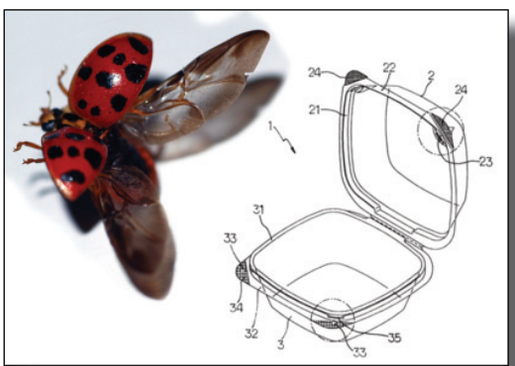
ECONOMÍA DEL CAMBIO TECNOLÓGICO
5306.02 INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Diseño conceptual de productos.
Un enfoque biomimético para la mejora de funciones



Ignacio López-Forniés — Ingeniero en Organización Industrial
Luis Berges-Muro — Doctor Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. Instituto de Investigación en Ingenieria de Aragón.
C/ María de Luna, 3. Edificio Torres Quevedo, Campus Río Ebro - 50015 Zaragoza.
Tfno: +34 976 761000. ignlopez@unizar.es

Recibido: 28/06/2011 • Aceptado: 05/07/2011
DOI: http://dx.doi.org/10.6036/4313

Conceptual product design. Biomimetic approach for functional improvement

ABSTRACT

• The present research work in industrial design methodology focuses on the conceptual design phase, using mind maps as a tool for creativity in search of new product features, transforming the existing solutions in nature.The methodology applies biomimetics as a tool, creates new opportunities and relates different design tools such as functional analysis and creativity techniques. The biomimetic design makes the product more creative and differentiated, with innovative features based on analogies from the natural environment. The approach is prospective to define key functions and to use a method that relates these functions to biological solutions. The improvement is due to the integration of intermediate phases, with methods that determine the key features and natural reference that provide successful solutions. Product concepts are obtained based on design specifications as defined by the functions and alternative solutions found in the process.The diversity of solutions in nature raises conceptual development alternatives. The method described is distinguished by the pursuit of functional benefits and by an exploratory way that results in novel solutions.

• Keywords: biomimetics, functional research, applied creativity, design process, product innovation.

RESUMEN

Se presenta un trabajo de investigación en metodología de diseño industrial, que se centra en la fase de diseño conceptual, aplicando mapas mentales como herramienta de creatividad en busca de nuevas funciones de producto, transformando soluciones ya existentes en la naturaleza.

La metodología propuesta aplica la biomimética como herramienta, genera nuevas oportunidades y relaciona diferentes herramientas de diseño como el análisis funcional y técnicas de creatividad. La biomimética hace que el diseño del producto sea más creativo y diferenciado, con funciones innovadoras que presentan las analogías extraídas del entorno natural. El enfoque es prospectivo al definir funciones clave y utilizar un método que relaciona dichas funciones con soluciones biológicas.

La mejora se produce por la integración de fases intermedias, con métodos que determinan las funciones clave y los referentes naturales que aportan soluciones de éxito. Se obtienen conceptos de producto basados en especificaciones de diseño, definidas por las funciones y soluciones alternativas encontradas en el proceso.

La diversidad de soluciones en la naturaleza plantea alternativas de desarrollo conceptual. El método descrito se diferencia en la búsqueda de las prestaciones funcionales, y por tener un carácter exploratorio cuyos resultados plantean soluciones más novedosas.

Palabras clave: biomimética, investigación funcional, creatividad aplicada, proceso de diseño, innovación de producto.

1. INTRODUCCIÓN

Se necesita sistematizar el diseño biomimético. Una metodología basada en la biomimética y aplicable al diseño conceptual puede tener grandes ventajas, teniendo en cuenta que en el proce-

so de diseño no hay una resolución única, sino soluciones que pueden abrir nuevos caminos de solución.

Se presenta en este trabajo una metodología que relaciona las soluciones funcionales de la naturaleza con aplicaciones novedosas en productos. La innovación funcional diferencia al producto gracias a la exploración de funciones alternativas y a los referentes naturales que desarrollan esas funciones. El resultado es la definición conceptual de productos, fase de diseño crucial para conseguir innovación.

En los apartados 2 y 3 se presenta una breve revisión de las metodologías de diseño biomimético y diseño conceptual basado en funcionalidad de producto a modo de marco, ya que una completa revisión necesitaría de un estudio especifico. También se realiza una descripción de la metodología desarrollada, citando su base y transformación, así como los resultados obtenidos en varios proyectos que se muestran con un ejemplo de uno de ellos.

El presente trabajo muestra el beneficio de relacionar métodos de diseño, utilizando los mapas mentales para la investigación en funciones clave y tablas de referentes biomiméticos para encontrar los seres vivos que ya han desarrollado soluciones para esas funciones.

2. INNOVACIÓN Y BIOMIMÉTICA. ANTECEDENTES METODOLÓGICOS

Los métodos convencionales de desarrollo de producto a menudo no son suficientes frente a las demandas de innovación de los escenarios futuros. La naturaleza puede ser un modelo para la tecnología y, por lo tanto, puede ser fundamental para sentar las bases para el desarrollo de nuevos productos (Drachsler, 2003).

La biomimética se usa para mejorar el proceso de diseño como un método complementario, sumar en vez de sustituir. Se usa como fuente creativa y por el potencial demostrado en combinación con otras metodologías de diseño (Viñolas i Marlet, 2005).

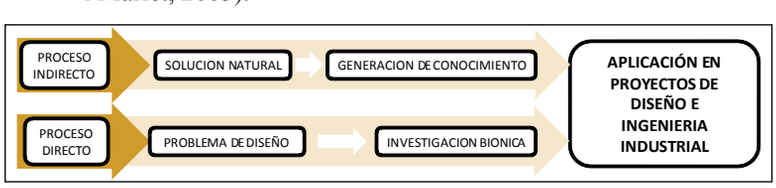


Figura 1: Procesos de diseño que involucran a la naturaleza

La Figura 1 representa dos métodos habituales en biomimética. Los procesos indirectos que parten de soluciones naturales para resolver un problema de diseño y los directos que, ante un problema de diseño, emplean referentes de la naturaleza para dar una solución.

Los procesos indirectos producen conocimiento científico con valor añadido, gracias a la investigación biológica, permiten desarrollarlo y traducirlo a soluciones aplicables en el ámbito artificial. Estos métodos se aplican al diseño, mostrando la viabilidad de ser solución de un sistema técnico. Son exploratorios, en busca de ideas válidas y aplicables, por eso es necesario conocer dónde se enmarca el proyecto de diseño, la relación con el ser vivo, y las características observadas en este.

