

Hacia una conciencia sostenible: metodología biomimética para la exploración de biomateriales en diseño de packaging

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

Resumen: La crisis de sostenibilidad planetaria y la necesidad de descarbonizar la cadena de valor demandan una reorientación y una reconceptualización radical de las prácticas de diseño industrial, priorizando la resiliencia y la responsabilidad ecológica en el ciclo de vida de los productos. Esta investigación propone el desarrollo de un marco metodológico exploratorio basado en el biomimetismo para la conceptualización de nuevos biomateriales aplicables en la industria del packaging.

El enfoque metodológico trasciende la mera analogía formal para constituirse en un paradigma proyectual y de investigación. Establece un protocolo orientado a interrogar las estrategias materiales de la naturaleza, con el fin de identificar y caracterizar análogos vivos que exhiban propiedades de protección, eficiencia estructural y un perfil de fin de vida inherentemente sustentable. La finalidad es transferir estas soluciones a la creación de biomateriales avanzados.

La metodología se centrará en la traducción inversa de la eficiencia material biológica hacia la síntesis de compuestos bio-basados para envases. Esta aproximación no solo fundamenta la innovación material, sino que también promueve una conciencia ecológica profunda al validar científicamente la primacía de los sistemas biológicos como fuente de soluciones de alto desempeño y bajo impacto sistémico.

Se determina que el biomimetismo es una fuente inagotable para la exploración de tecnologías innovadoras que elevan la propuesta de valor del producto, al transformar el embalaje de desecho en materia prima que cierra el ciclo, concluyendo que una metodología biomimética es esencial para consolidar una práctica proyectual que fomenta una conciencia ecológica profunda a través de la materialidad, situando a la naturaleza como el eje central de la tecnología sostenible.

Palabras clave: Biomateriales - Biomimetismo - Biopolímeros - Diseño de packaging - Diseño sostenible - Economía circular - Eficiencia material - Fin de vida (*End-of-life*) - Ingeniería inversa - Metodología proyectual

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 315-316]

⁽¹⁾ **Andrea Llorens Vargas** es Diseñadora Industrial, Universidad de Valparaíso, Magister en Construcción en Madera, Universidad del Bío-Bío, Chile. Doctora en Diseño, Gestión y Fabricación de Productos Industriales, Universidad Politécnica de Valencia (UPV-ETSII), España. Académica, Departamento Comunicación Visual, Escuela de Diseño Gráfico, Universidad del Bío-Bío, Chile. allorems@ubiobio.cl

⁽²⁾ **Bernabé Hernandis Ortuño** es Ph.D. en Ingeniería en Organización Industrial, Universidad Politécnica de Valencia (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.

1. Introducción

En la actualidad, el Desarrollo Sostenible es la apuesta de la humanidad para mantener los niveles de producción y consumo, sin quebrantar los equilibrios naturales que mantienen los ecosistemas (Castañeda y Trujillo, 2015). En este escenario, el packaging ha trascendido su función puramente utilitaria para convertirse en un elemento omnipresente y multifuncional. Si bien su rol primario sigue siendo, como señalan Ambrose y Harris (2009), actuar como el sistema fundamental que asegura la protección, transporte y preservación de los productos hasta llegar al consumidor, su relevancia actual es mucho más compleja. Más allá de la contención física, el envase opera como un potente medio de comunicación visual. Calver (2004) argumenta que el packaging es la “cara” de la marca en el punto de venta, actuando como el único nexo directo entre el producto y el consumidor en el momento crucial de la compra. En este sentido, se convierte en una herramienta estratégica de diferenciación; tal como indican Klimchuk y Krasovec (2012), un diseño de packaging exitoso no solo protege, sino que posiciona la marca y comunica sus valores intrínsecos para destacar frente a la competencia en un mercado saturado. En relación con esto, la labor comunicacional, no está referida, únicamente a la configuración de los elementos estrictamente gráficos (Candil, 2024), sino del conjunto de los componentes verbales, icónicos, morfológicos, estructurales, materiales y de superficie, que activa la producción de sentido del producto y favorece la relación de éste con su destinatario, es decir, con el usuario/consumidor (Ciravegna, 2017). Referido a lo anterior, uno de los grandes desafíos en el diseño del sistema Packaging/Producto es la de generar una fuerte relación entre contenido y contenedor, entre el producto y la forma del packaging. Si esta relación es sólida, genera armonía, produce emoción y el resultado es impactante (Brizuela, 2014). Sin embargo, esta omnipresencia comercial conlleva una paradoja crítica: el mismo objeto diseñado para seducir y proteger se transforma, tras su uso, en una fuente significativa de impacto ambiental negativo. Jedlicka (2009) advierte que el diseño de envases contemporáneo sigue, en gran medida, anclado a una cultura de “usar y tirar”, donde la vida útil del material excede desproporcionadamente la vida útil de su función. Esta dinámica ha

