

BIOMIMÉTICA PROYECTUAL

Aproximaciones a la enseñanza del proyecto en Diseño Industrial

D.I. Luciana Fernández Laffont



DIRECTOR: Dr. Mario Mariño

CODIRECTORA: Dra. Mónica Miralles

TESIS DOCTORAL

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU)

Universidad de Buenos Aires (UBA)

BIOMIMÉTICA PROYECTUAL

Aproximaciones a la enseñanza del proyecto en Diseño Industrial

ÍNDICE

Introducción.....	5
--------------------------	----------

PARTE 1

1.1. Orígenes y desarrollo de la biomimética

1.1.1. Antecedentes de la biomimética.....	12
---	-----------

1.1.1.1. La biomimética: de referente proyectual a conceptual.....	12
---	-----------

1.1.1.2. Introducción a los conceptos centrales del campo biomimético.....	14
---	-----------

1.1.1.3. Antecedentes fundacionales de la biomimética.....	18
---	-----------

1.1.2. La biomimética y el diseño industrial: la biomimética proyectual.....	22
---	-----------

1.1.2.1. Productos biomiméticos paradigmáticos.....	25
--	-----------

1.1.3. Desarrollos productivos biomiméticos, propiedad intelectual y patentes de producción.....	60
---	-----------

1.1.4. Conclusiones.....	63
---------------------------------	-----------

1.2. Diseño Industrial y biomimética

1.2.1. Biomimética y alternativas metodológicas para el Diseño Industrial.....	66
---	-----------

1.2.2. Análisis crítico de los enfoques biomiméticos recientes.....	78
--	-----------

1.2.3. Biomimética e innovación tecnológica.....	83
---	-----------

1.2.4. Hipótesis y objetivos de tesis.....	86
--	----

1.2.5. Conclusiones.....	88
--------------------------	----

PARTE 2

2.1 La enseñanza de la biomimética

2.1.1. Presentación de marcos teórico-metodológicos de diseño biomimético.....	92
--	----

2.1.1.1 BioTriz.....	93
----------------------	----

2.1.1.2 Biomimicry DesignLens y Biomimicry Thinking.....	95
--	----

2.1.1.3 Dos aproximaciones estratégicas desde la biónica.....	100
---	-----

2.1.2. Análisis comparativo de los marcos teórico-metodológicos.....	104
--	-----

2.1.3. Conclusiones.....	108
--------------------------	-----

2.2. Propuesta teórico-metodológica para la enseñanza del proyecto biomimético

2.2.1. Hacia una enseñanza proyectual desde el punto de vista biomimético.....	110
--	-----

2.2.2. Presentación y análisis de experiencias y casos. Críticas de los casos desde la óptica de los tres marcos teóricos propuestos.....	112
---	-----

2.2.3. Análisis de casos realizados con metodologías tradicionales y comparación con casos realizados con metodologías biomiméticas.....	186
--	-----

2.2.4. Metodología propuesta.....	190
-----------------------------------	-----

2.2.5. Conclusiones.....	197
--------------------------	-----

3. Conclusiones finales

3.1. Conclusiones y reflexiones generales..... 200

3.2. Perspectivas futuras..... 202

Bibliografía..... 206

Referencias de tablas y figuras..... 213

Anexo..... 226

Introducción

La presente tesis, desde su título general **biomimética proyectual**, expresa la voluntad de investigar y teorizar acerca de la relación entre la biomimética y la labor proyectual en el área del diseño industrial. Es decir, se propone indagar en el campo conceptual de la biomimética para rescatar todo aquello que aporte a la construcción de un **marco teórico proyectual** pertinente para el enriquecimiento de la cotidiana tarea del diseñar, como así también, posibilitar aspectos de una nueva heurística que permita abordajes proyectuales alternativos a los convencionales.

El subtítulo “**Aproximaciones a la enseñanza del proyecto en diseño industrial**” señala la intención adicional de aportar los hallazgos de la *biomimética proyectual* a la enseñanza del proyecto en alumnos del grado de la carrera de Diseño Industrial.

Se trata, entonces, de articular el campo nocional relativamente nuevo de la *biomímesis*, noción acuñada por la bióloga Janine Benyus en 1997 (Benyus, 1997), con:

- a) el proceso proyectual en general y, en particular, el del Diseño Industrial y,
- b) con la enseñanza de tal proceso para la mejora continua de nuestros futuros profesionales. Esta articulación es la base del **marco teórico** de esta tesis.

Esta idea relacional - biomimética proyectual - no debería entenderse como una relación más dentro de las teorías proyectuales. Los procesos de deterioro de ambientes naturales, la crisis ecosférica de sustentabilidad, demanda el aporte de nuevas relaciones estratégicas, como la propuesta. Ello se debe a la creciente responsabilidad de los diseñadores industriales (y de los educadores de los diseñadores), que están urgidos a concebir nuevos objetos y procesos que atiendan las nuevas necesidades socio-culturales demandadas por la crisis de sustentabilidad.

Entender las cualidades o principios de la naturaleza emulable a nivel artificial, no ya con la idea de copiarlos o imitarlos en forma parcial o total (en caso que se pudiera), sino tomar a la naturaleza como **referente conceptual** para el plano proyectual es, sin duda, uno de los caminos posibles para contribuir al manejo racional de recursos naturales, al cuidado del planeta y al equilibrio adecuado entre especies y entorno. Toda esta actividad se ve potenciada por el uso de innovadores recursos tecnológicos disponibles en todos los campos.

En el actual estadio del proceso de crisis ecosférica, en el cual muchos parecen advertir el final *de la naturaleza* y la creciente dependencia de la llamada *ecología artificial* (Fernández, 2012), la responsabilidad ética y técnica de los proyectistas de tal ecología artificial, se acrecienta. La posibilidad de aportar nuevas dimensiones en el campo proyectual con aportes de la biomimética, pueden ayudar a sostener la naturaleza remanente, pero también a imitar las cualidades naturales que constituyen atributos de racionalidad energética y matérica, y de su mutua dependencia.

Frente a la artificialidad pura o absoluta, imitar los principios y funciones del mundo natural -tanto orgánico, como inorgánico- puede significar un modo estratégico de preservarla o defenderla y en todo caso, reproducirla en nuevos *artefactos* cuya entidad reposa en fundamentos biológicos.

Imitar y reproducir a la naturaleza, en la dirección de lograr nuevos y mejores bienes y servicios, no sólo implica valorar y participar del creciente progreso y desarrollo basado en la técnica, sino también alentar a una nueva *cultura proyectual* que utilice, pero también entienda y valore, lo que la naturaleza ofrece en tanto capacidad técnica de sostener y reproducir la vida en toda su diversidad, en el permanente ensayo evolutivo.

Un proyecto alternativo orientado por los principios biomiméticos va mucho más allá de la mera imitación romántica o apariencial de la naturaleza como paisaje, o de

copiar mecanismos básicos de especies, como se hizo en los albores de la historia de la ingeniería. Se basa ahora en un saber que tiene sus raíces en indagaciones científicas validadas.

La tesis se estructura en dos partes. La primera, en 1.1.1., aborda una descripción analítica de los aportes devenidos de la biomimética. Su impacto y desarrollos proyectuales se presentan mediante una selección de productos paradigmáticos, en 1.1.2..

La segunda parte se enfoca en la indagación sobre una enseñanza alternativa del diseño basada en metodologías y enfoques devenidos de la biomimética. La puesta en juego de estas metodologías dio lugar a una serie de experiencias didácticas efectuadas en diferentes talleres, con alumnos en distintos estadios de la carrera de diseño industrial, en el marco de clases especialmente planificadas.

Los ejercicios proyectuales fueron pautados a partir de criterios metodológicos inspirados en el campo biomimético constituyendo, cada uno de ellos, un campo de exploración experimental en sí mismo.

El resultado de todas estas experiencias se sintetiza, por un lado, en la proposición de un marco teórico metodológico apto para proyectar y para enseñar a proyectar, que supone uno de los aspectos conclusivos de la presente investigación y, por el otro, un posible aporte al campo de la didáctica proyectual.

La tesis incluye, de este modo, una parte orientada a ofrecer un marco teórico específico, surgido a partir de la reflexión sobre los desarrollos teóricos y metodológicos biomiméticos (teoría general) y otra, pautada por criterios propios de la investigación experimental cualitativa. En esta última, una secuencia programada de ejercicios proyectuales (casos) analiza los posibles pasajes de aquellas teorías a instancias prácticas de proyecto.

La primera parte, ya mencionada, se articula, a su vez, en dos subsecciones: La 1.1. orientada a presentar los orígenes y el desarrollo de la biomimética (teorías generales y sustantivas), mientras que, en la 1.2., se presenta la exploración de las relaciones entre el diseño industrial y la biomimética a partir de aportes recientes que dan origen a la llamada *biomimética proyectual* postulada en esta tesis.

En 1.1.1. y 1.1.2. se analizan los antecedentes de la biomimética para detenerse en el análisis de una serie de productos biomiméticos paradigmáticos (1.1.2.1.), a partir de la construcción del marco teórico planteado por Herbert Simon en su libro *Ciencias de lo artificial* (Simon, 1996).

Luego, se pasa a considerar aspectos de cómo ciertos desarrollos productivos biomiméticos (1.1.3.) fueron derivando hacia su inserción en la esfera productiva propiamente dicha. Es decir, con registro de propiedad intelectual, en particular, patentes de invención, con el fin de analizar cómo estos desarrollos teórico-experimentales pasaron a devenir instancias productivas concretas, incluso en algunos casos, de gran éxito industrial y comercial.

En la subsección 1.2. se define, con mayor precisión conceptual y metodológica, las relaciones entre el diseño industrial y las ideas de la biomimética que se profundizan en (1.2.1.).

En este punto se busca establecer el estado de la cuestión sobre alternativas metodológicas basadas en este encuadre. Se desarrolla un apartado en 1.2.2. que propone realizar un análisis crítico de enfoques biomiméticos recientes.

Se destina la sección 1.2.3. a indagar en las relaciones entre la biomimética y la innovación tecnológica, todo ello orientado a establecer como marco teórico conceptual, las hipótesis y objetivos de la presente tesis en 1.2.4..

Las características de la enseñanza desde un enfoque biomimético se abordan 2.1. Se analizan tres metodologías seleccionadas, por ser consideradas innovadoras, en torno de los intereses de esta tesis, en 2.1.1.

Se trata de:

- a) La metodología *BioTriz* (Vincent, 2006), surgida a partir de la herramienta llamada *Triz*, presentada en 2.1.1.1.
- b) El enfoque de Janine Benyus (Benyus, 1997), con su *Biomimicry Thinking* y el uso de los *Biomimicry DesignLens*, presentadas en 2.1.1.2.
- c) La propuesta inspirada en la biónica desarrollada por los investigadores alemanes Neurohr y Dragomirescu, (Neurohr&Dragomirescu, 2001) que plantea dos aproximaciones estratégicas para el desarrollo de proyectos, presentadas en 2.1.1.3.

El punto 2.2. se centra en la posibilidad de aplicar las ideas biomiméticas a proposiciones metodológicas en el campo proyectual, para su utilización profesional.

En el punto 2.2.4. se desarrolla una propuesta concreta para la enseñanza del proyecto biomimético. Se establecen los criterios y posibilidades, desde el punto de vista biomimético, para abundar, luego, en una presentación y análisis de experiencias y casos, los cuáles son analizados, críticamente, desde la óptica de los tres marcos teóricos propuestos, ya mencionados en 2.1.1.

La sección 2.2.1. presenta el estado de las alternativas metodológicas del proyecto basadas en la biomimética. La 2.2.2 expone algunas experiencias realizadas para esta tesis, en diversos ámbitos de enseñanza de grado y posgrado.

Un análisis de casos realizados con metodologías tradicionales, que se comparan con otros realizados con metodologías biomiméticas, se presenta en 2.2.3.

Para sintetizar este estado de la cuestión, y verificar cierta disponibilidad metodológica para proyectar y para enseñar a proyectar, se realiza un análisis comparativo de los marcos teórico-metodológicos presentados en 2.2.4.

La última parte se consagra a las conclusiones vinculadas, por un lado, a evaluar las relaciones entre el marco teórico propuesto y los experimentos didáctico-proyectuales realizados. Por el otro, a delinear perspectivas futuras en torno de la relación básica que postula el tema de la tesis - *biomimética proyectual* - tanto para establecer la necesidad de una ética tecnológica, como para fortalecer una mirada ecológico-sustentable que aproveche la rearticulación de lo natural con lo artificial.

BIOMIMÉTICA PROYECTUAL

Aproximaciones a la enseñanza del proyecto en Diseño Industrial



PARTE 1

1.1. Orígenes y desarrollo de la biomimética

1.1.1. Antecedentes de la biomimética

1.1.1.1. La biomimética: de referente proyectual a conceptual

La concepción de objetos artificiales relacionada con principios o propiedades del mundo natural es de larguísima data. ¿Por qué no tomar entonces a la naturaleza como *referente proyectual*? si, al igual que los diseñadores, trabaja con materias primas, hace interpretaciones, genera formas, mecanismos y estructuras muy complejas que interactúan con el medio ambiente con propósitos específicos. Esta mirada tradicional va a cambiar a lo largo del siglo XX, dando lugar, poco a poco, al nacimiento del campo, hoy consolidado, de la *biomimética*, disciplina que toma a la naturaleza como *referente conceptual*.

La biomimética desde esta mirada congrega a todos los desarrollos tecnológicos conocidos y a todos los conocimientos científicos, particularmente a los biológicos, con el fin de lograr transferir funciones biológicas a productos (tecnó-traducciones).

Es precisamente en esta transferencia donde el plano proyectual se hace presente. El concepto de proyecto es abordado en esta tesis desde la definición del diseño industrial revisada, en 2015, en el marco del 1° Concilio Internacional de Asociaciones de Diseño Industrial.

En esta última versión se presenta la siguiente definición (ICSID, 2015):

“Un proceso estratégico destinado al éxito empresarial mediante la resolución de problemas que permiten lograr una mejor calidad de vida a través del planteamiento de productos innovadores, sistemas, servicios o experiencias. El Diseño Industrial es siempre una realidad posible en la que no tiene cabida la especulación.

Es una profesión transdisciplinar circunscrita a la creatividad que busca resolver problemas y co-crear soluciones con la

intención de proponer productos, sistemas, servicios y/o experiencias siempre mejores. De marcado carácter optimista, el Diseño Industrial reformula los problemas para convertirlos siempre en nuevas oportunidades.

Tiene la capacidad de vincular innovación, tecnología, investigación, negocios y a los propios clientes generando siempre valor y/o una ventaja competitiva desde un punto de vista empresarial, de mercado, funcional, económico, social y medioambiental.

Los diseñadores industriales toman al ser humano como centro de su proceso y lo consideran como usuario de sus resultados.

