

Innovación biomimética aplicada en diseño: micelio como material biobasado para packaging sostenible

Andrea Llorens Vargas⁽¹⁾ y
Bernabé Hernandis Ortuño⁽²⁾

Resumen: El packaging convencional, a menudo asociado a materiales no reciclables, contribuyen significativamente a la generación de residuos, exacerbando el impacto ambiental y planteando desafíos críticos hacia el desarrollo sostenible. En concordancia con la innovación, la biomimesis emerge como un paradigma metodológico, cuyo fundamento radica en la transposición analógica de principios inherentes a lo natural, hacia la resolución de problemáticas humanas. Este estudio de caso explora el uso del micelio, la estructura de raíces de los hongos, que, combinado con residuos agrícolas, se torna un material base para el desarrollo de un packaging biodegradable y compostable. La metodología empleada se fundamentó en un enfoque biomimético estructurado en las etapas de observación, análisis y aplicación, lo que permitió emular principios naturales de eficiencia, adaptabilidad y circularidad. Los hallazgos revelaron que este material no solo cumple con los requerimientos funcionales del embalaje convencional, sino que también se integra en un modelo de economía circular al ser completamente biodegradable y compostable, reducir la huella de carbono y reincorporarse al ecosistema tras su uso. En conclusión, el diseño biomimético constituye una alternativa viable y transformadora en el ámbito del packaging sostenible. Su capacidad para sustituir materiales de alto impacto ambiental demuestra el potencial de los materiales biobasados como catalizadores de una transición hacia prácticas más sostenibles y éticamente responsables.

Palabras clave: Biomimética - Diseño Sostenible - Economía Circular - Micelio - Packaging Sustentable.

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 44]

⁽¹⁾ Diseñadora Industrial, Universidad de Valparaíso, Magíster en Construcción en Madera, Universidad del Bío-Bío, Chile. Candidata a Doctora en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV-ETSII), España. Académica, Departamento Comunicación Visual, Escuela de Diseño Gráfico, Universidad del Bío-Bío, Chile. Correo: allorens@ubiobio.cl

⁽²⁾ Ph.D. en Ingeniería en Organización Industrial, Universitat Politècnica. de València (UPV), España. Profesor titular, Catedrático e Investigador, Departamento de Expresión Gráfica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, (UPV-ETSII), España. IGD-

Grupo de Investigación en Gestión del Diseño, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño (UPV-ETSID), España.

Introducción

Desde hace tiempo ya, el concepto de sustentabilidad ha sido abordado en el contexto del respeto y cuidado del medio ambiente, destacando cómo diversas disciplinas y actividades cotidianas pueden contribuir a mitigar la degradación ambiental (Bernache, 2006). Sin embargo, a pesar de la conciencia generalizada sobre el daño causado por productos y servicios, persisten conductas perjudiciales asociadas a la cultura del “usar y tirar” (Barreiro, 2012; De Arcaute, 2015), propias de economías con estructuras productivas lineales.

En este contexto, diversas disciplinas buscan aportar innovaciones y conocimientos que permitan restaurar, preservar y proteger el entorno, para garantizar que las futuras generaciones cuenten con al menos las mismas oportunidades que la presente (Pepe, 2019).

Entre estas disciplinas, el diseño desempeña un papel destacado al contribuir con estrategias que reducen la generación de desechos desde la fase conceptual de productos y servicios (Medina, 1997). En respuesta al uso indiscriminado de los recursos naturales (Frosch & Gallopoulos, 1989), han surgido diversas corrientes de diseño enfocadas en la conservación ambiental, como el Diseño Sustentable (Mendler, Odell & Lazarus, 2000), el Ecodiseño (Sherwin, 2000), el Diseño Regenerativo (Lyle, 1996) y el Diseño Circular (Moreno et al., 2016), todas orientadas a mitigar el calentamiento global y optimizar la gestión de recursos renovables (Daly, 1997).