exacerbado la contaminación global, afectando aire, agua y suelo debido a los inmensos volúmenes de residuos que, como señalan McDonough y Braungart (2002), son el resultado de un modelo industrial lineal (“de la cuna a la tumba”) que carece de sistemas efectivos de recuperación o regeneración. La problemática se intensifica al analizar la materialidad de estos desechos. Gran parte de los envases actuales dependen de polímeros sintéticos no biodegradables –como el PVC, polietileno o poliestireno expandido– que persisten en el ecosistema durante siglos. Según Boylston (2009), la elección de estos materiales sin prever su disposición final convierte al packaging en un “residuo de diseño” persistente. En consecuencia, la gestión inadecuada de estos flujos de materiales no solo satura los vertederos, sino que, tal como indican Verghese, Lewis y Fitzpatrick (2012), genera implicaciones ambientales irreversibles que obligan a la disciplina a repensar el envase desde una perspectiva de ciclo de vida completo y no solo desde su funcionalidad inmediata. Ante esta encrucijada, la necesidad de descarbonizar la cadena de valor demanda una reconceptualización radical de las prácticas de diseño industrial. Surge entonces el biomimetismo como un paradigma proyectual capaz de ofrecer soluciones disruptivas. Benyus (1997) define esta disciplina no solo como una fuente de inspiración estética, sino como una “innovación inspirada en la naturaleza”, donde los sistemas biológicos son consultados como mentores. La naturaleza, tras 3.800 millones de años de evolución, ha resuelto problemas de protección, contención y eficiencia estructural mediante estrategias de ciclo cerrado donde el concepto de basura no existe. Como sostiene Pawlyn (2011), al observar cómo los organismos gestionan los recursos y construyen sus estructuras con materiales locales y benignos, el diseño puede transitar de un modelo degenerativo a uno regenerativo (Romero, 2019). Bajo esta premisa, el presente estudio propone el desarrollo de un marco metodológico exploratorio basado en el biomimetismo para la conceptualización de nuevos biomateriales en la industria del packaging. El objetivo es trascender la mera analogía formal para establecer un protocolo que interrogue las estrategias materiales de la naturaleza, buscando una traducción inversa de la eficiencia biológica hacia la síntesis de compuestos bio-basados (Alexandridis, Tzetzis y Kyratsis, 2016). Esta aproximación busca validar científicamente la primacía de los sistemas biológicos como fuente de soluciones de alto desempeño y bajo impacto sistémico, fomentando así una conciencia ecológica profunda en la práctica del diseño. A través de los avances en biofabricación, se propone una estructura de investigación que operacionaliza la “conciencia sostenible” mediante protocolos experimentales rigurosos.

2. Cambio de paradigma: de la extracción al aprendizaje

La crisis ambiental descrita anteriormente no es un accidente, sino el resultado lógico de un paradigma de diseño industrial fundamentado en la Revolución Industrial. Este modelo, que Leonard (2010) describe como un sistema lineal de “extracción, producción, distribución, consumo y descarte”, opera bajo la premisa errónea de que los recursos planetarios son infinitos y que la capacidad de la Tierra para absorber desechos es ilimitada. En la industria del packaging, esta mentalidad se traduce en procesos de manufactura que

Benyus (1997) caracteriza como “heat, beat, and treat” (calentar, golpear y tratar), donde la materia prima es forzada a tomar forma mediante un gasto energético intensivo y el uso de químicos tóxicos, resultando en materiales que la naturaleza no sabe cómo reintegrar. Este enfoque extractivista ha reducido a la naturaleza a la categoría de un mero almacén de recursos, ignorando su valor como fuente de conocimiento acumulado. El diseño tradicional ha operado de espaldas a la biología, imponiendo formas y materiales ajenos a los ciclos vitales. Sin embargo, la necesidad de descarbonizar la economía exige un giro copernicano en la disciplina: transitar de la explotación de la naturaleza al aprendizaje de ella. Wahl (2016) sostiene que para diseñar culturas regenerativas es imperativo dejar de preguntarnos qué podemos extraer de los ecosistemas para empezar a preguntar qué podemos aprender de ellos para diseñar sistemas humanos compatibles con la vida.