Los diseñadores industriales actúan como agentes estratégicos dentro del proceso de innovación y mantienen en una posición de privilegio para relacionarse con otras disciplinas implicadas con la finalidad de defender los intereses comerciales de sus clientes.

Los diseñadores industriales, no solo buscan el impacto positivo en el ámbito económico, social y medioambiental sino que buscan siempre el máximo equilibrio entre estos tres entornos con la intención de mejorar la calidad de vida.”

Es decir, se trata de una definición abarcativa que incluye todos los procesos desde la concepción hasta la puesta del producto en el mercado y su comercialización destacando, en forma particular, la combinación de entornos para una mejora en la calidad de vida.

La biomimética es por su parte la nueva ciencia que toma los principios naturales para crear cosas que la evolución nunca hubiese alcanzado, dado el carácter conservador del proceso evolutivo en sí mismo.

Se puede decir que se ha vuelto una especie de paradigma para el desarrollo de nuevas tecnologías, con un fuerte impacto en el campo social (Lepora et al, 2013). Aporta, además, una contribución epistemológica ya que, lograr en forma exitosa este tipo de transferencias, permite testear hipótesis e ideas acerca de la comprensión alcanzada por la ciencia sobre tales funciones.

Se cuenta con muchos trabajos de revisión en el área de la biomimética, como también con trabajos que miden su crecimiento como disciplina (Lepora et al, 2013), (Vincent *et al* 2006), (Barthelat, 2007), (Nosonovsky and Rohatgi, 2012), (Bar-Cohen, 2006), (Bhushan, 2009).

Dentro de este campo se articulan tanto aspectos teóricos como prácticos que dan, a su vez, origen a subáreas de investigación como lo es la *ingeniería biomimética* (Lakhtakia et al; 2013). Esta aborda el problema específico, en cada área de especialización, de implementar los medios de cómo replicar la funcionalidad de la estructuras biológica bajo estudio, con los recursos tecnológicos disponibles.

Dado que esta tesis está enfocada en la construcción de un marco teórico en el campo proyectual, se hará un breve recorrido para poder analizar:

- a) Los principales conceptos dentro de este campo que son significativos para el presente trabajo.
- b) Las funcionalidades exitosas alcanzadas.
- c) Los productos paradigmáticos logrados.

1.1.1.2. Introducción a los conceptos centrales del campo biomimético

Un antecedente significativo para el nacimiento de la biomimética es la *teoría general de los sistemas complejos* (TGS), presentada en los años veinte (Von Bertalanffy, 1995). Ello se debe a que la misma se enfoca en el concepto de **sistema** (un conjunto de partes coordinadas y en interacción para alcanzar un conjunto de objetivos) y, en particular, desde la mirada de los **sistemas abiertos** (los que

interactúan con el entorno, como lo hacen los seres vivos, *los organismos*), y no desde los *sistemas cerrados*, aislados, en equilibrio, en que se centra gran parte de la física clásica (en particular la mecánica clásica). Cabe destacar que, en este marco, los *sistemas abiertos* requieren consideraciones especiales a tener en cuenta tales como:

- a) *los flujos de entrada de materia* (con sus principios de conservación), *los flujos de energía* (con las leyes de conservación que correspondan a cada caso), *los flujos de información* (regidos por “la ley del incremento”, es decir, la información que entra y la que ya existe, o incluso aquella que sale del sistema, siempre enriquece al sistema),
- b) *los procesos de conversión de estos flujos* (mecanismos de transformación de la energía de entrada en otras formas de energía),
- c) *la respuesta del sistema a los flujos de salida* (que pueden ser positivos o negativos para el entorno) y, finalmente,
- d) *el particular sistema de control* en que se dan los procesos de predicción para la acción, como el de retroalimentación, es decir el sistema que informa cómo se está llevando a cabo el propósito o meta en cada caso.

Es decir, se produce un cambio significativo en el modo de ver la relación entre el todo y las partes, las intro, inter y extra relaciones del sistema con sí mismo y con su entorno y, con ello, la naturaleza funcional del sistema, sea natural o artificial.

Por su parte, la observación del fenómeno de emergencia de patrones (**auto-organización**) de los sistemas, conlleva al concepto de **sinergia**. Este concepto será troncal en el campo proyectual. B. Fuller asume que “los objetos presentan una característica de sinergia cuando la suma de sus partes es inferior al todo, o bien, cuando el examen de alguna de ellas no explica la conducta del todo” (Fuller, 2006).

Otro concepto desde la TGS útil para el pensamiento proyectual es el de **recursividad**, aplicado a sistemas dentro de sistemas mayores (jerarquización de los sistemas en subsistemas o supersistemas entre otras categorías), y a ciertas características

particulares, más bien funciones o conductas propias de cada sistema que son semejantes a aquellas de los sistemas mayores. Este concepto unificador conduce a la reformulación del concepto de **frontera**, es decir, aquello que separa el sistema de su entorno y que define con claridad lo que le pertenece al sistema, o bien, aquello que le es externo.

En síntesis, lo más relevante para el advenimiento de la biomimética fue el doble propósito de la TGS. A saber:

- a) Hallar isomorfismos en las diferentes construcciones teóricas ya existentes de diferentes disciplinas para posibilitar el desarrollo de modelos teóricos que sean susceptibles de ser aplicados en diferentes campos de estudio.
- b) Desdibujar el límite entre “lo natural y lo artificial”, fuertemente marcado por el pensamiento mecanicista-determinista vigente desde fines del siglo XVII.

Dado que se trata de transferir funciones en un sentido amplio, se requieren aspectos metodológicos asociados al proceso de **bio-replicación** (también llamado de **tecno-replicación**), (Forbes, 2006) Se puede pensar, a grandes rasgos, en cuatro estrategias combinadas:

- a) La primera aproximación puede ser estudiar un *sistema funcional* en la diversidad de organismos y obtener múltiples soluciones.
- b) Una segunda forma es tomar un organismo modelo y aplicar muchos métodos de estudio para poder tener una exhaustiva descripción del binomio función-estructura.
- c) Una tercera aproximación son los experimentos virtuales o computacionales, basados en modelos y simulaciones. Ellos implican un alto conocimiento previo ya que ello condicionará a todos los resultados obtenidos.
- d) Un cuarto enfoque es el de imitar a los sistemas biológicos dentro de un sistema artificial, manteniendo algunos rasgos de lo biológico original y verificar experimentos con su imitación artificial.

Todos estos enfoques cuentan con sus propios instrumentos, métodos y técnicas particulares de investigación y formas de razonamiento, cuyas características son centrales a tener en cuenta en este trabajo de tesis. Este nuevo campo, por su propia naturaleza, revolucionó aspectos epistemológicos arraigados en el campo de las ciencias en las cuales el razonamiento deductivo tenía un lugar central. En particular, el uso de razonamientos abductivos (Marafioti, 2004), o analógicos, impactará en el campo proyectual.

A ello se suma la revisión de teorías provenientes del campo de la ingeniería, sobre el cambio de escala como la de *semejanza dinámica* (White, 1988). Dicha teoría postula una heurística a partir de la definición de grupos adimensionales construidos con las *variables relevantes* del sistema bajo estudio. Esto permite, junto a la observación experimental, poder predecir el valor de los parámetros desconocidos entre prototipo y modelo a escala, en sistemas tanto artificiales, como naturales (McMahon, 1986). Ello se realiza, simplemente, a partir de la igualación de los números adimensionales obtenidos. Esta igualación garantiza que, la razón entre las fuerzas actuantes predominantes en el sistema, se conserve, a pesar del cambio de escala.

Todas estas formas de razonamiento, van a dar un cuerpo integrado de supuestos, principios y teorías que forman el cuerpo particular de la llamada *bioemulación* , es decir, las estrategias necesarias para tomar a la naturaleza como referente conceptual.

Ellas son necesarias dado que la funcionalidad de los sistemas biológicos es extremadamente compleja y su traslado al mundo de lo artificial parte del campo de la bio-inspiración, para luego, pasar al de biomimética y, dentro de ella, al de la bio-replicación.

Desde la caracterización conceptual de sistema abierto ya mencionada, las áreas de investigación más desarrolladas son:

- Diseño de sistemas y estructuras
- Auto organización y operatividad
- Materiales biológicamente activos
- Auto ensamblado
- Auto reparación
- Aprendizaje
- Memoria
- Autorregulación
- Movimiento y locomoción
- Sistemas sensoriales (percepción)
- Communication
- Auto configuración
- Eficiencia energética
- Neuromimética (controladores varios para el Sistema Nervioso Central (SNC)).

1.1.1.3. Antecedentes fundacionales de la biomimética

Se presenta en esta sección un recorrido diacrónico que reúne hitos seleccionados en torno a la construcción del campo de la biomimética. El periodo considerado parte del inicio del siglo XX hasta el año 2017.

Se inicia con la TGS, ya mencionada, en los años 20 (Bertalanffy, 1995). Muchas disciplinas van a comenzar a gestarse y, poco tiempo después, van a configurar sus propios campos de conocimiento interdisciplinar.

La cibernética (1942) (Wiener, 1985, Kolman et al; 1958), es uno de los campos más importantes, debido a su aporte teórico a los mecanismos de control de los sistemas abiertos. En este campo, se consolida la teoría de control y de comunicación de las máquinas, a partir de los estudios del sistema nervioso central. Aparece claramente un intento de redefinir técnicamente el mecanismo sináptico de producción y procesamiento de información cerebral neuronal, en términos de modelos conocidos de redes electrónicas, con el propósito de poder generar la función biológica de

anticipación y reducción de la incertidumbre del entorno. Es decir, dotar a los artefactos de una típica capacidad, exclusiva, hasta entonces, de los seres vivos.

La inteligencia artificial (IA) En 1956, John McCarthy acuñó la expresión «inteligencia artificial», y la definió como: "...la ciencia e ingenio de hacer máquinas inteligentes, especialmente programas de cómputo inteligentes". Hoy este campo se ha extendido al llamado de la computación bioinspirada ramificado en:

- a) Búsqueda del estado requerido, dentro del conjunto de los estados producidos por las acciones posibles.
- b) Algoritmos genéticos (análogo al proceso de evolución de las cadenas de ADN).
- c) Redes neuronales artificiales (análogo al funcionamiento físico del cerebro de animales y humanos).
- d) Razonamiento mediante una lógica formal análoga al pensamiento abstracto humano.

La bioingeniería que podría entenderse como aquello que dará origen a la biomimética propiamente dicha, se inicia a partir de la tesis doctoral de Otto Schmidt (Schmidt, 1950) quien distinguió la aproximación desde la física a los sistemas biológicos (biofísica), de aquella de la ingeniería tradicional a los sistemas biológicos (bioingeniería) y dio origen al campo de la ingeniería biomédica. Este campo teórico-empírico, considerado entonces por una parte como el estudio de la formación, estructura o función de sustancias y materiales producidos biológicamente, junto al estudio de los mecanismos y procesos biológicos mismos, tenía como propósito *sintetizar* productos artificiales a partir de la imitación de los naturales. Una de las ramas más prolíficas será aquella destinada a los biomateriales.

La biónica, término acuñado por J. Steele en 1960 (Gerardin, 1968) es definida como la aplicación de soluciones biológicas a sistemas de arquitectura, diseño, ingeniería y tecnología en general. La misma se centra en la transferencia de principios biológicos

conocidos al diseño de dispositivos artificiales, a diferentes escalas. Muchos de ellos comenzarán a estar ligados con la reparación de partes o funciones dañadas o perdidas en el cuerpo humano, dando origen al incipiente campo del diseño de productos complejos de uso médico.

La nanotecnología (1974) aparece como término por primera vez por Norio Taniguchi, en un sentido inverso a la gran escala propia de la ecología sistémica. La biomimética tendrá una particular mirada orientada desde las microescalas hacia la producción de nuevos materiales, mecanismos y procesos, en particular desde fines de siglo XX. El hito revolucionario fue alcanzar sistemas escalares que oscilan entre 1-100 nanómetros (nm). Esta disciplina hoy reconoce ya cuatro generaciones en su evolución (Ramakrishna et al, 2010).

La biomímesis (1997) definida por bióloga estadounidense Janine Benyus (Benyus, 1997) para abordar el enfoque hacia soluciones a problemas de *sustentabilidad ambiental y de ecología planetaria*. La biomímesis se planteó como el intento de adaptar tecnosistemas artificiales de gran escala a las características naturales de ecosistemas naturales, dando importancia a cualidades o propiedades naturales tales como la resiliencia o la memoria genética, que podrían adoptarse teóricamente como principios de proyecto y control de estructuras.

A partir de esas proposiciones y desarrollos en los últimos años se acelera la combinación y la aplicación de principios o propiedades naturales complejas dando lugar a los sistemas biomiméticos. Estos son sistemas, en el sentido definido por la TGS, artificiales cuya funcionalidad reproduce una función biológica con cierto grado de abstracción.

Las comunidades de trabajo más sólidas a lo largo de estos años tienen que ver con aplicaciones en:

- 1) Robótica (robots tradicionales con énfasis en las mejoras de control e inteligencia, robots caminadores, manipuladores, con incorporación de todos los hallazgos en machine-learning) visión, reconocimiento de patrones, redes neurales).
- 2) Robots de base etológica: robots insectos o pájaros, submarinos basados en peces.
- 3) Actuadores biomiméticos: músculos artificiales.
- 4) Biomateriales: con énfasis en materiales biológicos como huesos, tejidos, colágeno, en cuanto a su ensamblaje y fabricación.
- 5) Bioingeniería estructural: concentrado en el estudio de la microestructura de los materiales biológicos.

Todos estos nuevos desarrollos son acompañados de modelos y desarrollos de programas de *simulación* que permiten la realización de *concepts* (prototipos experimentales de productos o artefactos que asumen y procesan cualidades naturales).

Un ejemplo de este nuevo campo de productos complejos son los diferentes tipos de interfaces hombre-máquina que llevan a las *prótesis inteligentes* (Johnson, 2006) y a la implementación de *sensores* generando una interacción con el sistema nervioso central (Hung, 2010), o bien la aparición de laboratorios como el de *Biomimética Extrema* (Center for Extreme Bionics, MIT, 2016).

En este campo se desarrollan procesos de ingeniería vinculados a la obtención de una nueva generación de biomateriales y biocompuestos que posean propiedades específicas de temperatura y resistencia química para ser aplicados en nuevas tecnologías robóticas.

En síntesis, desde los años veinte en adelante, se han sucedido diferentes formas de hacer referencia a la traducción tecnológica de funciones de objetos naturales sin intervención humana a productos tecnológicos, en sus diferentes grados de

concreción. Las más divulgadas fueron la biónica, bioinspiración, bioemulación, biomímesis, entre otras.

