos de la naturaleza para imitar los diseños o procesos biológicos para resolver problemas humanos.

Por otra parte, en las últimas décadas, se ha observado un avance acelerado de las tecnologías digitales involucradas en el proceso proyectual realizado por diseñadores, arquitectos y otros profesionales creativos: los softwares CAD (*Computer Aided Design*) han evolucionado y se han transformado en software CAD generativos, paramétricos y asociativos, las Tecnologías de Fabricación Digital (TFD) han ampliado sus posibilidades y ventajas técnicas, se han desarrollado los nanomateriales o también llamados materiales inteligentes, actualmente es posible procesar grandes volúmenes de datos (*Big Data*), aparece la robótica colaborativa, entre otras tecnologías emergentes. Este conjunto de tecnologías conforman plataformas digitales con posibilidades creativas sin precedentes, con un predominio de interacciones interdisciplinarias, multidisciplinarias y transdisciplinarias, cambiando los paradigmas en el proceso de diseñar, evaluar y prototipar.

Las tecnologías digitales están empezando a afectar la manera de representar, comunicar y materializar nuestras ideas de diseño, impactando toda la cultura de diseño y los procesos involucrados (Oxman, 2006). Se está reconociendo el gran potencial y significado de las tecnologías de fabricación digital para el diseño, de hecho, estudiantes y profesionales del diseño están integrando el uso de estas tecnologías, cada vez menos centrados en aspectos técnicos de la máquina misma y con un interés mayor en las posibilidades creativas en el proceso de diseño (Sassa & Oxman, 2006). En este escenario se abren posibilidades y oportunidades nunca antes vistas para transferir características de la naturaleza al entorno humano-artificial.

Las superficies y texturas biológicas cumplen un rol fundamental para la subsistencia de las especies y de su proceso adaptativo, estas membranas constituyen la superficie frontera que separa el interior del exterior de los organismos (Wagensberg, 2013). Las superficies y texturas cumplen diversas funciones en los organismos: permiten delimitar y dar estructura al cuerpo del individuo, son barreras que aíslan de las condiciones exteriores de humedad, cambios de temperaturas, facilitan la regulación térmica, permiten proteger de ataques de depredadores y golpes, es a menudo un medio para percibir el exterior y de comunicación (Bar-Cohen, 2006).

Se identifica un vacío del conocimiento relacionado con una metodología o procedimiento para transferir las características morfológicas de superficies y texturas naturales a productos, sistemas, o espacios diseñados por el ser humano, a través de la integración de *software* CAD paramétricos y las TFD. A la luz de los antecedentes expuestos se plantea el proyecto de investigación *Repertorio de superficies y texturas bioinspiradas, a través de experimentaciones morfológicas con Tecnologías de Fabricación Digital*, en este proyecto se propone el desarrollo de un repositorio de texturas digitales y

parametrizadas en línea, en la modalidad *open source*, con el objeto ser utilizadas por diseñadores, arquitectos y diferentes profesionales creativos para mejorar y potenciar, a través de las texturas, diferentes aspectos en el desarrollo de proyectos de diseño, tales como: la funcionalidad, usabilidad y sensorialidad, atributos estético-comunicativos, por mencionar algunos.

El proceso investigativo se inició con un registro fotográfico de las especies vegetales, luego se hizo la abstracción digital en el *software* CAD Rhinoceros, posteriormente se realizó la parametrización y transformaciones morfológicas de las texturas con el *plug-in* Grasshopper, se fabricaron muestras con diferentes tecnologías de fabricación digital, se formuló una propuesta metodológica y por último se realizó la aplicación de las texturas bio-inspiradas en proyectos de grado (Figura 1 y 2).

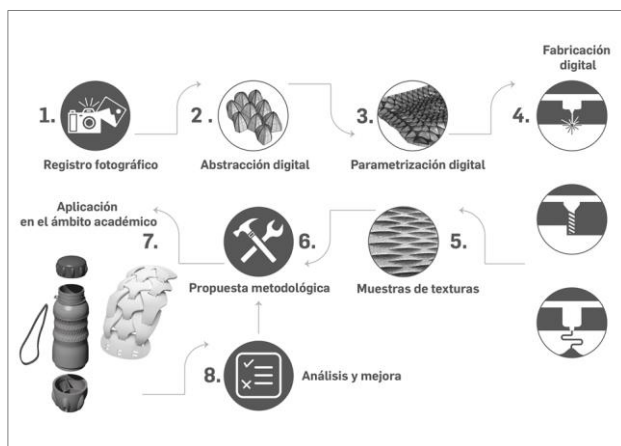


Figura 1: Esquema que sintetiza el proceso investigativo y experimental realizado en el proyecto de texturas bioinspiradas. Imagen del autor.