En este nuevo paradigma, el biomimetismo emerge no como un estilo visual, sino como una estrategia de innovación profunda. Al observar la naturaleza, no buscamos simplemente copiar formas, sino emular sus “estrategias de diseño”. Como señalan Vincent *et al.* (2006), existe una diferencia fundamental entre la tecnología humana y la biológica: mientras la industria resuelve problemas aumentando el uso de energía y materiales, la biología lo hace optimizando la información y la estructura. La naturaleza crea materiales de alto desempeño (como la seda de araña o el nácar) a temperatura ambiente, utilizando componentes abundantes y benignos, y, lo más importante, diseñando el fin de vida del material desde su concepción.

Por lo tanto, la “responsabilidad ecológica” del diseñador contemporáneo se redefine. Ya no se trata solo de minimizar el daño (eco-eficiencia), sino de crear un impacto positivo mediante la integración de principios biológicos. Papanek (1995), pionero en la ética del diseño, ya advertía que el diseño debe ser un puente entre la ecología humana y el medio ambiente. Bajo la óptica biomimética, este puente se construye reconociendo que los organismos vivos ya han resuelto los problemas de packaging que hoy enfrentamos: protección, barrera, transporte y comunicación, todo ello sin generar basura tóxica. El cambio de paradigma radica, entonces, en consultar a estos “mentores biológicos” antes de trazar la primera línea del proyecto.

2.1. Evolución funcional y la crisis del modelo lineal

El packaging ha atravesado distintas funciones a lo largo de la historia: de actuar como simple receptáculo de líquidos y sólidos, pasó a contener y transportar, y posteriormente a conservar y proteger. Sin embargo, la primera gran transformación del envase se produce durante la revolución industrial. Con la aparición de las máquinas y las fábricas, su función comienza a ampliarse drásticamente: ya no basta con la protección física; debe exportar, comunicar, competir y transformarse en un símbolo. El envase se vuelve responsable de la dimensión simbólica del producto, con el mandato de seducir al consumidor sobre el valor de su contenido (Somoza y Gandman, 2004).

Desde sus inicios y durante gran parte de esta evolución, se evidenciaba el uso predominante del “monomaterial” (cerámica, metal, vidrio, cartón). No obstante, la era industrial impulsó el desarrollo de estructuras complejas que combinan múltiples materiales para

satisfacer a un consumidor cada vez más exigente. Si bien esto permitió el desarrollo de envases sofisticados e inteligentes, trajo consigo un costo oculto: la dificultad de gestionar su fin de vida.

Esta multiplicación de la producción ha sumado al planeta cantidades masivas de residuos, contaminando el medio ambiente hasta niveles alarmantes. Se ha consolidado así una paradoja donde la sofisticación técnica convive con la ineficiencia ecológica. Como señala Gaznares (2021), los envases y embalajes se han convertido en unos de los mayores generadores de desperdicios en el planeta, un fenómeno asociado directamente a la cultura del “usar y tirar” (Cartea, 2006). Es aquí donde el modelo lineal de producción demuestra su agotamiento y surge la urgencia de una reorientación.

2.2. Principios de una economía cíclica y resiliente

Frente a la crisis del modelo lineal tradicional –basado en extraer, producir, usar y desear–, la biomimética propone un cambio paradigmático hacia una economía cíclica. Este enfoque no solo busca nuevos materiales, sino imitar los procesos y sistemas de la naturaleza para crear un modelo económico eficiente donde el concepto de “basura” es obsoleto.

En los ecosistemas naturales, los ciclos de vida operan de manera virtuosa: los subproductos de un organismo son transformados y aprovechados inmediatamente como insumos para otro. No existe el desperdicio, solo transferencia de materia y energía. La biomimética aplicada a la economía busca replicar este principio de “residuos como nutrientes”, fomentando la reutilización, reparación y remanufactura, cerrando así el ciclo de vida del producto tal como ocurre en la biología (Llorens y Hernandis, 2025).

Además de la eficiencia en el manejo de recursos, este enfoque aporta una cualidad vital para la industria contemporánea: la resiliencia. Los ecosistemas demuestran una capacidad asombrosa para adaptarse a cambios perturbadores y sobrevivir a situaciones adversas. Una economía inspirada en la biomimética aspira a desarrollar sistemas industriales igualmente versátiles y adaptativos, capaces de soportar crisis económicas o ambientales. Finalmente, este modelo promueve la simbiosis industrial. Al igual que en la naturaleza las especies colaboran para la supervivencia mutua, una economía cíclica fomenta la colaboración entre diferentes sectores, donde los desechos de una industria se convierten en la materia prima de otra, generando nuevas oportunidades de negocio y elevando la sostenibilidad a un estándar sistémico, no solo estético.