Cabe destacar que cada grupo de investigación las han tomado según sus propios sesgos tecnológicos así cuando Benyus habla de biomimética lo hace en función de su pensamiento sustentable a nivel planeta, mientras que grupos como el de la Universidad de Duke en Carolina del Norte, que trabajan en neurociencias, hablan de biónica en relación a desarrollos en robótica humanoide o destinada a rehabilitación.

1.1.2. La biomimética y el Diseño Industrial: la biomimética proyectual

Pero, ¿cuáles fueron los diseños u aportes de la biomimética al plano proyectual, a lo largo del tiempo, desde la óptica del diseño industrial?

La consideración de todo lo relevado analizado desde la perspectiva de la aplicación en diseño industrial se complementa con una serie de productos paradigmáticos biomiméticos, 1.1.2.1. Es decir, se trata de abordar el análisis de las transferencias exitosas al medio social y productivo, o bien, de desarrollos proyectuales alternativos.

El criterio de elección de los casos fue que los mismos hayan verificado instancias experimentales, o bien, haber alcanzado el estado de productos industriales con algún tipo de propiedad intelectual reconocida.

Para orientar la selección de tales productos se realizó la construcción de un marco teórico a partir de los sistemas complejos ya presentados, y de lo planteado por Herbert Simon en su libro *Ciencias de lo artificial* (Simon, 1996).

H. Simon centra su pensamiento en el concepto de *artefacto* (definido como un *objeto con un propósito*) como algo que no posee una distinción marcada entre lo biológico y lo artificial. Considera que el hombre opera en la actualidad de tal forma que vuelve a esta distinción innecesaria.

Postula que, el cumplimiento del propósito o la adaptación a un objetivo, implica una relación entre tres términos: el propósito o el objetivo, el entorno interno (que sería la sustancia y la organización del artefacto en sí mismo), y el entorno externo en el que se realiza, instala o funciona el artefacto. Sí el entorno interno es apropiado para el entorno exterior o viceversa, el artefacto cumplirá su propósito previsto.

Como puede verse, para este autor el concepto de frontera es central. Su modelo está inspirado en los conceptos de la TGS, presentada en el punto 1.1.1. Se pueden establecer muchas analogías entre sistemas abiertos y artefactos.

Una de las ventajas de separar el entorno externo del interno en el estudio de un sistema adaptativo o artificial es que, a menudo, puede predecirse el comportamiento desde el conocimiento de los objetivos del sistema y su entorno externo, con sólo suposiciones mínimas sobre el entorno interno. Un corolario inmediato es que a menudo se encuentran entornos interiores bastante diferentes que logran objetivos idénticos o similares, en ambientes exteriores idénticos o similares: aviones y aves, embarcaciones y peces, relojes mecánicos y relojes eléctricos, etc.

Existe a menudo una ventaja correspondiente a tal diferenciación de entornos desde el punto de vista del entorno interno. Una de ellas es: poder predecir con suposiciones mínimas del entorno interno pero conociendo el propósito y el entorno externo, el comportamiento del sistema.

Los biólogos están familiarizados con esta propiedad de los sistemas adaptativos bajo la etiqueta de *homeostasis*, correspondiente al conjunto de fenómenos de autorregulación, conducentes al mantenimiento de una relativa constancia en la composición y las propiedades del medio interno de un organismo. Esta es una propiedad importante de la mayoría de los buenos diseños ya sean biológicos o artificiales.

Una de las condiciones de la biomímesis proyectual sería la capacidad de producir funciones adaptativas homeostáticas en los nuevos objetos proyectados desde esta perspectiva.

De una manera u otra, el diseñador aísla el sistema interno del entorno de modo que se mantiene una relación invariante entre el sistema interno y el objetivo, independientemente de las variaciones que puedan surgir en un amplio rango en la mayoría de los parámetros que caracterizan el entorno exterior.

En la mejor situación posible, desde la mirada de un diseñador, podría esperarse combinar los dos conjuntos de ventajas que derivan de factorizar un sistema adaptativo en objetivos propios de un entorno externo y un entorno interno. Se podrían caracterizar las propiedades principales del sistema y su comportamiento sin elaborar los detalles del entorno externo o interno.

La descripción de un artefacto en términos de su organización y funcionamiento así como su interfaz entre ambientes internos y externos es un objetivo principal de la invención y la actividad proyectual en el diseño.

El ambiente externo determina las condiciones para el logro de las metas; si el sistema interno está diseñado adecuadamente se adaptará al entorno exterior, de modo que su comportamiento estará determinado en gran parte por el funcionamiento de este último. Este razonamiento resulta clave para entender y valorar la aproximación biomimética toda vez que tales entornos externos sean prevalentemente naturales: el diseño biomimético podría resultar la mejor vía para garantizar el menor impacto negativo de un artefacto respecto de un ambiente natural y más aún en ecosistemas frágiles y vulnerables.

Según el planteo de Simon prácticamente no se observan diferencias entre lo natural y lo artificial. Para el diseñador todo lo observado en la naturaleza es artificial dado que el diseñador va a operar con esos elementos, así como también con la

naturaleza, ya que piensa al artefacto como un sistema adaptativo complejo, donde todo objeto tiene un entorno interno, una frontera y un entorno externo.

En función de la determinación de las variables a analizar en cada caso y de establecer cuál sería la frontera, es donde se juega el propósito y la función. Es decir, donde va a darse la comunicación entre el entorno exterior y el interior. El objeto a proyectar debe tener que ver con esa articulación y es por eso que el entorno de uso tiene que estar siempre muy claro para las operaciones proyectuales del diseño industrial.

Si bien Simon *artificializa lo natural* - cuando indica que lo artificial no tendría diferencias con lo natural - cabe centrar la biomímesis en una inversión de esa relación; es decir en *naturalizar lo artificial*, en el sentido de analizar, descubrir e imitar/reproducir funciones y propiedades del sistema natural en los nuevos artefactos surgidos del proyecto del diseñador industrial.

1.1.2.1. Productos biomiméticos paradigmáticos

Para presentar un panorama de productos recientes afines a las nociones biomiméticas se ha realizado una selección de los mismos con tres objetivos:

- a) Constituir un **corpus empírico**, analizados desde el marco teórico propuesto, de artefactos, conceptos o productos industriales exitosos que aplican y ejemplifican principios o condiciones biomiméticas, es decir aquellos que transfirieron funciones de la naturaleza.
- b) Desarrollar a partir del análisis del corpus anterior herramientas didácticas que conlleven a un mejor entendimiento y visualización de la aplicación de las ideas biomiméticas al diseño de productos, durante la formación del futuro diseñador industrial.
- c) Poder dar lugar al inicio de tareas de investigación y desarrollo, aplicando principios de la *biomimética proyectual*, en el marco de la FADU-UBA.

En relación al objetivo a), a partir del marco teórico propuesto de la **biomimética proyectual**, se puede definir una serie de criterios desde donde poder realizar una selección de productos paradigmáticos. Es decir, desde un análisis crítico, en función de entorno interno, propósito (relación entre el entorno interno y el externo) y entorno externo.

Dentro de cada una de estas categorías se definen distintas dimensiones de análisis que serán detalladas en las fichas correspondientes. Cada ítem de las mismas es seleccionado siguiendo un orden de profundidad creciente, que permite poner en juego el marco teórico, a medida que se avanza en el análisis.

Las fichas constan de cuatro secciones que son las que se detallan a continuación:

1- Antecedentes del proyecto (bioinspiración):

- Fenómeno natural observado
- Fuente
- Referente natural
- Analogía biomimética
- Año de aparición de la idea
- Patentes

2- Entorno interno del producto:

- Materiales
- Estructura
- Configuración espacial
- Mecanismos propuestos
- Descripción del producto
- Cambio de escala respecto al referente natural

3- Propósito:

- Funcionalidad (tecno bio-replicación)

- Flujo de entrada: Requisitos
- Flujo de salida: Resultado de los requisitos

4- Entorno externo del producto:

- Impacto socio-económico
- Impacto ambiental

Debajo de cada una de las fichas se analiza el referente natural desde una mirada proyectual junto al principio funcional que de dicha observación deriva y que será la tecno-replicada.

Los ejemplos seleccionados provienen de las áreas de la biomimética, ya mencionadas en el punto 1.1.1.2. A saber:

a) Dentro del área del diseño de los sistemas y estructuras:

- del sub-campo de los adhesivos:
 - el Velcro® (basado en la forma de agarre de las semillas de bardana), (Velcro®, 2018).
 - el Geckskin™ (basado en la nanoestructura de las patas del Gecko), (Geckskin™, 2018).
- del sub-campo de las estructuras arquitectónicas:
 - el Chrystal Palace, (basado en la estructura de ramificaciones de la hoja de la Victoria Amazónica). (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2018).

b) Dentro del área de la eficiencia energética:

- El edificio Eastgate Center, (basado en la autorregulación de temperatura del nido de termitas). (BZ Arquitectura, 2013).

c) Dentro de los materiales biológicamente activos:

- La pintura Lotusan®, (basada en el efecto auto-limpiante de la flor de loto). (StoColor Lotusan®, 2018).

d) Del área de movimiento y locomoción:

- del sub-campo del transporte:
 - El *concept* de Mercedes Benz (basado en el pez caja). (Daimler, 2018).
 - El tren bala Skinkansen (inspirado en el vuelo del Martín Pescador). (Ask Nature, 2016).

e) Dentro del área de los sistemas sensoriales:

- del sub-campo de los productos médicos:
 - Prótesis Flex-Foot Cheetah, (basada en la biomecánica de la carrera del guepardo). (Össur®, 2018).

La metodología de búsqueda de la información utilizó bases estructuradas y no estructuradas, tanto de patentes como de publicaciones científicas y publicaciones específicas, noticias.

La Tabla 1.1 presenta la selección de casos mencionados, junto a su área biomimética, el referente natural, el status objetual, la función replicada, el año en que se difunde la idea y el status de protección intelectual.

Productos biomiméticos paradigmáticos					
Área biomimética	Referente natural	Status objetual	Función replicada	Año	Status de protección intelectual
Diseño de los sistemas y estructuras	Semilla de bardana 	Producto industrial 	Principio mecánico de adhesión (llamado "hoop & loop" gancho y bucle)	1941	Patentes
	Gecko 	Producto industrial 	Principio de adhesión mecánica sin deslizamiento por contacto de nanofibras	2008	Patente
	Victoria Amazónica 	Artefacto 	Principio estructural basado en nervaduras	1851	Producto referente
Materiales biológicamente activos	Flor de loto 	Producto industrial 	Principio de auto-limpieza	1982	Patentes
Eficiencia energética	Nido de termitas 	Artefacto 	Principio de regulación de temperatura por flujo de aire por canales de ventilación	1996	Producto referente
Movimiento y locomoción	Pez caja 	Concept 	Principio de máximo volumen piciforme y mínima fuerza de arrastre	2005	Concept
	Martín Pescador 	Artefacto 	Principio de disminución sonora en cambios de interfases. (agua-aire)	2009	Modelo de utilidad
Sistemas sensoriales	Guepardo 	Producto industrial 	Principio de almacenamiento y entrega de energía por impacto	1984	Patente. Producto en evolución

Tabla 1.1 Ficha general con los productos biomiméticos paradigmáticos seleccionados

Fichas de los productos paradigmáticos

A continuación de la Tabla 1.1, se realizará el análisis de cada uno de los casos, desde la óptica de la *biomimética proyectual*. Se presentará, la ficha individual, junto a algunos comentarios particulares destacados de cada elección vinculada al principio de funcionamiento y al posible potencial didáctico que presenta cada uno de los casos seleccionados.

Los antecedentes del proyecto en cada una de las fichas hacen referencia a los criterios considerados para la elección del producto. En particular, su origen biomimético, su protección intelectual, la duración en el mercado entre otros ítems que pueden ser difíciles de generalizar en algunos casos ya que no siempre hay criterios uniformes.

Cada ficha contiene el propósito del producto que va íntimamente ligado a los valores innovativos del mismo. Es decir, la traducción tecnológica exitosa lograda. Siguiendo el marco teórico de esta tesis, se presentan los flujos de entrada y de salida en torno “a la frontera” del modelo de Simon que aquí gira alrededor de nuestro propósito proyectual.

Por flujo de entrada entendemos las demandas o nichos a cubrir en el mercado que impactan en flujos de salida caracterizados en la diversidad de productos realizados. Por otra parte, como esta tesis destaca en particular el aspecto de sustentabilidad, el medio ambiente cobra un valor fundamental y debe ser analizado el impacto de los productos en este entorno.

VELCRO



Antecedentes del proyecto (bioinspiración)	
Fenómeno natural observado	La fuerte adherencia de los abrojos en el pelaje animal y en prendas de lana.
Fuente	George De Mestral
Referente natural	Semillas de bardana
Analogía biomimética	Abrochar dos superficies independientes como los cardos. Crear un “cardo artificial”.
Año de aparición de la idea	Año 1941. Desde 1945 hasta la fecha, Impulso dado en los años 60 por la introducción en los trajes de astronautas.
Patentes	1955 (solicitud patente). 1957 otorgamiento y concesión de la licencia a Velok Ltd. Canadá 1960 se fusiona Velcro con Velok en Velcro Industries B.V. 2010 se multiplican las empresas filiales por Asia, Australia, Europa y USA
Entorno interno del producto	
Materiales	Algodón, nylon y poliéster. Nano estructuras de carbono. (desde 2010)
Estructura	Una superficie cubierta con ganchos y otra superficie cubierta con bucles
Configuración espacial	Distribución superficial al azar de alta densidad de ganchos y bucles en cada superficie respectivamente.
Mecanismos propuestos	Adhesión mecánica.
Descripción del producto	Sistema de cierre o sujeción formado por dos tiras de tejidos diferentes que se enganchan al entrar en contacto (Real Academia Española).
Cambio de escala respecto al referente natural	Reducción de escala
Propósito	
Funcionalidad (tecno bio replicación)	Principio mecánico de adhesión (llamado “hook&loop” gancho y bucle)
Flujo de entrada	Requisitos Generar un sistema de unión de dos superficies independientes logrando diferentes fuerzas de agarre.
Flujo de salida	Resultados obtenidos Despegue lineal. “Cierre sin cierre”. Cierre reutilizable, resistente y fiable. No se atasca. Comodidad. Durabilidad
Entorno externo del producto	
Impacto socio económico	Las empresas Velcro® Brand (www.velcro.es) ofrecen una gran gama de productos para ser aplicadas en distintos ámbitos (construcción, médico, vestuario, transporte, etc). Ofrecen también soluciones de negocios y así como la fabricación de productos personalizados.
Impacto ambiental	Manufactura verde y sustentable a partir de una producción sostenible y con conservación de energía, compromiso con la comunidad y diversidad de proveedores.