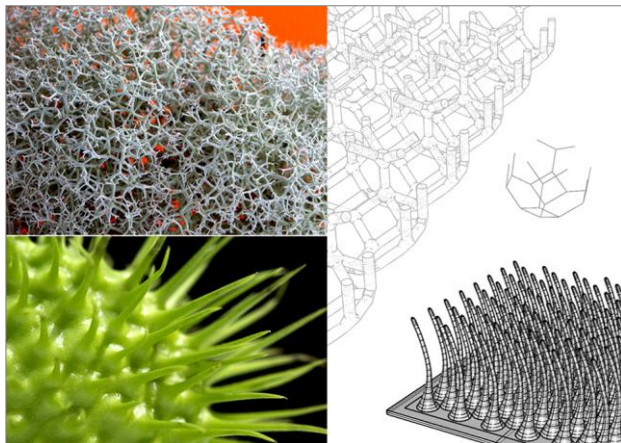


Figura 2: Imágenes de la etapa 1 y 2, fotografías y abstracción digital de texturas vegetales. Fotos e imágenes de Silvia Gallego, Carolina Cardona y Semillero de investigación MORFOlab

El objetivo de este artículo es dar a conocer las primeras experiencias relevantes de aplicación de las texturas paramétricas bioinspiradas en la academia, particularmente en proyectos de grado del programa de diseño industrial.

METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DE TEXTURAS BIO-INSPIRADAS

Desde etapas tempranas de la investigación, considerando el carácter práctico y además inédito del repertorio, emerge la necesidad de desarrollar una metodología para la aplicación de las texturas. La metodología se plantea como un elemento orientador para tener un adecuado uso por profesionales creativos de diversa índole; pudiendo ser incorporadas en proyectos con diferentes características y requerimientos, tales como el diseño de objetos, elementos textiles, joyería, espacios, entre otros. Se plantea esta metodología como un constructo empírico y colectivo que nace inicialmente desde la propuesta de los investigadores; posteriormente va evolucionado en forma progresiva a través de la experimentación y con la participación de distintos actores, en la primera etapa en un entorno académico con investigadores, docentes y estudiantes. Se propone una segunda etapa de aplicación a futuro, en contextos profesionales y empresariales con diseñadores, arquitectos y otros profesionales creativos.

La propuesta metodológica considera 6 pasos secuenciales para la aplicación de las texturas bioinspiradas: identificación de problemas y oportunidades, selección de texturas, experimentación morfológica digital, fabricación digital, evaluación, retroalimentación y mejora (Figura 3).

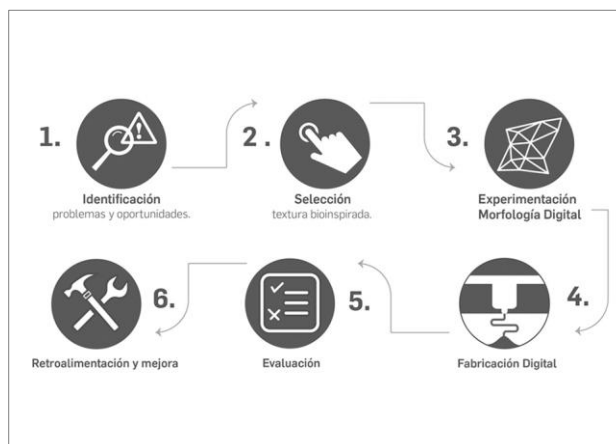


Figura 3: Esquema que sintetiza la propuesta metodológica de los investigadores para la aplicación de texturas bioinspiradas. Imagen del autor.

A continuación, se explican las etapas de la propuesta metodológica:

ETAPA 1: IDENTIFICAR PROBLEMAS Y OPORTUNIDADES

El objetivo de esta primera etapa es identificar los problemas u oportunidades del proyecto con potencial para ser abordados a través de la aplicación de texturas para mejorar la experiencia sensorial, de uso y funcional del usuario en interacción con el elemento diseñado. Estos problemas y oportunidades son planteados a través de requerimientos específicos de diseño, es importante aclarar que la aplicación de superficies y texturas involucra uno o varios aspectos, pero no constituye una solución a todos los requerimientos, es más bien parte integral de un conjunto de soluciones de diseño.

