

Rediseño de envases para productos industriales a partir del estudio de las estructuras naturales de semillas y frutos del semiárido brasileño

Itamar Ferreira da Silva⁽¹⁾, Pablo Marcel de Arruda Torres⁽²⁾,
Lucas Matheus Herculano Rodrigues⁽³⁾ y Emanuelle Rodrigues Silva⁽⁴⁾

Resumen: El proyecto tuvo como objetivo estudiar las estructuras de las envolturas de frutos y semillas de la región semiárida brasileña, con el objetivo de comprender el proceso de organización interna de los elementos naturales, para el desarrollo de envases bioinspirados para productos industriales, teniendo en cuenta la relación entre forma y función. Para realizar la investigación, primero se recolectaron muestras de semillas y frutos característicos de la región semiárida del Nordeste de Brasil. De los diversos ejemplares analizados, se seleccionaron cuatro cuyas características formales eran muy diferentes y favorecían el estudio: entre ellos Mulungu, Pereiro, Timbaúba y Balãozinho, todas especies nativas del semiárido brasileño. Luego, las muestras fueron analizadas según su morfología y estructura natural, y fueron parametrizadas con ayuda de un programa de computadora. Con esta información definida, embarcamos en un ejercicio creativo de Analogía, donde se compararon los sistemas naturales estudiados con posibilidades de aplicación en el envase de diversos productos. Finalmente, las alternativas seleccionadas fueron modeladas en 3D en la computadora y se realizaron modelos de prueba mediante impresión 3D. Como resultado, se diseñaron 4 packaging bioinspirados para productos como pelotas de tenis, bolsitas de té, papaya y chocolates finos. Los envases presentan diferenciación formal y de configuración de sus contenidos, demostrando la viabilidad de utilizar la bioinspiración en el diseño de envases innovadores y abriendo nuevos caminos creativos para los diseñadores.

Palabras clave: Diseño Bioinspirado - Envases - Envolturas de frutos y semillas - Región semiárida - Brasil - Biomimesis - Biomorfismo - Bioutilización - Bioasistencia

[Resúmenes en castellano y en portugués en las páginas 286-287]

⁽¹⁾ **Itamar Ferreira da Silva.** Doctor en Ingeniería Agrícola por la Universidad Federal de Campina Grande (2012), Profesor Asociado del Curso de Diseño de la Universidad Federal de Campina Grande (UFCG). Fue Coordinador del Programa de Postgrado en Diseño (PPGDesign/UFCG). Tiene experiencia en Diseño Industrial, con énfasis en Diseño de Producto. Sus intereses de investigación incluyen el diseño sostenible, el diseño bioinspirado y el diseño inclusivo.

(2) **Pablo Marcel de Arruda Torres.** Doctorado en Diseño e Innovación por la Università degli Studi della Campania (Italia). Profesor Asociado del Curso de Diseño de la Universidad Federal de Campina Grande. Coordinador del Grupo de Investigación en Diseño e Innovación y del Laboratorio de Fabricación Aditiva para Tecnologías Asistivas del Programa de Postgrado en Diseño (PPGDesign/UFCG). Sus temas de interés son: Diseño de Servicios; Modelado y Fabricación Digital; Manufactura Aditiva; Diseño Paramétrico y Generativo; Diseño Participativo e Innovación Social.

(3) **Lucas Matheus Herculano Rodrigues.** Graduado en Diseño por la Universidad Federal de Campina Grande (UFCG).

(4) **Emanuelle Rodrigues Silva.** Graduada en Diseño por la Universidad Federal de Campina Grande (UFCG).

Introducción

Pensar en el diseño como algo puramente estético es una interpretación errónea. El diseño va mucho más allá de los atributos formales, coloristas y superficiales, y la función tiene el mismo peso en la configuración del producto. Esta capacidad para resolver problemas desde el punto de vista ergonómico, estructural, funcional, productivo y ecológico muestra la complejidad de esta actividad, que está sometida constantemente a procesos de adaptación a medida que surgen nuevos métodos de diseño y áreas de actividad. En el pasado, el diseño se resumía en dos ejes básicos - Gráfico y Producto - sin embargo, según Nicolau (2013), hoy tenemos Diseño de Servicios, Diseño de Superficies, Diseño de Interacción, entre otras áreas que buscan identificar las necesidades de los individuos, resolviéndolas a través del desarrollo de productos físicos y/o virtuales.