3. Biomimética como metodología de investigación

Más allá de una simple imitación formal o estética, el biomimetismo se aborda, como una disciplina de rigor científico y transferencia tecnológica. Este apartado despliega el marco metodológico necesario para transitar desde la observación biológica hacia la aplicación proyectual. Se establece un sistema estructurado de indagación que permite decodificar las

estrategias de eficiencia de la naturaleza y traducirlas, mediante protocolos estandarizados, en soluciones de diseño industrial viables y sistémicas.

3.1. Marcos metodológicos integrados: de la biología al diseño

Para abordar la complejidad de desarrollar nuevos materiales de packaging, es esencial adoptar una metodología estructurada que trascienda la inspiración superficial. Si bien Otto Schmitt estableció en los años 60 las bases de la transferencia tecnológica biológica (Schmitt, 1969), la literatura contemporánea ha refinado estos procesos identificando dos flujos principales: el Solution-Driven (Biología hacia el Diseño) y el Problem-Driven (Reto hacia la Biología) (Helms *et al.*, 2006).

Dada la naturaleza exploratoria de esta investigación, se adopta un enfoque híbrido centrado en la Espiral de Diseño Biomimético (Biomimicry Design Spiral) propuesta por el Biomimicry Institute, enriquecida con técnicas de ingeniería inversa y diseño impulsado por el material (Material Driven Design). Este proceso iterativo se articula en fases críticas:

A. Definición y biologización del reto, el primer paso exige articular el problema técnico (ej. “crear un packaging amortiguador compostable”) y traducirlo a funciones biológicas. En lugar de preguntar cómo diseñar un envase, interrogamos: *¿Cómo protege la naturaleza una estructura blanda de impactos contundentes?* Esta traducción es vital para alinear las restricciones humanas con las estrategias evolutivas.

B. Descubrimiento y detección, corresponde a la búsqueda de modelos naturales. Esta etapa combina la observación de campo con la revisión de literatura biológica para identificar organismos (como el pomelo o las nueces) que han resuelto funcionalmente el desafío planteado.

C. Abstracción mediante ingeniería inversa, es la fase de mayor rigor científico. Implica decodificar los mecanismos biológicos para separarlos de su sustrato orgánico. Para ello, se integra una metodología de Ingeniería Inversa de Sistemas Biológicos:

- *Adquisición de datos:* Uso de microscopía electrónica de barrido (SEM) o tomografía para visualizar la microestructura interna de los referentes.
- *Modelado digital:* Creación de modelos geométricos (ej. estructuras Voronoi o reticulares) que repliquen la lógica estructural observada.
- *Validación computacional:* Aplicación de simulación de elementos finitos, para verificar que la geometría abstraída cumple la función mecánica antes de ser fabricada.

D. Emulación y Material Driven Design (MDD), finalmente, los principios abstraídos se materializan. Dado que se buscan biomateriales, se aplica el enfoque Material Driven Design (Karana *et al.*, 2015). Esto invierte el proceso tradicional: en lugar de forzar un material a una forma predefinida, se parte de las propiedades y la experiencia sensorial del biomaterial cultivado (ej. micelio o biopolímeros) para descubrir nuevas aplicaciones de

diseño mediante la experimentación directa, asegurando que el resultado final cumpla con los “Principios de la Vida” de sostenibilidad sistémica (Riechmann, 2003).

3.2. Protocolo de interrogación: la búsqueda de análogos vivos

La metodología biomimética comienza con la identificación de modelos biológicos que ya han resuelto el problema funcional que se enfrenta. En el medio natural, no existe el concepto de “residuo”; observamos una diversidad de envolturas y coberturas que acogen vida, funcionando en un justo balance con el medio y en perfecto equilibrio entre forma-materia y función (Di Bartolo, 1981).

Para interrogar a la naturaleza, analizamos Envases Naturales que destacan por su eficiencia en dos dimensiones clave:

- *Protección Estructural*: La naturaleza logra máxima resistencia con mínimo material mediante el uso de geometrías complejas. Vainas flexibles, conchas de moluscos o la cáscara de nuez (Ver Figura 1) son ejemplos de cómo la forma estructural sustituye la necesidad de grandes volúmenes de masa, protegiendo el contenido de impactos y depredadores.
- *Comunicación e Interfaz*: Más allá de contener, el envase natural posee la capacidad de comunicar datos críticos al entorno. Como se observa en el proceso de maduración de frutos climatéricos (Ver Figura 2), la piel actúa como una interfaz inteligente que, mediante cambios cromáticos y texturales, informa sobre el estado químico del contenido sin necesidad de etiquetas añadidas.