Tabla 1.1.1 Ficha del producto Velcro desde el enfoque biomimético proyectual

Referente natural

Arctium lappa es el nombre científico de la bardana o lampazo, Esta planta posee hojas verdes, rugosas, alternas, de gran tamaño. Su forma es oval y posee extremidades redondeadas, con peciolo grandes. En su parte inferior, las hojas son blancas y están recubiertas por una pelusa. El fruto de la bardana es una bola con garfios que contienen las semillas.

Referente conceptual

El fruto es una bola de la semilla de la bardana que posee muchos garfios distribuidos en toda su superficie con el objetivo de adherirse a los animales para difundir espacialmente la semilla.

Principio de funcionamiento tecno-replicado

El Velcro® funciona a partir de un principio mecánico de adhesión formado por un sistema de ganchos y bucles, (*hook&loop*) que se enganchan al azar (Figuras 1.1 y 1.2).

Es de destacar que es un agarre “estadístico” en el sentido que siempre habrá ganchos y bucles para concretar uniones. Esto marca una diferencia notable con sistemas conocidos hasta la fecha como el de cremallera, en el cual, si bien es mecánico, el orden en que se unen los dientes de ambos lados de la unión, es crítico.

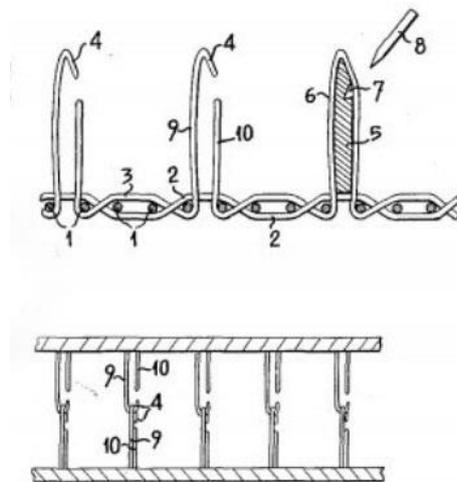


Figura 1.1 Dibujo del mecanismo propuesto en la patente en el año 1955

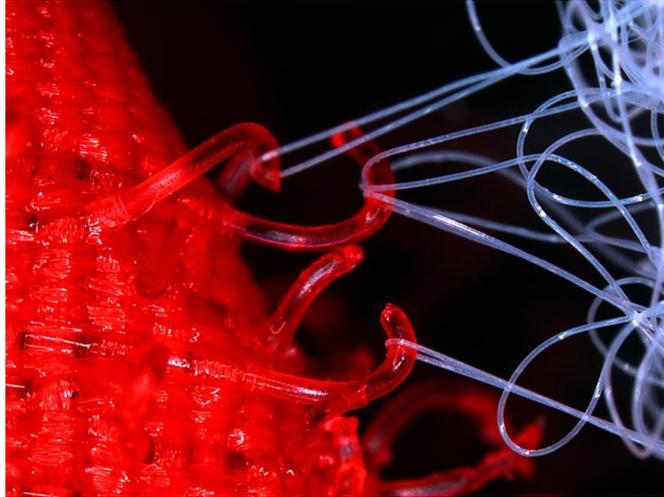


Figura 1.2 Imagen que muestra el detalle ampliado de cómo se realiza el agarre en el producto.

Potencial didáctico

- Poder relacionar el sistema de agarre del Velcro®, con lo estudiado de fuerzas elásticas de sistemas de resortes en paralelo.

En estos sistemas, la constante del resorte equivalente, es la suma algebraica de aquellas de los resortes que componen el sistema, logrando en consecuencia, fuerzas elásticas cuya intensidad depende del número y del tipo de los resortes presentes. Esto lo pueden relacionar a productos como aquellos donde hay amortiguación como los colchones de resorte o los amortiguadores mismos de vehículos.

- Analizar las diferentes variables en juego en el sistema (densidad superficial de ganchos, material de los ganchos, forma de los ganchos, densidad de bucles, forma de los bucles y espesor del hilo de los bucles) proponiendo diferentes modelos experimentales. Estos modelos pueden incluso ser evaluados por elementos finitos en caso de ser de interés los campos de tensiones generados.
- Evaluación experimental de las fuerzas en cada caso.
- Comparación con los sistemas de unión de presión y cremallera.

GECKSKIN



Antecedentes del proyecto (bioinspiración)		
Fenómeno natural observado	Fuerte y estable adhesión a superficies pulidas de ciertos reptiles.	
Fuente	Al Crosby, Equipo científico, Universidad de Massachusetts	
Referente natural	Gecko	
Analogía biomimética	Lograr una adhesión a superficies lisas y pulidas como la que se observa en la superficie plantar de los geckos	
Año de aparición de la idea	2008	
Patentes	12 universidades poseen patentes vinculadas al desarrollo de este adhesivo.	
Entorno interno del producto		
Materiales	Elastómeros suaves y tejidos ultra rígidos como la fibra de vidrio y el carbono.	
Estructura	Superficie que puede soportar una fuerza máxima de más de 300 kilos pegado a una superficie lisa. Estructuras formadas por microfibras plásticas	
Configuración espacial	Distribución superficial uniforme de alta densidad	
Mecanismos propuestos	Interacción de las fuerzas de Van der Waals a partir de los millones de contactos entre la superficie del producto y cualquier otra superficie lisa.	
Descripción del producto	súper-adhesivo	
Cambio de escala respecto al referente natural	Escala nanométrica	
Propósito		
Funcionalidad (tecnología bio replicación)	Principio de adhesión mecánica sin deslizamiento por contacto de nanofibras	
Flujo de entrada	Requisitos	Generar un nuevo sistema de adherencia a superficies lisas
Flujo de salida	Resultados obtenidos	Gran impacto en el campo de los adhesivos ya que resuelve la vinculación entre superficies desde otra tecnología posibilitando el reuso del adhesivo. Otra de las innovaciones es la de ser un adhesivo reutilizable.
Entorno externo del producto		
Impacto socio económico	Actualmente siguen realizándose investigaciones sobre aplicaciones alternativas de este adhesivo en el ámbito médico y deportivo.	
Impacto ambiental	Manufactura reutilizable, lo cual a diferencia de los adhesivos tradicionales genera menor cantidad de material y por lo tanto menor descarte.	

Tabla 1.1.2 Ficha del producto Geckskin desde el enfoque biomimético proyectual

Referente natural

Uroplatus fimbriatus es el nombre científico de los geckos, lagartos de tamaño pequeño pero de longitud variable. Las patas de los geckos tienen una serie de particularidades; sus superficies pueden adherirse a cualquier tipo de material. Esto se genera a partir de la estructura de su pie, la estructura del material al que se adhiere el pie y la capacidad de adherirse a una superficie y convertirse parte de ella.

Referente conceptual

Las interacciones entre los pies del gecko y la superficie de escalada son más fuertes que los efectos del área de superficie simple. En sus pies, el Gecko posee muchos pelos microscópicos, llamadas setas que aumentan las fuerzas de Van der Waals entre sus pies y la superficie. Estas setas son proteínas estructurales fibrosas que sobresalen de la epidermis, que está hecha de β -queratina, el componente básico de la piel humana.

Principio de funcionamiento tecno-replicado

Este adhesivo funciona a partir de un principio de adhesión mecánica sin deslizamiento por contacto de nanofibras.

Posee una capa de superficie suave y con una alta rigidez, que obtiene una fuerte conexión sin requerir humedad y sin dejar residuos pegajosos gracias a las llamadas fuerzas de *Van del Walls* que atraen a las moléculas entre sí, logrando la adhesión al deslizarse sobre la misma mediante una especie de fricción.

El adhesivo usa microfibras plásticas logrando que el plástico no sea adhesivo en sí mismo sino que genera su adhesión a partir de los millones de microscópicos contactos trabajando juntos (Figuras 1.3 y 1.4).



Figura 1.3 Imagen que muestra ampliada la pata del gecko

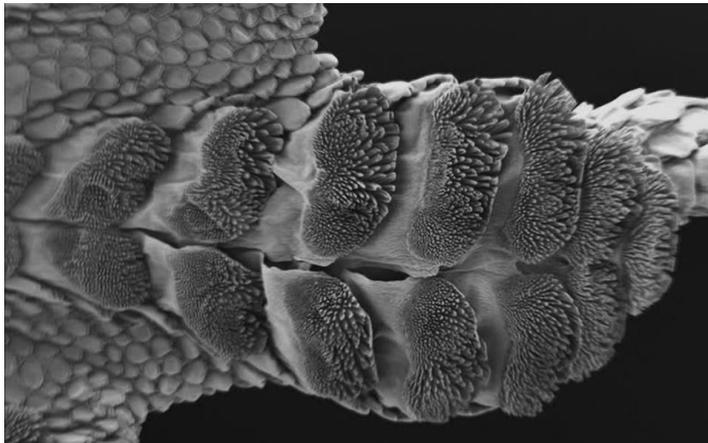


Figura 1.4 Imagen que muestra el detalle ampliado de una de las patas del gecko

Potencial didáctico:

- Poder proponer distintas aplicaciones adhesivas en superficies para desarrollos de posibles productos.
- Evaluación experimental de las fuerzas de adhesión.
- Comparación con los adhesivos tradicionales.

CRYSTAL PALACE



Antecedentes del proyecto (bioinspiración)

Fenómeno natural observado	La estructura de las nervaduras de la hoja de la Victoria Amazónica
Fuente	Joseph Paxton
Referente natural	Victoria Amazónica / Victoria Regia
Analogía biomimética	Desarrollo de un sistema estructural de vigas y soportes estables para cubiertas de grandes superficies como la estructura nervada del nenúfar
Año aparición de la idea de	1836. El primer antecedente fue uno de los invernaderos. 1851. La obra fue realizada en 17 semanas e inaugurada para la Exposición Universal.
Patentes	1836 ver patente techo

Entorno interno del producto

Materiales	Perfiles de hierro, placas de vidrio y madera
Estructura	Estructura generada por trescientos mil paneles de cristal sostenidos por una estructura de tres mil vigas y columnas de hierro entrecruzadas, elementos prefabricados y formas modulares
Configuración espacial	Distribución modular generando un espacio de gran porte
Mecanismos propuestos	Construcción a partir de una estructura modular
Descripción del producto	Un espacio cubierto de 70.000m ² funcional para albergar la maquinaria, objetos, productos y materias primas para la Exposición universal de Londres de 1851.
Cambio de escala respecto al referente natural	Al ser un producto modular el cambio de escala que interesa es el utilizado en el elemento estructural de los paneles de vidrio que se asemejan al del nenúfar. (diámetro de 1,8 y paneles de vidrio de 1,20)

Propósito

Funcionalidad (tecno bio replicación)	Principio estructural basado en nervaduras	
Flujo de entrada	Requisitos	Generar una gran estructura modular, nervada, integrada al paisaje que sirve de sostén para soportar cargas livianas logrando una gran superficie cubierta, que fuera removible, de rápida construcción y que transmitiera la idea de proceso tecnológico.
Flujo de salida	Resultado obtenidos	El Crystal Palace sirvió como referencia a la arquitectura moderna por su innovación en la construcción modular y también por su rapidez para la construcción y para su desarmado.

Entorno externo del producto

Impacto socio económico	El Crystal Palace fue el primer gran y significativo edificio hecho en metal y vidrio, el primer gran edificio en usar paredes exteriores que no proveían resistencia estructural.
Impacto ambiental	Fue el primer edificio construido usando unidades prefabricadas y estandarizadas que se despachaban al sitio para una instalación rápida.

Tabla 1.1.3 Ficha del Edificio Crystal Palace desde el enfoque biomimético proyectual

Referente natural

La *Victoria amazónica* o *Victoria regia* es una planta que se caracteriza por tener grandes hojas circulares (de hasta un metro de diámetro), que flotan sobre la superficie del agua sobre tallos sumergidos que alcanzan 7 a 8 m de largo. Pueden soportar, si el peso se encuentra bien distribuido en su superficie, hasta 40 kgf.

Referente conceptual

Se parte del principio estructural del almacón en voladizo, basado en las nervaduras de las hojas, entre las cuales se despliega una gran superficie plana que da como resultado gran resistencia y rigidez a la hoja (Figura 1.5).

Principio de funcionamiento tecno-replicado

En este caso fue fundamental el análisis de la estructura desarrollada por Paxton del entorno interno del gran centro de exposiciones. Dicha estructura está basada en el estudio de las nervaduras de las hojas (referente biomimético). El análisis de las propiedades mecánicas analógicas le permitió seleccionar los materiales estructurales utilizados.

La prestación dinámica de la estructura de la hoja, que otorgaba a la planta una resistencia capaz de autosostenerse y resistir al embate del viento, fue traspuesta al diseño de piezas fijas en el Palace. Estas piezas fueron modulares, de extrema liviandad y transparencia (trescientos mil paneles de cristal sostenidos por una estructura de vigas de hierro entrecruzadas). La estructura resultante le permitió resolver, en forma eficiente, los complejos esfuerzos mecánicos (peso propio, flexión, pandeo, etc.) presentes en la estructura.



Figura 1.5 Detalle de la estructura nervada de la hoja de la Victoria Amazónica

Potencial didáctico

- Analizar la estructura de nervaduras y proponer aplicaciones en función de sus características.
- Poder explorar la textura superficial de la hoja para realizar reproducciones en materiales artificiales.
- Explorar las posibles aplicaciones de estas superficies para generar desarrollos proyectuales.

LOTUSAN



Antecedentes del proyecto (bioinspiración)	
Fenómeno natural observado	Proceso auto-limpiante de la superficie de ciertas hojas de plantas acuáticas.
Fuente	Wilhelm Barthlott
Referente natural	Flor de loto
Analogía biomimética	Generar un recubrimiento que permita que la superficie sea auto-limpiante como la hoja de la flor de loto.
Año de aparición de la idea	1982
Patentes	1994 (obtención de patente para el proceso de producción de superficies auto-limpiantes) 1994 registro de la marca lotus-Effekt. 2005 registro de patente auto-limpiante realizada por Sto Company
Entorno interno del producto	
Materiales	Polímeros hidrofóbicos
Estructura	Superficie con microestructura rugosa con elevaciones y depresiones en un intervalo de 5 a 200 insertar símbolo mu) m. y altura de 5 a 100 p.m.
Configuración espacial	Distribución superficial homogénea y uniforme siguiendo patrones determinados
Mecanismos propuestos	Mecanismo físico-biológico de repulsión molecular a gentes eternos a la superficie
Descripción del producto	Pintura a la silicona cuya microestructura, junto con la acción hidrófuga de las resinas presentes en su composición, reduce la capacidad de adherencia de la suciedad a la superficie, y permite que la lluvia la arrastre, eliminándola con facilidad. A esta acción se le denomina Lotus-Effekt®.
Cambio de escala respecto al referente natural	Ampliación de escala
Propósito	
Funcionalidad (tecno bio)	Principio de auto-limpieza superficial. LotusEffekt e hidro-fobicidad.
Flujo de entrada	Requisitos
	Lograr un revestimiento exterior con características de auto-limpieza
Flujo de salida	Resultado obtenidos
	Revestimiento auto-limpiante, anti-adherente e ignífugo
Entorno externo del producto	
Impacto socio económico	Gran impacto en el campo de las pinturas ya que resuelve la limpieza y mantenimiento de las superficies desde la implementación de una nueva tecnología. Comercializado por la marca Lotusan
Impacto ambiental	No figura información en la página web del producto que siga una normativa ambiental

Tabla 1.1.4 Ficha del producto Lotusan desde el enfoque biomimético proyectual

Referente natural

La flor de loto es una planta acuática de hojas grandes, que vive dentro de estanques llenos de barro y suciedad. Dado que necesitan absorber la luz para sobrevivir, han desarrollado un sistema de auto-limpieza formado por numerosos montículos microscópicos, por los que el agua resbala con facilidad, llevándose consigo partículas de polvo y suciedad

La superficie de estas hojas está cubierta con diversas ceras integradas por una mezcla de compuestos hidrocarburos, que la dotan de una fuerte repulsión al mojado.