El Diseño de Producto es un área consolidada en el mundo de la producción, dado que el objeto físico siempre formó parte de la sociedad. En consonancia con el desarrollo tecnológico, los diseñadores se ven obligados a cuestionar siempre la existencia de los productos en términos de eficiencia, adaptabilidad, rentabilidad y sostenibilidad. Para proponer cambios en los artefactos, el diseñador recurre al repertorio adquirido a lo largo de su formación y sus experiencias, un repertorio que debe actualizarse constantemente.

Como fuente de datos e inspiración para este profesional, hay un ámbito que ha ido ganando protagonismo en la última década y que se considera la nueva revolución científica. La **Biomimética** [del griego *bios*, vida, y *mimesis*, imitación] no es más que la capacidad de imitar la naturaleza para proponer procesos o productos innovadores que resuelvan problemas humanos. Según Benyus (1997) “haciendo las cosas a la manera de la naturaleza” tenemos la posibilidad de cambiar nuestra forma de producir alimentos, fabricar productos, aprovechar la energía, curarnos, almacenar información y dirigir nuestras empresas. El campo de la biomimética incluye a todos los seres vivos, plantas y animales, ya sean acuáticos o terrestres. A partir de esta constatación, se vislumbran infinitas posibilidades

de estudio, lo que demuestra lo importante que es iniciar la investigación, aunque sea de forma embrionaria, de esta nueva revolución del conocimiento.

Los sistemas biológicos que residen en la naturaleza se caracterizan por su complejidad, sensibilidad y flexibilidad, su capacidad de adaptación a ambientes cambiantes y su alto grado de confiabilidad (Moraes, 2008, p. 15).

La naturaleza es una base de datos ideal para desarrollar nuevos productos. Durante miles de millones de años, animales y plantas han experimentado el proceso de selección natural, convirtiéndose en individuos adaptados a diversas situaciones geográficas extremas. Cada ser se adapta a su región de la mejor manera posible. Son más rápidos, más altos, más flexibles, más fuertes, todo depende del tipo de respuesta que hayan dado a las exigencias del medio en el que viven. Después de 3.800 miles de millones de años, los fracasos de la naturaleza se han convertido en fósiles y los que nos rodean son fruto del secreto de la supervivencia (Benyus, 1997).

De una mirada más atenta a la naturaleza, se puede identificar que existen varios “envases naturales”, cada uno con sus características peculiares, que permiten almacenar adecuadamente el fruto o la semilla que se va a germinar, garantizando la integridad de su contenido. Desentrañar estas características permite identificar principios funcionales que pueden utilizarse de forma sostenible y eficiente en el envasado de productos industriales. El objetivo de este artículo es analizar las estructuras naturales de las carcasas de semillas y frutos de la región semiárida brasileña para su aplicación biomimética en el rediseño de envases de productos industriales, con el fin de mejorar las configuraciones formales y funcionales.

Independientemente de los resultados que vengan en forma de productos físicos, esta investigación permitirá una mayor divulgación y valorización de las características naturales de la región, que pasa por un intenso proceso de degradación; el fortalecimiento de la investigación en el área, dados los pocos laboratorios en el país que se proponen seguir el camino de la biomimética; el surgimiento de disertaciones con temas en esta área, ampliando los ejes temáticos de los programas de posgrado; la validación de métodos de investigación y sus respectivas adaptaciones para garantizar el procedimiento científico; la generación de patentes y registros de diseños industriales, así como la divulgación de los resultados alcanzados en forma de artículos indexados.

Marco teórico

A lo largo de varias eras evolutivas, la naturaleza ha desarrollado soluciones eficaces para una amplia gama de necesidades funcionales. A lo largo de este tiempo, gracias a la selección natural, los organismos han desarrollado estrategias de supervivencia adaptadas a los variados entornos de nuestro planeta. Desde el modo en que las plantas captan la energía solar mediante la fotosíntesis hasta la forma de volar de las aves, la naturaleza ha ido evolucionando gradualmente, y los mejores adaptados sobreviven transmitiendo sus características a sus descendientes. Así, según Charles Darwin (Padre de la Evolución), la

evolución ha llevado a animales y plantas a idear soluciones técnicas naturales a diversos problemas, muchos de ellos totalmente imprevisibles.

