

Diseño bioinspirado: compuesto sostenible para proyecto de cobogós

Ana Karla Freire de Oliveira ⁽¹⁾ y
Antônio Roberto Miranda de Oliveira ⁽²⁾

Resumen: Los materiales compuestos de bajo impacto ambiental se han convertido en un foco de estudio en diversas áreas del conocimiento, como el diseño y la ingeniería. Este interés se justifica por la creciente preocupación por cuestiones ambientales, directamente relacionada con la economía circular, que se presenta como una solución viable para estos desafíos. La presente investigación analiza las posibilidades de aplicación de un compuesto formado por polvo de cáscaras de huevo como carga en una matriz polimérica vegetal en soluciones de diseño bioinspirado.

El estudio comienza con una revisión bibliográfica sobre materialidades sostenibles y diseño bioinspirado, y luego realiza y describe los resultados de ensayos físico-mecánicos del compuesto, siguiendo las normas ASTM. La metodología del Diseño Orientado por Materiales –*Material Driven Design* (MDD)– guió el análisis del material, explorando no solo sus propiedades técnicas, sino también sus características sensoriales. Los resultados indicaron que el compuesto es aplicable en la producción de cobogós, elementos perforados que proporcionan iluminación y ventilación sin comprometer la privacidad de los espacios. El estudio se basó en los principios de la biomimética para el desarrollo de las piezas de cobogó, integrando sostenibilidad al diseño y abordando cuestiones relacionadas con la economía circular. Los cobogós fueron desarrollados mediante modelado digital, inspirándose en organismos naturales.

Palabras clave: Diseño bioinspirado - Fabricación digital - Ecocompuestos - Ecodiseño - Cobogó - Economía circular - Cáscaras de huevo - Resina de ricino

[Resúmenes en inglés y en portugués en las páginas 223-224]

⁽¹⁾ Ana Karla Freire de Oliveira, Postdoctorado en Diseño en la Universidad de Aveiro, Portugal. Doctorado en Ingeniería de Materiales y Procesos Metalúrgicos por la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro (Brasil). Maestría en Ingeniería Agrícola por la Universidad Federal de Campina Grande. Licenciatura en Diseño Industrial por la Universidad Federal de Paraíba (Brasil). Profesora Asociada del Curso de Diseño Industrial y del Programa de Posgrado en Diseño de la Universidad Federal de Campina Grande, Unidad Académica de Diseño. Ha trabajado durante 12 años como Profesora e Investigadora en la Universidad Federal de Río de Janeiro, en el curso de Diseño Industrial y en el Programa de Posgrado en Diseño. Durante dos años, fue Científica Joven de Nuestro Estado (FAPERJ), coordinando proyectos de innovación y sostenibilidad en el ámbito del diseño.

Coordinadora del Sistema INOVA de la Escuela de Bellas Artes de la Universidad Federal de Río de Janeiro. Evaluadora de revistas y del comité científico de congresos en el área del diseño y la ingeniería. Coordinadora del Grupo de Investigación LED, Laboratorio de Experimentaciones en Diseño (CNPq). Su labor académica se desarrolla en las áreas de diseño y materiales, con enfoque en los siguientes temas: aspectos para la selección de materiales en el diseño, compuestos sostenibles, bambú laminado pegado, economía circular y experiencia material en el ámbito del diseño.

⁽²⁾ **Antônio Roberto Miranda de Oliveira**, actualmente es Profesor titular en el Departamento de Diseño en la UFCG (Universidad Federal de Campina Grande), Unidad Académica de Diseño. Fue Profesor Sustituto en la Universidad Federal de Pernambuco (UFPE), en el departamento de Diseño, y Profesor Adjunto en el Centro Universitário AESO-Barros Melo (UNIAESO), donde enseñó en los cursos de Diseño Gráfico y Diseño de Animación. Fue Profesor Sustituto en la UFPB, en el departamento de Diseño. Fue profesor de Diseño en la CESAR School y en la maestría Profesional en Manaus (Brasil). Doctor en Diseño, en la línea Diseño y Tecnología (UFPE). Tiene una Licenciatura en Diseño y una Maestría en Diseño, ambas por la Universidad Federal de Pernambuco (UFPE). Investigador en el BioDesign Lab (UFPE), Hybrid Design Lab (Italia) y en VirtuHab- Tecnologías Sostenibles (UFSC). Forma parte del Comité Científico del ENSUS (Encuentro de Sostenibilidad en Proyecto) y del SDS (Simposio de Diseño Sostenible) UFSC, además de ser evaluador de la revista *Mix Sostenible* (ISSN-2447-3073). Su área de actuación incluye los siguientes campos del conocimiento: Diseño Industrial, Diseño de Productos, Diseño de productos físico-digitales (*phigitals*), Experiencia de Usuario, Herramientas tecnológicas, Diseño de interacción, Realidad virtual, Biomimética, Diseño bioinspirado, Fabricación digital y Modelos físicos y digitales.