El equipo de investigación identificó algunos aspectos que facilitan la identificación de problemas y oportunidades para ser abordadas a través de la aplicación de texturas, se explican a continuación:

Hapticidad: se ha definido como el proceso para percibir las características de los objetos mediante el tacto activo, este término es parte de la percepción háptica que es una combinación de la percepción táctil (estática) y la kinestésica (tacto activo), la hapticidad es un sistema de percepción, integración y asimilación de sensaciones, a través del tacto intencionado y exploratorio, no sólo receptivo (Saddik, Orozco, & Cha, 2011). La aplicación de texturas puede configurar atributos que mejoren y enriquezcan una experiencia táctil-activa para la realización de diferentes acciones tales como: asir, apretar, sostener o contener, solo por mencionar algunos.

Identidad visual: son aquellas características perceptuales que permiten otorgar al producto o espacio un carácter estético particular que lo identifica y diferencia del resto; la textura es una de estas manifestaciones tangibles de la identidad, que en conjunto con las demás es posible asociar con significados simbólicos más abstractos. Al ampliar el repertorio de texturas disponible, es más sencillo y eficaz construir una identidad en propuestas de diseño.

Función indicativa: Bürdek (1994) plantea que la función indicativa es parte de los atributos estético-formales de la categoría del orden y complejidad para el diseño de productos, esta función facilita la lectura de diferentes funciones y la interacción entre el usuario y el producto, es posible por ejemplo destacar funciones a través de la delimitación de zonas, diferencias de altura, por contraste de formas, colores y texturas. La integración de superficies y texturas en proyectos de diseño entonces permiten mejorar la relación hombre-objeto a través de la jerarquización y delimitación de zonas del producto, sugerir o indicar formas de uso, facilitar la activación de funciones u otro tipo de interacción.

Persuasión o disuasión: El fenómeno de percepción sensorial es un desencadenante clave en la aceptación o rechazo de un producto (Prada Molina, 2013). Las diferentes superficies y texturas pueden contribuir a generar persuasión-interés, atracción o disuasión-rechazo, según la configuración del producto propuesto; este último para casos en los cuales no sea deseable que la persona interactúe o manipule esa superficie por diferentes motivos, por ejemplo, por seguridad.

Propiedades mecánicas: las propiedades mecánicas tienen relación con el comportamiento que tienen las estructuras y sus materiales frente a los distintos esfuerzos mecánicos a los que son sometidos. Las diferentes texturas según su morfología y en combinación con las características geométricas de la estructura y del material utilizado, pueden contribuir a configurar el comportamiento mecánico del elemento diseñado, de esta manera se podría generar por ejemplo un cuerpo más rígido o más flexible a través de la aplicación de texturas con sus diversas configuraciones, con esto es posible mejorar el desempeño del elemento diseñado en sus escenarios de uso.

ETAPA 2: SELECCIONAR TEXTURAS

Una vez identificados los requerimientos del proyecto que se abordarán se procede a seleccionar las texturas en el repertorio, según sus características morfológicas y posibilidades para dar la solución de diseño buscada.

ETAPA 3: EXPERIMENTACIÓN MORFOLÓGICA DIGITAL

Luego de hacer la selección, se realizan las experimentaciones morfológicas digitales sobre las texturas a través de softwares CAD Rhinoceros y el *plug-in* paramétrico Grasshopper, esto permite personalizar y adaptar la geometría, ampliar las posibilidades formales para resolver las problemáticas y requerimientos planteados. Se propone un modelo de generación y transformación morfológica, este se compone de 6 tipos de transformaciones, cada una con dos niveles, organizadas en dos grupos. El primer grupo son las transformaciones básicas; este agrupa 3: distancia, dislocación y rotación. El segundo grupo lleva por nombre transformaciones complejas y reúne: el crecimiento lineal, el crecimiento diferencial en dos direcciones y el crecimiento diferencial topológico. Ambos grupos se basan en principios biológicos y tienen un nivel de transformación progresivo y un nivel de transformación aleatoria (Figura 4 y 5).

