

Biodigital Product Design Through Additive Fabrication Technologies: Beer Tap Handles Project

David A. Torreblanca-Díaz

Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia
david.torreblanca@upb.edu.co

Abstract. Biomimicry is a new transdisciplinary science that studies the models of nature to solve human problems with a systemic approach; design based on nature has had a significant evolution in recent decades thanks to digital technologies advantage, especially digital fabrication and parametric software. This text presents the process of design, experimentation and fabrication of beer tap handles series based on morphological patterns from nature. The project followed this methodological sequence (1) Design problem (2) Selection of biological referents (3) Morphologic synthesis (4) Analysis of thicknesses and stress (5) Detailed design (6) Fabrication of 1:1 scale prototype through Fused Deposition Modelling technology -FDM- (7) User testing (8) Conclusions and improvement proposal. The digital design and fabrication process were effective, the prototypes worked and reached the project goals, the users perceived that the beer tap handles are comfortable, functional and have an attractive appearance.

Keywords: Biomimicry, Bio-informed disciplines, Parametric design, Additive fabrication technologies, Fused deposition modelling technology.

1 Introducción

La evolución ha generado organismos con patrones morfológicos y características extraordinarias que permiten protegerlos de depredadores y sobrevivir en entornos adversos; estas propiedades únicas han llamado la atención de investigadores y proyectistas que han buscado comprender estas estructuras para usarlas en la solución de problemas del ser humano (Tee et al., 2021). Benyus, J. M. (2012) define biomimética como una nueva ciencia transdisciplinaria que estudia los modelos de la naturaleza para resolver problemas con una visión sistémica. Gebeshuber y Drack (2008) diferencian dos enfoques para la biomimética, por analogía y por inducción, el método por analogía arranca desde el problema del ser humano para buscar soluciones en la naturaleza y luego transferirlas, el método por inducción empieza desde el

estudio de un fenómeno o sistema natural para después buscar aplicaciones en el mundo artificial. Pedersen Zari (2007) propone tres niveles para estudiar referentes de la naturaleza: organismo, comportamiento y ecosistema.

El diseño basado en la naturaleza ha tenido una evolución significativa en las últimas décadas, en gran parte gracias a las tecnologías de fabricación digital aditiva y el uso de software paramétricos. A través de la fabricación digital aditiva es posible materializar geometrías complejas, alto nivel de precisión, construir ensambles ya armados, multimaterialidad; esta tecnología ha inspirado un movimiento de proyectistas y fabricantes a democratizar el diseño y la fabricación (Gao et al., 2015). Attaran (2017) asevera que la fabricación digital aditiva es altamente innovadora, abre nuevas oportunidades y posibilidades para las empresas, agiliza significativamente los métodos de fabricación y los consumidores pueden convertirse en micro fabricantes. La impresión 3D tiene la capacidad de eliminar el costo adicional y desafíos técnicos asociados con la fabricación de sistemas y estructuras complejas (Tee et al., 2021). En el diseño paramétrico, a diferencia de los métodos digitales convencionales, en lugar de dibujar una forma específica para cada elemento, se diseña un sistema de reglas y ecuaciones algorítmicas dinámicas, un conjunto de principios codificados capaces de originar una familia de objetos posibles y variables (Orciuoli, 2011). En este contexto emerge la idea de arquitectura biodigital y genética; el profesor Estévez (2020) plantea que la inteligencia natural e inteligencia artificial, bioaprendizaje, biofabricación y fabricación digital, son palabras clave que dan forma a la nube de lo biodigital, una fusión entre biológico y lo digital.

Con estos antecedentes se propuso un proyecto orientado a diseñar una serie de objetos basados en el concepto de lo biodigital, destacando las posibilidades de las tecnologías de fabricación digital aditiva y software paramétricos para materializar morfologías de la naturaleza. En este texto se presenta el proceso de diseño, parametrización y fabricación de una serie de asas para cerveza del barril con una morfología basada en patrones geométricos extraídos de la naturaleza, proyecto situado en un contexto local.