En el *Biodesign Process* (Lodato, 2004), la selección de las características del organismo vivo que superan las posibilidades tecnológicas actuales, llevan a una investigación biónica para detectar y obtener los principios y los procesos que otorgan esa superioridad. Una vez conocidos se elaboran métodos y modelos para describir los sistemas biológicos en términos útiles para los diseñadores, y se eligen aquellos que demuestren la viabilidad de traducir este conocimiento en un aparato seguro y eficaz. Procesos similares (Vincent, 1997) utilizan bases de datos de "patentes de la naturaleza" y un método relacionado con TRIZ, llamado BioTRIZ. Son métodos que tratan de normalizar y estandarizar el proceso. Evitan el carácter intuitivo y establecen patrones que los hacen menos dependientes del proceso creativo.

El proceso directo hace una investigación en el ámbito de la naturaleza para encontrar principios que puedan ser extrapolados al ámbito del diseño, siendo solución al problema de partida. Lo habitual es encontrar casos que integran también el proceso indirecto. Hay referencias de metodologías que combinan ambos procesos, como los trabajos de Bombardelli y Di Bartolo (Songel, 1991; Lozano, 1996).

La metodología desarrollada en la Universidad de Friburgo (Milwich, 2006) usa la investigación biológica en biomecánica y en morfología funcional; los conocimientos obtenidos son preparados y puestos a disposición de la tecnología para su aplicación, que se denomina "Bottom-Up". También siguen una estrategia alternativa, la búsqueda de posibles soluciones del modelo biológico para solucionar problemas técnicos específicos, llamada "Top-Down". Ante la detección de un problema técnico se inicia la búsqueda de analogías en la biología, identificación de los correspondientes principios, abstracción del modelo biológico y aplicación de la tecnología a través de prototipos y pruebas.

Puede darse un "proceso dirigido por un problema dado" (Helms, 2009), iniciado por la definición del problema, y replanteado para buscar y definir la solución natural de la que extraer el principio biológico, pasando a una fase de aplicación sobre el problema. Este proceso se basa en la definición del problema por medio de dos técnicas, la descomposición funcional y la optimización funcional. Además está el "proceso dirigido por una solución dada", partiendo de una solución biológica se extrae su principio y se asocia a problemas técnicos en los que el principio podría ser aplicado. Procesos según Helms (2009), que resultan en mayor número de soluciones con alto grado de novedad.

Ambos procesos son validos y para ser desarrollados es necesaria la colaboración interdisciplinar entre tecnología y biología. No es sencillo encontrar un especialista capaz de aplicar los resultados de cada uno de los procesos y es difícil

obtener la información precisa en el formato y lenguaje adecuado.

La biomimética permite aproximar nuevas soluciones al campo del diseño industrial encaminadas a conseguir productos más creativos y diferenciados (López, 2010). Se han creado tablas (Bogatyreva, 2003), bases de datos (Vincent, 2005), listas de principios, etc., que establecen las analogías, similitudes, o relaciones entre las características de la naturaleza, y aquello que el hombre puede aplicar a sus artefactos. Todas tienen en común la búsqueda de la superación del estado de la técnica actual.

3. INNOVACIÓN Y FUNCIONALIDAD. ANTECEDENTES METODOLÓGICOS

Los procesos de diseño tienen una fase conceptual que define y caracteriza el producto, las decisiones tomadas tienen un impacto sobre su éxito final (Pahl &Beitz, 1996). Para aumentar la oportunidad de éxito es necesario encontrar una innovación radical. La teoría de diseño industrial ha evolucionado desde los métodos descriptivos hasta los modelos computacionales pasando por los prescriptivos y los basados en representaciones del proceso, según Tomiyama (2009). Pero los métodos necesitan crear nuevos caminos hacia la innovación (Seliger, 2001) relacionando disciplinas.

La innovación se puede generar por la búsqueda de nuevas funciones de producto aún no definidas, aquellas que no surgen de manera intuitiva (Tassinari, 1994), sino que son fruto de un proceso creativo orientado a generar novedosos y originales conceptos de producto.

Una función desarrollada en la naturaleza con un fin determinado puede tener una aplicación distinta en nuestros artefactos, y esa es precisamente la característica tan valiosa de la biomimética: la capacidad de extraer una función de un entorno determinado y extrapolarlo a lo artificial. Asimilando el concepto de exaptación, que describe como un organismo evoluciona originalmente para adaptarse a determinadas condiciones y, ya consolidada esa adaptación, comienza a ser usada y perfeccionada para una finalidad distinta. En la naturaleza el resultado de este nuevo uso permite al organismo conquistar otros nichos ecológicos; en los productos, facilita la conquista de nuevas posibilidades de negocio.

Los productos son la suma de sus funciones, están diseñados para cubrir una necesidad objetiva, una función principal. Existen otras funciones que complementan o mejoran el desarrollo de aquella. Todos los artefactos, pueden beneficiarse del análisis funcional para estar mejor concebidos y de esta manera mejorar su calidad (Tassinari, 1994). Un análisis funcional metódico otorga al producto un nivel de calidad funcional que lo coloca por delante de sus competidores.

3.1. DEFINICIÓN DE FUNCIONES

Se buscan funciones presentes en la naturaleza, pero aún inexistentes en los objetos, que generen nuevos conceptos de producto con un interés comercial (Bhushan, 2009). La comprensión de las funciones que se encuentran en la naturaleza sugiere su imitación.

La innovación surge por la detección de nuevas funciones, deseables en los productos y que son similares a las de la naturaleza. Existe una gran cantidad de funciones en los exoesqueletos que pueden ser aplicadas de manera innovadora en las carcasas de los productos, teniendo en cuenta la analogía funcional entre carcasas y exoesqueletos (Vincent, 2006). La función del sistema biológico se puede define como la acción necesaria para lograr la condición futura deseada (Bogatyreva, 2003). En el sistema artificial el objetivo sigue siendo el estado del sistema en el futuro. Así, su función es la acción necesaria para lograr los útiles o condición futura deseada con la ayuda de un dispositivo técnico.

FUNCIONES GENERICAS PROGRAM FUNCTIONS	FUNCIONES OBJETIVO GOAL FUNCTIONS	FUNCIONES ESPECIFICAS SPECIFIC FUNCTIONS
Crear	Reproducir	Multiplicar, Imitar, copiar, etc
	Producir	Aumentar, emitir, producir, etc
	Crecer	Aumentar, ensamblar, acumular, etc
	Depositar	Aumentar, almacenar, guardar, etc
	Fabricar herramientas	Usar la naturaleza, modificar la naturaleza, el diseño, etc

Tabla 1: Clasificación jerárquica de funciones biológicas aplicables por medio de BioTRIZ. (Bogatyreva, 2002)

En la Tabla1, se presenta como ejemplo la función crear, la organización de forma jerárquica y ordenada en diferentes niveles, desde el más genérico al más específico. Bogatyreva (2002) define las "Program functions" como funciones genéricas, que definen aunque no resuelven el objetivo final del producto. Las "goal functions", funciones objetivo, son necesarias para que se cumpla dicho objetivo y las "specific functions", funciones específicas, son aquellas que permiten que se cumplan las funciones objetivo.