Como señalan Somoza y Gandman (2004), la naturaleza ya ofrece un vasto repertorio de enseñanzas sobre eficacia. A diferencia del diseño industrial tradicional, que tiende a usar moldes rígidos y estáticos, la naturaleza diseña sistemas dinámicos. Este enfoque se alinea con la visión de Bruno Munari (1966), quien describía a la naranja y los guisantes como “packagings perfectos”: de la forma y estado del contenido nace la forma y apariencia de su embalaje.

- *La Geometría de la Eficiencia: Configuraciones Áureas*: al profundizar en el protocolo de interrogación, no solo observamos la materia, sino la disposición matemática de la misma. Como se desprende de la literatura clásica y los estudios de Fibonacci, existen configuraciones en la naturaleza –como la espiral logarítmica observada en conchas y caracoles– que responden a una lógica de crecimiento eficiente. El “Número Áureo” ($\Phi \approx 1.618$) no es aquí un mero ideal estético renacentista, sino una estrategia de optimización de recursos. En el diseño de packaging, esta conexión entre biomimética y geometría se traduce en tres principios aplicables:

Empaquetamiento eficiente: Al igual que la disposición de las semillas en un girasol sigue la sucesión de Fibonacci para maximizar el uso del espacio sin dejar huecos, el diseño de envases puede utilizar estos patrones para optimizar el almacenamiento y transporte (paletizado), reduciendo la huella de carbono logística.

Resistencia por geometría: La espiral logarítmica permite que organismos como los moluscos crezcan manteniendo su resistencia estructural sin necesidad de añadir un peso excesivo de material. Esto valida la hipótesis de que la resistencia de un envase no depende del grosor de sus paredes (más material), sino de su inteligencia geométrica (mejor diseño).

Justeza material: La proporción áurea en la naturaleza es sinónimo de economía. Aplicar estas “configuraciones de la naturaleza” nos permite generar estructuras de packaging que utilizan la mínima cantidad de biomaterial para lograr la máxima función de contención.

En suma, la biomimética decodifica estas reglas matemáticas no para replicar la forma por capricho artístico, sino para emular la estrategia de hacer más con menos, un imperativo para la sostenibilidad industrial.



1



2

Figura 1. Estrategias de contención, eficiencia morfológica y protección estructural en análogos biológicos (Fuente: Elaboración propia, 2026). **Figura 2:** Interfaces biológicas activas y como sistema de comunicación: variación cromática en secuencia de maduración como indicador de estado del contenido (Fuente: Elaboración propia, 2026).

4. Hacia una nueva materialidad: biomateriales avanzados para packaging

La aplicación de los protocolos biomiméticos culmina inevitablemente en una redefinición tangible de la materia prima. Al abandonar la dependencia de los polímeros fósiles, el diseño de packaging se adentra en un nuevo territorio de exploración: la síntesis de sustratos bio-basados. En esta sección se analiza la taxonomía actual de estos materiales avanzados, clasificándolos según su origen biológico y evaluando su potencial para sustituir funcionalmente a los plásticos convencionales, sin perder de vista los desafíos normativos y de percepción que conlleva su introducción al mercado.

4.1. Síntesis y clasificación de compuestos bio-basados

En el contexto del packaging, el objetivo es emular la capacidad de la naturaleza para generar contenedores que, tras cumplir su propósito de protección, se desvanecen sin dejar rastro tóxico, integrándose nuevamente en los ciclos biológicos. Esto impulsa la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) hacia materiales que no solo sean biodegradables, sino que provengan de fuentes naturales y renovables. Sin embargo, para una implementación efectiva en el diseño industrial, es imperativo clarificar conceptos que a menudo se confunden. Como se desprende de la literatura técnica, no todo material biodegradable es necesariamente compostable, ni todos provienen de fuentes vegetales sostenibles. Mientras la biodegradabilidad refiere a la capacidad de descomposición por acción biológica, la compostabilidad implica una degradación controlada que resulta en abono orgánico, cerrando efectivamente el ciclo de nutrientes (el concepto de waste to nutrient).