2 Metodología

Se propone un proyecto con un enfoque empírico-experimental, se destaca el uso de herramientas digitales y métodos de análisis mixto, combinando aproximaciones cuantitativas y cualitativas. Desde el diseño basado en la naturaleza, se usa el enfoque por analogía basado en Gebeshuber y Drack (2008) y el uso de referentes a nivel de organismos según Pedersen Zari (2007). Como se puede ver en la figura 1 se desarrolló la siguiente secuencia metodológica (1) Definición del problema (2) Selección de referentes en la naturaleza (3) Abstracción morfológica y parametrización (4) Análisis de espesores y stress (5) Diseño detallado de las propuestas (6) Materialización de prototipos escala 1:1 (7) Validaciones (8) Conclusiones y propuestas de mejora.



Figura 1. Secuencia metodológica del proyecto. Fuente: imágenes de radiolarios de Drews (2015) a través de Creative Commons 2.0 ©, el resto de las imágenes y esquema del autor, 2022.

Al inicio se definió el problema junto al dueño y trabajadores del bar Punta Arena, en Medellín, Colombia. El objetivo fue el rediseño de manijas para cerveza de barril, se usó un modelo existente como referencia. Ver figura 2.



Figura 2. Asa convencional usada como referencia. Fuente: el autor, 2022.

Los requerimientos se organizaron en torno a cuatro áreas: de uso, funcionalidad, estético-comunicativa, materiales y fabricación. En la tabla 1 se puede ver una síntesis de requerimientos.

Tabla 1. Requerimientos por áreas.

Área	Requerimientos
Uso / Interacción	Comodidad, uso para diferentes usuarios, ligereza, fácil limpieza.
Funcionalidad	Resistencia, ligereza, ensamble seguro, durabilidad.
Materiales y fabricación	Materialización de formas complejas, alta precisión, material resistente al uso y a la humedad.
Estético comunicativo	Apariencia fiable, llamativa y diferente a lo conocido.

Fuente: el autor, 2022

Se eligieron como referentes los radiolarios, son parte de la familia de los protistas ameboides, suelen ser unicelulares y habitan el océano como zooplancton. Se caracterizan por tener esqueletos minerales, generalmente de sílice y con diferentes patrones morfológicos, gracias a ello resisten en forma homogénea las presiones del agua. Ver figura 3.

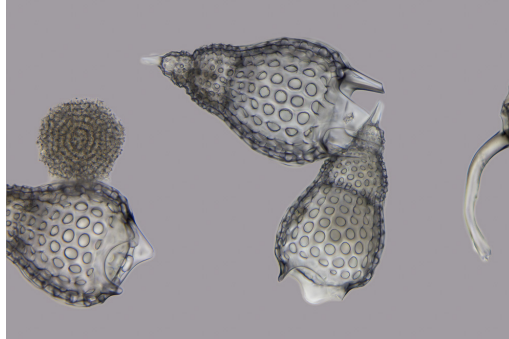


Figura 3. Referentes naturales utilizados: radiolarios. Fuente: Fox (2010) a través de Creative Commons 2.0 ©

Tomando en cuenta los requerimientos, se diseñó una geometría base para integrar los patrones basados en la naturaleza. Se amplió el tamaño del asa, la morfología es totalmente curva y simétrica. En la figura 4 se puede ver una comparación dimensional entre el modelo existente (referencia) y la propuesta en su geometría base.

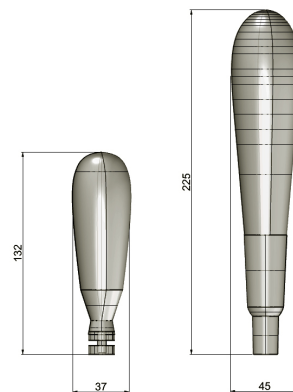


Figura 4. Comparación dimensional entre el modelo existente a la izquierda y la propuesta en su geometría base. Fuente: el autor, 2022.

Luego se hizo el proceso de abstracción morfológica y parametrización, en las figuras 5, 6 y 7 se pueden ver los algoritmos hechos en Grasshopper© en el entorno del software Rhinoceros©, esto permitió hacer ajustes dinámicos y asociativos en las morfologías según los requerimientos.

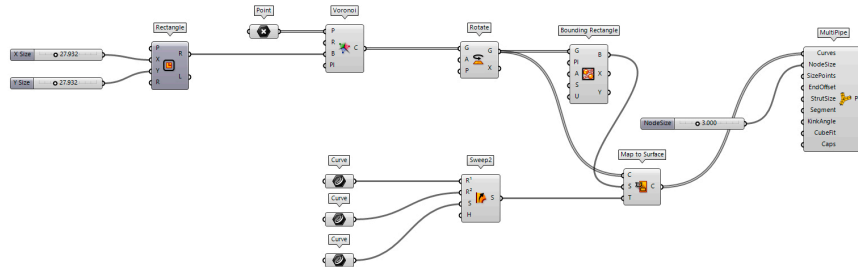


Figura 5. Algoritmo de patrón Voronoi basado en radiolarios. Fuente: el autor, 2022.