El diseño, como disciplina responsable de satisfacer necesidades, se enfoca en estrategias, políticas e iniciativas hacia la sostenibilidad (Marlet, 2005) de un producto, mediante innovación y producción que promueva el uso responsable de materiales y energía, la reducción del uso de plásticos no reciclables (Ren, 2003) y la disminución de emisiones tóxicas. El diseño circular, integrado desde las primeras fases del proceso de diseño (Bocken, 2014), promueve un enfoque cíclico en el ciclo de vida de los productos, sustituyendo el concepto de fin de vida (EoL) por reciclaje o reutilización (Gehin, Zwolinski & Brissaud, 2008).

Adoptar conductas donde los bienes sean reutilizables y se les otorgue una segunda vida favorece una economía regenerativa y reparadora por intención y diseño (MacArthur Foundation, 2016). Este enfoque se enmarca en la economía circular (MacArthur Foundation, 2017), donde los residuos se reincorporan como materias primas en nuevos procesos, planteando una visión más amplia del uso de recursos y la gestión de desechos (Blomsma & Brenna, 2017).

El diseño optimizado extiende la vida de los productos y mejora el reciclaje a través de la recuperación de materiales, promoviendo un enfoque circular fundamental para la sostenibilidad, al equilibrar los aspectos económicos, ambientales y sociales (Delgado, 2005). Sin embargo, el consumo acelerado ha sobreexplotado las materias primas, superando la capacidad regenerativa del ecosistema (Upadhayay & Alqassimi 2018). Este problema se

agrava con el crecimiento poblacional (Toth, & Szigeti, 2016) y una mentalidad consumista que asocia “tener” con “ser” (Barreiro, 2012), lo que amenaza la disponibilidad futura de recursos y hace urgente una solución.

Es esencial abordar uno de los objetos más controvertidos en los productos de consumo: el packaging o envase. Presente en la mayoría de los productos, es uno de los principales contribuyentes a los desechos no reciclables y no circulares, aumentando el volumen de residuos (Saillema, 2019). El packaging de un solo uso, especialmente en alimentos, continúa operando bajo un modelo de economía lineal—producir, usar y desechar—lo que genera un impacto ambiental significativo (Morales, 2019; Szaky, 2019). La reutilización y el reciclaje de envases son medidas esenciales para mitigar este impacto (Gullifa et al., 2018). La selección de materiales para el packaging es fundamental para su comportamiento futuro en el entorno (Galasso, 2017). El diseño y la elección de materiales, desde la adquisición hasta el tratamiento de las materias primas, son determinantes, ya que una opción inadecuada puede contribuir al agotamiento de recursos y a la contaminación de los ecosistemas (Cortés, 2018; Riofrio, Oviedo & Navarro, 2019). Para evitar estos efectos, es necesario evaluar el impacto ambiental total de un producto desde su creación hasta la gestión de sus residuos (Rose, 2000; Bohlmann, 2004).

El Rol del Diseño en la Reinención del Packaging Sostenible

El diseño sostenible debe considerar todo el ciclo de vida del producto y su embalaje, dado que el packaging transitorio genera desechos que agravan los problemas ambientales. Desde el Diseño Circular, se promueve integrar la biomimética para desarrollar metodologías que reflejen valores ecológicos, económicos y sociales en cada etapa. Esto plantea la necesidad de replantear si es mejor diseñar embalajes específicos para cada producto o reducirlos al mínimo, incentivando una verdadera sostenibilidad.

Aunque algunos productos requieren embalaje por fragilidad o higiene, otros podrían prescindir de él. Un packaging sostenible no solo reduce el impacto ambiental, sino que también añade valor al producto e influye en las decisiones de compra. La biomimética, como enfoque sostenible, permite a los diseñadores inspirarse en organismos y ecosistemas para crear materiales y tecnologías que emulan procesos naturales, generando embalajes alineados con los principios de la naturaleza.

Inspiración en la Naturaleza: Biomímesis y Sostenibilidad

Para lograr una transformación real en el diseño sostenible de envases, es esencial recurrir a enfoques innovadores que trascienden las soluciones tradicionales. La analogía con el entorno natural es fundamental, ya que en la naturaleza no se generan desechos; cada elemento cumple un propósito en el ciclo de vida, manteniendo un equilibrio eficiente y sin excedentes (Nkandu & Alibaba, 2018; Mathews, 2019). Este modelo ejemplifica la economía y el diseño circular que deberían ser emulados en todos los aspectos.