La naturaleza forma parte del repertorio humano, que, en busca de inspiración, acaba emulando soluciones en productos, sistemas o simplemente copiándolas en sentido formal. El hombre ha aprendido a sobrevivir aprovechando las soluciones que la naturaleza propone, con el objetivo de desarrollar sistemas análogos que sean útiles a la sociedad, como por ejemplo: los alicates, basados en los colmillos de un escarabajo que tienen la función de capturar su alimento; la estructura de la Torre Eiffel (París), basada en la disposición de los haces óseos del fémur humano que consiguen darle firmeza y al mismo tiempo ligereza; la jeringuilla, concebida observando la trompa del mosquito que sirve para succionar la sangre.

Muchas propiedades que se encuentran en los seres vivos pueden estudiarse, analizarse y luego aplicarse al desarrollo de nuevos productos o estructuras. Un ejemplo es el Crystal Palace, un gigantesco edificio diseñado por el inglés Joseph Paxton en 1851 para albergar la Exposición Universal de Londres. Este edificio de medio kilómetro de largo formado por vigas metálicas y paneles de cristal, con una estructura autosostenible, se basaba en la composición física de la planta Vitória-Régia, que posee un sistema de costillas entrelazadas en su parte sumergida que le confieren resistencia, permitiéndole soportar el peso de un niño sin hundirse (Broeck, 1989) (*Ver Figura 1*).

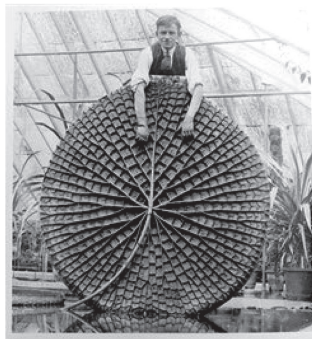


Figura 1.
Analogía-Vitória
Régia y su estructura
(Fuente: Google).

Buscar en la naturaleza soluciones a situaciones cotidianas ha dejado de ser un empeño aislado y empírico para convertirse en un estudio sistémico y analítico que fue nombrado **Biónica**. La biónica se originó en el ámbito militar en los años sesenta, cuando investigadores de las Fuerzas Aéreas estadounidenses llevaron a cabo estudios sobre la estructura de los ojos de las abejas en un intento de comprobar la posibilidad de aplicar a la aeronáutica un sistema de guía basado en el uso de luz polarizada.

Según Van den Broeck (1989), la biónica “es el estudio de sistemas y organizaciones naturales con el objetivo de analizar y recuperar soluciones funcionales, estructurales y formales para aplicarlas a la resolución de problemas humanos mediante la generación de tecnologías y el diseño de objetos y/o sistemas de objetos”. En 1971, Victor Papanek publicó el libro *Design for the Real World* (Diseño para el Mundo Real), en el que aconsejaba a los diseñadores estudiar los principios básicos de la naturaleza y su aplicación a las necesidades humanas. Los diseñadores deberían centrarse en investigar cómo funciona la naturaleza, la relación entre las partes y la existencia de sistemas.

Liu *et al.* (2016) estudiaron la biomecánica y la biomimética en los sistemas de vuelo inspirados en insectos, donde presentan una revisión selectiva sobre el estado del arte de la biomecánica en los sistemas de vuelo bioinspirados en términos aletas y aerodinámica de ala flexible, dinámica de vuelo y estabilidad, mecanismos pasivos y activos de estabilización y control, así como vuelo de escape en entornos inestables. Viana (2015) estudió el desarrollo de materiales para el aislamiento térmico y, a través de la biomimética, desarrolló una solución basada en un sistema fibroso con función de aislamiento térmico en la rehabilitación de edificios. Analizó varias soluciones aplicadas por la naturaleza para lograr estas funciones e imitó materiales y estructuras para garantizar un rendimiento similar.

En Brasil, hay un pronóstico positivo para el uso de la biomimética en diversos sectores productivos, debido a la gran riqueza natural del país, donde cada región posee flora y fauna con sus propias especialidades, presentando una base de datos sin igual en otras partes del mundo.

Segmentos del Diseño Bioinspirado

Según la definición presentada por VDI 6220¹, el Diseño Bioinspirado es la aplicación del conocimiento de los sistemas biológicos en la investigación y el desarrollo para resolver problemas técnicos y desarrollar inventos e innovaciones. Stone *et al.* (2014) señalan que este campo del Design busca “explotar sistemáticamente el conocimiento biológico para resolver problemas de diseño existentes”, lo que indica un enfoque metodológico que valora la observación cuidadosa y el análisis de la naturaleza como fuente de inspiración para el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas. Así, se entiende que el prefijo “BIO” hace referencia a la naturaleza, mientras que el término “INSPIRADO” se refiere a la obtención de ideas o estímulos a partir de esta fuente. El Diseño Bioinspirado puede concebirse a partir de las siguientes clasificaciones:

A) Biomimesis: Por definición, consiste en la “imitación de la naturaleza”, y su estudio se centra en comprender las funciones y procesos que se encuentran en los organismos presentes en el medio natural, para aplicarlos a proyectos de diseño. Un ejemplo notable es la invención del velcro, desarrollada por el ingeniero suizo George de Mestral en 1941. Durante una excursión por los Alpes, se dio cuenta de que tenía garrapatas pegadas a su ropa. Fascinado por el sistema natural de la planta, se inspiró en él para crear este material de cierre (*Ver Figura 2*).