Referente conceptual

La superficie hidrofóbica de sus hojas le proporciona un mecanismo natural de limpieza, ya que hace que las gotas de agua se deslicen y arrastren consigo cualquier mota de polvo o suciedad que pueda obstruir el proceso de fotosíntesis.

Principio de funcionamiento tecno-replicado

Auto-limpieza (Lotus-Effect)

El principio de auto limpieza se basa en el concepto físico de ángulo de humectabilidad. Cuando en cualquier superficie cae una gota de agua, ésta se aplasta sobre la superficie por su propio peso. La variable que cuantifica este efecto de “aplastamiento” es el ángulo que forma la dirección de la superficie con la dirección de la recta tangente, en el punto de contacto de la gota con la superficie.

El contacto de la gota con la superficie presenta tres situaciones:

- a)** Si la superficie es de un material “normal”, dicho ángulo es menor que 90° , y la gota se visualiza con un área de contacto significativa (Figura 1.6).
- b)** Si la superficie es hidrofóbica, el área de contacto de la gota con la superficie es menor, y la gota se ve más redondeada (ángulo mayor que 90°) (Figura 1.7.).

- c) Si la superficie fuese idealmente no humectante (perfectamente hidrofóbica) el ángulo sería 180° (la gota queda sobre la superficie perfectamente esférica), apoyada en un único punto de contacto.

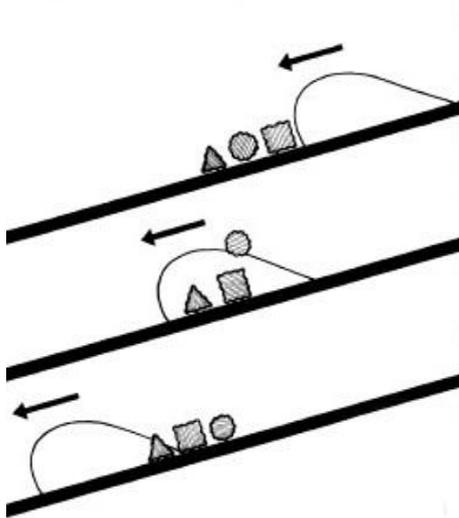


Figura 1.6 superficie no-hidrofobica

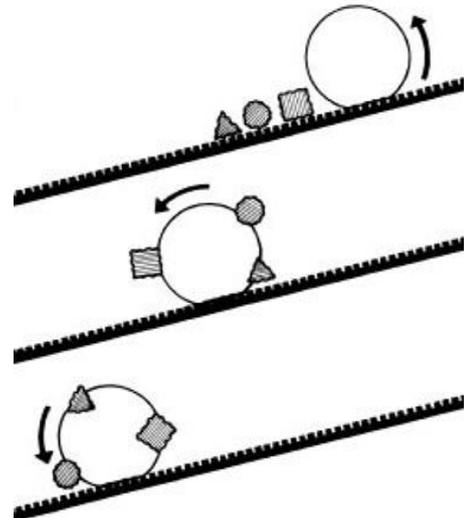


Figura 1.7 Superficie hidrofóbica

Efecto autolimpiante superficie texturada con tabiques delgados. En la figura 1.6 la superficie es no-hidrofóbica y en la figura 1.7 es una superficie hidrofóbica. El agua arrastra con facilidad las partículas de suciedad que quedan adheridas a las gotas esféricas de agua

A partir de la observación de la superficie del lotus por Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) se pudo descubrir la siguiente propiedad física: si a una superficie se le generan tabiques muy delgados de un material hidrofóbico, la gota sólo se apoya en los extremos de dichos tabiques, reduciendo de este modo, los puntos de contacto. Si a ello se suma el aire contenido en los intersticios intertabiques, que empuja a la gota hacia arriba, el resultado conjunto de estos dos efectos es una gota cuasi esférica, formando un ángulo de humectabilidad usualmente mayor que 150° y, en consecuencia, en un equilibrio inestable.

En esta circunstancia las partículas de polvo cuentan con una menor superficie para fijarse a la superficie del material y, en consecuencia, quedan adheridas a las gotas de agua con mucha mayor facilidad. Esto hace que la suciedad sea sacada por las gotas cuando ruedan - con suma facilidad - sobre la superficie y la superficie queda, en consecuencia, limpia.

Potencial didáctico

- Poder asociar, que el combinar superficies realizadas con materiales hidrófobos con superficies texturadas que minimicen el apoyo de gotas de agua, a cualquier escala, da como resultado un efecto auto-limpiante en algún grado. Éste se potencia en la medida que esa escala se vaya reduciendo hasta llegar a la nanométrica.
- Poder generar la exploración de texturas superficiales inspiradas en imágenes de SEM de superficies de hojas que presentan el fenómeno auto -limpiante para realizar reproducciones en materiales artificiales.
- Explorar los materiales hidrófobos que se encuentran disponibles en el mercado.

EDIFICIO EASTGATE



Antecedentes del proyecto (bioinspiración)	
Fenómeno natural observado	Autorregulación de la temperatura que poseen ciertos termiteros
Fuente	Mick Pearce
Referente natural	Nido de termitas
Analogía biomimética	Resolver la autorregulación de la temperatura en edificios como se desarrolla en el
Año de aparición de la idea	1996
Patentes	No posee
Entorno interno del producto	
Materiales	Hormigón prefabricado
Estructura	Cuatro paredes gruesas de mampostería en el exterior y un atrio de siete pisos de altura en el interior
Configuración espacial	Distribución del aire en las primeras plantas que luego circula por conductos llegando a todas las plantas
Mecanismos propuestos	A partir del principio de refrigeración pasiva realizada en cuatro fases para lograr la regulación del aire sin utilizar aires acondicionados.
Descripción del producto	Edificio con regulación de las temperaturas por medios naturales
Cambio de escala respecto al referente natural	Ampliación de tamaño
Propósito	
Funcionalidad (tecno bio replicación)	Principio de regulación de temperatura por flujo de aire por canales de ventilación
Flujo de entrada	Requisitos Construcción de una edificación sin la necesidad del uso de sistemas de aire acondicionado
Flujo de salida	Resultado obtenidos Se logró el objetivo de mantener una temperatura estable de entre 22° y 25° grados todo el año utilizando de esta forma 10% de la energía total que consumen otros edificios de ese porte
Entorno externo del producto	
Impacto socio económico	Gran ahorro de energía en el sistema de refrigeración utilizando 10% de la energía total que consumen otros edificios de ese porte y con un consumo de un 35% menos de energía que seis edificios convencionales
Impacto ambiental	Comprobación del gran ahorro del consumo energético logrando mantener una temperatura estable entre 22° y 25° grados todo el año.

Tabla 1.1.5 Ficha del Edificio Eastgate desde el enfoque biomimético proyectual

Referente natural

Las termitas necesitan de una temperatura constante de 30°C para sobrevivir. Por esta razón, evolutivamente, han diseñado un nido capaz de mantener la temperatura con una amplitud de oscilación del orden de 1°C entre el día y la noche. Este sistema les permite habitar en el África subsahariana, un área en el cual la amplitud térmica oscila entre 2°C y 42°C.

Las termitas construyen galerías en la parte inferior de los nidos mediante el trazado de pequeñas aberturas en el lodo húmedo. A medida que el aire circula a través de estas galerías, su temperatura disminuye.

Referente conceptual

La construcción de los nidos de termitas se realiza a partir del principio de regulación de temperatura por flujo de aire por canales de ventilación y el principio de refrigeración por evaporación.

Principio de funcionamiento tecno-replicado

La construcción del edificio parte del principio de regulación de temperatura por flujo de aire por canales de ventilación (Figura 1.8), y del principio de refrigeración por evaporación mediante el mecanismo de flujo inducido. Ambos principios están presentes en los nidos con chimenea abierta de las termitas (Figura 1.9). Debido a que el montículo se extiende hacia arriba, a través de la capa límite de la superficie del suelo, la ventilación de la chimenea grande está expuesta a velocidades de viento más altas que aquellas del perfil de velocidades que llega a las aberturas más cerca del suelo. Un flujo de tipo Venturi atrae aire fresco hacia a través de las aberturas a nivel del suelo del montículo, luego a través de los canales internos del nido y, finalmente, pasa al exterior a través del tubo de lámpara. En el Eastgate, el flujo inducido es unidireccional, hecho que se pone en evidencia en las filas de pilas que se abren en los voluminosos espacios aéreos que atraviesan el edificio.

Mientras tanto, el calor de los ocupantes y la maquinaria del edificio, junto con el calor almacenado por la masa propia del edificio, ayuda a conducir, desde las oficinas y las tiendas, hacia la azotea, un flujo de termosifón.

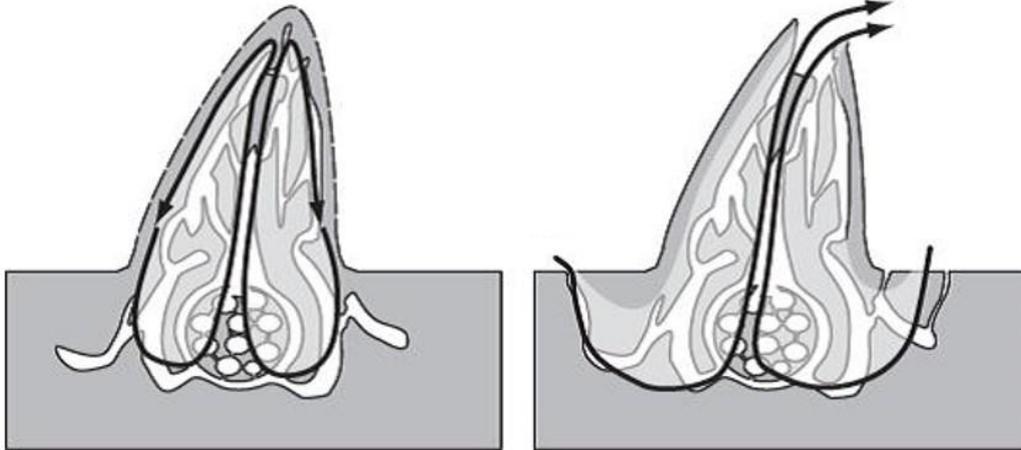


Figura 1.8

Figura 1.9

Dos modelos de ventilación de los termiteros En la fig. 1.8 se observa el flujo de termosifón que ocurre en los montículos de la chimenea tapados y en la fig. 1.9 se puede observar el flujo inducido que ocurre en montículos abiertos.

Potencial didáctico

- La importancia de conceptualizar el aprovechamiento de las ventilaciones naturales para regular temperaturas.
- Estudio de la circulación del aire en función de lograr aplicaciones que generen ahorros energéticos.
- Pensar las estructuras no como algo fijo sino como algo que forma parte del todo y que genera interacción con el medio ambiente.
- Proponer alternativas para generar soluciones a partir de nuevos modelos.

MERCEDES BENZ BIONIC



Antecedentes del proyecto (bioinspiración)	
Fenómeno natural observado	El comportamiento hidrodinámico de ciertos peces (bajo coeficiente de fricción)
Fuente	Empresa Mercedes Benz
Referente natural	Pez caja – cofre
Analogía biomimética	Concebir un vehículo con la menor fuerza de fricción y el máximo volumen como el pez caja
Año de aparición de la idea	2005
Patentes	-
Entorno interno del producto	
Materiales	Aluminio, acero y derivados plásticos
Estructura	Estructura de láminas hexagonales a partir de las numerosas escamas que posee el referente logrando gran rigidez con un mínimo peso
Configuración espacial	Distribución de las láminas hexagonales formando una superficie
Mecanismos propuestos	La estructura desarrollada reduce el peso a una tercera parte aproximadamente así como también mejora la rigidez de las puertas en un 40% con respecto a las convencionales
Descripción del producto	Concept desarrollado
Cambio de escala respecto al referente natural	Ampliación de escala
Propósito	
Funcionalidad (tecno bio replicación)	Principio de máximo volumen piciforme y mínima fuerza de arrastre
Flujo de entrada	Requisitos
	Lograr un concept con mayor seguridad en su estructura
Flujo de salida	Resultados obtenidos
	Innovación planteada desde aspectos vinculados a los materiales y la morfología desarrollada
Entorno externo del producto	
Impacto socio económico	El producto llegó a la instancia de pruebas y prototipos, no ha sido producido en serie hasta el momento
Impacto ambiental	Gran ahorro energético. El vehículo consume 4,3 litros de combustible x cada 100 km (20% menos que un auto normal)

Tabla 1.1.6 Ficha del Mercedes Benz Bionic desde el enfoque biomimético proyectual

Referente natural

El pez caja o cofre presenta una morfología característica en forma de cofre, ya que está cubierto por escamas rígidas, que se fusionan entre ellas, para formar una estructura rígida a modo de un singular armazón.

Referente conceptual

El pez caja, durante su movimiento, posee la capacidad hidrodinámica de desplazarse sin cambios significativos en la velocidad y sin perturbar el medio.

Principio de funcionamiento tecno-replicado

El auto Mercedes Benz Bionic está inspirado en el pez caja o cofre. Este concepto posee una forma volumétrica cúbica (geometría que maximiza el volumen para una dada superficie) y tiene un muy bajo coeficiente hidrodinámico de fricción ($C_d \approx 0,19$), comparado con la mayoría de los vehículos comerciales ($C_d \approx 0,30$).

La mejora se debe a que este coeficiente está directamente relacionado con la fuerza de fricción (F_d) a la que está sometido cuando adquiere velocidad.

Dicha fuerza puede expresarse como en la Ec.1:

$$F_d = \frac{1}{2} C_d(Re) \rho V^2 A \quad (\text{Ec. 1})$$

Siendo:

C_d : el coeficiente de fricción. Dicho coeficiente es función del número de Reynolds (Re), que expresa la relación entre las fuerzas de inercia con respecto a la fuerza viscosa del aire.