Introducción

La búsqueda de materiales con menor impacto ambiental se ha intensificado en las últimas décadas, impulsada por la creciente preocupación por reducir la acumulación de residuos en el planeta. En este contexto, los materiales compuestos alternativos provenientes del reaprovechamiento de residuos sólidos presentan una solución viable, especialmente en el ámbito del diseño. Este artículo tiene como objetivo principal evaluar la posibilidad de valorizar el residuo de cáscaras de huevo de gallina como carga en una matriz de poliuretano derivada del aceite de ricino, con vistas a su aplicación en artefactos de diseño bioinspirado.

Este estudio reflexiona sobre acciones en el ámbito del diseño sostenible mediante la metodología del Diseño Orientado por Materiales—*Material Driven Design* (MDD), un enfoque en el cual las propiedades técnicas y características sensoriales de los materiales son el punto de partida para el desarrollo de productos. El proceso de diseño parte de la exploración de las cualidades intrínsecas de los materiales, como textura, color, flexibili-

dad, durabilidad, propiedades sensoriales, ambientales y técnicas. Así, el MDD busca la innovación mediante el descubrimiento de nuevas posibilidades proporcionadas por la experimentación con materiales, permitiendo que la materialidad guíe el proceso creativo de diseño. El Diseño Orientado por Materiales, en un contexto ambiental, prioriza el uso de materiales alternativos –reciclables, biodegradables o residuos del antropoceno– con el objetivo de reducir el impacto ambiental generado por diversas acciones humanas. De esta forma, se crean artefactos que no solo cumplen con demandas funcionales y estéticas, sino que también promueven una narrativa material que conecta de forma más profunda al usuario con el medio ambiente a través del objeto diseñado.

En este contexto, la presente investigación se realizó en colaboración académica entre los Programas de Posgrado en Diseño de la Universidad Federal de Río de Janeiro y la Universidad Federal de Campina Grande, en el ámbito del Laboratorio de Experimentaciones en Diseño (LED), que desarrolla experimentos con materiales reutilizando diversos residuos y explorando sus posibilidades de aplicación en el diseño. Entre tantas posibilidades y variedades de residuos sólidos, se eligieron las cáscaras de huevo como carga en una matriz de poliuretano de origen vegetal, debido a su abundancia y al riesgo que representan para la sociedad y el medio ambiente si no se aprovechan adecuadamente.

Así, esta investigación representa un estudio exploratorio de las propiedades físicas, sensoriales, ecológicas y de maquinado del compuesto, además de analizar sus posibilidades de aplicación en el ámbito del diseño, específicamente en el desarrollo de cobogós bioinspirados. Para ello, el MDD se adoptó junto con ensayos técnicos de laboratorio para describir las propiedades físicas del compuesto. Las cáscaras de huevo representan un material de calidad por explorar, como se mostrará más adelante.

Según el Informe Anual 2022 de la Asociación Brasileña de Proteína Animal (ABPA), incluso enfrentando dificultades durante 2021, el sector registró un aumento en la producción de unidades y atendió a una creciente demanda en el país. Para efectos de comparación, en 2020 el consumo de huevos en Brasil fue de 251 unidades por habitante, aumentando en 2021 a 257 unidades por habitante. Para satisfacer esta demanda, se produjeron 54.973 millones de unidades, de las cuales el 99,54% se destinó al mercado interno. En 2023, se produjeron 52,4 mil millones de unidades, con una exportación de 25,4 mil toneladas (enero/diciembre 2023) y un consumo *per cápita* de 242 unidades (ABPA, 2024). El *Gráfico 1* ilustra el consumo de huevos en Brasil *per cápita* en el período de 2010 a 2024, según la ABPA.

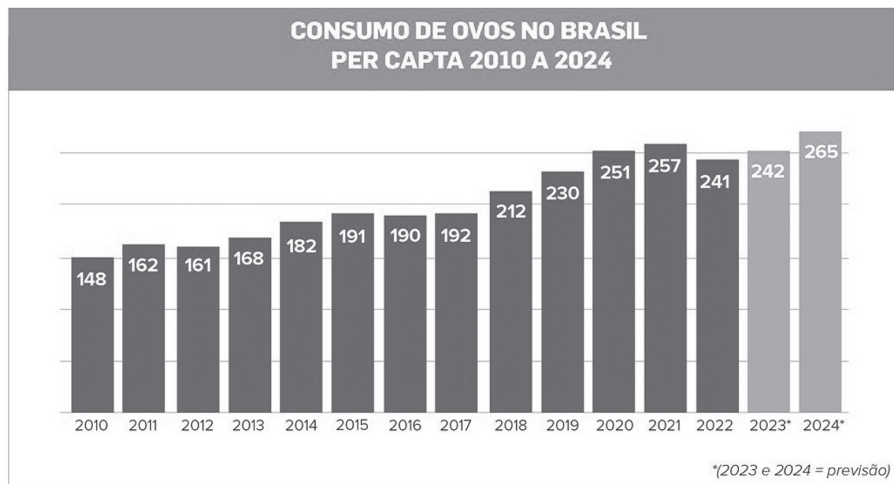


Gráfico 1. Consumo de huevos en Brasil *per cápita* 2010 a 2024 (Fuente: Datos básicos-ABPA. Adaptado de Of, 2024).