La biomímesis, o imitación de la vida, implica replicar comportamientos, sistemas y mecanismos de la naturaleza para resolver problemas humanos (Benyus, 2013). Esta disciplina se relaciona con el diseño, la tecnología y los nuevos materiales, ofreciendo soluciones más sostenibles (Blok, 2016; Mathews, 2011). El enfoque sistémico de la naturaleza, que garantiza máximos rendimientos con un uso mínimo de energía, es una premisa ideal para la sostenibilidad ambiental (Kennedy et al, 2015).

En este contexto, la biomímesis se posiciona como un principio esencial en el Diseño Circular Sostenible, al inspirarse en la gestión eficiente de recursos de los ecosistemas naturales para desarrollar envases biodegradables, compostables, reutilizables y reciclables. Estos atributos promueven la sostenibilidad ambiental e incorporan beneficios económicos y sociales, creando soluciones accesibles y funcionales. Al imitar los mecanismos de la naturaleza, este enfoque permite diseñar envases que minimizan su impacto ambiental, integrándose de manera armoniosa en los ciclos de la economía circular sin comprometer estética ni costo.

Enfoque metodológico

1. La estrategia de la biomimética utilizada, en una primera instancia, se puede esquematizar en tres pasos principales:

- *Observación*. La etapa de observación es clave en la biomimética, ya que permite estudiar organismos vivos y sistemas naturales no vivos para comprender su funcionamiento y potencial aplicación en contextos humanos. Mediante métodos como observación directa, revisión de literatura, sensores, microscopía y experimentos controlados, se identifican patrones relevantes y su relación con problemas específicos. Este proceso recopila la información esencial para aplicar principios naturales en soluciones humanas.

- *Análisis*: La fase de análisis se centra en examinar las formas, patrones, procesos y estructuras observadas para identificar características aplicables a problemas específicos. Utiliza herramientas como análisis estadístico, simulaciones numéricas e inteligencia artificial para comprender detalladamente los procesos naturales y su posible aplicación, considerando las limitaciones del problema. Esta etapa es fundamental en la biomimética, ya que relaciona tipologías relevantes de los sistemas naturales con problemas específicos, facilitando el desarrollo de soluciones innovadoras y eficientes.

- *Aplicación*: La etapa de aplicación implementa los conceptos derivados del análisis para desarrollar tecnologías y diseños innovadores. Este proceso interdisciplinario involucra expertos de áreas como biología, ingeniería y diseño, utilizando técnicas de simulación, fabricación y evaluación. Se consideran las limitaciones del problema y sus implicaciones éticas y sociales, mientras ensayos y pruebas validan la eficacia de las soluciones, enfocándose en desarrollar tecnologías más sustentables.

2. Para la segunda instancia, es esencial contar con un marco bien establecido que aclare los modos y condiciones para implementar la metodología biomimética en proyectos de diseño (Goss, 2009). En este contexto, investigadores han desarrollado una metodología efectiva para evaluar su aplicación práctica y potencial, destacando su capacidad para aumentar la regeneración del entorno construido (Pedersen Zari, 2007).

En 2007, Pedersen Zari presentó un marco amplio, que se puede apreciar en la Tabla I, para ayudar a comprender cómo aplicar la biomimética, redefiniendo niveles para determinar un enfoque más eficaz.

El primer nivel, denominado organismo, se enfoca en una planta o animal específico, permitiendo la imitación de partes o del organismo completo.

El segundo nivel, comportamiento, analiza cómo un organismo actúa o interactúa dentro de un entorno más amplio.

El tercer nivel aborda la replicación de ecosistemas completos y los principios fundamentales que contribuyen a su funcionamiento exitoso.

Dentro de cada uno de estos niveles, Pedersen Zari (2007), introduce cinco dimensiones adicionales del mimetismo: apariencia (forma), composición (material), construcción (estructura), funcionamiento (proceso) y capacidad (función).