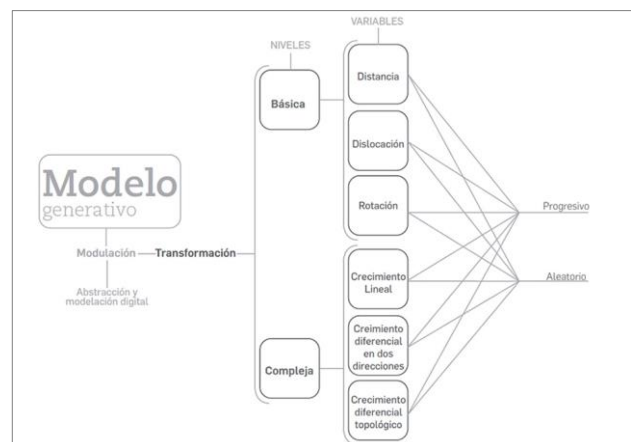


Figura 4: Esquema de un modelo generativo y de transformaciones para la aplicación de texturas bioinspiradas, propuesta realizada por los investigadores. Imagen del autor.

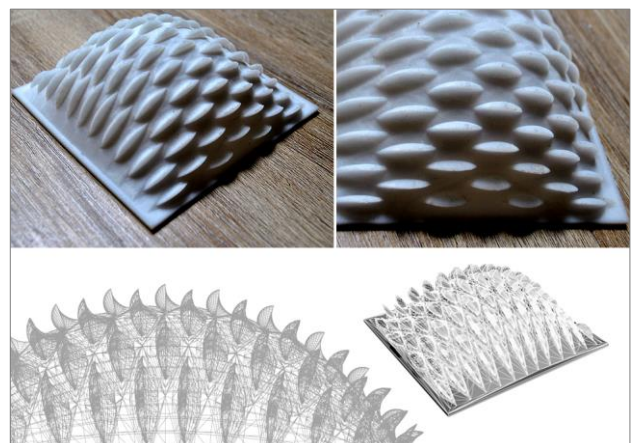


Figura 5: Transformación compleja de crecimiento diferencial topológico progresivo, hecho en el *plug-in* Grasshopper, muestra fabricada en la tecnología FDM (Fused Deposition Modeling), material ABS. Imagen y fotografías del autor.

ETAPA 4: APLICAR TEXTURAS A TRAVÉS DE FABRICACIÓN DIGITAL

Las texturas seleccionadas se deben aplicar al producto o espacio en un entorno digital, ya sea esta una textura bidimensional (2D) o tridimensional (3D) para ser luego materializadas a través de TFD, con tecnologías tales como: corte, marcado y grabado láser, impresión 3D, fresado por CNC, entre otras. También es posible combinar técnicas analógicas con las tecnologías digitales, según los objetivos y requerimientos planteados. Para seleccionar la TFD que se utilizará para materializar cada textura es necesario considerar distintas variables, tales como: necesidad o requerimiento a la cual responde la textura, su morfología, características técnicas de las tecnologías, material en el cual será aplicado, entre otros. Se hizo una tabla para evaluar la afinidad y factibilidad técnica entre las texturas y las TFD, entregando como resultado las tecnologías que permiten materializar con mayor factibilidad cada textura, esta información servirá también de guía para los futuros usuarios del banco propuesto.

ETAPA 5: EVALUAR

Parte importante del proceso es hacer una evaluación de las texturas aplicadas con el usuario real y siendo usado en la actividad propuesta, esto permite validar el cumplimiento de los requerimientos funcionales, de usabilidad, estético- comunicativos, a través de prototipos funcionales.

ETAPA 6: RETROALIMENTACIÓN Y MEJORA

Una vez realizada la validación con el usuario en su contexto, quien expresa su satisfacción, inquietudes o descontento con la propuesta. Es necesario sintetizar, jerarquizar y analizar la información obtenida, con el objeto de tener conclusiones relevantes que permitan hacer mejoras. Este proceso es cíclico e iterativo, con una continua prueba y error, esto permite un aprendizaje continuo y colaborativo entre los diferentes actores involucrados en el proyecto para lograr los objetivos.