ρ : es la densidad del aire a la temperatura correspondiente.

V : es la velocidad relativa del vehículo con respecto a la del aire

A : superficie proyectada (área cuya normal es paralela y opuesta a la dirección de la velocidad relativa).

Puede observarse que la fuerza de arrastre aumenta con el cuadrado de la velocidad. Ello significa que, si la velocidad se duplica, la fuerza de arrastre se cuadruplica. Con lo cual, bajar el coeficiente de arrastre se vuelve un imperativo para cualquier segmento vehicular.

Este coeficiente se compone de una parte que tiene en cuenta a las fuerzas de presión y, por lo tanto, se regula mediante la forma del vehículo como se ilustra en la Figura 1.10. La contribución restante se relaciona con las fuerzas de fricción sobre la superficie exterior del vehículo expuestas al medio en el que esté inmerso.

El Mercedes Benz Bionic consume 4,3l de combustible cada 100 km. Esto representa un 20% menos de consumo que un auto normal.

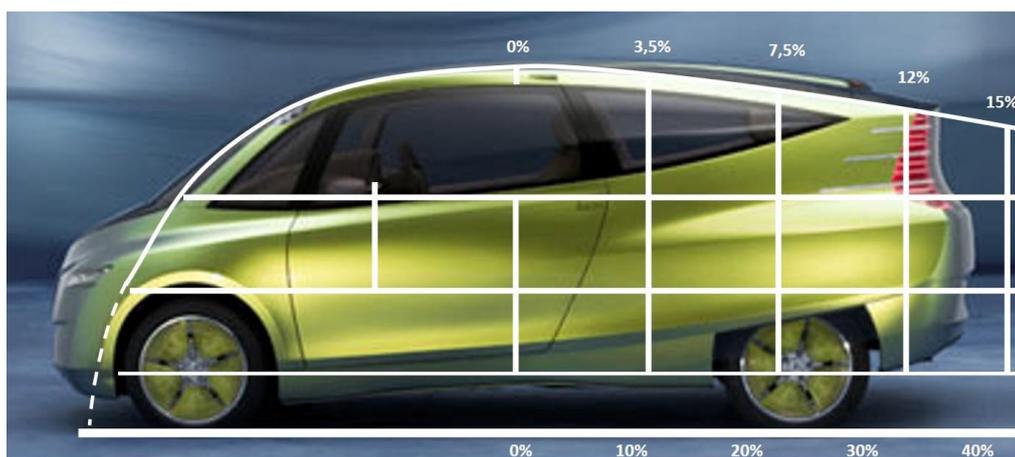


Figura 1.10 Esquema del Mercedes Benz Bionic, al que se le superpone un modelo fluido-dinámico computacional (corte sagital), para evaluar la curvatura frontal y aquella de la cubierta superior del vehículo, con el objeto de disminuir el coeficiente de fricción que regula la fuerza de arrastre

Para reducir la componente de fricción de C_d debida a las fuerzas de fricción y, además dar rigidez, ligereza y reducir el peso a la estructura de la carcasa, se utilizó un patrón de placas hexagonales.

Potencial didáctico

- Elección de formas tridimensionales en las que se tenga en cuenta la relación superficie –volumen óptimo para cada aplicación.
- La importancia de conceptualizar la fuerza de arrastre para cualquier objeto en movimiento (que será siempre opuesta a la propulsora) y por tanto del valor de ella dependerán variables fundamentales como el consumo de combustible o bien la propia performance del vehículo como la velocidad máxima alcanzable, etc.
- Estudio de recubrimiento superficiales externos para objetos en movimiento. Este tema es crítico, en particular cuando el proyecto pretende lograr altas velocidades.
- Estudio de la morfología para darle características fluido dinámicas adecuadas.

TREN SKINKANSEN



Antecedentes del proyecto (bioinspiración)	
Fenómeno natural observado	Aves que perturban mínimamente la interfaz aire-agua durante su movimiento a través de la misma
Fuente	Eji Nakatsu
Referente natural	Martín Pescador
Analogía biomimética	Lograr una disminución del ruido en la entrada y salida de túneles a partir de una adaptación morfológica en la parte frontal del tren como ocurre con el pico del ave
Año de aparición de la idea	2009
Patentes	-
Entorno interno del producto	
Materiales	No se modificaron los materiales utilizados en el primer diseño
Estructura	El nuevo diseño comprendía un morro alargado de 15 metros (comparado con los 6 metros del anterior) y un cuerpo más redondeado
Configuración espacial	Modificación morfológica del frente a partir del análisis del referente
Mecanismos propuestos	Adaptación del pico del Martín Pescador a partir de su morfología y estructura para posibilitar un mejor desplazamiento del tren
Descripción del producto	Tren de alta velocidad
Cambio de escala respecto al referente natural	Ampliación de tamaño
Propósito	
Funcionalidad (tecno bio replicación)	Principio de disminución sonora en cambios de interfases (agua-aire)
Flujo de entrada	Requisitos
	Resolver la problemática que generaba el gran ruido que hacía el tren cuando se sucedían cambios en la presión atmosférica como por ejemplo al entrar o salir de un túnel.
Flujo de salida	Resultados obtenidos
	El nuevo diseño resultó más rápido, silencioso y potente que el anterior
Entorno externo del producto	
Impacto socio económico	El nuevo diseño redujo el efecto de explosión sónica y permitió al tren ser muy veloz sin sobrepasar el estándar de nivel de ruido.
Impacto ambiental	Se logró una gran reducción del ruido al cambiar de ambiente contando con un 30% menos de resistencia y con una reducción en el consumo de energía de un 13%.

Tabla 1.1.7 Ficha del Tren Skinkansen desde el enfoque biomimético proyectual

Referente natural

El pájaro Martín Pescador se zambulle a gran velocidad, a través de la superficie de separación aire - agua, sin generar perturbaciones significativas. Es decir, puede pasar de un medio a otro, con una densidad mil veces mayor que la inicial, sin salpicar (hecho que afectaría su eficiencia de caza).

Referente conceptual

La morfología cónica de su pico es lo que le permite entrar y salir limpiamente del agua (Figura 1.11).

El pico del Martín Pescador se puede describir como un cuerpo parabólico rotatorio, es decir, la misma figura que se formaría en el intersticio de cuatro círculos juntos.



Figura 1.11 Detalle del ángulo del pico del Martín Pescador

Principio de funcionamiento tecno-replicado

En este caso se trata de varios principios que se deben superponer, ya que se relacionan con la geometría del túnel y con la velocidad y forma del tren. La forma cónica del pico presenta aspectos aerodinámicos que sirvieron para solucionar uno de los tres problemas.

El tren en funcionamiento a velocidad de crucero (320km/h) producía un ruido ensordecedor y desagradable en los usuarios, ya que estaba por encima de los decibeles tolerados por la normativa europea.

El estruendo sonoro era causado por tres factores principales:

- 1) Vibración del suelo a lo largo del tren y de las estructuras de soporte al piso.
- 2) El ruido aerodinámico causado por el cuerpo de los vagones y el pantógrafo ferroviario que conectaba al tren con el cable de la catenaria (vórtices o remolinos) a altas velocidades.
- 3) La explosión sónica cada vez que el tren entraba en un túnel.

El fenómeno físico presente en cada uno de los tres problemas era considerablemente diferente, siendo el último el más complejo y el dominante.

El ruido debido al pasaje del aire por el pantógrafo es consecuencia de la formación de los llamados vórtices de Karman, que se producen por el desprendimiento de la capa límite de cuerpos no fuselados. La consecuencia es una onda sonora de gran intensidad.

Una vez suavizado el flujo del aire se instaló el nuevo “alógrafo” en el tren de prueba y en la línea principal de la vía se colocaron micrófonos, a intervalos iguales, para su evaluación. A 320 km/h el ruido fue tolerable con 73 dB con beneficios adicionales como fue un pequeño incremento en la eficiencia en el uso del combustible, y mayor comodidad para los pasajeros dentro del tren.

El problema de la explosión sónica se ponía en evidencia cada vez que el tren entraba en un túnel a gran velocidad. Se generaban ondas de presión atmosférica que llegaban a la salida del túnel a la velocidad del sonido.

El aire salía en ondas de baja frecuencia (por debajo de los 20 Hz) que producían vibraciones aerodinámicas y una enorme explosión. Había quejas de vecinos que vivían cerca. El problema era particularmente difícil porque se relacionaba tanto con la geometría del túnel como con la velocidad del tren.

La clave estaba en evitar que creciera la onda de presión reduciendo el área de corte transversal del tren, rediseñando por tanto el morro.

Nakatsu había observado que el tren de prueba parecía “encogerse” al entrar al túnel y pensaron, entonces, en el Martín Pescador.

Con estos parámetros, se realizaron innumerables pruebas que confirmaron lo que se podía observar en la vida real: la forma del pico del Martín Pescador era, sin duda, la más eficiente de todas las probadas, mejorando todas las alternativas por un margen amplio.

El diseño de la nueva Serie 500 comprendía un morro alargado de 15 metros (comparado con los 6 metros de la Serie 300) y un cuerpo más redondeado. El diseño redujo el efecto de explosión sónica y permitió al tren ser muy veloz, sin sobrepasar el estándar de nivel de ruido.

También generó otros beneficios de inmediato ya que, no sólo era más rápido, silencioso y potente sino que, además, contaba con un 30% menos de resistencia al aire que su predecesor. El consumo de energía se redujo un 16% con respecto al modelo de la Serie 300 y con un aumento de la velocidad de un 10%.

Potencial didáctico

- Estudio de la morfología para lograr dar las características aerodinámicas adecuadas al objetivo del proyecto.
- La importancia de conceptualizar la fuerza de arrastre para cualquier objeto en movimiento (que será siempre opuesta a la propulsora) y, por tanto, del valor de ella dependerán variables fundamentales como el consumo de combustible o bien la propia performance del vehículo como la velocidad máxima alcanzable, etc.
- Optimización de ciertos parámetros observados en función de obtener mejoras en un proyecto.

PRÓTESIS CHEETAH



Antecedentes del proyecto (bioinspiración)	
Fenómeno natural observado	La particular biomecánica de la carrera de felinos cuando logran alta velocidad
Fuente	Empresa Össur
Referente natural	Guepardo
Analogía biomimética	Desarrollar una prótesis de miembros inferiores para deporte de alto rendimiento como las características que poseen las extremidades del guepardo
Año de aparición de la idea	Se realizaron pruebas y prototipos en la empresa Flex-Foot hasta 1984 y luego se realizaron actualizaciones desde el 2000 cuando fue adquirida por la empresa Össur
Patentes	Patente US8535390B1, dispositivo de tracción y dispositivo de fijación asociado para una prótesis de deporte de alto rendimiento
Entorno interno del producto	
Materiales	Fibra de carbono
Estructura	Morfología desarrollada en forma de J. La parte interna es de alta innovación en cuanto a los materiales, la sintetización y acople de materiales y en su estructura; y en la parte externa presenta una superficie compleja dada la necesidad de adaptabilidad a distintos terrenos y entornos
Configuración espacial	La configuración logra que la prótesis se comprima al impacto logrando de esta forma guardar energía y absorber el impacto que de otra forma iría al tobillo, rodilla y baja
Mecanismos propuestos	A partir de la materialidad propuesta se logra gran ligereza y máxima resistencia y elasticidad relativa.
Descripción del producto	Prótesis Flex-Foot Cheetah
Cambio de escala respecto al referente natural	Ampliación de escala
Propósito	
Funcionalidad (tecno bio replicación)	Principio de almacenamiento y entrega de energía por impacto
Flujo de entrada	Requisitos Generar una prótesis que logre ligereza, velocidad y gran resistencia
Flujo de salida	Resultados obtenidos Propone una interfase que se comunica con los impulsos nerviosos biológicos, conectándose con un doble entorno, por un lado el sistema nervioso y por otro el entorno exterior. La prótesis fue la primera realizada para ser utilizada en deportes de alto rendimiento consiguiendo una reducción del 25% de energía comparando su uso con el comportamiento de un corredor normal.
Entorno externo del producto	
Impacto socio económico	El impacto fue muy importante a partir de la obtención de prótesis especializadas para deportistas de alto rendimiento.
Impacto ambiental	La empresa Össur ofrece hoy una amplia variedad de prótesis para diferentes niveles de impacto (bajo, moderado, alto y de deporte).

Tabla 1.1.8 Ficha de la prótesis Cheetah desde el enfoque biomimético proyectual

Referente natural

El guepardo tiene una espina dorsal única y flexible que permite una flexión y extensión extremas en carrera a altas velocidades. En la flexión de la columna vertebral, cuando las patas del guepardo están directamente debajo de su cuerpo, la escápula y la cadera pueden rotar a un ángulo tan extremo, que las patas delanteras y traseras del guepardo se superponen.

Para llegar a la extensión, la columna vertebral retrocede como un resorte e impulsa las patas del guepardo. En esta fase de la marcha el guepardo puede alcanzar zancadas de hasta 62.5 cm.

Por último, el guepardo está equipado con garras romas, semirretráctiles, que funcionan de manera similar a los tapones de los botines de fútbol. Como sus garras nunca se retraen por completo, como otros grandes felinos, siempre están listos para proporcionar una poderosa tracción desde el suelo.

Referente conceptual

Está basado en la anatomía de la articulación de las patas traseras del guepardo.

Principio de funcionamiento tecno-replicado

Las prótesis Cheetah tienen una forma original que intentan reproducir el movimiento de la pata posterior del guepardo, que se extiende para llegar el suelo mientras que los músculos de su pierna disparan su cuerpo hacia adelante. (Figura 1.12).

La prótesis se caracteriza por su forma en “J” que se comprime en el impacto con el suelo produciendo un gran almacenamiento de energía. Esta forma evita la absorción parcial de energía por parte del tobillo, la rodilla, la cadera y la columna lumbar, presente en la cadena cinemática del miembro inferior de cualquier corredor bípedo. Los estudios han demostrado que la prótesis Cheetah Flex-Foot puede devolver el 90% de la energía almacenada, mientras que una normal puede devolver hasta un máximo del 49%.

El vértice de la curva de la “J” en la prótesis está conformado por un número mayor de fibras de carbono, mientras que las áreas que requieren una mayor flexibilidad, están equipadas con un número menor, lo que permite un dinamismo que no sería posible con un material homogéneo.

El grosor y rigidez del pie resultante de la prótesis varía según el peso corporal del usuario, la longitud del miembro residual y la alineación del pie en relación con su estilo de correr. Esto también puede mejorar la durabilidad del pie.