Figura 2.
Velcro (Fuente:
<https://www.tkdesigner.com.br/biomimetica-no-design-e-na-arquitetura>).

La autora Janine Benyus (1997) define la biomimética en tres conceptos básicos:

1. **La naturaleza como modelo.** La biomimética es una nueva ciencia que estudia los modelos de la naturaleza y luego los imita o se inspira en ellos o en sus procesos para resolver problemas humanos.
2. **La naturaleza como medida.** La biomimética utiliza una norma ecológica para juzgar la “corrección” de nuestras innovaciones. Tras 3.800 miles de millones de años de evolución, la naturaleza ha aprendido: Lo que funciona. Lo que es apropiado. Lo que perdura.
3. **La naturaleza como mentora.** La biomimética es una nueva forma de ver y valorar la naturaleza. Marca el comienzo de una era basada no en lo que podemos extraer de la naturaleza, sino en lo que podemos aprender de ella.

Según el *Biomimicry Institute*, “Biomimética consiste en valorar la naturaleza por lo que podemos aprender, no por lo que podemos extraer, cosechar o domesticar. En el proceso, aprendemos sobre nosotros mismos, nuestro propósito y nuestra conexión con los demás y con nuestro hogar en la Tierra”. Esta organización sin ánimo de lucro fue fundada en 2006 por Janine Benyus, y considera fundamentales tres valores para el uso de la biomimética: Emulación (imitar), Ethos y Reconexión.

- **Emular:** Investigación científica basada en aprender y replicar las formas, procesos y sistemas que se encuentran en la naturaleza;
- **Ethos:** Filosofía que comprende cómo funciona la vida y desarrolla diseños que crean constantemente condiciones favorables para la vida;
- **(Re)conexión:** Somos parte de la naturaleza y es valioso volver a conectar con ella para comprender mejor cómo funciona la vida. La práctica consiste en fomentar la observación y el contacto con la naturaleza a fin de lograr un mejor ethos para emulación de las estrategias biológicas en los proyectos de diseño.

B) Biomorfismo: busca emular la naturaleza sólo en términos formales para hacerla más familiar al usuario. El biomorfismo es comúnmente criticado por ser el subconjunto que menos se adhiere a la sostenibilidad, ya que, si se inspira sólo en la cuestión formal, el producto no tendrá un sistema o material que reduzca el impacto sobre el medio ambiente. Sin embargo, el biomorfismo se destaca por tener un gran impacto psicológico y estético, resultado de la inspiración en formas naturales que ya son familiares y agradables para cualquier ser humano (Bernett, 2015). Un gran ejemplo de este tipo de diseño es la “Grande Sala” (Gran Salón), o el espacio interno de oficinas del edificio administrativo *SC Johnson and Son*, diseñado por Frank Lloyd Wright. Las columnas dendriformes que se asemejan a la forma de los árboles dentro de este espacio aportan perspectivas y condiciones de refugio similares a las de un entorno natural (*Ver Figura 3*).



Figura 3.
Oficina interna del
SC Johnson and
Son Administration
Building (Fuente:
ArchDaily Brasil).

En contrario de la biomimética, que tiene en cuenta la función del producto, el biomorfismo se refiere al diseño que se asemeja visualmente a los elementos de la naturaleza, es decir, que se parece a ellos. La razón por la que este enfoque está tan extendido es la conexión emocional que el ser humano tiene con la naturaleza. Como resultado, los productos y espacios que incorporan elementos que recuerdan al entorno tienden a ser más atractivos y cómodos para el usuario.