RESULTADOS

La primera aplicación de las texturas bioinspiradas, a través de la metodología descrita antes, fue realizada en el ámbito académico, en los proyectos de grado de los estudiantes de diseño industrial, en el contexto del semillero de investigación del proyecto. Acerca de la metodología proyectual utilizada en los proyectos de grado, los fundamentos estuvieron dados por el esquema ontológico propuesto por Bonsiepe (1999), integrado por tres aspectos, un usuario o agente social, una actividad o practica y un utensilio o artefacto, donde la solución o propuesta de diseño, articula la interacción entre el cuerpo humano, la herramienta y objeto de acción. Para este texto se seleccionaron dos proyectos, ambos se destacan por abordar una problemática relevante para los usuarios y su contexto, propuestas de diseño acertadas, una pertinente selección de texturas y posibilidades futuras para la inserción de estos productos en el mercado

CASO DE APLICACIÓN 1: CHALECO PARA MOTOCICLETA

En el primer proyecto se aborda el problema de los accidentes en motocicleta en la ciudad de Medellín, ciudad con altos niveles de accidentabilidad en este medio,

debido a diversos factores, tales como un clima subtropical monzónico, el cual es un clima templado, húmedo lluvioso e impredecible, incremento progresivo en la movilidad en dos ruedas, exceso de velocidad y constantes imprudencias por parte de vehículos y peatones, poca regularidad en el mantenimiento de las calles, entre otros aspectos. Se propone una chaqueta protectora para reducir las consecuencias que provocan los accidentes en motocicletas, diseñada con texturas bioinspiradas y materializada a través de tecnologías de fabricación digital.

En un inicio se hizo un análisis del estado del arte de productos de protección para motociclistas, luego se realizaron observaciones no participantes en las calles de Medellín, entrevistas a usuarios de motocicletas. Con la información obtenida se hizo un levantamiento de requerimientos, ingresados por el estudiante en una tabla de requerimientos (Tabla 1). Los principales requerimientos identificados por el estudiante estuvieron relacionados en primer lugar con la función de proteger, en un sistema multifuncional, resistente a caídas y golpes, a su vez flexible, para permitir la movilidad y respetar la biomecánica del usuario, bloqueando cierto tipo de movimientos que generan lesiones, las partes deben ser posible de desarmar para su recambio, por último, la unidad debe comunicar seguridad y protección.

Tabla 1: Tabla de requerimientos generales del proyecto, desarrollada por el estudiante Juan Diego Buriticá, perteneciente al Semillero de investigación MORFOlab.

| Categoría | Dimensión | Requerimiento |
|--------------------------|-----------------------|---|
| Seguridad y protección | Funcional-operativa | Debe proteger al usuario ante golpes y caídas. |
| | | Debe ser resistente a esfuerzos mecánicos. Deber ser ligero. Las partes deben ser posible de desarmar para su recambio. |
| Ergonomía | Funcional-operativa | Debe tener dimensiones personalizadas. Debe adaptarse a la morfología de cada parte del cuerpo involucrada. |
| | | Debe permitir flexibilidad en los movimientos, acorde con la biomecánica del cuerpo. Debe bloquear movimientos que generen lesiones. |
| Materiales y fabricación | Tecno-productiva | El material debe ser ligero y resistente. |
| | | Fabricación personalizada. Fabricación de formas complejas. |
| Comunicación | Estético-comunicativa | Debe comunicar seguridad y protección. |

El paso siguiente fue seleccionar la o las texturas idóneas para dar la solución a los requerimientos. Se elige la textura de la piña de la especie *Pinus pinea*, ubicada en la categoría de las geometrías recíprocas cerradas, según la clasificación morfológica de texturas vegetales realizada por los investigadores (Figura 6).



Figura 6: Esquema de clasificación morfológica de texturas bioinspiradas, propuesta de los investigadores. Imagen del autor.

La textura seleccionada permite generar protección a través de la integración de los módulos, la morfología de esta textura también da la posibilidad de hacer una propuesta de diseño que facilite la realización de movimientos y flexibilidad en el miembro superior del cuerpo (Figura 7).

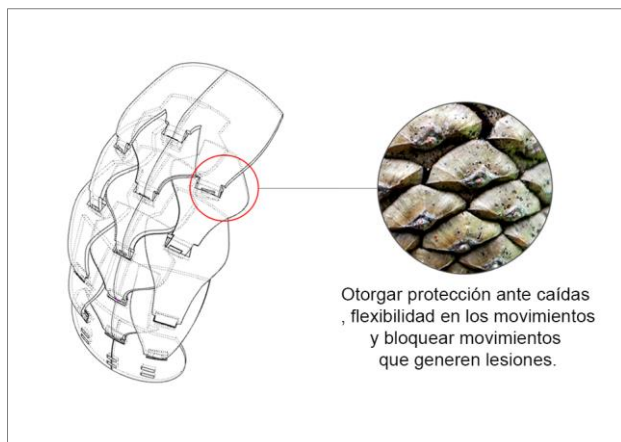


Figura 7: Selección de textura según requerimientos. Propuesta y modelación digital del estudiante Juan Diego Buriticá, fotografías de la profesora Silvia Gallego y la estudiante Carolina Cardona, proyecto desarrollado en el Semillero de investigación MORFOlab.