En la Tabla 2 se muestra la búsqueda de funciones especificas de un objeto y su relación con la solución natural, se representa mediante una tabla espejo o simétrica en la que se organizan niveles jerárquicos. Su reorganización llevó a una representación de las funciones en forma de mapa mental. El objetivo es la determinación de funciones específicas de las carcasas de los productos, y así relacionarlo con otros niveles funcionales más específicos de las soluciones en la naturaleza, en el ejemplo se explicita la función protección de la carcasa de producto.

Se pueden ver en la Tabla 3 de manera esquemática (Gruber, 2010; Gosztonyi, 2010) representaciones jerárquicas de funciones en busca de aplicaciones biomiméticas en arquitectura, donde se relaciona la piel del edificio con la envoltura exterior de los seres vivos. El objetivo se centra en resolver una función por medio de soluciones en la naturaleza estableciendo preguntas, y definiendo referencias a los principios biológicos que mejor se puedan trasladar

REQUISITOS (FUNCIONES DE LAS CARCASAS)			SOLUCIONES (ANALOGIA CON FUNCIONES DE LOS EXOESQUELETOS)		
1er NIVEL (GENERICO)	2º NIVEL	3er NIVEL	FUNCIONES	EJEMPLO EN LA NATURALEZA	
FUNCION BASICA DEL PRODUCTO O GRUPO FUNCIONAL	FUNCION DETALLADA DE ALGUNOS DE SUS COMPONENTES O PARTES	FUNCION ESPECIFICA, FUNCION QUE REALIZA UN OBJETIVO CONCRETO	FUNCION DESARROLLADA POR EL EXOESQUELETO	EJEMPLO DE SER VIVO QUE DESARROLLA LA FUNCION	IMAGEN
PROTECCION (MANTENER LA INTEGRIDAD FISICA)	RESISTIR IMPACTOS	DISIPACION DE ENERGIA	RESISTIR IMPACTOS/ DISIPACION DE ENERGIA DE CHOQUE	La estructura del tejido de las patas del grillo amortigua el choque del salto debido a un exoesqueleto de cuticula flexible y fibras densas.	
		ABSORCION DE ENERGIA	RESISTIR IMPACTOS/ DISIPACION DE ENERGIA DE CHOQUE	El exoesqueleto de la libélula le protege durante las colisiones con la presa al ser duro pero lo suficientemente flexible como para absorber los golpes .	
				En las pulgas el recubrimiento de su exoesqueleto las protege durante los impactos.	
	PROTECCION ANTE AGRESIONES EXTERNAS	PROTECCION ANTE LA HUMEDAD	PROTECCION ANTE FACTORES ABIOTICOS / PERDIDA DE HUMEDAD	En los cercopoideos una espuma proporciona control térmico y de humedad. Dicha cubierta aísla de variaciones térmicas bruscas, permite la termorregulación y evita su desecación.	
				La cutícula de las cucarachas permite una variación de temperatura controlada y pérdida de humedad a través de una capa cerosa.	
		PROTECCION ANTE LA LUZ	PROTECCION ANTE FACTORES ABIOTICOS / FILTRADO DE LUZ	Los exoesqueletos de carbonato de calcio de los corales pueden ayudar a proteger sus simbiontes fotosintéticos mediante la absorción de los rayos UV.	

Tabla 2: Tabla que muestra los diferentes niveles de funciones y la relación carcasa-exoesqueleto

a los objetivos predeterminados. Ambas tablas tienen una separación entre la función buscada en la naturaleza y el objetivo pretendido en el ámbito artificial.

	Natural			Artificial
	función principal	funcionalidad de la piel en los seres vivos	quién / qué / cómo	analogía arquitectónica
Gruber (2010)	función que existe en un ser vivo y es deseada como solución para un problema técnico	listas de funciones realizadas por la piel en los seres vivos	quien está haciendo la función y cómo se logra la función	analogías en el campo de la arquitectura
	función	preguntas biologizadas		metas técnicas
Gosztonyi/ Gruber (2010)	función deseada para la innovación	preguntas sobre la naturaleza en busca de los principios más prometedores		requisitos y el estado de la técnica

trasmisión de lo natural a lo artificial

Tabla 3: Síntesis de tablas utilizadas en las metodologías de Gruber y Gosztonyi (2010)

3.2. ANÁLISIS FUNCIONAL Y CREATIVIDAD

En el análisis funcional clásico por medio del árbol de funciones y gráficos funcionales (Hubka, 1988) o por métodos más evolucionados como el Functional Analysis System Technique FAST, Structured Analysis and Design Technique SADT (Lambert, 1999) o Design Function Deployment DFD (Sivaloganathan, 2001) entre otros, se estudian los productos ya diseñados. Para la generación de nuevos conceptos es necesario aplicar la creatividad y proponer métodos alternativos. Por esta razón se relacionan el análisis de funciones con técnicas de creatividad.

Los mapas mentales son un método efectivo para la generación de ideas por asociación o analogía. Se establece un motivo central, con la idea principal, y se trabaja hacia el exterior

en todas direcciones, produciendo una estructura creciente y organizada compuesta de palabras clave, en este caso funciones. Existe un vínculo entre estas dos herramientas, ya que ambas utilizan organizaciones jerárquicas y ramificadas, que establecen niveles de relevancia y en determinados casos de abstracción.

En un proceso creativo utilizando el mapa mental para hacer análisis funcional, la búsqueda de nuevas funciones termina en niveles alejados del motivo central. Las funciones denominadas clave son aquellas cuyo objetivo o característica diferencian al producto, y lo definen más específicamente. Le permiten hacer cosas que otros productos no hacen y que aun no se han desarrollado, son el germen de una posible innovación (Bogatyreva, 2003).

Los sistemas biológicos son complejos, multifuncionales e interconectados, siendo difícil aislar una función sencilla (Helms, 2009). Es necesario estudiar el conjunto para obtener la función deseada, tal y como ocurre en productos complejos que tienen grandes grupos funcionales y necesitan interrelacionar sistemas.