En el panorama actual, los materiales bioinspirados fusionan la observación meticulosa de la naturaleza con la ingeniería, identificándose una taxonomía clara que clasifica estos polímeros según su origen biológico:

- *Origen vegetal (polisacáridos y fibras)*: Son los más extendidos. Aquí destacan los almidones (termoplásticos TPS obtenidos de maíz, plátano o papa) y la Celulosa, base de películas como el celofán o el Natureflex. A estos se suman fibras de alta resistencia mecánica como el Bambú, Cáñamo y Lino, recursos renovables esenciales para dar rigidez estructural a pulpas de papel y cartón. También se incluyen las resinas vegetales (goma arábiga y guar) y proteínas vegetales (soja y trigo) utilizadas en films.
- *Origen animal (proteínas y ceras)*: Inspirados en la eficiencia proteica animal. Se incluyen materiales como la Caseína (proteína de la leche) y el Colágeno para recubrimientos comestibles; la Cera de abejas para impermeabilización; y desarrollos avanzados basados en la Seda o fibras artificiales de Tela de Araña, que combinan una elasticidad y resistencia extraordinarias para aplicaciones de alto rendimiento.
- *Origen microbiano y fúngico*: Representan la vanguardia biotecnológica. Por un lado, las bacterias sintetizan poliésteres como los PHA/PHB (bioplásticos termoformables y totalmente biodegradables). Por otro lado, destaca el uso del Mielcelio de hongos, cuya estructura en forma de red permite “cultivar” materiales de embalaje ligeros y resistentes (sustitutos del poliestireno expandido) que actúan como aglomerantes naturales.

- *Origen marino y mineral*: Desde los océanos obtenemos Carragenina (algas rojas), Agar y Alginatos para geles y barreras al oxígeno, además del Quitosano (de desechos de crustáceos) por sus cualidades antimicrobianas. Desde el reino mineral bio-inspirado, se investigan estructuras de Zeolita y sílice biogénico (esqueletos de diatomeas) para crear envases de baja permeabilidad.
- *Sintéticos de origen renovable*: El protagonista indiscutible sigue siendo el Ácido Poliláctico (PLA), derivado químicamente del almidón. Su capacidad de ser extruido a alta temperatura lo convierte en el sustituto directo de plásticos rígidos convencionales, siendo compostable en instalaciones industriales.

A pesar de que estos materiales presentan desafíos técnicos, como una mayor permeabilidad al vapor de agua y sensibilidad a la humedad en comparación con los plásticos fósiles, representan la materialización de la “conciencia sostenible”. La transición hacia estos biopolímeros no es solo una sustitución de material, sino una estrategia de valorización del producto: el envase deja de ser un residuo problemático para convertirse en un nutriente potencial para el sistema, cumpliendo con la premisa biomimética de que la basura, como concepto, no debería existir.

4.2. Cerrando el ciclo: validación técnica y normativa

La identificación del biomaterial es solo el primer paso. Para que la metodología biomimética sea efectiva, se requiere un rigor científico que valide la promesa de sostenibilidad. Es imperativo analizar y comparar la biodegradabilidad real de estos sustratos (celulosa, bambú, almidones, etc.) en diferentes condiciones ambientales.

Posteriormente, se debe investigar la huella de los procesos de producción y reciclaje. El objetivo es determinar cuáles son los más sostenibles en términos de emisiones de carbono y uso de recursos, evitando el greenwashing. Otro aspecto crucial es el análisis de las políticas y normativas existentes. El diseño debe proponer medidas para mejorar la eficacia de estas regulaciones, asegurando que lo que se fabrica como “compostable” realmente se gestione como tal y no termine en un vertedero, rompiendo el ciclo natural.

4.3. Valorización del producto y percepción del usuario

Finalmente, la nueva materialidad debe enfrentar la prueba del mercado. Es necesario evaluar la percepción y el comportamiento de los consumidores hacia los productos con packaging bio-basado. *¿Cómo afecta esto a la decisión de compra?* La metodología propone que el material no es solo un contenedor, sino una propuesta de valor: el envase comunica “conciencia”. Identificar los desafíos que enfrentan las empresas al adoptar estas prácticas es vital para proponer soluciones que hagan viable la transición hacia una industria de empaques que, al igual que la naturaleza, funcione con un balance positivo.

Conclusiones

El recorrido expuesto en esta investigación evidencia que la crisis del modelo lineal de producción y consumo no puede resolverse con las mismas herramientas que la crearon. La transición desde los polímeros fósiles hacia una nueva materialidad exige un cambio epistemológico en el diseño industrial: abandonar la mentalidad extractiva para adoptar una lógica de aprendizaje biológico.