Al analizar cómo las estrategias morfológicas, patrones, diseños y formas evolucionan para adaptarse mejor al entorno con el mínimo gasto de energía, podemos identificar y emular otros parámetros, características geométricas, texturas y estructuras presentes en la naturaleza. Imitando y combinando estos elementos, es posible crear nuevas distribuciones eficientes de materia en el espacio para desarrollar entornos artificiales que sean coherentes y sostenibles.

Resultados

Al implementar la biomímesis, existen múltiples perspectivas adicionales que pueden enriquecer y perfeccionar la simulación de sistemas biológicos en el diseño de soluciones artificiales, al incorporar nuevos atributos para ser identificados. A continuación, se presenta como resultado, la aplicación en una examinación de caso.

1. Envases Naturales: Desarrollo de un Material Biobasado y Compostable

1.1. Material Biomimético: Micelio para Packaging

El packaging de micelio es un material innovador para embalaje que combina la estructura de raíces de hongos con residuos agrícolas. Este material biomimético aprovecha la capacidad natural del micelio para unir y consolidar partículas, creando estructuras resistentes. Representa una alternativa ecológica a los embalajes tradicionales, eliminando procesos químicos intensivos y residuos tóxicos.

El packaging de micelio ejemplifica el diseño biomimético al imitar los sistemas naturales de crecimiento y consolidación de los hongos. Así como en la naturaleza el micelio crea redes densas y adaptativas para absorber nutrientes, en el packaging se aprovecha esta

capacidad para unir residuos vegetales, creando un material moldeable y resistente con propiedades ideales para embalaje.

La fabricación del packaging de micelio refleja los ciclos naturales al ser completamente biodegradable y compostable. Al finalizar su uso, el material se descompone de manera segura, devolviendo nutrientes al suelo y completando un ciclo sin impacto ambiental negativo. Este enfoque demuestra cómo los sistemas naturales pueden inspirar productos industriales que combinan funcionalidad con principios de sostenibilidad y circularidad.

1.2. Aplicación de Principios Biomiméticos

El packaging de micelio incorpora dos principios biomiméticos esenciales:

- Eficiencia de Materiales: Imita los ciclos naturales al utilizar residuos agrícolas como nutrientes, eliminando desperdicios y promoviendo la economía circular.
- Adaptabilidad y Resiliencia: Aprovecha la capacidad natural del micelio para moldearse y consolidarse, permitiendo crear embalajes que se adaptan a diversos productos, logrando resistencia sin necesidad de aditivos sintéticos.

1.3. Impacto Ambiental y Ciclo de Vida del Producto

El packaging de micelio demuestra ventajas ambientales significativas sobre los materiales convencionales, destacando en tres aspectos clave:

- Producción y Huella de Carbono: Requiere menos energía que los materiales tradicionales al utilizar el crecimiento natural del micelio con residuos agrícolas, reduciendo emisiones y consumo de recursos.
- Biodegradabilidad: Es completamente compostable, descomponiéndose en 30 días sin generar residuos tóxicos ni microplásticos, aportando nutrientes al suelo.
- Economía Circular: Ejemplifica un ciclo de vida circular perfecto, donde el material se reintegra completamente al ecosistema, fomentando la regeneración natural sin impacto ambiental negativo.

2. Evaluación de Eficacia para la Industria del Packaging

El packaging de micelio se presenta como una alternativa eficaz y viable para la industria debido a sus propiedades de protección, sostenibilidad y adaptabilidad. Este material, resistente y flexible, es adecuado para proteger productos frágiles como dispositivos electrónicos y artículos de vidrio, ofreciendo una capacidad amortiguadora comparable a la de materiales sintéticos convencionales. Además, su facilidad para moldearse permite su uso en diversos sectores, incluyendo la industria alimentaria, cosmética y electrónica, adaptándose a múltiples formatos y necesidades de embalaje.