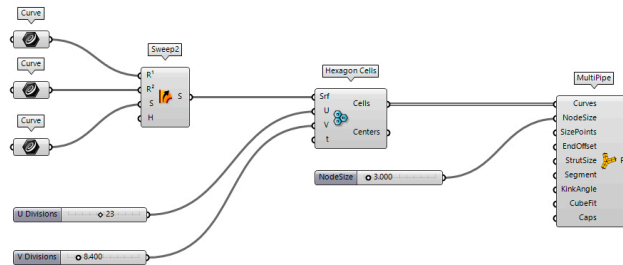


Figura 6. Algoritmo de patrón hexagonal basado en radiolarios. Fuente: el autor, 2022.

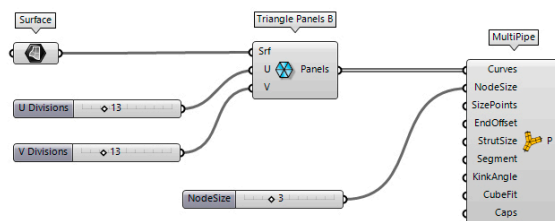


Figura 7. Algoritmo de patrón triangular basado en radiolarios. Fuente: el autor, 2022.

Posteriormente se hizo el diseño detallado en Rhinoceros©. Para la materialización se selecciona la tecnología Fused Deposition Modelling -FDM- porque permite fabricar piezas funcionales; se elige el material polimérico Acrilonitrilo Butadieno Estireno -ABS- porque tiene una resistencia adecuada a esfuerzos mecánicos, durabilidad y hay una amplia variedad de colores. Se usa la impresora Tumaker Voladora NX Dual. En la tabla 2 se pueden ver los parámetros de impresión usados.

Tabla 2. Parámetros para impresión 3D.

Parámetros de impresión	
Impresora	Tumaker Voladora NX Dual
Tecnología	FDM
Diámetro de boquilla	0,4 mm
Altura de capa	0,15
Espesor de pared	2mm
Recuento de línea de pared	5
Densidad de relleno	40%
Velocidad	2700 mm/seg

Fuente: empresa EQ3D, 2022

Finalmente, se instalaron los tres prototipos funcionales y se usaron para atender clientes reales. Se hizo una entrevista semiestructurada al dueño del local y los 3 trabajadores.

3 Resultados

3.1 Síntesis morfológica y parametrización

En las figuras 8 y 9 se pueden ver los resultados del proceso de parametrización morfológica y la aplicación de patrones en la geometría base.

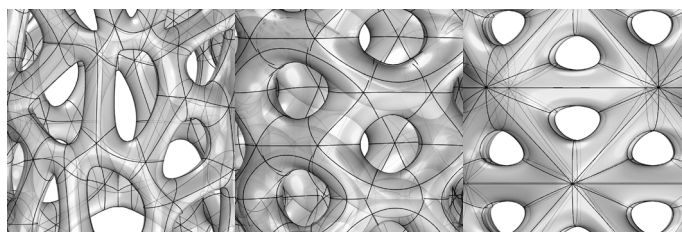


Figura 8. Patrones morfológicos basados en radiolarios. Fuente: el autor, 2022.



Figura 9. Aplicación de patrones morfológicos parametrizados en la geometría base, conformando una estructura hueca. Fuente: el autor, 2022.

3.2 Análisis de espesores y stress

Se hicieron análisis de elementos finitos en el software Inventor© (Figura 10) y se imprimieron partes del prototipo con diferentes diámetros en la rejilla; según estos análisis se decidió usar un diámetro de 3 milímetros en la rejilla.