Considerando que el crecimiento de la población implica un aumento en la producción de bienes alimenticios, se tiene como consecuencia la generación de más residuos destinados a vertederos de forma inadecuada. Es necesario, por lo tanto, reflexionar sobre las posibilidades y la viabilidad económica de que las industrias procesen este material (residuos de cáscaras de huevo) con miras a su aplicación en la producción de diversos bienes, analizando, en paralelo, el impacto que tal acción podría presentar al medio ambiente. El compuesto aquí propuesto presenta cierta originalidad considerando sus componentes, pudiendo representar una innovación material y estética en el ámbito del diseño.

Para el desarrollo del compuesto alternativo de este estudio, se consideraron los principios del Diseño Orientado por Materiales (*Material Driven Design-MDD*) mediante la experimentación autoral, la Economía Circular y la Biomimética. En relación con el campo de la experimentación material desde la perspectiva de los diseñadores, Lefteri (2017) definió a estos profesionales como “*nuevos materiologistas*”, citando como ejemplo a la diseñadora británica Suzanne Lee y sus experiencias en el campo del diseño sostenible y bioinspirado. El proyecto *BioCouture* explora la creación de tejidos y materiales a partir de organismos vivos, como bacterias y hongos, en un proceso llamado biotecnología textil. Para mí, Suzanne Lee y su equipo son ‘nuevos materiologistas’, un término que identifica a un número creciente de personas creativas en industrias que están desarrollando nuevos materiales (Lefteri, 2017: 60).

En el ámbito académico de la experimentación material, se destaca el trabajo de la investigadora y profesora Elvin Karana de la *Delft University of Technology*, coordinadora del

Materials Experience Lab. Su trabajo con MDD es uno de los más citados en el área de experiencia material en el campo del diseño. Así, este estudio tiene una metodología de perfil exploratorio en el ámbito de los materiales alternativos, apoyada por una revisión teórica contextualizada al tema de la investigación.

Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica fue fundamental para proporcionar una base teórica sólida y contextualizada con el tema propuesto en este artículo. El objetivo fue identificar investigaciones previas relevantes al tema abordado, permitiendo un análisis crítico del contenido y posibilitando la construcción de una guía para las acciones a adoptar en el desarrollo del estudio. Se analizaron informaciones provenientes de tesis, disertaciones, artículos científicos, reportajes, libros y sitios web, utilizando palabras clave contextualizadas con el tema de la investigación. De esta forma, la revisión teórica abordó los siguientes temas: 1) Economía Circular; 2) Residuos de cáscaras de huevo; 3) Compuestos alternativos; 4) Experimentación material en el ámbito de la metodología del Diseño Orientado por Materiales-MDD; 5) Diseño bioinspirado y, por último, 6) Breve historia de los cobogós.

Economía Circular

Según Ellen MacArthur, la economía circular es un sistema económico que busca eliminar el concepto de basura, manteniendo los productos, componentes y materiales en su más alto nivel de utilidad y valor en todo momento. A diferencia del modelo de economía lineal tradicional (extracción, fabricación, consumo y desecho), la economía circular prioriza la regeneración y el cierre de los ciclos de vida de los productos. Este enfoque reduce el impacto ambiental, generando nuevas oportunidades económicas al transformar residuos –como las cáscaras de huevo– en recursos valiosos.

En este escenario de transición de una economía lineal a una economía circular, el diseño tiene un papel fundamental al adoptar buenas prácticas de proyecto: los productos deben ser diseñados desde el principio con la circularidad en mente. Acciones de diseño como el desmontaje facilitado, el reciclaje y la reutilización de materiales evitan la extracción de nuevos recursos, minimizando la generación de residuos. De esta forma, el concepto de economía circular se alinea con el objetivo de esta investigación, al asociar el desarrollo económico con un uso efectivo de recursos reutilizables, con menor dependencia de materia prima virgen y costosa.

De este modo, el compuesto desarrollado en este trabajo se ajusta a los principios de la economía circular, especialmente en lo que respecta al diseño de artefactos a partir del aprovechamiento de residuos sólidos (cáscaras de huevo) como materia prima (nutrientes) dispersa en una matriz de origen vegetal, el poliuretano derivado del aceite de ricino (material de origen renovable).

Residuos de cáscaras de huevo

Manzini (2007) señala que es necesario repensar la durabilidad de los artefactos y su vida útil, considerando materiales que serían descartados como materia prima para nuevas creaciones en el ámbito del diseño y otras áreas. En este sentido, el compuesto formado por cáscaras de huevo de gallina en polvo como carga en una matriz de poliuretano derivada del aceite de ricino se consideró un punto de partida para observaciones y manipulaciones materiales con una metodología accesible y de carácter experimental. Según la Cartilla del Plan de Gestión de Residuos Sólidos (PGRS), elaborada por el gobierno brasileño en 2014, basada en la Ley N°12.305, de 2 de agosto de 2010, existe un orden de prioridad en el sistema de gestión de residuos sólidos, siguiendo principios de sostenibilidad y protección ambiental. Este orden de prioridad es conocido como la jerarquía de residuos y está compuesto por cinco etapas (*Ver Gráfico 2*). Esta jerarquía orienta tanto al sector público como al privado a adoptar prácticas más sostenibles en la gestión de residuos, priorizando acciones que reduzcan el impacto ambiental y promuevan el uso responsable de los recursos.