Su carácter biodegradable y compostable responde a la creciente demanda de consumidores y empresas por soluciones sostenibles. Esto no solo contribuye a la protección ambiental, sino que también mejora la imagen de marca de las empresas que lo adoptan, generando una experiencia de usuario positiva y fortaleciendo su competitividad en el mercado. Todo lo anterior se puede ver resumido en la Tabla II, en la cual aparece una quinta columna donde se visualiza el desarrollo del análisis biomimético.

El estudio de Packaging de micelio como ejemplo de diseño biomimético revela el potencial de los materiales inspirados en la naturaleza para transformar el sector del packaging hacia soluciones verdaderamente sostenibles. Al imitar principios naturales, como la eficiencia en el uso de recursos, la biodegradabilidad y la adaptación a diversas necesidades, este material ejemplifica cómo los materiales biobasados pueden reemplazar alternativas convencionales de alto impacto ambiental.

Conclusiones

El estudio demuestra que la biomimética, al imitar los principios de la naturaleza como el ciclo de vida circular, eficiencia de materiales y adaptabilidad, ofrece una base innovadora y viable para el desarrollo de packaging sostenible. Este enfoque permite que los envases no solo cumplan con su función protectora, sino que también minimicen el impacto ambiental, alineándose con los principios de la economía circular.

La aplicación de este material ejemplifica cómo los materiales biobasados, inspirados en la naturaleza, pueden sustituir alternativas convencionales con alto impacto ambiental. Su fabricación a partir de micelio y residuos agrícolas no solo reduce la huella de carbono, sino que también responde a la creciente demanda de soluciones compostables y renovables en el mercado.

Uno de los aspectos más significativos del diseño biomimético en packaging es su ciclo de vida completo. La biodegradabilidad y compostabilidad de materiales como el Mushroom® Packaging aseguran que estos envases regresen al ecosistema sin generar desechos, promoviendo un ciclo de vida regenerativo que se alinea con los objetivos de sostenibilidad. La biomimética en el diseño de packaging requiere un enfoque interdisciplinario que combine conocimientos de biología, ingeniería y diseño. Este enfoque no solo facilita la creación de soluciones sostenibles, sino que también amplía el campo del diseño, demostrando que la colaboración entre disciplinas es clave para abordar desafíos ambientales complejos.

A medida que el diseño biomimético se consolida, se espera que cada vez más industrias adopten estos enfoques para reducir el impacto ambiental. La exploración de materiales biobasados y compostables como alternativas viables podría redefinir los estándares de sostenibilidad en packaging, beneficiando tanto a los consumidores como a las empresas.

Agradecimientos

La autora principal expresa su agradecimiento al Fondo de Apoyo a la Participación en Eventos Internacionales (FAPEI), código FP2482156, de la Universidad del Bío-Bío, Chile.