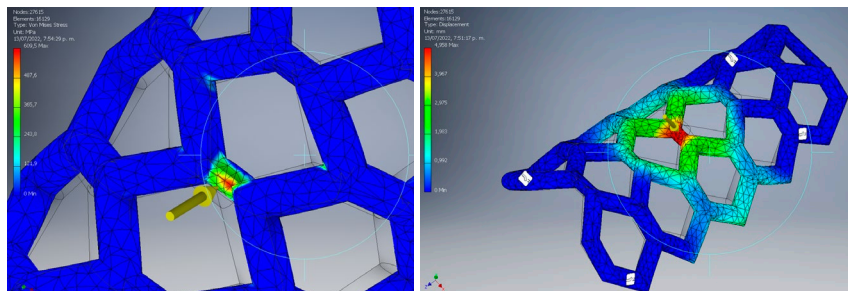


Figura 10. Análisis de stress Von Misses y desplazamiento, patrón hexagonal. Fuente: el autor, 2022.

3.3 Propuesta final y diseño detallado

Para las propuestas se consideraron todos los requerimientos. Se amplió el tamaño del asa, la morfología es totalmente curva y simétrica, esto permitirá que sean cómodas, lo usen personas con tamaños de manos diferentes, ya sean zurdos o derechos; aumentar el largo reduce el esfuerzo, debido a que a mayor distancia se origina un torque menor. La morfología hueca y patrones basados en la naturaleza la hace más ligera, esto junto con un espesor

adecuado puede generar la resistencia requerida ante esfuerzos. El sistema de ensamble consideró tornillos desde 5 ejes diferentes, esto asegura fiabilidad en su uso. En la figura 11 se puede una corte parcial en la etapa de diseño detallado.

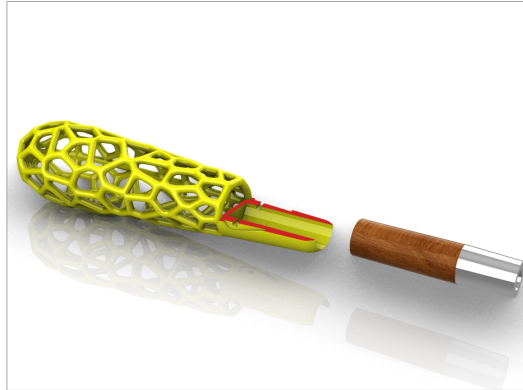


Figura 11. Corte parcial en la etapa de diseño detallado, software Rhinoceros®.
Fuente: el autor, 2022.

3.4 Fabricación de prototipos funcionales

Los prototipos se materializaron a través de la tecnología FDM y el polímero ABS en la empresa EQ3D en Medellín, Colombia. Los tiempos de impresión fueron de 20 horas para el diagrama de Voronoi, 15 horas para el patrón hexagonal y 7 horas para las geometrías triangulares (Figuras 12, 13 y 14).

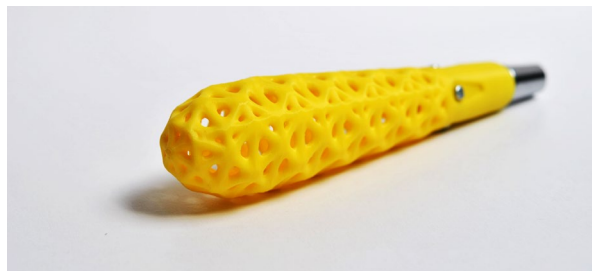


Figura 12. Prototipo funcional basado en un patrón triangular. Fuente: el autor, 2022.



Figura 13. Prototipo funcional basado en el diagrama de Voronoi. Fuente: el autor, 2022.



Figura 14. Prototipo funcional basado en un patrón hexagonal. Fuente: el autor, 2022.

3.5 Validaciones

En las figuras 15 y 16 se pueden ver los prototipos funcionales instalados y las validaciones de uso, las asas se han usado durante 6 meses.

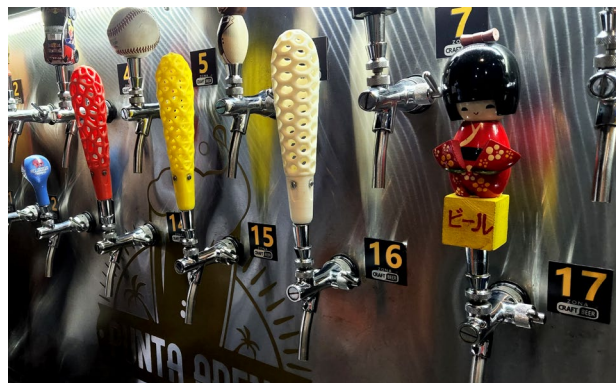


Figura 15. Serie *Radiolaria* instalada en el local. Fuente: el autor, 2022.