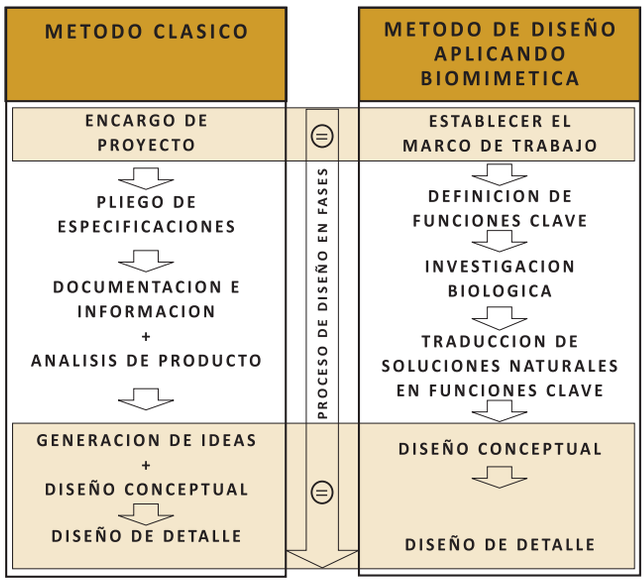


Figura 2: Coincidencias y diferencias entre metodología clásica y la nueva propuesta

4. METODOLOGÍA UTILIZADA

La meta principal de esta investigación supone establecer una nueva forma de trabajo, partiendo de un proceso de diseño tradicional en el que se estructuran fases de análisis y de síntesis. En la Figura 2 se pueden observar las coincidencias, en gris claro, y diferencias, en blanco, entre la metodología clásica y el nuevo método propuesto.

La fase inicial del encargo de proyecto es similar a establecer el marco de trabajo, se trata de definir el proyecto, los objetivos, las limitaciones y los condicionantes. En el encargo real hay un pliego de especificaciones de diseño, después comienza una fase de información y documentación, se analiza el producto a diseñar y el estado de la técnica. Estos análisis (funcional, formal, uso, materiales y procesos, etc.,) permiten definir conclusiones que serán fuente de generación de ideas en una fase conceptual, para después pasar a una fase de diseño preliminar y de detalle.

En el método propuesto inicialmente no hay un producto concreto a diseñar, se define el marco en un sector de actividad industrial o para un grupo de productos de características comunes, sobre los que actuar y encontrar novedades, indicando sus objetivos y requisitos. Tras definir el marco de trabajo, se establece la búsqueda de las funciones clave. Mediante la tabla 4 se hace la investigación biomimética y la traducción de los casos de éxito de la naturaleza para la aplicación a las funciones clave, una vez que están resueltas se realiza el diseño conceptual y de detalle. Estas fases finales son análogas a otras metodologías y atienden a la formalización del producto.

En la Tabla 4 la primera de las columnas tiene las funciones clave definidas previamente, la segunda con las líneas de investigación que relacionan la función clave con la manera de lograr los objetivos, y la tercera en la que cada una de estas líneas se refiere a uno o varios seres vivos y el modo en que pueden hacerlo de una manera particular. La Tabla 4 muestra cómo se actúa para encontrar los referentes biomiméticos. Se presentan en un proceso de dos direcciones, las cuestiones de cómo conseguir las funciones clave y como la naturaleza responde a nuestra necesidad, se muestra por la línea de izquierda a derecha marcada con el número 1. Una vez que se encuentran una serie de referentes naturales, se eligen los más idóneos para poner en práctica su solución funcional para nuestra función clave, que se muestra por la línea de retorno marcada con el número 2. Las líneas de investigación se desarrollan formulando preguntas respecto a la función clave, que se definen en términos biológicos para convertir una cuestión técnica en una búsqueda en el campo de la biología.

FUNCION CLAVE (OBJETIVOS DE PROYECTO)	LINEAS DE INVESTIGACION (COMO CONSEGUIR LAS FUNCIONES CLAVE)	REFERENCIA NATURAL (RELACION BIOMIMETICA)
FUNCION CLAVE 1	COMOSE PODRIA…?	SER VIVO 1
	QUIEN PODRIA…?	SER VIVO 2
	PORQUE SE DEBERIA…?	SER VIVO 3
	QUE TIPO DE ESTRUCTURA PODRIA…?	SER VIVO 4
	QUE MATERIAL PODRIA….?	SER VIVO 5
	QUE ES NECESARIO PARA ….?	
	DONDE SE PODRIA …..?	
FUNCION CLAVE 2	CUESTIONES PARA LA FUNCION CLAVE 2	SER VIVO x
FUNCION CLAVE 3	CUESTIONES PARA LA FUNCION CLAVE 3	SER VIVO y
FUNCION CLAVE 4	CUESTIONES PARA LA FUNCION CLAVE 4	SER VIVO z

Tabla 4: Búsqueda de la referencias biomiméticas para las funciones clave

5. CASO DE EJEMPLO Y RESULTADOS OBTENIDOS

5.1. OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo es el desarrollo de una metodología, que relacione biomimética con definición de funciones, que ayude a los diseñadores a detectar soluciones desarrolladas por la naturaleza y que satisfaga necesidades de producto con el fin de lograr innovación (Benyus, 2000; Valencia, 2010).

Otros objetivos son:

- Establecer analogías entre carcasas de producto y exoesqueletos desde el punto de vista funcional por medio de tablas que las relacionen.
- Evaluar los resultados de la metodología por la forma de establecer las funciones clave y las referencias biomiméticas, y finalmente por la forma de aplicar la solución natural a la función clave de una manera innovadora.
- Conseguir que el diseñador esté familiarizado con la investigación, dado que algunas funciones clave y soluciones naturales solo se encuentran mediante un proceso de investigación, por lo que hay que establecer fuentes válidas de información que contribuyan al conocimiento.

Para alcanzar estos objetivos se propone desarrollar el diseño de un producto o de un nuevo concepto con mejoras funcionales en su carcasa. La aplicación de esta metodología tiene el potencial de encontrar nuevas funciones para los productos o nuevas formas de resolver las ya existentes.

5.2. LAS FASES DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

A continuación se explicitan cada una de las fases, definidas e ilustradas por medio de un ejemplo realizado en un proyecto desarrollado de modo experimental.

5.2.1. Fase previa. Estableciendo el marco de trabajo

La biomimética puede proporcionar diversidad proyectual y soluciones a los problemas propuestos (López, 2010), por lo que en la etapa previa se establecen los requisitos funcionales para obtener la mejora y la innovación en el producto, estableciendo un marco de proyecto. Inicialmente no hay un proyecto con objetivos específicos, el marco establece criterios para seleccionar los objetos a diseñar.

En el ejemplo mostrado, se eligen las carcasas de productos de consumo por encontrarse en prácticamente todos los artefactos. En algunos casos su presencia es absolutamente necesaria, pero tienen poca funcionalidad y se puede ampliar. Sin embargo hay productos cuya carcasa tiene todas las funciones, y podrían proponerse mejoras, innovaciones o alternativas para conseguir dichas funciones. También es posible encontrar nuevos conceptos y también productos inexistentes. Las carcasas son frontera entre el componente funcional del producto y el entorno exterior, como en el organismo vivo la piel o exoesqueleto es la superficie que lo aísla del exterior.