No Generación	Reducción	Reutilización	Reciclaje	Tratamiento y Disposición Final
La prioridad es evitar la generación de residuos. Acciones a tomar: cambios en los procesos productivos, en la elección de materiales y en el comportamiento de los consumidores para reducir la cantidad de residuos generados.	Cuando no se puede evitar la generación de residuos, la solución es minimizar la cantidad generada. Acciones: uso eficiente de recursos, diseño de productos más duraderos y adopción de prácticas que reduzcan la producción de residuos.	Antes de desechar un artículo, se debe considerar si puede ser reutilizado en su forma original, prolongando su vida útil y reduciendo la necesidad de nuevos recursos.	Si el residuo no puede ser reutilizado, el reciclaje es la siguiente etapa de la jerarquía. Acciones: implica la transformación de los residuos en nuevos productos, evitando el uso de materias primas vírgenes y reduciendo el impacto ambiental del desecho.	Como penúltima opción, cuando las alternativas anteriores no son viables, los residuos deben someterse a un tratamiento adecuado para minimizar su impacto antes de ser dispuestos en lugares apropiados, como vertederos sanitarios.

Gráfico 2. Jerarquía de residuos y sus etapas según el PGRS (Fuente: Adaptado de Cardoso, 2017).

De esta forma, el reciclaje de los residuos de cáscaras de huevo cuenta con el respaldo de la legislación vigente, proporcionando ventajas a la sociedad brasileña y mundial, al disminuir tanto el impacto ambiental causado por su desecho en vertederos como la transmisión de enfermedades a la población. Cabe destacar, además, que el reciclaje de cáscaras de huevo para la producción de productos también preserva recursos naturales no renovables, beneficiando no solo al medio ambiente, sino también a la economía. Ejemplos de materiales que podrían ser reemplazados por el residuo de cáscara de huevo, tras tratamientos específicos, incluyen: caolín, yeso y caliza (Monte, 2003).

Las cáscaras de huevo (*Ver Figura 1*) presentan una composición rica en sales minerales, sirviendo como base para las más diversas industrias; sin embargo, todavía son poco valoradas (Oliveira, et al., 2009). La cáscara de huevo de gallina contiene aproximadamente un 40% de Ca (el mineral más abundante) en forma de carbonato de calcio (CaCO_3), magnesio (Mg), estroncio (Sr), hierro (Fe), selenio (Se), entre otros (Schaafsma *et al.*, 2000; Rovenský *et al.*, 2003). La cáscara de huevo equivale aproximadamente al 10% del peso del huevo in natura, y se estima que 7,2 millones de toneladas de cáscaras de huevo son desechadas anualmente en el mundo (Lopez, 2016).

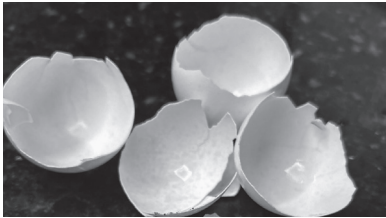


Figura 1.
Cáscaras de huevos
blancos de gallina
(Fuente: Autores).

Según Neves (1998) y Boron (2004), la cáscara de huevo es un residuo poco valorado, pero que representa un potencial valor económico. Deben considerarse aspectos ambientales en la valorización de las cáscaras de huevo, ya que, además de reducir el problema de la contaminación, cuando estas son desechadas directamente en el medio ambiente, contienen un contenido considerable de proteínas. El uso de estas cáscaras como fuente alternativa de CaCO_3 (carbonato de calcio) puede disminuir el impacto sobre las reservas naturales de roca caliza, una fuente natural no renovable.

La cáscara de huevo equivale aproximadamente al 10% del peso del huevo in natura, y se estima que 7,2 millones de toneladas de cáscaras de huevo son desechadas anualmente en el mundo (Lopez, 2016). Debido a su matriz orgánica, el residuo de las cáscaras de huevo, cuando se elimina directamente en el medio ambiente, puede ocasionar problemas para la salud pública, ya que puede atraer insectos, plagas y favorecer la proliferación de microorganismos. Por lo tanto, se están estudiando diversas acciones para mitigar estos efectos,

tales como: el uso de los residuos en la agricultura, corrigiendo el pH de suelos ácidos; el desarrollo de productos para la industria cosmética; suplementos alimenticios; bases cerámicas; fertilizantes; implantes óseos y dentales; y en el desarrollo de compuestos alternativos para la construcción civil y el diseño, tema que será abordado en el próximo apartado.

Compuestos Alternativos y el aprovechamiento de cáscaras de huevo

Antes de exponer el concepto de compuestos alternativos, es necesaria una breve explicación de lo que son los materiales compuestos. Según Callister (2002: 359), un compuesto es “*cualquier material multifásico que exhiba una proporción significativa de las propiedades de ambas fases que lo constituyen, de tal manera que se obtiene una mejor combinación de propiedades*”. En este sentido, utilizando el principio de la acción combinada, se busca mejorar propiedades mecánicas, tales como tracción, flexión, dureza, impacto, resistencia térmica y al medio ambiente.