El elemento principal presente en la prótesis Cheetah es el carbono. Su peso es menor que el correspondiente al de una pierna biológica ($\approx 4\text{kgf}$). Es formada entre 80 y 100 capas de fibras de carbono. El carbono presenta muchas ventajas por su bajo peso, extrema resistencia y alta elasticidad.

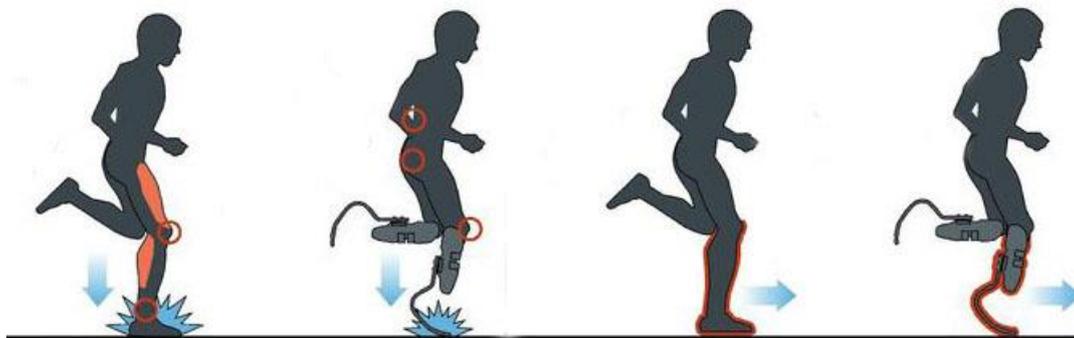


Figura 1.12 Detalle de la secuencia de funcionamiento de la prótesis Cheetah Xtreme

Potencial didáctico

- Investigar cómo la combinación “forma-movimiento” puede generar el almacenamiento de energía y cuáles serían sus usos potenciales.
- Poder reflexionar cómo se desarrolla un producto en función del análisis biomecánico de los movimientos y cómo serían las posibles transferencias a posibles productos.

Las fichas realizadas, como se dijo, cumplen dentro de esta tesis la función de:

- Desarrollar **conceptos** que permitan caracterizar la biomimética proyectual.
- Aplicación en **procesos didácticos** de una modalidad alternativa de enseñanza proyectual basada en la biomimética proyectual.

En los procesos de diseño biomimético es necesario analizar y entender la diferencia entre el **arte creativo** - el diseño en sí, como creación generalmente asociada a obras únicas y originales, y lo que se entiende por **innovación** en tanto concepción de un producto que puede tener mercado y capacidad de ser reproducido en serie y vendido lo que hace que algunos de los casos presentados tiene patentes y otros no y en algún otro se trate de desarrollos tipo *concept*.

En esta dirección existirían procesos biomiméticos únicos o seriales o repetibles en reproducciones de tipo industrial.

El desarrollo disciplinar y científico de la *biónica* aparece, en ese sentido, como un tipo de conocimiento de punta orientado a la búsqueda de innovación como solución genérica que mejore y sustituya objetos convencionales y por tanto la investigación referida a funciones o propiedades naturales se orienta prioritariamente hacia la posibilidad de aplicaciones seriales o industriales.

El interés prioritario en una clase de investigación, conducente a la innovación como estrategia de generación de nuevos y mejores dispositivos producidos industrialmente, se puede verificar de distintas formas en los casos presentados.

Las diferentes maneras de aplicar el modelo teórico de Simon a productos diseñados, en el que la innovación es referida a un nuevo artefacto de inspiración biomimética, asume pensar los objetos (y los procesos) en términos de sistemas adaptativos complejos, trasponiendo conceptos biológicos al plano proyectual del diseño artificial.

En los análisis de casos presentados es importante considerar la estructura y prestaciones de los materiales - en el sentido de homologar materiales naturales con artificiales, las funciones, biológicas versus su reproducción por medios artificiales (mecánica, mecatrónica, etc.), además del comportamiento en relación al entorno.

En otro orden, es relevante considerar la cuestión de la escala, las consideraciones de la semejanza dinámica del objeto referencial, al objeto proyectado, o bien, las problemáticas propias y específicas del pasaje de un modelo escala a un prototipo.

La biónica introduce además temáticas como aquellas de la ergonomía o la llamada escala humana como factores relevantes para evaluar la perspectiva de la biomímesis y el pasaje de lo orgánico-natural a lo orgánico-humano, por ejemplo en relación a las prótesis que se desarrollan inicialmente en la imitación de formas animales.

Otra cuestión ligada a la escala en los procesos de biomímesis tiene que ver con la microescala de algunas funciones, propiedades o dispositivos naturales que engendran alguna funcionalidad o prestación por dicha microescala, a veces, de carácter molecular.

Esta capacidad de observar, modelar y adaptar funcionamientos naturales de orden microescalar es la que ha dado origen a las llamadas nanotecnologías, y con ello también a al diseño de productos a esta escala.

En este caso, algunos procesos naturales microescalares podrán descubrirse y analizarse pero no siempre será posible reproducirlos artificialmente y, mucho menos, con reproducciones seriales o industriales, por diferentes motivos, entre ellos los costos muy elevados.

1.1.3 Desarrollos productivos biomiméticos, propiedad intelectual y patentes de producción

A nivel mundial existen hoy más de 10000 patentes vinculadas a la palabra *biónica* y cerca de 20000 patentes vinculadas a la noción de *biomimética* lo cuál indicaría que en el relativamente breve lapso de desarrollo de estos campos se han producido numerosos desarrollos exitosos que caracterizamos como *innovaciones* en tanto aplicaciones susceptibles de reproducción serial o industrial.

En relación con este desarrollo puede observarse que hay patentes relacionadas con todo tipo de implantes, membranas, dispositivos, compuestos, nuevos materiales y nuevas tecnologías.

En cuanto al desarrollo de patentes vinculadas al Diseño Industrial ya es más acotada la cantidad de productos que hayan sido patentados.

A continuación se detalla un listado de las patentes más significativas en vinculación con el área biomimética:

- 1) Medición de deformaciones basadas en receptores de insectos (Skordos et al, 2002).
- 2) Estructuras desplegadas basadas en flores y hojas (Guest & Pellegrino, 1992).
- 3) Cerámica súper resistente basada en la madreperla (Sarikaya, M., Aksay, I., (1992).
- 4) Reducción de la fricción basada en cortes dérmicos de la piel del tiburón (Bechert et al, 1997).
- 5) Compuestos resistentes basados en orientaciones en la madera (Chaplin et al, 1983).
- 6) Colas resistentes al agua basadas en el adhesivo del mejillón (Holl et al, 1993).
- 7) Mecanismos de vuelo basados en insectos (Ellington, 1999).
- 8) Tecnología de extrusión basada en el órgano que genera la tela de araña (Knight & Vollrath, 1999).
- 9) Superficies auto-limpiantes basadas en la superficie de la hoja de loto (Barthlott & Neinhuis, 1999)

- 10) Tecnología de unión entre dos partes basadas en la semilla de la bardana - Velcro, (1955)-, comercializado desde la mitad del siglo pasado y actualmente con más de 2000 patentes de distintos desarrollos basados en el velcro.
- 11) Materiales biomiméticos de tejidos óseos, construcciones biomiméticas que se pueden formar con los materiales y métodos para formar los materiales y construcciones (Jabbari, 2014).
- 12) Composiciones y métodos para tratar defectos óseos. Dispositivos de fijación quirúrgica multifuncional con utilidad bioactiva. Dispositivos con medios permeables basados en materiales porosos con estructura celular de gradiente (Zhou, et al, 2009).
- 13) Robot inspirado en el pulpo con brazos blandos unidos de forma radial a un soporte central y capacidad de alargarse, acortarse y envolverse en forma de bobina (Calisti, et al, 2016)
- 14) Desarrollo de prótesis y exoesqueletos (Herr, et al, 2014).

Biomimética: Redes de investigación ligadas a la innovación tecnológica

En general este desarrollo de innovaciones biomiméticas se apoya en los resultados de redes globales de investigación y desarrollo que vinculan diversas disciplinas y profesiones conectando las distintas investigaciones y proyectos así como también generando una gran red de información y contactos así como instancias de investigación colaborativa.

A veces en este proceso de acuñamiento de enjambres de investigaciones tienen su rol las empresas desarrolladoras y dueñas de patentes como **FESTO** que auspicia una red de investigación creada en 2006 que vincula institutos de investigación, universidades y empresas dedicadas al desarrollo de nuevas tecnologías.

Esta empresa participó de la creación de la red de investigación denominada **Bionic Learning Network** que desde los años 90 se encuentra enfocada en la investigación en el campo de la biónica.

Algunos de los proyectos generados en vinculación con la biónica desde dicha empresa y desde la BLN son un robot ligero neumático con dinámica de movimiento humano llamado *BionicCobot*, un robot ligero con formas de movimiento naturales inspirados en la trompa del elefante y en los tentáculos de un pulpo llamado *BionicMotionRobot* y un dispositivo de agarre y fijación basado en el modelo de los tentáculos de pulpo llamado *OctopusGripper*.

Con la incorporación de la biónica FESTO estableció redes de trabajo interdisciplinario generando intercambio entre diferentes sectores. Es una empresa pionera en la formulación de las tendencias de vanguardia, aprovechando empresarialmente las nuevas tecnologías, generando el desarrollo de aproximadamente 100 productos nuevos por año. En la actualidad cuentan con más de 2600 patentes en todo el mundo.

Otra de las grandes redes que tiene una gran interacción con la biomimética en el desarrollo de soluciones es ***AskNature***, creada en 2008. Se inició como un proyecto diseñado para catalogar y presentar toda la diversidad del conocimiento biológico de manera que, los innovadores de todas las disciplinas, puedan conectarse a sus flujos de trabajo.

AskNature es un sitio *web* que busca informar, motivar e inspirar a diseñadores, arquitectos, estrategias de negocios y otros innovadores con información biológica relevante para sus retos de diseño de servicios o productos.

El contenido de *AskNature* es construido para la comunidad y es administrado y moderado por el *Instituto Biomimicry*, con sede en USA. Esta red contiene más de 2500 estrategias biológicas accesibles a partir de ingresar un tipo de función determinado, o, desde el análisis de los sistemas vivos.

1.1.4. Conclusiones

Este capítulo ha buscado presentar el estado actual de la biomimética proyectual. El breve recorrido de la selección de los productos biomiméticos paradigmáticos asociados al origen de saberes relativamente nuevos, fue realizado con la voluntad de discutir aplicaciones, propiedades y principios exitosamente transferidos desde el mundo natural, a productos industriales.

Esta historia incipiente y promisorio ya tiene claros resultados visibles. La selección de casos analizados, así como una progresiva organización de redes internacionales de investigación asociadas al descubrimiento y aprovechamiento de innovaciones, representan un alto potencial para nuevos desarrollos industriales.

Así puede tenerse un primer panorama, desde su surgimiento hasta la actualidad, del campo biomimético con sus centros y producciones, nacionales e internacionales, los tipos de proyectos, sus líneas establecidas, y la características de las variables de interés para el diseño industrial con el fin de que todos estos saberes y hallazgos puedan ser articulados en los procesos de enseñanza en el grado y en el posgrado. Todo este panorama es estratégico y, por ello, la introducción y exploración de los recursos didácticos enriquecerá la teoría y la práctica proyectuales del diseño industrial a corto plazo.

Se trata de un campo significativo desde la perspectiva del desarrollo y apropiación de capacidades productivas innovativas regionales y nacionales puesto que muchas posibilidades no necesariamente dependen de tecnologías sofisticadas.

Para ello se ha prestado cierto interés en analizar por dónde pasó la innovación en las relaciones entre investigación y producción, desde la perspectiva de actuación profesional del diseñador, destacándose el punto según el cual el potencial de innovación depende de la calidad y oportunidad de observar, entender e imitar un fenómeno natural ya que de ello surgen las diferencias entre cualidades de objetos según la pertinencia del objeto natural inspirador (Lodato, 2000).

En esa línea de razonamiento es importante considerar la cuestión de la relación entre original y copia (cuestión central de la mimesis clásica) en el caso de la biomimesis. Si en la mimesis clásica esa relación parece ser predominantemente de forma, en la biomimesis la relación original-copia es prioritariamente de función (que implica dimensiones tales como la prestación, el rendimiento, la eficacia para conseguir un resultado, etc.).

Existen muchas posibilidades de desarrollos de distintos productos y/o desarrollo de diversas patentes de producción a partir de algún principio o propiedad natural detectada como reproducible en términos de biomimética proyectual.

En muchos casos el problema proyectual no es la utilización del principio o propiedad – como el agarre del gecko, o bardana, o la autolimpieza de la flor de loto- sino el descubrimiento mediante la correspondiente experimentación, de la *traducción tecnológico-productiva*, es decir, de la reproducción con cierto grado de abstracción de dicha propiedad, mediante materiales y procesos productivos disponibles o viables para tal fin.

Se pone en marcha, entonces, un *proceso de proyecto* sin grandes diferencias en el enfoque, ya sea si se tratara de un *proyecto natural*, o bien de un proyecto artificial.

Esa traducción, además, puede retener, imitar o reelaborar la función o prestación de la referencia natural pero, en general, no conservará nada de la misma, es decir esa naturaleza originaria ya no se percibirá en el producto artificial.

También importa considerar, desde la mirada biomimética, qué aportes puede hacer el diseño industrial al arte y a las producciones objetuales únicas y personales y cuál es el rol del diseñador industrial en cuanto a la disolución de los límites entre el espacio natural o biológico y el espacio artificial (Vogel, 2000).

La relación entre lo artificial y natural, desde esta perspectiva, evoluciona poderosa y vertiginosamente tendiendo a colonizar nuevos territorios naturales (como en la exploración espacial del vehículo *Curiosity* en Marte desde 2012), en desarrollar componentes o elementos corporales artificiales (bioproductos médicos para reparación o reemplazo de partes humanas o nuevas técnicas de observación y monitoreo para el desarrollo de estudios clínicos o para el control de procesos bioquímicos) y el surgimiento de las nanomáquinas como significativa modificación de la idea de escala y aproximación a la complejidad microescalar natural.

La reflexión sobre el impacto bioético que puede tener el diseño industrial en el desarrollo de productos, desde la perspectiva biomimética, abre una nueva dimensión de análisis.

La invasión biotécnica del cuerpo humano para postergar la muerte biológica abre infinidad de preguntas y de interrogantes sobre la legitimidad ética de la vida técnica. Lo mismo ocurre en términos de políticas ambientales, en cuanto a cuestionamientos a la excesiva confianza en la capacidad de reproducir artificialmente lo natural.