La materialización del prototipo se realiza con la tecnología de fabricación digital aditiva FDM, de su sigla en inglés *Fused Deposition Modelling*, el material usado es *Acrilonitrilo Butadieno Estireno* (ABS). Se selecciona esta tecnología porque permite construir formas complejas, una definición geométrica adecuada para los fines del proyecto (aunque no es la que tiene más alta definición) y se pueden utilizar materiales con una resistencia mecánica similar a los utilizados en procesos industriales, en este caso el polímero ABS. La impresión se realiza en una máquina marca Zortrax modelo M200 (Figura 8).

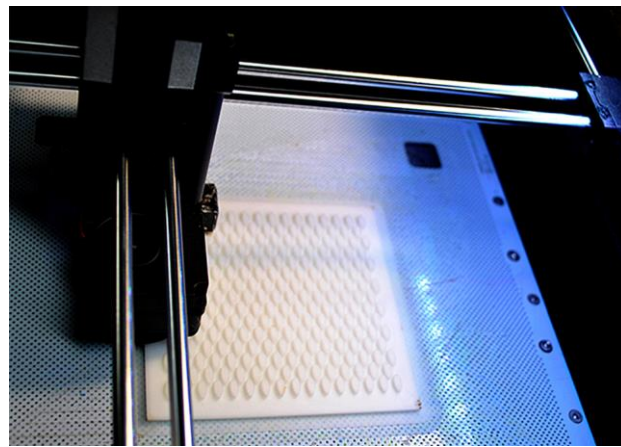


Figura 8: Materialización de texturas con la tecnología FDM, máquina Zortrax M200, material ABS. Fotografía realizada por el autor

Otra de las ventajas que ofrecen las tecnologías de fabricación digital es la personalización, cada usuario podría escanear su cuerpo y fabricar un chaleco a su medida, mejorando la calidad en el ajuste a su cuerpo y su funcionalidad. Debido a las restricciones de costos y de tiempo se construyó sólo una parte del sistema propuesto, correspondiente a la que se utiliza en los hombros del usuario (Figura 9).



Figura 9: Propuesta conceptual y prototipo de chaleco de protección para motociclistas, realizado con la tecnología FDM. Imágenes del estudiante Juan Diego Buriticá Marín, perteneciente al Semillero de investigación MORFOlab.

CASO DE APLICACIÓN 2: ENVASE PARA ADULTOS MAYORES

El segundo proyecto de grado estudia el problema de la utilización de envases por personas de la tercera edad, con énfasis en aspectos ergonómicos de hapticidad y usabilidad. Este proyecto se realiza en colaboración entre la Línea de Investigación en Morfología Experimental y la Línea de Investigación en Ergonomía, ambas forman parte del Grupo de Investigación de Estudios en Diseño (GED). Los fundamentos teóricos y aspectos metodológicos se basan en el proyecto de investigación *Guía para el diseño de envases alimenticios para usuarios de la tercera edad*, liderado por el investigador experto en ergonomía Gustavo Adolfo Sevilla Cadavid.

Los adultos mayores constituyen un mercado potencial importante, considerando la rapidez con la que envejece la población, por otra parte, las empresas de empaques no han profundizado en la comprensión de las necesidades

de estos usuarios, por tanto, se hace necesario plantear nuevas estrategias para satisfacerlas (Sevilla Cadavid & Herrán Cuartas, 2015). Se propone rediseñar la línea de envases de suplementos dietarios Glucerna para personas de la tercera edad, con el objeto de resolver diversos problemas para interactuar física y cognitivamente con los empaques, esto trae como consecuencia una limitación funcional que afecta su calidad de vida. Los adultos mayores presentan una disminución en su fuerza, lo cual dificulta la apertura de los envases, capacidad limitada de movimiento y pérdida de la motricidad fina, lo cual impide tener un agarre óptimo, limitaciones visuales y pérdida de la memoria, lo cual impide leer y recordar las indicaciones para el uso de estos productos. Los principales requerimientos están relacionados con mejorar el agarre, reducir el esfuerzo para abrir la tapa y la fácil visualización de la información (Tabla 2).