Los compuestos son considerados nuevos materiales, desarrollados artificialmente y constituidos por materias primas químicamente diferentes, separadas por una interfaz. Estos materiales presentan propiedades superiores o mejoradas en comparación con sus componentes individuales. En general, los compuestos están formados por dos fases: la matriz, que es continua y rodea a la otra fase, normalmente llamada fase dispersa.

De acuerdo con Callister (2002), las propiedades de los compuestos son funciones de las propiedades de las fases constituyentes, de sus cantidades relativas y de la geometría de la fase dispersa. Por geometría de la fase dispersa se entiende la forma, el tamaño, la distribución y la orientación de sus partículas. La *Figura 2* ilustra el esquema de clasificación para los diferentes tipos de compuestos según la geometría de la fase dispersa:

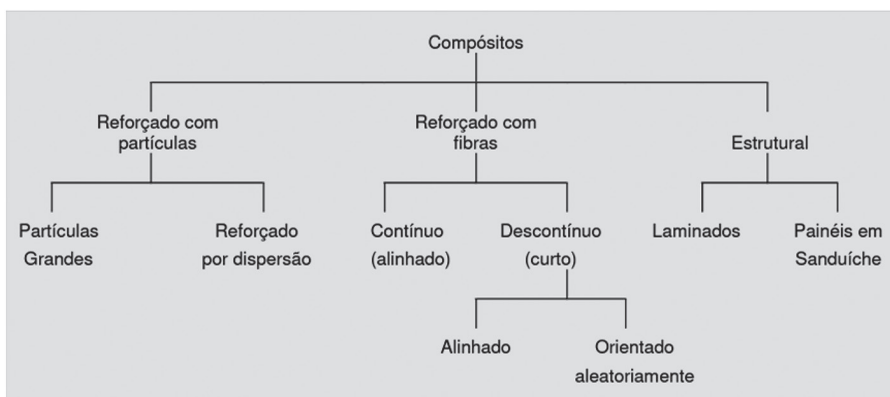


Figura 2. Esquema de clasificación de los compuestos (Fuente: Callister, 2002: 360).

A partir de lo expuesto en la *Figura 2*, es posible afirmar que el compuesto propuesto en este artículo se inserta en la categoría de “*reforzados por partículas*”, ya que la fase dispersa está constituida por cáscaras de huevo de gallina molidas en granulometría de polvo (partículas). Como se mencionó anteriormente, los compuestos alternativos y los ecocompuestos representan un área de especial interés en la ingeniería de materiales, ya que buscan atender principios ecológicos alineados con las demandas ambientales actuales. En este sentido, se han analizado diversos materiales de fuentes renovables y/o alternativas para la producción de compuestos con menor impacto ambiental, con miras a su aplicación en productos y estructuras aplicables en los campos del diseño, la arquitectura y la ingeniería. En este artículo, los compuestos alternativos se tratan como materiales en los que al menos una fase proviene de recursos renovables y la otra del reaprovechamiento de residuos sólidos. Por lo tanto, el compuesto constituido por polvo de cáscaras de huevo (como fase dispersa) envuelto en una matriz de poliuretano a base de aceite de ricino se considera, a partir de este punto, como una materia prima alternativa a ser explorada en el ámbito del diseño ecoeficiente.

Las investigaciones sobre materiales compuestos alternativos desarrollados en Brasil y en el mundo no son raras, todas con el objetivo de reducir el impacto ambiental mediante la fabricación de artefactos y estructuras más sostenibles. Oliveira (2011), en su investigación doctoral, desarrolló un compuesto polimérico (resina de poliuretano a base de aceite de ricino) reforzado con fibras de *ubuçu* (*Manicaria saccifera*), con aplicación directa en revestimientos horizontales (*Ver Figura 3*) para tráfico medio (residencial). El compuesto desarrollado fue galardonado con una patente de invención del Instituto Nacional de Propiedad Intelectual (INPI) y seleccionado para exposición en el Premio de Diseño del Museo de la Casa Brasileña (MCB, 2011). Otros ejemplos exitosos de materiales compuestos alternativos pueden encontrarse en la literatura, aunque no es posible describir todos en este artículo.

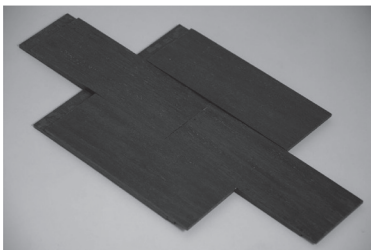


Figura 3.
Revestimiento
(piso residencial)
de compuesto de
poliuretano reforzado
con fibras de *ubuçu*
(Fuente: Autores).