Referencias

- Barreiro, A. M. (2012). *La cultura del usar y tirar. ¿Un problema de investigación?* RIPS: *Revista de Investigaciones Políticas y Sociológicas*, 11(4).
- Benyus, Janine M. (2013) *Spreading the Meme: A Biomimicry Primer*, in *Biomimicry Resource Handbook: A Seed Bank of Best Practices* (Missoula, MT: Biomimicry 3.8). Recuperado de: http://issuu.com/biomimicry38/docs/biomimicry_resource_handbook_excerpt
- Bernache, G. (2006). *Cuando la basura nos alcance: el impacto de la degradación ambiental*. Ciesas.
- Blok, V. (2016). *Biomimicry and the materiality of ecological technology and innovation: Toward a natural model of nature*. *Environmental Philosophy*, 13(2), 195-214.
- Blomsma, F. & Brenna, G. (2017) *The Emergence of Circular Economy*. *J. Ind. Ecol.*, 21, 603-614.
- Bocken, N., Farracho, M., Bosworth, R. & Kemp, R. (2014). *The front-end of eco-innovation for eco-innovative small and medium sized companies*. *Journal of Engineering and Technology Management*, 31, 43-57.
- Bohlmann, G. M. (2004). *Biodegradable packaging life-cycle assessment*. *Environmental Progress*, 23(4), 342-346.
- Cortés Correa, J. A. (2018). *Embalaje como factor de sostenibilidad en la logística. Trabajo final de titulación*. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17897>
- Daly, H. (1997). *Criterios operativos para el desarrollo sostenible*. Daly, H. y Schutze, C. *Crisis ecológica y sociedad*. Valencia: Ed. Germania.
- De Arcaute Martínez, E. R. (2015). *Patrimonio cultural del s. XX. La compleja conservación de los testimonios de una sociedad de usar y tirar*. *Patrimonio cultural de España*, (10), 17-24.
- Delgado, H. A. M. (2005). *La educación ambiental como herramienta social*. *Geoenseñanza*, 10(1), 61-67.
- Frosch, R. A., Gallopoulos, N. E. (1989). *Strategies for manufacturing*. *Scientific American*, 261(3), 144-153.
- Galasso, A. C. (2017). *Eco-Pack. Trabajo para obtener la licenciatura en Diseño*. Recuperado de: https://fido.palermo.edu/servicios_dyc/proyctograduacion/archivos/4889.pdf
- Gehin, A., Zwolinski, P. & Brissaud, D. (2008). *A tool to implement sustainable end-of-life strategies in the product development phase*. *Journal of Cleaner Production*, 16(5), 566-576.
- Goss J (2009) *Biomimicry: Looking to nature for design solutions*. Thesis for the Degree of Master of Art, Corcoran College of Art+ Design, Washington, DC.
- Gullifa, S., Jatib, M. I., Marcuzzi, A. & Pérez, C. (2018). *Optimización de la logística inversa en el reciclado de envases*. Repositorio digital UNLaM, *Revista Digital DIIT* 2017, Vol. 2, (2) <http://repositoriocyt.unlam.edu.ar/handle/123456789/192>
- Kennedy, E., Fecheyr-Lippens, D., Hsiung, B. K., Niewiarowski, P. H., & Kolodziej, M. (2015). *Biomimicry: a path to sustainable innovation*. *Design Issues*, 31(3), 66-73.
- Lyle, J. T. (1996). *Regenerative design for sustainable development*. John Wiley & Sons.
- MacArthur, E. Foundation. Schulze, G. (2016). *Growth within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe*; Ellen MacArthur Foundation and the McKinsey Center for Business and Environment, 1-22.

- MacArthur, E. Foundation. (2017). *Circular economy*. Recuperado de <http://www.ellen-macarthurfoundation.org/circular-economy/concept>.
- Marlet, J. V. (2005). *Diseño ecológico: hacia un diseño y una producción en armonía con la naturaleza*. Ed. Blume.
- Mathews, F. (2011). *Towards a deeper philosophy of biomimicry*. *Organization & Environment*, 24(4), 364-387.
- Mathews, F. (2019). *Biomimicry and the Problem of Praxis*. *Environmental Values*, 28(5), 573-599.
- Medina, M. (1997). *Manejo de desechos sólidos y desarrollo sustentable*. *Económicas CUC*, 25(1), 59-71.
- Mendler, S., Odell, W. & Lazarus, M. A. (2000). *The HOK guidebook to sustainable design*. J. Wiley, 2nd ed.
- Morales G., V. (2019). *Hábitos en la sociedad desarrollista; de la acumulación de residuos al cradle to cradle*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10251/123961>
- Moreno, M., De los Rios, C., Rowe, Z. & Charnley, F. (2016). *A conceptual framework for circular design*. *Sustainability*, 8(9), 937.
- Nkandu, M. I. & Alibaba, H. Z. (2018). *Biomimicry as an alternative approach to sustainability*. *Architecture Research*, 8(1), 1-11.
- Pedersen Zari, M.P (2007) *Biomimetic Approaches to Architectural Design for Increased Sustainability*. In the SB07, Sustainable Building Conference, p.p. 1-10, Auckland, NZ.
- Pepe, A. (2019). *Nuestros derechos y obligaciones para las generaciones futuras*. *Discusiones de filosofía política / Patricia Britos [et al.]; compilado por Vanesa Lorena Battaglino*. - 1a ed. - Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata. P.p. 37-44.
- Ren, X. (2003). *Biodegradable plastics: a solution or a challenge?* *Journal of cleaner Production*, 11(1), 27-40.
- Riofrio Álvarez, C. I., Oviedo Navarrete, C. M. & Navarro Cedeño, D. M. (2019). *Importancia de productos biodegradables en Ecuador*. Observatorio de la Economía Latinoamericana.
- Rose, C. M. (2000). *Design for environment: a method for formulating product end-of-life strategies (Vol. 185)*. Stanford, CA, USA: Stanford University.
- Sailema Benalcázar, D. L. (2019). *Packaging forma-función y la contaminación por empaques a partir de polímeros en la ciudad de Ambato (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato*. Facultad de Diseño y Arquitectura. Carrera de Diseño Gráfico Publicitario).
- Sherwin, C. (2000). *Innovative ecodesign: An exploratory and descriptive study of Industrial Design practice*. Cranfield University.
- Szaky, T. (2019). *The Future of Packaging: From Linear to Circular*. Berrett-Koehler Publishers.
- Toth, G. & Szigeti, C. (2016). *The historical ecological footprint: From over-population to over-consumption*. *Ecological Indicators*, 60, 283-291.
- Upadhayay, S. & Alqassimi, O. (2018). *Transition from Linear to Circular Economy*. *Westcliff International Journal of Applied Research*, 2(2), 62-74.