Según el autor Shelley (2015), al crear un objeto con diseño biomórfico, el diseñador utiliza la forma de un organismo existente en la naturaleza como modelo para crear el artefacto. Esta forma de razonamiento basada en modelos tiene una importante característica visual y se denomina abducción visual, que consiste en crear un producto que se parezca visualmente a algo que ya existe en el entorno. Además, Shelley (2015) sugiere que el biomorfismo puede influir en la percepción que tiene el usuario de la funcionalidad y las cua-

lidades de un producto. Por ejemplo, un coche con formas que se asemejan a los músculos puede transmitir una relación con animales fuertes y rápidos, lo que puede influir en la elección del consumidor al vincular inconscientemente las cualidades del animal con el vehículo. Este tipo de asociación puede tener un impacto significativo en la decisión de compra del consumidor, como demuestran las bases teóricas que prueban la influencia del biomorfismo en la percepción humana.

C) Bioutilización: se refiere al proceso de creación de productos que utilizan materiales, procesos y sistemas biológicos en su fabricación o funcionamiento. Esto incluye la incorporación de materiales biodegradables y compostables como la madera, el algodón, el bambú y otros recursos naturales en productos y envases. Este planteamiento pretende reducir el impacto ambiental de las actividades humanas, promover la sostenibilidad y fomentar la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías.

Según Manzini y Vezzoli (2008), todos los materiales que utilizamos en nuestras actividades cotidianas tienen un impacto en el medio ambiente. Sin embargo, para compararlos y elegir alternativas más sostenibles, debemos tener en cuenta el contexto en el que se utilizarán y las funciones que cumplirán. Los autores también señalan que algunos materiales pueden ser perjudiciales para la salud por su elevada toxicidad, y deben evitarse. Por otro lado, hay indicaciones que pueden ayudar a elegir materiales alternativos de bajo impacto ambiental, como evitar aditivos, acabados tóxicos y materiales escasos, utilizar fuentes renovables y materiales reciclados. De este modo, la bioutilização de materiales alternativos permite cadenas de producción más eficientes, con menor consumo energético y emisiones contaminantes, en comparación con los ciclos de materiales tradicionales, como metales o plásticos.

En el caso del bioutilitário, los materiales se recogen de la naturaleza para ser utilizados en un proyecto. Como menciona Bennett (2015), mientras que la biomimética se centra en trasladar los principios biológicos a la tecnología diseñada por el ser humano, la bioutilização utiliza directamente organismos o materiales biológicos en la composición de los proyectos. Por ejemplo, la Ecovative Design utiliza micelio fúngico (la parte vegetativa de las setas y otros hongos) para producir un material compostable como alternativa a la espuma de plástico y otros materiales sintéticos destructivos para el medio ambiente (*Ver Figura 4*).



Figura 4.
Envase para vinos
(Fuente: Ecovative).

D) Bioasistencia: Por último, existe la bioasistencia, cuando se aplica algún tipo de organismo vivo a un proyecto para ayudar a su funcionamiento. Según Sá (2021), diferente del concepto de bioutilização, en la bioasistencia se busca la domesticación y/o aplicación de un organismo para cumplir una determinada función. En otras palabras, la bioasistencia se centra más en la incorporación de organismos vivos o ecosistemas para mejorar las funciones del producto final, en lugar de su uso sólo en el ámbito material, como es el caso del bioutilitário. Un ejemplo sería cuando se utilizan bacterias y otros microorganismos para purificar el agua.

Un buen ejemplo de los experimentos de Neri Oxman es la estructura desarrollada por su equipo, parte de la cual está fabricada por robots y gran parte por gusanos de seda, que construyen la estructura al mismo tiempo que se reproducen y mantienen así la estructura en continuo mantenimiento. Todo ello no genera residuos, no tiene impacto en el medio ambiente y es 100% biodegradable (Ver Figura 5).

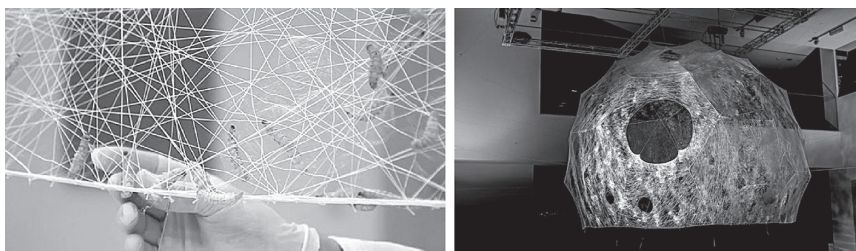


Figura 5: Estructura formada por bioasistencia (Fuente: <https://harpersbazaar.uol.com.br/estilo-de-vida/neri-oxman-conheca-a-arquiteta-que-esta-revolucionando-o-mundo>).