Utilizar materiales con menor impacto ambiental es una preocupación constante para los profesionales del diseño, pero no solo eso, el análisis del ciclo de vida también constituye parte fundamental de este escenario. Por lo tanto, unir investigaciones de diferentes campos que involucren una materialidad más sostenible y que pueda ser aplicada en el diseño es un punto clave en este artículo. En este sentido, el compuesto desarrollado fue estudiado y experimentado tanto en su producción –de manera alternativa y autoral – como en el análisis de sus propiedades físicas (ensayos técnicos de laboratorio) y sensoriales para el desarrollo de los artefactos propuestos. El próximo apartado aborda la importancia de los principios de la economía circular en el ámbito del diseño sostenible.

En cuanto al aprovechamiento de las cáscaras de huevo, la literatura presenta diversos estudios, aunque no es posible referenciarlos todos en este capítulo. Oliveira et al. (2009) propusieron el uso de las cáscaras de huevo como materia prima para el desarrollo de nuevos productos, tales como calcio para alimentación humana, fertilizantes, alimentación animal, entre otros. Por su parte, Silva (2017) realizó un estudio sobre el aprovechamiento de cáscaras de huevo para su incorporación en morteros, concluyendo que la introducción de cáscaras de huevo, en general, fue ventajosa, ya que permite reducir la cantidad de agregados y mantener las características funcionales requeridas.

Beraldo y Naguno (2004) investigaron un compuesto de cáscara de huevo y mortero de cemento Portland, concluyendo que el material puede considerarse liviano, ya que tiene una densidad aproximada de 1100kg/m^3 , un valor inferior al mortero de cemento y arena, que está en torno a 1400kg/m^3 , lo que permite su uso para divisiones y techos mediante placas y ladrillos. Por su parte, Andrade y Souza (2017) desarrollaron una investigación de maestría titulada “*Obtención y estudio de un compuesto con matriz de resina poliéster y carga de polvo de cáscara de huevo de gallina*”, concluyendo que el compuesto presentó menor resistencia mecánica que la matriz, caracterizando el residuo como una carga de relleno. Los autores señalaron que el compuesto desarrollado presenta posibilidades de aplicación en estructuras que no requieren resistencia a grandes esfuerzos. Otro factor a considerar fue la disminución de la cantidad de resina a utilizar, ya que la carga de polvo del residuo puede alcanzar hasta el 100% en relación con la matriz, reduciendo el costo del material obtenido para la fabricación de diversas estructuras. Tras la definición de los materiales compuestos, sigue una breve exposición.

Diseño Orientado por el Material–*Material Driven Design* (MDD)

El *Material Driven Design* (MDD), o Diseño Orientado por el Material (traducción propia), se traduce en una metodología en la que los materiales son protagonistas en el proceso creativo y de desarrollo de productos (Karana; Rognoli; Laan, 2015). Fue acuñada por primera vez por Karana et al. (2008), quienes la definieron como las experiencias que las personas tienen con, y a través de, los materiales de un producto. En comparación con las metodologías tradicionales de diseño, en las que el material es seleccionado para adaptarse a las demandas de un producto preexistente, en el MDD se propone inicialmente la exploración de las propiedades intrínsecas de los materiales (datos sensoriales –textura, color, translucidez– historia, orígenes y comportamiento físico/mecánico). De esta forma,

este enfoque permite que el material inspire y oriente el desarrollo de artefactos de diseño innovadores y conectados con cuestiones más allá de la funcionalidad y la estética, abarcando aspectos emocionales y ambientales, por ejemplo.

Las etapas del proceso de MDD se dividen en cuatro acciones ilustradas en la *Figura 4*, que representan el acto de diseñar a partir del material (que puede ser relativamente conocido, relativamente desconocido o provenir de muestras de materiales en desarrollo). El *Material Driven Design* no constituye únicamente un enfoque creativo, sino principalmente una estrategia para desarrollar productos que respondan a las demandas contemporáneas de responsabilidad ambiental. La experimentación material adoptada en esta investigación siguió los criterios señalados por el método MDD.

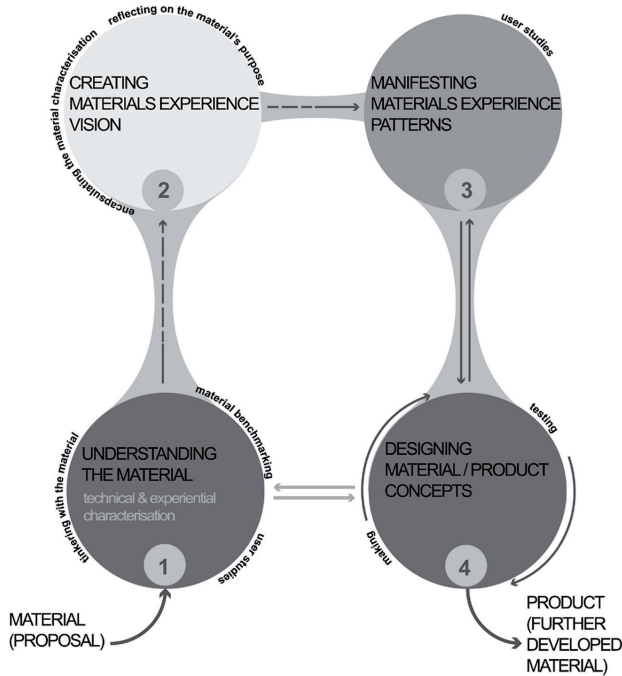


Figura 4. Método de *Material Driven Design* (MDD)-Método de Diseño Orientado por Materiales (MDD) (Fuente: Karana *et al.*, 2015: 40).