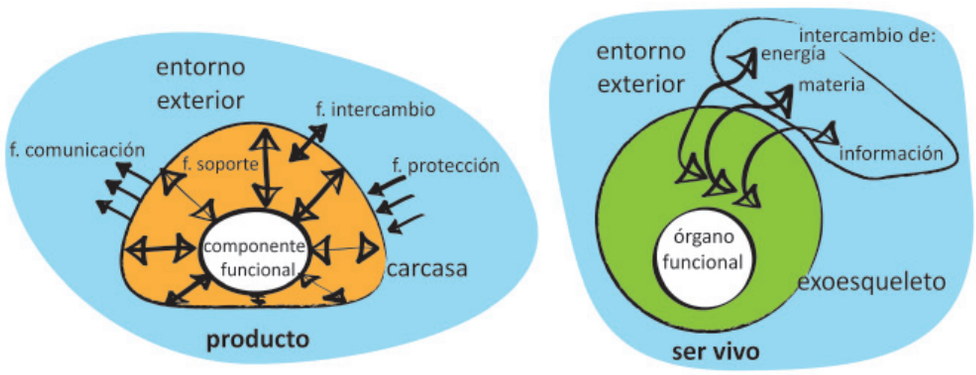


Figura 3: Relación de producto y organismo vivo con su entorno a través de carcasa y exoesqueleto

En la Figura 3 se muestra cómo ser vivo y producto están relacionados interna y externamente con su entorno, y cómo se interrelacionan exoesqueleto y carcasa. El ser vivo se caracteriza por el intercambio de energía, materia e información. El producto se caracteriza por sus funciones, de protección y soporte, permitiendo el intercambio de materia y energía y la comunicación. En ambos casos se trata de funciones básicas, de primer nivel.

Se establece el marco de posibles productos cuyas carcasas tienen cierta importancia debido a su función o característica sobresaliente. Se establecen criterios para identificar funciones clave, el objetivo es encontrar los criterios de aplicación que se correspondan a las funciones del medio natural. En este ejemplo se elige un envase para huevos, dentro del sector industrial del envasado de alimentos.

5.2.2. Fase 1. Análisis de las funciones clave

El análisis funcional de los objetos permite la búsqueda de nuevos conceptos de producto. La naturaleza puede ser respuesta directa o un elemento de influencia en el desarrollo de una nueva aplicación, es aquí donde se unen creatividad, funcionalidad y naturaleza.

Se buscan funciones por medio de mapas mentales y se eligen aquellas con mayor potencial de innovación y de relacionarse con las soluciones del medio natural.

Algunas funciones están relacionadas entre diferentes niveles y entre diferentes grupos funcionales, se muestran con líneas discontinuas las relaciones que pueden tener un interés mayor. Los niveles crecen de las funciones más genéricas, funciones básicas, hasta las más específicas, funciones clave.

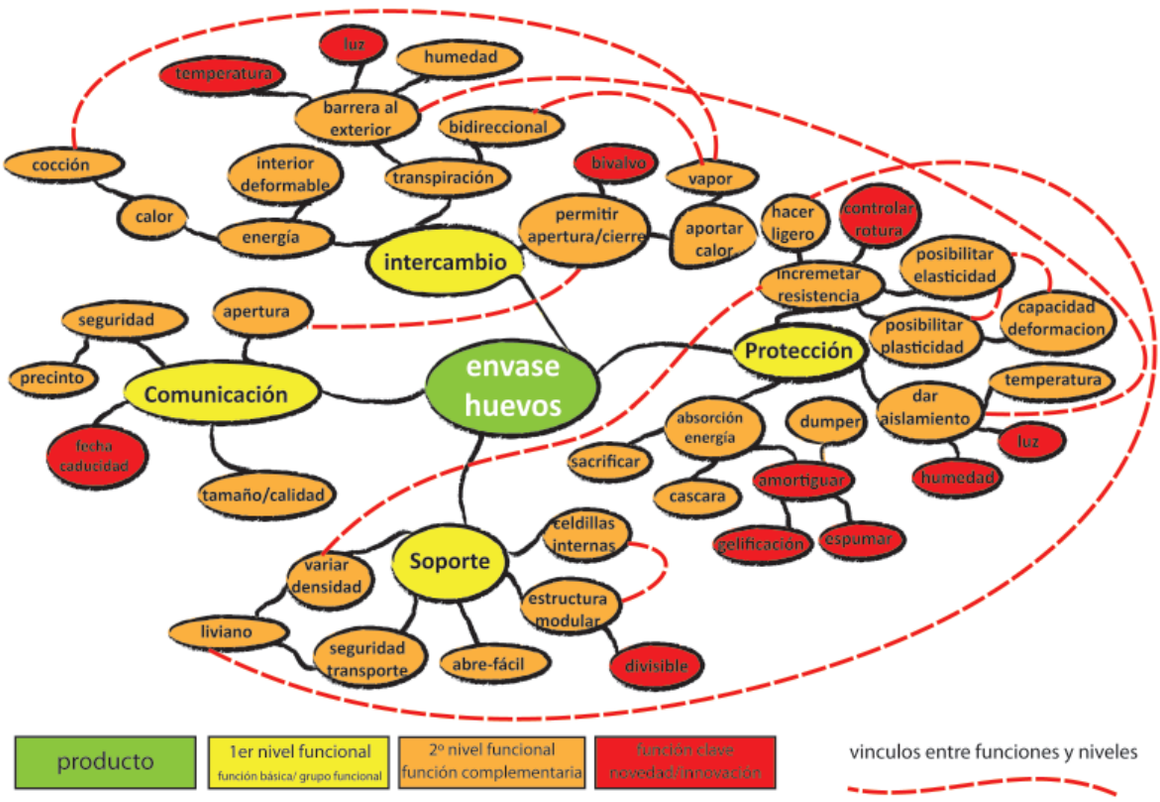


Figura 4: Ejemplo de un mapa mental y selección de funciones clave

El primer nivel se denomina grupo funcional, ya que agrupa funciones y tiene un alto grado de necesidad de existencia. La descomposición funcional permite desagregar una función compleja, que se consigue gracias a sub-funciones, que llamamos secundarias o auxiliares. Las funciones clave aportan innovación a los requisitos funcionales del producto, el objetivo es encontrar la analogía con las funciones en el medio natural.

La Figura 4 muestra algunas funciones clave han sido seleccionadas, como las de protección para preservar de la humedad y temperatura, o amortiguar golpes para evitar o controlar roturas, otras de soporte al tener estructuras modulares divisibles o de comunicación para tener un testigo o indicador de caducidad. Se ven los vínculos entre grupos de funciones como por ejemplo barrera al exterior y dar aislamiento.

Los mapas mentales proporcionan mayor libertad creativa en la definición de un objeto o producto que aún no existe, definiendo funciones seleccionadas para realizar la investigación biomimética.

5.2.3. Fase 2. Búsqueda de los referentes biomiméticos

Definidas las funciones clave comienza la fase de investigación biomimética en busca de la forma en que la naturaleza realiza dichas funciones, Las búsquedas se realizan mediante la identificación de las fuentes de información válida, el establecimiento de criterios, y la información de la organización (Wilson, 2005). Las fuentes son a menudo la documentación específica de los especialistas, biólogos, científicos e investigadores de los museos de ciencia, y bases de datos, o referencias como ASK-Nature.org entre otros.