Tabla 2: Tabla de requerimientos generales del proyecto, realizado por las estudiantes Mariana Betancur Sánchez y Valentina Cardona Echeverri, pertenecientes al Semillero de investigación MORFOlab.

| Categoría | Dimensión | Requerimiento |
|--------------------------|-----------------------|--|
| Ergonomía | Funcional-operativa | Se debe ejercer la mínima fuerza para abrir tapas y sistemas. |
| | | Debe tener un agarre adecuado en las superficies, evitando se resbale. |
| | | Debe ser cómodo para manipular. |
| | | Debe ser cómodo para transportar. |
| Materiales y fabricación | Tecno-productiva | El material debe ser ligero, resistente y transparente. Fabricación de formas complejas. |
| Comunicación | Estético-comunicativa | Debe comunicar seguridad y facilidad en el uso. |
| | | Se deben diferenciar claramente las partes del producto. |
| | | Se deben evidenciar visualmente las funciones. |
| | | La etiqueta de se debe leer con facilidad. |

La propuesta de diseño está orientada a resolver los requerimientos antes mencionados, a través de modificación de la morfología global, aplicación de diferentes texturas y rediseñando la etiqueta. Se espera mejorar el agarre, usando menos fuerza con mayor adherencia, evitando además que se resbale el objeto, una clara diferenciación de las partes (función indicativa), fácil lectura de la información en la etiqueta y potenciar el reconocimiento visual de la marca. Al igual que en el caso 1, el prototipo se realiza con la tecnología de fabricación digital aditiva FDM, (Figura10).



Figura 10: Propuesta conceptual y prototipo envase de suplementos dietarios Glucerna, realizado con la tecnología FDM. Imágenes de las estudiantes Mariana Betancur Sánchez y Valentina Cardona Echeverri, perteneciente al Semillero de investigación MORFOlab.

Se selecciona la textura del tronco de la especie *Phoenix canariensis* para facilitar la apertura, mejorando el agarre y reduciendo el esfuerzo del usuario, para mejorar la adherencia se eligió la textura del fruto de la especie *Fragaria ananassa*, comúnmente conocida como fresa o frutilla (Figura 11).

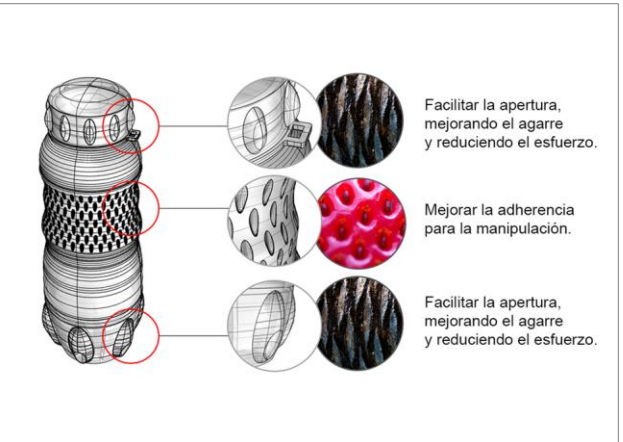


Figura 11: Selección de texturas según requerimientos. Propuesta y modelación digital de las estudiantes Mariana Betancur Sánchez y Valentina Cardona Echeverri, fotografías de la profesora Silvia Gallego y la estudiante Carolina Cardona, proyecto desarrollado en el Semillero de investigación MORFOlab.

CONCLUSIONES

Considerando los antecedentes expuestos y la experiencia vivida, se hacen las siguientes reflexiones y conclusiones:

La transferencia de características morfológicas de las superficies y texturas de especies vegetales a elementos artificiales, a través del proceso de biomímesis, tiene diversas posibilidades de aplicación en proyectos de diseño, arquitectura, ingeniería y otros ámbitos. Las texturas bioinspiradas permiten resolver y potenciar aspectos de usabilidad y sensorialidad, funcionalidad, estético-comunicativo, entre otros.