El MDD destaca la importancia del material como elemento central en el proceso de diseño, con un enfoque sensorial y más holístico. El método fue desarrollado abarcando cuatro fases, cada una con su soporte específico, con el objetivo de orientar a los diseñadores en la exploración, experimentación e integración de los materiales de manera más efectiva y funcional. La exploración sensorial y funcional de los materiales presente en el MDD contribuye a la creación de productos más innovadores y con vínculos emocionales con los usuarios. El soporte en cada fase garantiza que el diseño esté fundamentado tanto en el conocimiento técnico como en las experiencias sensoriales y emocionales de los usuarios finales.

Diseño bioinspirado a partir de la biomimética

No es reciente el hecho de que el ser humano observe la naturaleza como una fuente de inspiración para generar diversas soluciones en productos que respondan a problemáticas y/o demandas de la sociedad. En este sentido, es pertinente reflexionar sobre el término mimesis. En este artículo, enfocamos el término en el ámbito del proceso creativo de diseño, considerándolo como una forma de aprendizaje a través de la observación, la indagación y el perfeccionamiento de la mirada, con el objetivo de visualizar posibles soluciones existentes en la naturaleza y trasladarlas al campo del diseño (Grimaldi y Oliveira, 2022). Benyus (1997) destaca que la biomimética se refiere a la ciencia que estudia los modelos de la naturaleza y luego los imita, se inspira en ellos o en sus procesos para resolver problemas/demandas humanas. Estas soluciones se fundamentan en una perspectiva de la naturaleza como fuente de inspiración, considerándola modelo, medida y mentora, con los siguientes principios:

- La naturaleza como modelo: Inspiración y mimesis en las soluciones de la naturaleza para aplicaciones prácticas.
- La naturaleza como medida: Usa el estándar ecológico como parámetro para las innovaciones. Después de 3,8 mil millones de años de evolución, la naturaleza ha aprendido qué funciona, qué es más apropiado, económico y duradero.
- La naturaleza como mentora: Representa una nueva forma de ver y valorar la naturaleza, inaugurando una era cuyas bases se sostienen no en lo que se puede extraer de ella, sino en lo que se puede aprender de ella.

La biomimética ha sido abordada de manera recurrente como una fuente de inspiración para soluciones de diseño y arquitectura, ya que, a partir de la observación de formas de la naturaleza, es posible optimizar el desempeño energético y sostenible de los materiales y proyectos desarrollados. En este sentido, es necesario unir esfuerzos entre las distintas áreas del conocimiento para proponer soluciones de diseño innovadoras y ambientalmente justas. Para ello, las investigaciones sobre nuevos materiales y los estudios en diseño pueden combinar sus fortalezas. Arruda (2018) expone la importancia de la integración entre las investigaciones para desarrollar nuevos materiales y su aplicación en artefactos con inspiración biomimética.

Este trabajo corresponde al desarrollo de una investigación exploratoria en el campo de los llamados “*diseñadores materiologistas*”, dado que la necesidad urgente de encontrar materiales rápidamente renovables y/o con menor impacto ambiental ha llevado a estos profesionales a experimentar con materiales desechados. Estas experimentaciones han generado acciones sostenibles y creativas en el ámbito del diseño ambientalmente responsable. Así, este artículo explora las posibilidades del diseño bioinspirado para el aprovechamiento de un material creado en el marco del método MDD para la fabricación de cobogós. Existen numerosos ejemplos de soluciones en productos y estructuras que han considerado el concepto de biomimética para desarrollar sistemas funcionales. De la misma manera, hay proyectos que se inspiran en ciertos elementos formales de la naturaleza para proponer estructuras o conceptos constructivos interesantes y eficientes.

Cobogós–Breve Historia

Desde el momento en que el ser humano comenzó a construir su hábitat, paralelamente adquirió conocimientos para moldear materiales y utilizarlos según sus propiedades físicas para satisfacer sus necesidades de confort térmico y eficiencia en la edificación residencial. En el campo de la arquitectura, los elementos perforados (EP) satisfacen la necesidad de iluminación y ventilación natural de los ambientes, siendo prácticos y muy adecuados especialmente en lugares de clima cálido, ya que “*filtran*” la radiación solar a través de las aberturas presentes en sus formas. Ejemplos bien conocidos de elementos perforados son los muxarabis, las rótulas, las celosías y los cobogós.

Los EP fueron introducidos por los portugueses e incorporados en la arquitectura brasileña, más específicamente durante el Movimiento Moderno. Posteriormente, fueron reemplazados de forma gradual por otros materiales industrializados, como el vidrio (Marins 2001, apud Moraes y Pereira, 2017).