Las funciones clave se transfieren a la tabla, se establecen las relaciones con el entorno natural por medio de preguntas que definen con más detalle la función clave. En la tabla puede haber varias soluciones naturales para una misma función clave. El criterio de selección se basa en la posibilidad de desarrollar y aplicar al producto, buscando la viabilidad de la función clave. La tabla 5 muestra por ejemplo, la elección del pomelo por su piel o los equinodermos por la rotura y división.

Los resultados varían debido al grado de definición, la validez de la información recopilada y la complejidad del tema desarrollado. En los proyectos desarrollados se logran buenos resultados, tanto en la definición de las funciones clave como en la búsqueda de funciones innovadoras en la investigación biomimética.

5.2.4. Fase 3. Aplicación de soluciones biomiméticas a la función clave

Los referentes biomiméticos más válidos se relacionan con la función clave. Se realiza una traducción del ámbito natural al artificial, siendo necesario abstraer el principio natural para poder implementarlo en la función desarrollada, esta es la fase más conceptual por la definición del producto y la forma en que se desarrolla.

FUNCIONES CLAVE (OBJETIVOS DEL PROYECTO)	LINEAS DE INVESTIGACION (COMO CONSEGUIR LAS FUNCIONES CLAVE)	REFERENTE NATURAL (RELACION BIOMIMETICA)
Protección/ dar aislamiento	preservar de la temperatura exterior	Al caracol del desierto su exoesqueleto le protege del calor. Su concha les ayuda a soportarlo por la reflexión de la luz y la estructura de capas, dando aislamiento de aire. La termobiosis no es exclusiva de faunas hidrotermales, también ocurre en especies terrestres. El Sphicterochila boisseri puede sobrevivir en el desierto a temperaturas de hasta 50 °C. (Schmidt-Nielsen, 1971)
		La cutícula de las cucarachas permite una variación de temperatura controlada y pérdida de humedad a través de una capa cerosa. (Wigglesworth, 1945)
	preservar de la luz / humedad exterior	El material y estructura de algunos exoesqueletos hacen de barrera ante la luz y la humedad. La quitina en determinado espesor es opaca e impermeable, permaneciendo flexible. (Alberts, 2004)
		En los cercopoideos una espuma proporciona control térmico y de humedad. Dicha cubierta aísla de variaciones térmicas bruscas, permite la termorregulación y evita su desecación. (Ball, 2007)
		Los exoesqueletos de carbonato de calcio de los corales pueden ayudar a proteger sus simbiontes fotosintéticos mediante la absorción de los rayos UV. (Reef, 2009)
Protección/ controlar la rotura	zonas de sacrificio, rotura	Erizos, equinodermos, La estructura de los exoesqueletos de los equinodermos tienen líneas de rotura presetablecidas. (Brusca, 2005)
	crear lineas de rotura preestablecidas	Coral. Ramas que se protegen rompiéndose. En el Caribe algunas formas de coral pétreo, Acropora Cervicornis, de ramas largas y delgadas con material esquelético frágil y a menudo se rompen, las piezas rotas sobreviven y crecen. Esta rotura programada y su crecimiento parece ser el principal mecanismo de reproducción asexual y la propagación de A. Cervicornis. Por otra parte, cuando un organismo se rompe, las fuerzas sobre la estructura se reducen, por lo tanto, la rotura parcial puede evitar la destrucción total. (Koehl, 1984)
	absorber energia del choque	El exoesqueleto de la libelula es flexible pero resistente a los impactos. Su exoesqueleto es a la vez muy resistente, y la protege durante las colisiones con la presa pudiendo absorber el impacto. (Harun Yahya, 2002)
Protección / amortiguar el impacto	crear una zona espumada / viscoelastica	El pomelo. La cáscara de los pomelos es un modelo a seguir en la utilización de espumas de estructura jerárquica. Muchas frutas tienen que hacer frente a las elevadas fuerzas de aceleración durante el impacto en la tierra. El Pomelo (Citrus maxima) cae desde alturas de hasta 10 m. a pesar de la altura de caída y del peso de la fruta (1 kg) su piel puede proteger el interior , su epidermis en densa en el exterior y esponjosa en el interiordonde el material es comparativamente más ligero. (Seidel, 2010)
	crear una bolsa de gel	Una ooteca (del griego óon, "huevo" y theke, "depósito") es el depósito de huevos que forman diferentes animales, principalmente moluscos e insectos. Un ooteca contiene muchos huevos generalmente rodeados por una proteína espumosa que se endurece en contacto con el aire formando una cubierta de protección. (Ruppert, 2004)
Soporte / estructura modular divisible	crear celdillas	La carcasa del virus. La carcasa es la estructura de mínima energía libre. La cubierta de proteína del virus proporciona el máximo volumen interior con la conformación más económica, mediante la adopción de geometría icosaédrica.Una cúpula en 20 caras triangulares es la mejor manera de producir una carcasa de elementos identicos en condiciones de servidumbre estructural idéntica. (Caan, 2004)
	estados de agregacion	Las huevas de los peces en estado de agregacion unidas por una mucosa o gelatina. (Castro, 2003)
Intercambio / permitir abrir y cerrar	apertura como bivalvo / carcasa compuesta	Moluscos bivalvos en general, posibilidad de apertura y cierre. El ligamento en moluscos bivalvos puede volver a abrir las valvas cerradas debido a la presencia de abductina, proteína elástica y gomosa que se encuentra en los ligamentos de apertura de concha de los moluscos bivalvos. Uno o dos músculos aductores mantienen las valvas cerradas . En el cierre se comprime el ligamento , por lo que su capacidad de recuperación elástica puede volver a abrir el depósito, si los músculos se relajan. (Vogel, 2003)
Comunicación / fecha caducidad	sensible a cambios, toxicos, unidad de tiempo	Las almejas se utilizan como la alerta biológica, al detectar los tóxicos disueltos en agua en concentraciones muy pequeñas, se cierran y quedan herméticas. (OPTI, 2009)

Tabla 5: Búsqueda de referentes biomiméticos para funciones clave de un envase de huevos

Las referencias que se encuentran en la naturaleza se transforman y adaptan para ser solución de las funciones clave, agregando valor, diferenciación e innovación. Para ello es necesario encontrar una traducción del principio natural a un principio técnico o de ingeniería, es decir encontrar una forma de aplicar la solución natural. Las referencias naturales más interesantes son transformadas en especificaciones de diseño para generar conceptos, por lo que los resultados biomiméticos se adaptan a la función clave.

Por ejemplo se estudia la estructura y material de la cascara del pomelo para determinar su capacidad de absorción de energía sin dañar el interior, o sus propiedades para preservar del calor y la humedad.