Como se ha demostrado, la metodología biomimética posee el potencial de transformar radicalmente el campo del diseño sostenible. Al integrar este enfoque no como una herramienta estilística o formal, sino como un protocolo riguroso de ingeniería inversa y síntesis material, se hace posible desarrollar soluciones de packaging que trascienden el paradigma de “ser menos malos” (reducción de daño) para aspirar a sistemas verdaderamente regenerativos.

Los datos y taxonomías analizados sugieren que estamos ante una convergencia histórica: la biología sintética, la ciencia de materiales y el diseño computacional permiten, por primera vez, replicar la complejidad jerárquica de la naturaleza a escalas industriales. Hemos visto que materiales como el micelio, los polímeros bacterianos (PHA) y las fibras proteicas no son meros sustitutos ecológicos del plástico; representan una nueva clase de materia “programable” biológicamente, capaz de responder a requerimientos técnicos específicos sin generar pasivos ambientales.

En definitiva, la “conciencia sostenible” que titula este trabajo no es una aspiración abstracta. Emerge de la comprensión profunda de que diseñar un envase es diseñar un ciclo de vida completo, donde la forma, la función y la degradación están intrínsecamente conectadas, operando con la misma eficiencia y coherencia sistémica que observamos en cualquier fruto o semilla de la naturaleza.

Agradecimiento: La autora A. Llorens, expresa su agradecimiento a la Universidad del Bío-Bío, Chile, por intermedio del Comité de Perfeccionamiento, por el apoyo brindado para la realización de sus estudios de Doctorado en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV-ETSII), España, marco académico en el cual se gestó la presente investigación.

Referencias bibliográficas

- Alexandridis G., Tzetzis D. & Kyratsis P. (2016) Biomimicry in Product Design through Materials Selection and Computer Aided Engineering. In IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 161(1), p. 012046. IOP Publishing.
- Ambrose, G., & Harris, P. (2009). *The Fundamentals of Packaging Design*. AVA Publishing.
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. William Morrow & Co.
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. William Morrow & Co.
- Biomimicry Institute. (2021). *The Biomimicry Design Spiral*. Biomimicry Toolbox. <https://toolbox.biomimicry.org/methods/process/>
- Boylston, S. (2009). *Designing Sustainable Packaging*. Laurence King Publishing.

- Brizuela, L. (2014). El diseño de packaging y su contribución al desarrollo de pequeños y medianos emprendimientos. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, (49), 159-173.
- Calver, G. (2004). What is Packaging Design?. RotoVision.
- Candil, N. (2024). Tendencias en el estudio de packaging: una revisión sistemática de la literatura. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-16.
- Cartea, P. Á. M. (2006). Crisis ambiental y globalización: Una lectura para educadores ambientales en un mundo insostenible. *Trayectorias*, 8(20-21), 110-123.
- Castañeda Parrado A.M., Trujillo Quintero H. F (2015). “Universidad y sostenibilidad: una aproximación teórica para su implementación.” *AD-minister* 26, p.p. 149-163.
- Ciravegna, E. (2017). Diseño de packaging. Una aproximación sistémica a un artefacto complejo. *RChD: creación y pensamiento*, 2(3).
- Di Bartolo, C. (1981). *Strutture naturali e modelli bionici*. Milano, Italia: Istituto Europeo di Design (IED).
- Gaznares Rimbau, S. (2021). Estudio de nuevas alternativas de packaging sostenible para envases take away (Bachelor’s thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Helms, M., Vattam, S. S., & Goel, A. K. (2009). Biologically inspired design: process and products. *Design Studies*, 30(5), 606–622. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2009.04.003>
- Jedlicka, W. (2009). *Packaging Sustainability: Tools, Systems and Strategies for Innovative Package Design*. John Wiley & Sons.
- Karana, E., Barati, B., Rognoli, V., & Zeeuw van der Laan, A. (2015). Material Driven Design (MDD): A method to design for material experiences. *International Journal of Design*, 9(2), 35–54.
- Klimchuk, M. R., & Krasovec, S. A. (2012). *Packaging Design: Successful Product Branding*. John Wiley & Sons.
- Leonard, A. (2010). *The Story of Stuff: How Our Obsession with Stuff Is Trashing the Planet, Our Communities, and Our Health*. Free Press.
- Llorens, A., & Hernandis, B. (2025). Innovación biomimética aplicada en diseño: micelio como material biobasado para packaging sostenible. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, (274), 35-45.
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press.
- Munari, B. (1966). *El arte como oficio [Arte come mestiere]*. Laterza.
- Papanek, V. (1995). *The Green Imperative: Natural Design for the Real World*. Thames and Hudson.
- Pawlyn, M. (2011). *Biomimicry in Architecture*. RIBA Publishing.
- Riechmann, J. (2003). Biomimesis. *El ecologista*, 36, 28-31.
- Romero, G. D. (2019). Progresando hacia un modelo de economía circular. *Economía y Medio Ambiente*, 211.
- Schmitt, O. H. (1969). Some interesting and useful biomimetic transforms. En *Proceedings of the Third International Biophysics Congress* (p. 297). Boston, MA: IUPAB.
- Somoza E., Gandman A. (2004). *Packaging: aprehender el envase*. Ed. Nobuko, Buenos Aires, Argentina.
- Vergheze, K., Lewis, H., & Fitzpatrick, L. (2012). *Packaging for Sustainability*. Springer.