Biomimicry Thinking (Pensamiento biomímico)

A la hora de diseñar con ayuda de la biomimética, es habitual utilizar la metodología *Biomimicry DesignLens*, desarrollada y perfeccionada desde 1998 por el *Biomimicry Institute* con la ayuda de Janine Benyus. Esta metodología se caracteriza por unos gráficos que representan los tres componentes de la práctica biomimética: los elementos esenciales, los principios de la vida y las etapas del *biomimicry thinking* o pensamiento biomimético. Los elementos esenciales para la biomimética son: La ética representa el respeto por la naturaleza, la reconexión es la parte de esta filosofía que nos conecta de nuevo con la naturaleza, por último, emular consiste en comprender y aplicar los principios, patrones y soluciones de la naturaleza en el diseño, la arquitectura, la ingeniería, etc. (Ver Figura 6).

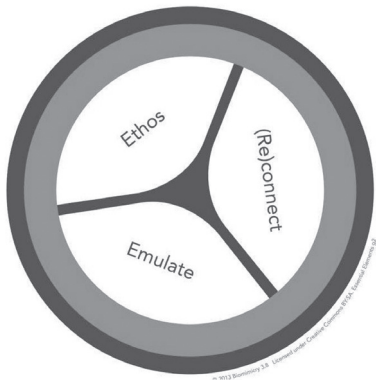


Figura 6.
Principios esenciales
de la biomimética
(Fuente: Biomimicry
Institute).

Los principios de la vida, enumerados en 2011 por el *Biomimicry Institute*, ayudan a orientar cómo la biomimética puede inspirarse en los principios de la naturaleza para ayudar en las fases de diseño, no solo en cuanto al producto en sí, sino en cuestiones que van desde la gestión del proyecto hasta la producción. Son los siguientes:

1. Evolucionar para sobrevivir: se trata de una estrategia aprendida de la naturaleza para planificar soluciones, es decir, evolucionar y optimizar.
2. Ser eficientes (materiales y energía): Evitar desechos en la búsqueda de opciones más sostenibles y gestionar el uso de materiales de forma cíclica.
3. Adaptarse a las condiciones cambiantes: Hacer que el producto funcione mejor, aportando soluciones que muestren la resistencia y adaptabilidad de la naturaleza.
4. Integrar el conocimiento y el crecimiento: comprender el funcionamiento del sistema en su conjunto y también de los pequeños componentes.

5. Estar atento y responder a los problemas locales: Utilizar materias primas locales, procesos de fabricación cíclicos y fomentar la cooperación mutua.
6. Utilizar una química respetuosa con la vida: emplear pocos elementos y evitar materiales que dañen la naturaleza.

Estos principios son importantes tanto para las cuestiones de diseño como para la ética biomimética. Según Queiroz *et al.* (2016), es inconcebible utilizar este método para diseñar armamento, por ejemplo. De esta manera, podemos ver que al utilizar la biomimética como metodología, también es función del diseñador pensar de acuerdo con la filosofía que presenta el concepto. Por eso, la sostenibilidad es una cuestión importante para los proyectos en los que interviene la biomimética.

Además, tratándose del método *Biomimicry Thinking*, un enfoque metodológico que busca, como citan Queiroz *et al.* (2016), diseñar soluciones que tengan bases sostenibles y actúen de la forma más parecida posible a la naturaleza. La biomimética no tiene una metodología directa, pero esta es la más citada (Ver Figura 7).

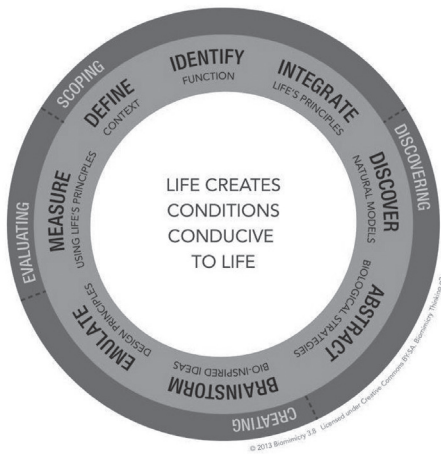


Figura 7.
Biomimicry thinking
(Pensamiento biomimético) (Fuente: Biomimicry Institute).

A partir de esto se crean dos caminos, del diseño a la biomimética y de la biología al diseño. En el primero, se identifica un problema en un proyecto y se busca la solución en la naturaleza. En el de la biología, el proyecto empieza inspirándose en un sistema o forma de la naturaleza y sólo entonces comienza la fase de diseño (Ver Figura 8).