Abstract: Conventional packaging, often associated with non-recyclable materials, significantly contributes to waste generation, exacerbating environmental impact and posing critical challenges to sustainable development. In alignment with innovation, biomimicry emerges as a methodological paradigm rooted in the analogical transposition of principles inherent to nature towards solving human problems. This case study explores the use of mycelium, the root structure of fungi, which, when combined with agricultural residues, becomes a base material for developing biodegradable and compostable packaging.

The methodology employed was based on a biomimetic approach structured into the stages of observation, analysis, and application, enabling the emulation of natural principles of efficiency, adaptability, and circularity. The findings revealed that this material not only meets the functional requirements of conventional packaging but also integrates into a circular economy model by being fully biodegradable and compostable, reducing carbon footprint, and reintegrating into the ecosystem after use.

In conclusion, biomimetic design represents a viable and transformative alternative in the field of sustainable packaging. Its ability to replace high-impact materials highlights the potential of biobased materials as catalysts for a transition toward more sustainable and ethically responsible practices.

Keywords: Biomimicry - Sustainable Design - Circular Economy - Mycelium - Sustainable Packaging.

Resumo: O packaging convencional, frequentemente associado a materiais não recicláveis, contribui significativamente para a geração de resíduos, exacerbando o impacto ambiental e apresentando desafios críticos ao desenvolvimento sustentável. Em consonância com a inovação, a biomimética surge como um paradigma metodológico fundamentado na transposição analógica de princípios inerentes à natureza para a resolução de problemáticas humanas. Este estudo de caso explora o uso do micélio, a estrutura radicular dos fungos, que, combinado com resíduos agrícolas, se torna um material base para o desenvolvimento de um packaging biodegradável e compostável.

A metodologia empregada baseou-se em uma abordagem biomimética estruturada nas etapas de observação, análise e aplicação, permitindo a emulação de princípios naturais de eficiência, adaptabilidade e circularidade. Os resultados revelaram que este material não apenas atende aos requisitos funcionais do packaging convencional, mas também se integra a um modelo de economia circular, sendo completamente biodegradável e compostável, reduzindo a pegada de carbono e se reintegrando ao ecossistema após o uso. Em conclusão, o design biomimético representa uma alternativa viável e transformadora no campo do packaging sustentável. Sua capacidade de substituir materiais de alto impacto ambiental destaca o potencial dos materiais biobaseados como catalisadores para uma transição rumo a práticas mais sustentáveis e eticamente responsáveis.

Palavras-chave: Biomimética - Design Sustentável - Economía Circular - Micélio - Embalagens Sustentáveis.

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo.]