Vincent, J. F., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., & Bowyer, A. (2006). Biomimetics: its practice and theory. *Journal of the Royal Society Interface*, 3(9), 471-482.

Wahl, D. C. (2016). *Designing Regenerative Cultures*. Triarchy Press.

Abstract: The planetary sustainability crisis and the need to decarbonize the value chain demand a radical reorientation and reconceptualization of industrial design practices, prioritizing resilience and ecological responsibility throughout the product life cycle. This research proposes the development of an exploratory methodological framework based on biomimicry for the conceptualization of new biomaterials applicable to the packaging industry. The methodological approach transcends mere formal analogy to constitute a design and research paradigm. It establishes a protocol oriented towards interrogating nature's material strategies, aiming to identify and characterize living analogues that exhibit properties of protection, structural efficiency, and an inherently sustainable end-of-life profile. The goal is to transfer these solutions to the creation of advanced biomaterials. The methodology focuses on the reverse translation of biological material efficiency into the synthesis of bio-based compounds for packaging. This approach not only grounds material innovation but also promotes a deep ecological consciousness by scientifically validating the primacy of biological systems as a source of high-performance and low-systemic-impact solutions. It is determined that biomimicry serves as an inexhaustible source for exploring innovative technologies that elevate the product's value proposition by transforming waste packaging into raw material that closes the loop. The study concludes that a biomimetic methodology is essential to consolidate a design practice that fosters deep ecological consciousness through materiality, positioning nature as the central axis of sustainable technology.

Keywords: Biomaterials - Biomimicry - Biopolymers - Circular economy - Design methodology - End-of-Life - Material efficiency - Packaging design - Reverse engineering - Sustainable design

Resumo: A crise de sustentabilidade planetária e a necessidade de descarbonizar a cadeia de valor exigem uma reorientação e uma reconceptualização radical das práticas de design industrial, priorizando a resiliência e a responsabilidade ecológica no ciclo de vida dos produtos. Esta investigação propõe o desenvolvimento de um quadro metodológico exploratório baseado no biomimetismo para a conceptualização de novos biomateriais aplicáveis na indústria de embalagens. A abordagem metodológica transcende a mera analogia formal para constituir-se num paradigma projetual e de investigação. Estabelece um protocolo orientado a interrogar as estratégias materiais da natureza, com o fim de identificar e caracterizar análogos vivos que exibam propriedades de proteção, eficiência estrutural e um perfil de fim de vida inerentemente sustentável. A finalidade é transferir estas soluções para a criação de biomateriais avançados. A metodologia centrar-se-á na tradução inversa da eficiência material biológica para a síntese de compostos de base bio-

lógica para embalagens. Esta aproximação não só fundamenta a inovação material, mas também promove uma consciência ecológica profunda ao validar cientificamente a primazia dos sistemas biológicos como fonte de soluções de alto desempenho e baixo impacto sistémico. Determina-se que o biomimetismo é uma fonte inesgotável para a exploração de tecnologias inovadoras que elevam a proposta de valor do produto, ao transformar a embalagem descartada em matéria-prima que fecha o ciclo. Conclui-se que uma metodologia biomimética é essencial para consolidar uma prática projetual que fomenta uma consciência ecológica profunda através da materialidade, situando a natureza como o eixo central da tecnologia sustentável.

Palavras-chave: Biomateriais - Biomimetismo - Biopolímeros - Design de embalagens - Design sustentável - Economia circular - Eficiência material - Engenharia reversa - Fim de vida (End-of-Life) - Metodologia projetual