5.2.5. Fase 4. Diseño conceptual

Los conceptos son descritos como un grupo de especificaciones de producto, y pueden ser creados por una sola referencia natural o como la combinación de varias. Los resultados de la investigación obtenidos mediante el análisis funcional y el desarrollo biomimético se aplican a un diseño, o un nuevo concepto de producto, establecimiento las mejoras. Se proponen posibles soluciones para el diseño conceptual, la adaptación se hará mediante el desarrollo de ideas para el nuevo producto por medio de bocetos, dibujos, textos que explican el concepto y otras técnicas.

De manera resumida se pueden marcar las siguientes especificaciones o definición conceptual de producto, ilustrado según la Figura 5: Envase para huevos de tipo espumado, la piel absorbe la energía del choque, formado como agregado uniendo varias unidades de huevos, y que son debilitados por líneas de rotura o sacrificio para ser separados. El propio material puede ser un testigo o indicador de contaminación en el producto y también preserva del calor, la luz y la humedad. Al estar la espuma recubriendo por completo la cáscara del huevo, la rotura de esta no implica contaminación. El envase individual puede tener zonas de fractura predeterminadas para abrir el huevo, o bien puede abrirse o ser disuelto en agua caliente. La geometría de agregación permite apilamiento y sujeción entre módulos.

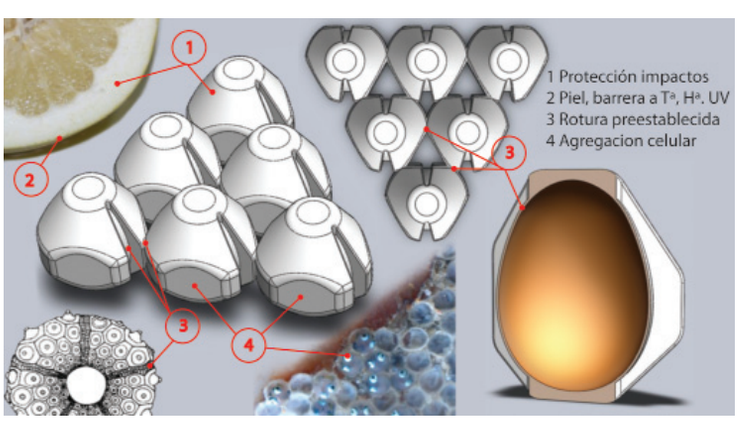


Figura 5: Ilustración conceptual del envase para huevos

5.2.6. Fase 5. Diseño preliminar y de detalle

Estas fases de diseño desarrollan la formalización del producto, similares a otros proyectos de diseño, el producto se define a nivel dimensional, procesos de producción, selección de materiales, etc. Los proyectos y ejemplos utilizados para experimentar con la metodología fueron propuestos sólo a nivel conceptual, para evaluar su viabilidad, conocer el estado de la técnica y la posibilidad de aplicar los resultados biomiméticos, por lo que el diseño de detalle no compete al alcance de este trabajo.

6. EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Gracias a varios proyectos de diseño, además del ejemplo descrito, se ha evaluado la metodología. Por medio de la tabla resumen, Tabla 6, se explica su potencial y beneficios, así como las dificultades para su implantación.

Fortalezas	Debilidades
La metodología provee y facilita el modo de encontrar nuevas soluciones en la naturaleza.	Es difícil definir claramente el marco inicial de trabajo, los marcos definidos inadecuadamente impiden una correcta evolución del proceso.
El proceso creativo planteado es más abstracto y sin limitaciones, facilitando encontrar soluciones innovadoras por su mayor libertad creativa.	La falta de experiencia dificulta la realización del mapa mental y la definición de las funciones clave.
Una vez las líneas de investigación están definidas y claras, la tabla es fácil de aplicar y permite hacer una búsqueda rápida de los referentes naturales.	La variedad de soluciones naturales genera un proceso divergente, y dispersión de opciones dificultando la selección de la más optima.
Las soluciones naturales encontradas tienen múltiples aplicaciones, el principio de la naturaleza se traduce en varias aplicaciones como principio técnico o ingenieril.	En ocasiones es difícil traducir la solución natural para generar una solución técnica por la necesidad de investigar en profundidad sobre el principio natural.

Tabla 6. Evaluación de la metodología por sus fortalezas y debilidades

7. CONCLUSIONES

Se ha probado la bondad de esta metodología en proyectos llevados a cabo de manera experimental con el fin de encontrar soluciones alternativas y reforzar el proceso creativo tradicional, definiendo funciones clave como objetivos y especificaciones que el producto a diseñar debe cumplir. La metodología aquí propuesta no pretende encontrar una solución a un problema dado, como lo hacen otras metodologías, va en busca de soluciones a funciones que pueden ser integradas en diversos productos de un mismo ámbito. El impacto de introducir soluciones de la

naturaleza en el proceso de diseño incrementa la novedad de la propuesta conceptual y aumenta el número de soluciones para una función clave.

El nivel de innovación depende de la dificultad de resolver la función clave solicitada, a mayor innovación más específica es la función clave, y mayor la dificultad de encontrar una solución natural. Al contrario que en procesos indirectos, donde el estudio específico de un individuo puede dar soluciones válidas. Las funciones genéricas son más fáciles de lograr, por haber más referentes biomiméticos y más conocidos, aunque la novedad es menor.

Algunas referencias naturales son encontradas en la investigación biomimética, pero se detecta que la relación entre el exoesqueleto y las carcasas no es exclusiva, ya que algunas funciones clave se pueden resolver por otras soluciones naturales no incluidas en los exoesqueletos.

Es necesaria la relación con biólogos y especialistas que conocen las formas de vida, sus funciones, su comportamiento y las características que nos permitan desarrollar nuestra solución. Dado que los proyectos de experimentación metodológica no están destinados a llevar a cabo investigaciones sobre los aspectos biológicos, la investigación y búsqueda de alternativas se basa en la forma de aplicar los conocimientos actuales de la biología, las formas de vida, etc. a las necesidades expresadas por los objetos a diseñar.