Tres ingenieros desarrollaron, en 1929, el elemento arquitectónico que recibió el nombre de “*Cobogó*”. El término proviene de la unión de los apellidos de sus creadores, Amadeu Oliveira Coimbra (Co), Ernest August Boeckmann (Bo) y Antônio de Góis (Gó). Así nació un elemento arquitectónico pensado para los trópicos, que cumplía la función de mantener el confort térmico y la iluminación del ambiente, pero preservando su privacidad. El cobogó se utiliza hasta hoy, tanto por sus ventajas sociales (conexión y separación de espacios), como por sus beneficios funcionales y energéticos para la construcción (entrada de luz natural combinada con protección solar y circulación de aire, proporcionando un ambiente ventilado).

La *Figura 5* ilustra algunos ejemplos de cobogós, que en su mayoría se fabrican a partir de materiales cerámicos.

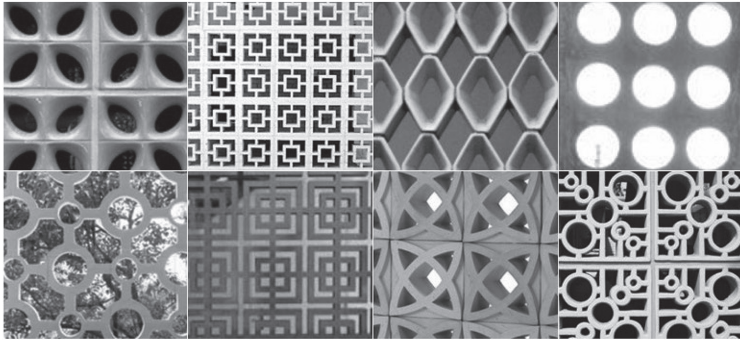


Figura 5. Ejemplos de cobogós en material cerámico (Fuente: www.vivadecora.com.br).

Un ejemplo reciente de un diseño de cobogó con material sostenible y un perfil de acción socioeconómico proviene del trabajo desarrollado por los arquitectos Marcelo Rosenbaum y Rodrigo Ambrósio junto con el artesano Itamácio dos Santos. El *cobogó Mundaú* de la empresa Portobello fue diseñado a partir del reaprovechamiento de la concha de sururu, un residuo sólido que representaba un problema para la comunidad de Vergel do Lago, en Maceió, estado de Alagoas, en el noreste de Brasil. La *Figura 6* ilustra el *Cobogó Mundaú*, galardonado con el iF Design Award 2022.



Figura 6.
Cobogó Mundaú
(Fuente: www.anfacer.org.br/)

El cobogó es un símbolo de la arquitectura nacional y, de este modo, el presente estudio busca proponer la aplicación de un material proveniente de la filosofía de la Economía Circular a un elemento tradicional de la construcción, utilizando una matriz polimérica de origen vegetal con polvo de cáscaras de huevo.

Materiales y Métodos

La metodología utilizada en este estudio consistió inicialmente en una investigación bibliográfica sobre el tema y, posteriormente, en una investigación exploratoria sobre el material y sus potencialidades. La fase exploratoria se llevó a cabo mediante la recolección de residuos sólidos (cáscaras de huevo), la resina de poliuretano a base de aceite de ricino, la manipulación de estos componentes a través del método MDD, la realización de ensayos mecánicos en laboratorio y, finalmente, el diseño aplicado a una pieza de cobogó. Toda la fase de experimentación y construcción del material compuesto se desarrolló en dos entornos institucionales: el Taller de Modelos Tridimensionales de los Cursos de Diseño Industrial de la Universidad Federal de Río de Janeiro y el Laboratorio de Experimentaciones en Diseño (LED) de la Universidad Federal de Campina Grande.

Los ensayos mecánicos se llevaron a cabo en el Núcleo de Enseñanza e Investigación en Materiales y Tecnologías de Bajo Impacto Ambiental en la Construcción Sostenible (NUMATS), un centro de investigación de la UFRJ de reconocida excelencia, vinculado al Instituto Alberto Luiz Coimbra de Posgrado e Investigación en Ingeniería (COPPE), que centra sus esfuerzos en la formación de recursos humanos altamente cualificados para actuar en las áreas de materiales, estructuras y tecnologías constructivas sostenibles.

Materiales

Cáscaras de Huevo

El residuo utilizado como carga en el compuesto provino de huevos de gallina del tipo jumbo con cáscara de color blanco. Los huevos de gallina con cáscara blanca fueron adquiridos entre julio y diciembre de 2023 en mercados de la zona sur de la ciudad de Río de Janeiro. Cada unidad experimental estaba compuesta por 30 huevos (bandeja) y, para el experimento, se obtuvieron aproximadamente 2kg de cáscaras de huevo.

Resina de poliuretano a base de aceite de ricino

PU Vegetal-Tipo“N”. Impermeabilizante bicomponente de origen vegetal (*Ricinus communis*), natural, atóxico, resistente a químicos y agentes agresivos, duradero, hermético. Color: Ámbar. Fabricante: *Sinergia Service Ltda.*, Araraquara-SP. Según el fabricante, la resina posee las siguientes propiedades y características (*Ver Tabla 1*):