La integración de las TFD y los softwares paramétricos-asociativos tienen amplias ventajas técnicas para la aplicación de texturas bioinspiradas. El uso de *software* paramétricos-asociativos permite generar geometrías complejas, con posibilidad de ser modificadas y aplicadas a diferentes superficies en una amplia variedad de proyectos. Las TFD por su parte posibilitan la materialización de morfologías de la naturaleza con versatilidad y efectividad. Es importante considerar las restricciones y limitaciones de estas tecnologías, en el caso de los *software* paramétrico-asociativos, se necesita un usuario especializado, sobre todo en el caso de las configuraciones más avanzadas, que además requieren un computador de alto desempeño. Respecto las TFD, es necesario considerar el alto costo y difícil acceso a las tecnologías de fabricación digital aditiva de alta definición (estereolitografía, impresión por rayo UV), por otra parte, los tiempos de fabricación son en muchos casos extensos, esto abre la opción y oportunidad de combinar estas tecnologías con técnicas tradicionales o analógicas.

Se observa que la metodología para la aplicación de texturas bioinspiradas, usada en la fase inicial en el ámbito académico, en los proyectos de grado del programa de diseño industrial, plantea una la secuencia lógica y coherente, constituyendo una guía para la aplicación correcta y pertinente de las texturas. Esta metodología para el uso de texturas, combinada con la metodología proyectual, sustentada en el esquema ontológico planteado por Bonsiepe (1999) y con la intervención de diferentes actores multidisciplinarios, ha permitido abordar problemáticas relevantes, propuestas de diseño acertadas, con posibilidades futuras de inserción del producto en el contexto planteado. Los proyectos de grado, realizados en programa de diseño industrial, han llegado hasta la etapa de materialización de los primeros prototipos, a través de la tecnología de fabricación digital aditiva FDM. Es necesario realizar la validación con los usuarios en el contexto de las actividades observadas, para obtener retroalimentación que permita hacer propuestas de mejora.

Se espera en las próximas etapas seguir avanzando en la evaluación y perfeccionamiento de la metodología, así

como en la evaluación de la percepción sensorial activa de los usuarios, contrastando los resultados obtenidos en entornos académicos con experiencias en otros contextos profesionales, empresariales y sociales.

AGRADECIMIENTOS

Doy las gracias por el apoyo de la Línea de Investigación en Morfología Experimental, de la cual formo parte, especialmente al profesor e investigador Ever Patiño M., por su motivación y decidido compromiso en la investigación, al semillero de investigación MORFOlab, por las actividades de acompañamiento realizadas, al investigador Gustavo Adolfo Sevilla Cadavid, por su colaboración y asesoría en aspectos de ergonomía, a la empresa Rhinoceros por apoyar la fabricación del repertorio, también a las empresas de fabricación externas: Siltech Colombia, Robot y Carpintería digital. También agradezco el apoyo de Byron Villamil V., pasante de doctorado y a Andrés Obregón L., asesor externo, ambos participaron activamente en la parametrización de las texturas bioinspiradas. Por último, agradezco el respaldo constante y fundamental brindado por la Universidad Pontificia Bolivariana y su Centro de Investigación para el Desarrollo y la Innovación (CIDI).

REFERENCIAS

- Bar-Cohen, Y. (2006). *Biomimetics: Biologically Inspired Technologies*. Boca Ratón: CRS Press.
- Benyus, J. M. (2012). *Biomímesis: innovación inspiradas por la naturaleza*. Barcelona: Tusquets.
- Bonsiepe, G. (1999). *Del objeto a la interfase*. Buenos Aires: Ediciones Infinito.
- Bürdek, B. (1994). *Diseño. Historia, teoría y práctica del diseño industrial*. Barcelona: Gustavo Gili, S.A.
- Oxman, R. (2006). Special Issue of Design Studies on Digital Design. *Design Studies*, 27(3), 225-227.
- Prada Molina, M. S. (2013). *Diseño sensorial y emocional. Estudio comparativo de las respuestas del usuario en productos industriales*. Medellín: Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.
- Saddik, A. E., Orozco, M., & Cha, M. E. (2011). *Haptics Technologies. Bringing touch to media*. Ottawa: Springer.
- Sassa, L., & Oxman, R. (2006). Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design. *Design Studies*, 27(3), 325-355.
- Sevilla Cadavid, G. A., & Herrán Cuartas, C. (2015). Diseño de envases para usuarios de la tercera edad. *Iconofacto*, 11(16), 56-85.
- Stevens, P. S. (1995). *Patrones y pautas en la naturaleza*. Salvat Editores S.A.
- Wagensberg, J. (2013). *La rebelión de las formas*. Buenos Aires: Tusquets Editores.