Este tipo de procesos tienen un problema común en innovación y diseño, y por analogía en el ámbito de la creatividad, que es la reducción de la incertidumbre. No son muy utilizados, ya que son exploratorios y no normativos, es decir, el resultado final no es garantía de éxito. Por contra, son procesos que proporcionan soluciones más innovadoras, que resultan en la obtención de propuestas originales con mejoras respecto a otros procesos como el normativo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alberts B, Lewis J, Johnson A. *Biología molecular de la célula*. 4ª edición. Barcelona: Omega, 2004. ISBN 8428213518
- Ball P. "Beijing Bubbles". Nature. 2007, 448. p256. http://dx.doi.org/10.1038/448256a
- Benyus J. *Biomimicry: innovation inspired by nature*. 1ª edición. New York: Harper Collins Publishers Inc., 1997. 308 p. ISBN:9780060533229
- Bhushan B. "Biomimetics: lessons from nature – an overview". *Philosophical Transactions* of the Royal Society A. Vol. 367 no. 1893. p. 1445-1486
- Bogatyreva O, Pahl A, Vincent J. "Enriching TRIZ with Biology: The Biological Effects database and implications for Teleology and Epistemology". *ETRIA WORLD CONFERENCE*-2002, Strasbourg, 6-8 November, p.3-1-307
- Bogatyreva O, Pahl A, Bowyer A, et al. "Data gathering for putting biology in TRIZ". *Altshuller Institute 5th TRIZ Conference*. Philadelphia, USA, 2003
- Brusca R. C, Brusca G. J. *Invertebrados*. 2ª edición. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana, 2005. 1005 p. ISBN 0-87893-097-3.
- Cann A. *Principles of Molecular Virology*. Elsevier, 2005. 352 p. ISBN: 978-0-12-088789-7
- Castro P, Huber E. *Marine biology*. 4ª edición. New York: McGraw-Hill, 2003. 468p. ISBN: 9780072937251
- Drachsler K. *"Bionik – mit einer neuen Systematik schneller zu Innovationen"*. Interaktiv. 2003. Vol 1. Disponible en internet: < http://w3.ipa.fhg.de/PresseMedien/interaktiv/interaktiv_2003_01.pdf>
- Gosztonyi S, Brychta M, Gruber P. "Challenging the engineering view: comparative analysis of technological and biological functions targeting energy efficient facade systems". *Design & Nature V, WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2010, Vol. 138 p. 491-502.
- Gruber P, Gosztonyi S. "Skin in architecture: towards bioinspired facades". *Design & Nature V, WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2010, Vol. 138 p. 503-513.
- Harun Yahya. *Design in Nature*. London: Ta-Ha Publishers Ltd, 2002. 180 p. ISBN 1-84200-035-7.
- Helms M. "Biologically inspired design: process and products". *Design Studies*. 2009, Vol. 30, Issue 5, p. 606-622.
- Hubka V, Eder W. E. *Theory of technical systems: a total concept of technical systems*. Berlin: Springer-Verlag, 1988. 275p. ISBN 9780387174518.
- Koehl M. A. R. "How do benthic organisms withstand moving water". *American Zoologist*. 1984, 24. 57-70.
- Lambert M, Riera B, & Martel G. "Application of functional analysis techniques to supervisory systems". Reliability Engineering and System Safety. 1999, 64(2). P 209-22. http://dx.doi.org/10.1016/S0951-8320(98)00064-7
- Lodato F. "BioDesign: The Nature of Design". MIT Media Lab. 2004. Disponible en internet: <http://www.media.mit.edu/events/di-2004-10-22/lodato2004-1022.pdf>.
- López-Forniés I, Berges-Muro L. "Relation between biomimetic and functional analysis in product design methodology". *Design & Nature V, WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2010, Vol. 138, 2010. p. 317-328.
- Lozano P. M. "El diseño natural: aproximación histórica, metodologías, aplicación y consecuencias". Director: Garceran Piqueras, R. Universidad Complutense de Madrid, 1996.
- Milwich M, Speck T. "Biomimetics and technical textiles: Solving engineering problems with the help of nature's wisdom". *American Journal of Botany* 93(10), 2006. p 1455–1465.
- OPTI. *VT Acuicultura*. Boletines de Vigilancia Tecnológica. 2009, Nº 6, 2º trimestre. "Efectos de los dinoflagelados tóxicos en el movimiento de las valvas de la almeja japonesa". Disponible en internet: <http://www.opti.org/publicaciones.asp?pag=2>
- Pahl G, Beitz W. *Engineering Design: A systematic approach*. London: Springer Verlag Ltd. 1996. 544 p. ISBN 3540199179
- Reef R, Kaniewska P, Hoegh-Guldberg O. "Coral skeletons defend against ultraviolet radiation". *PLoS One*. 2009, 4(11).
- Ruppert E.E, Fox R.S, Barnes R.D. *Invertebrate Zoology*. 7ª edición. Thomson. Brooks/Cole, 2004. USA. 963 pp ISBN: 9780030259821
- Schmidt-Nielsen K, Taylor C. R, Shkolnik A. Desert snails: problems of heat, water and food. Journal of *Experimental Biology*. 1971, 55. p 385-398.
- Seidel R, Thielen M, Schmitt C, et al. "Fruit walls as an inspiration for the design of bio-inspired impact resistant hierarchically structured materials". *Design & Nature V, WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2010, Vol. 138 p. 421-430.
- Seliger, G. "Product innovation – industrial approach". *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2001, 50(2), 425-443.
- Sivaloganathan S, Andrews PTJ, Shahin TMM. "Design function deployment: A tutorial introduction". *Journal of Engineering Design*. 2001, 12(1), 59-74.
- Sivaloganathan S, Andrews PTJ, Shahin TMM. "Design function deployment: A tutorial introduction". Journal of Engineering Design. 2001, 12(1), 59-74. http://dx.doi.org/
- Songel, G. "Estudio metodológico de la biónica aplicada al diseño industrial". Director: Gómez-Senent Martínez, E. ETSII, Universidad Politécnica de Valencia, 1991.
- Tassinari, R. *El producto adecuado, práctica del análisis funcional*. 1ª edición. Barcelona: Marcombo, S.A., 1994. 133 p. ISBN:8426709516
- Tomiyama T, Gu P, Jin Y. "Design methodologies: Industrial and educational applications". *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2009, 58(2). p 543-565.
- Valencia-Escobar A. "Experimentación objetiva, un instrumento para innovar". *Encuentro Latinoamericano de Diseño, Acta nº 9*, Universidad de Palermo, Buenos Aires. Argentina, 2010
- Vincent J. *Deployable Structures. Stealing ideas from nature*. Vienna-New York: Pellegrino S. Springer Verlag, 1997. p. 360, 51-58. ISBN: 9783211836859
- Vincent J, Bogatyreva O, Pahl A, et al. "Putting biology into TRIZ: a database of biological effects". *Creativity and Innovation Management*. 2005, Vol. 14, Issue 1, p. 66–72.
- Vincent J, Bogatyreva O, Bogatyrev N, et al. "Biomimetics – its practice and theory". *Interface Journal of Royal Society*. 2006, Vol. 3 no. 9 p. 471-482.
- Vogel, S. *Comparative Biomechanics: Life's Physical World*. Princeton: Princeton University Press, 2003. 580 p. ISBN: 9780691112978
- Viñolas i Marlet, J. *Diseño ecológico: hacia un diseño y una producción en armonía con la naturaleza*, Barcelona: Blume, 2005. 396 p. ISBN: 9788495939081
- Wigglesworth, V. B. "Transpiration through the cuticle of insects". *Journal of Experimental Biology*. 1945, 21(3). p 97-114.
- Wilson-Kindlein J, Andrea-Seadi G. "Methodology for product design based on the study of bionics". *Materials & Design*. Vol. 26, Issue 2. p 149-155.