Figura 16. Validaciones de uso. Fuente: el autor, 2022.

Se hizo una entrevista semiestructurada de 10 preguntas al dueño y a los 3 empleados del bar. En síntesis, consideraron que su apariencia es llamativa y atractiva, cómodas de usar y fáciles de lavar, al hacer la fuerza se sienten robustas. El aumento de tamaño fue acertado porque lo pudieron usar diferentes tipos de personas. Se pudieron utilizar con un esfuerzo menor respecto las manijas convencionales; según la zona de dónde se manipulen se puede servir con mayor velocidad (más arriba) o menor velocidad (más abajo) esto último es muy útil para cervezas con más espuma. Después de seis meses de uso no han identificado aspectos a mejorar; de todos modos, sería interesante hacer propuestas con espesores más delgados y achicar levemente el tamaño para hacerlas más livianas y reducir los tiempos de impresión.

4 Discusión

Ha sido valioso desarrollar productos basados en la naturaleza para un contexto real. El uso de referentes de la naturaleza fue un aporte funcional y estético, el diseño paramétrico ha facilitado la generación y transformación morfológica, ayudando a cumplir los requerimientos en un tiempo razonable; se demostró que la tecnología FDM permite materializar productos reales, funcionales, con alta definición y precisión, con amplias ventajas respecto las tecnologías convencionales. Algunas desventajas de esta tecnología son los extensos tiempos de impresión, esto sumado a la extracción de soportes que en algunos casos fue lento y complejo. Los métodos usados pueden ser útiles para otros proyectos similares. Finalmente, esta experiencia evidencia la importancia de transferir los conocimientos de las investigaciones académicas al medio profesional y en un contexto local.

Agradecimientos. Agradezco a mi familia en Chile y Colombia, a la Universidad Pontificia Bolivariana, a la empresa EQ3D y al bar Punta Arena de Medellín, Colombia; gracias a la colaboración de todos ellos ha sido posible realizar esta investigación, me motiva a seguir haciendo proyectos a futuro para crecer en lo personal y profesional.

Referencias

- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677–688. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>
- Benyus Janine M. ; García Leal Ambrosio. (2012). *Biomímesis: innovaciones inspiradas por la naturaleza*. Tusquets.
- Drews, A. (2015). 160x magnified, stacked image, bright field (negative image) Fundort / Site: Barbados (sediment sample) Alter / Age: fossil (Middle Eocene to Oligocene) Präparation. [Micro-foto]. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Radiolaria#/media/Archivo:Radiolarian_-_Podocyrts_\(Lampterium\)_mitra_Ehrenberg_-_160x.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Radiolaria#/media/Archivo:Radiolarian_-_Podocyrts_(Lampterium)_mitra_Ehrenberg_-_160x.jpg)
- Estévez A. (2020). *4th International Conference for Biodigital Architecture & Genetics* (Alberto T. Estévez (ed.); 1st ed.). Bubok Publishing S.L. <https://www.bubok.es/autores/biodigital?fbclid=IwAR2n2ey4uYtxStxWHd93GBKGGqZgX2k-oe8pH6VrnieyrmkVv-3dKbzI0w4>
- Fox, F. (2010). Radiolarian protozoan, order Nassellaria, subphylum Radiolaria. [Micro-foto]. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Radiolaria#/media/Archivo:Mikrofoto.de-Radiolarien-3.jpg>.
- Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., Wang, C. C. L., Shin, Y. C., Zhang, S., & Zavattieri, P. D. (2015). The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *CAD Computer Aided Design*, 69, 65–89. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2015.04.001>
- Gebeshuber, I. C., & Drack, M. (2008). An attempt to reveal synergies between biology and mechanical engineering. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 222(7), 1281–1287. <https://doi.org/10.1243/09544062JMES890>
- Orciuoli A., (2011) La enseñanza de la fabricación digital aplicada a la arquitectura: diseño y producción en la era de la información. ESARQ, UIC, Barcelona.
- Pedersen Zari, M. (2007 June 1-3). Biomimetic approaches to architecture. Poster presented at the Toronto Sustainable Building Conference 07, Toronto, Canada.
- Tee, Y. L., Maconachie, T., Pille, P., Leary, M., Do, T., & Tran, P. (2021). From nature to additive manufacturing: Biomimicry of porcupine quill. *Materials and Design*, 210, 110041. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.110041>