Por último, en la presente sección se abordó la presentación del estado del arte en el campo de investigación, no tanto para sustentar el marco de nuevas investigaciones, sino más bien como para desarrollar un encuadre teórico básico en que sustentar una estrategia didáctica alternativa para la enseñanza del proyecto de diseño industrial y, en dicha dirección, ofrecer los materiales teóricos para enseñar a pensar en cómo hacer una selección de una referencia biológica, diseñar un modelo de análisis a partir de tal referencia y, finalmente, organizar la actividad experimental proyectual para dar con nuevos conceptos de diseño.

1.2. Diseño Industrial y biomimética

1.2.1. Biomimética y alternativas metodológicas para el Diseño Industrial

El uso de ciertas metodologías proyectuales que podríamos denominar *tradicionales* en determinados proyectos podría no llegar a garantizar el soporte necesario para la creación, innovación y desarrollo de algunos productos, sobre todo cuando debe producirse un salto cualitativo de conocimiento, es decir, ir más allá de lo ya conocido y practicado por la profesión en su forma convencional.

Alterar la tradición imitativa entre objetos o referencias mediante la biomimética (a partir de no imitar objetos preexistentes sino aplicar criterios miméticos para utilizar conceptos, funciones o propiedades de la naturaleza) puede ser una base cierta de innovación para una nueva etapa en el diseño industrial en respuesta a los inéditos problemas y demandas que plantea la sociedad global del siglo XXI y al uso de los nuevos materiales, interfases y diversos desarrollos disponibles por primera vez en la historia del diseño.

Por otra parte como ya señalamos, la biomimética quizá ayude a instalar un modo de pensar y proyectar nuevos sistemas y productos en sintonía con entender y atender la crisis de sustentabilidad y la afectación grave de los ambientes y recursos naturales toda vez que este enfoque procura analizar y valorar características intrínsecas de la estructura y funcionamiento de los organismos naturales, enfoque que por tanto puede evaluar y calificar algunos aspectos de aquella crisis ambiental y ecológica de sustentabilidad.

La arquitectura y el diseño comenzaron a incorporar a la biomimética desde la perspectiva llamada **R+D** (*Research and Development*, Investigación y Desarrollo) entendiéndose en este caso, al desarrollo como aplicación proyectual o sea como fase demostrativa y experimental de la posible aplicación de alguna novedad descubierta por el *research* o investigación. El R+D desde la inspiración o enfoque biomimético tiene, en tal sentido por delante, un enorme campo de avances por

realizarse en la situación de verificar y aplicar proyectualmente alguna cualidad o funcionalidad de orden orgánico y, en tal aplicabilidad fruto de estrategias de experimentación proyectual, es donde situamos la posibilidad de alcanzar metas de lo que definimos como innovación.

El diseño de base biomimética, atento a su interdisciplinariedad, también tiende a garantizar una aproximación más racional y metódica del proceso de diseño, eludiendo o minimizando aspectos propios de la *arbitrariedad*, con base artístico-intuitiva, tan común sobre todo en los últimos tiempos.

El diseño de autor o de artista es un flanco cultural significativo del entronque de diseño y cultura artística y visual y de incidencia en aspectos de innovación y formación del gusto de la época. La posibilidad de deducir biomiméticamente características o aspectos del mundo natural otorga al diseño una base de investigación con un perfil más cercano a la racionalidad científica y, además, permite generar una perspectiva proyectual de mayor responsabilidad ética y reconocimiento social.

La relación entre la teoría y la práctica dentro del campo del diseño es un tema que se encuentra en discusión dentro del marco académico desde hace ya tiempo (Breyer, 1978). El esquema de simulación-reproducción que actualmente es utilizado en casi todos los talleres, en muchos de los casos limita el desarrollo y la creatividad de los proyectos, generando también escaso interés en la investigación y experimentación proyectual. Ello es así, en parte, porque la simulación propuesta se asienta sobre escenarios ya conocidos y la reproducción refiere a re-producir, con alguna variación, objetos ya preexistentes. Prevalece en esta estrategia un diseño de tipo *genealógico* en que es dominante la relación entre momentos de diferentes desarrollos de familias de objetos y la imitación de un objeto dado.

La orientación biomimética ayuda a construir escenarios de simulación más complejos y experimentales, así como también plantea procesos de reformulación, más orientados a recrear situaciones provenientes de la complejidad natural, antes que de artefactos previos.

El esquema clásico de la enseñanza del diseño basado en la simulación - reproducción, funciona en determinados casos pero no habría que descartar la posibilidad de apertura hacia otras metodologías factibles. Es decir el desarrollo de metodologías específicas destinadas a generar espacios de innovación y creatividad pero, a la vez, incorporando actividades de investigación en el marco de los procesos proyectuales, generalmente ausentes.

La enseñanza meramente basada en la reproducción de habilidades o destrezas, específicamente profesionales como lo hacen las asignaturas convencionales, resulta limitada e incompleta o, al menos, desenfocada de la perspectiva de la innovación entendida como viabilidad reproductiva serial o industrial del objeto o sistema diseñado.

La enseñanza en los talleres está siendo indagada y analizada desde diferentes enfoques para, de esta forma, encontrar diferentes aproximaciones que generen nuevos basamentos o fundamentos teóricos. Es por esto que resulta cada vez más recomendable modificar el modelo reproductivo, formulando condiciones de un aprendizaje del diseño industrial más cercano a la interpretación de la realidad actual en la línea del desarrollo ligado a la R+D.

Desde el enfoque de relaciones entre la naturaleza y los artificios técnicos y culturales se hace necesaria una revisión sobre la vinculación de la biomimética con el diseño, específicamente, con el diseño industrial. En este ítem se analizarán las metodologías propuestas por los diseñadores más relevantes de los últimos años considerando también su vinculación con la biónica.

Antecedentes

Desde el enfoque de relaciones entre la naturaleza y los artificios técnicos y culturales se hace necesaria una revisión sobre la vinculación de la biomimética con el diseño, específicamente, con el diseño industrial. En este ítem se analizarán las metodologías propuestas por los diseñadores más relevantes de los últimos años considerando también su vinculación con la biónica. Se tratan de: F. Kiesler; C. Alexander; V. Papanek; G. Bonsiepe; C. Di Bártolo; B. Munari y E. Manzini.

En 1938 **Frederick Kiesler** - arquitecto europeo emigrado a USA donde se dedicó al teatro y el interiorismo enseñando a la vez en Columbia donde monta un laboratorio experimental - enuncia una argumentación que al año siguiente sería publicado en un artículo en la revista *Architectural Record* (Kiesler, 2002) acerca de la necesidad de redefinir por completo la operación de diseño a partir de entender los principios que pueden verificarse en el mundo natural dentro de su adscripción al diseño orgánico que condujo a los experimentos de las formas *end-less*, o formas envolventes y generatrices. Si bien esa aportación pasó casi desapercibida y se rescata a inicios de los 2000 allí se formulaba una fundamentación metodológica precisa para el diseño de tipo biomimético.

Ulteriormente una de las primeras contribuciones al desarrollo de metodologías proyectuales para el diseño fue la planteada por **Christopher Alexander** (1964) cuyo eje se centraba en la problemática de la forma y el contexto. Para Alexander resultaba fundamental desglosar los problemas complejos de diseño en sus elementos constituyentes para encontrar de esta forma soluciones concretas. Alexander desarrolló un método donde su enfoque fundamental partía del desglosamiento de los problemas complejos de forma deductiva para luego unirlos con soluciones alternativas para cada uno de los subproblemas identificados en el proceso del proyecto. Alexander analizaba la situación real y encontraba allí lo que llamaba *patterns* que podían entenderse como algo equivalente al lenguaje según los cuáles cada subproblema tenía una subsolución genérica o ideal y el proceso de diseño consistía entonces en una *combinatoria de patterns*, (Alexander, 1964).

Uno de los referentes del Diseño Industrial que más ha trabajado en relación con la biónica es **Carmelo Di Bartolo** (Di Bartolo, 1981). Di Bartolo introdujo el tema de la biónica y la ha postulado como una actividad tan antigua como el hombre donde se estudia y se observa la naturaleza en sus formas y en las estructuras de sus componentes con el fin de extraer información del medioambiente que pueda ser replicada y mejorada a partir de objetos y dispositivos diseñados y en ese contexto define a la biónica como *el estudio de las formas de vida*.

Para el desarrollo de una metodología proyectual propone un método deductivo/inductivo donde el enfoque inductivo parte del análisis zoológico o botánico de una especie determinada buscando abstraer sus procesos biomecánicos formales así como también su eficiencia en cuanto a prestaciones y funcionalidades. El enfoque deductivo se aplica en el análisis de un objeto específico a resolver. El modelo metodológico propuesto por Di Bartolo busca integrar en el proceso de diseño convencional aspectos de la metodología biónica y técnicas de la ingeniería. La metodología biónica empleada se centra en el método como avance para la comprensión de las posibles formas de acceder a la biónica con relación al proyecto. Constituye la concepción más recurrente de la biónica dentro de la metodología de diseño ya que es entendida como elemento de apoyo en un proceso convencional y propio del método creativo en cuanto a analogías directas o como metodología específica dentro de la teoría de los niveles analógicos conducentes a la resolución de un problema proyectual.

En primer lugar se determina el argumento proyectual, el argumento biónico y los ejemplos analógicos naturales; luego a partir de una interpretación y extrapolación de virtudes valoradas positivamente se definen las condiciones para pasar a la etapa de experimentación. El proceso metodológico planteado por Di Bartolo propone unas fases de definición de componentes y experimentación, una fase de diseño conceptual y una última fase de fabricación como desarrollo de ingeniería del producto.

Otro de los grandes referentes vinculado al diseño, **Gui Bonsiepe** toma como fundamento a la biónica como se evidencia en la siguiente definición: “*La biónica es el estudio de sistemas vivientes o asimilables a los vivientes tendente a descubrir nuevos principios, técnicas y procedimientos que sean de aplicación a la tecnología. La biónica analiza desde un punto de vista cuantitativo los sistemas biológicos, sus principios y sus caracteres funcionales, buscando sacar inspiración para desarrollar nuevas orientaciones en la proyección de sistemas técnicos que tienen características análogas*” (Bonsiepe, 1975).

El método de proyectación planteado por Bonsiepe plantea el desglosamiento de la complejidad en el diseño a partir de la división de un problema en subproblemas jerarquizados. Esta aproximación científica a la proyectación adquiere su validez en tanto es capaz de organizar los conocimientos gracias a los cuales se hace posible la incidencia concreta de los mismos en las etapas de diseño en contra si cabe, de los criterios artísticos o arbitrarios del diseño de autor.

Bonsiepe utiliza el concepto de *proyectar* como sinónimo de *diseñar* aunque como él mismo afirma, con otras connotaciones; lo importante es que ambas actividades pertenecen a un comportamiento similar: resolver problemas donde los resultados de la proyección o diseño se manifiestan en productos; una suerte de *problem-solving* donde el problema es la demanda o necesidad de un determinado producto y la solución la mejor respuesta posible a tal demanda.

Bonsiepe afirma que el error más común en los métodos es que la macroestructura analítica a través de la cual pasa el diseñador para resolver un problema proyectual está en general bien expuesta y definida, mientras que la microestructura o las actividades detalladas en cada una de las diversas etapas y las operaciones de selección de alternativas es un elemento que puede llegar a estar poco definido cayendo en la dimensión llamada *caja negra*.

Las etapas que plantea se dividen entre un aspecto operativo y otro técnico, el *operativo* define las diversas etapas analíticas y el técnico estipula como realizar la cosa y en tal secuencia se detallan los siguientes pasos: localización y valoración de una necesidad, análisis y justificación del problema, definición y precisión del problema, subdivisión del problema en subproblemas y jerarquización de los mismos,

análisis de posibles soluciones, desarrollo de alternativas o ideas básicas, examen de alternativas, selección de las mejores alternativas, detalle de la alternativa seleccionada, construcción del prototipo, evaluación del prototipo, observación del comportamiento del producto total e introducción de posibles modificaciones eventuales.

Victor Papanek (Papanek, 1971) ofrece la siguiente definición de biónica: *la utilización de prototipos biológicos en el diseño de sistemas sintéticos creados por el hombre*. Papanek plantea que se trata de estudiar los principios fundamentales de la naturaleza para así llegar a la aplicación de esos principios y procesos a las necesidades de la sociedad. Los postulados planteados por Papanek son en primer lugar entender que para lograr este tipo de desarrollos es necesario contar con un equipo de trabajo interdisciplinario y en segunda instancia considerar la biología, la biónica y las especialidades afines como un campo que ofrece al diseñador formas más creativas e innovadoras de aproximación al proyecto.

Papanek plantea una metodología de carácter *funcionalista*, como una herramienta o técnica de apoyo para diseñar un producto de manera eficiente. Este método de diseño es una herramienta o técnica de apoyo para diseñar y su objetivo varía dependiendo de su naturaleza, que puede ser creativa o de referencia lógica. Los *métodos creativos* son aquellos que estimulan el pensamiento creativo mediante la generación de ideas, los de *referencia lógica* tienen como objetivo ayudar al diseñador a tomar mejores decisiones. Este método es sistemático y no creativo, ya que los pasos planteados permiten que el diseñador analice las opciones disponibles para poder tomar decisiones que tengan en cuenta la ecología y se enfoquen en lograr un cambio social mediante la evaluación e integración de seis aspectos: el método, el utilización, la necesidad, la telesis, la asociación y la estética. Estos seis componentes son los que forman el complejo funcional.

El ítem del *método* involucra un uso óptimo de los procesos, herramientas y materiales, el de *utilización* o uso se refiere a la principal aplicación que se le dará al producto en cuestión y a las características que éste debe tener dependiendo de esta aplicación y la *necesidad* es un aspecto difícil de integrar, ya que requiere analizar el

entorno para detectar aquello que no está funcionando o que se podría mejorar y que está afectando a una comunidad, no a una sola persona. El ítem de la *telesis* refiere a conocer el contexto y en ello la evolución o comportamiento del producto y el usuario a quien va dirigido tal producto en su aspecto socioeconómico, la *asociación* incluye los aspectos psicológicos y cómo éstos hacen que asociemos cosas entre sí y por último el ítem de la *estética* es aquel donde se considera la forma, la textura, el color, entre otros elementos. Es aquí donde el diseñador tiene un mayor grado de libertad y es por esto mismo que generalmente se deja hasta el final pues si se hiciera en otro orden el diseñador podría tener mayor dificultad integrando el diseño estético y los aspectos más vinculados con la función.

Bruno Munari, (Munari, 1981) define a la biónica como *el estudio de los sistemas vivientes cuya tendencia es la de descubrir procesos, técnicas y nuevos principios que pueden ser aplicables a productos desarrollando una solución proyectual. Se toma como punto de partida un fenómeno natural y a partir de ahí se puede desarrollar una solución proyectual.*

Plantea un método proyectual basado en la *resolución de problemas*. Esta metodología propone sistematizar la resolución de problemas a partir de una serie de pasos: el primero es la definición del problema en su conjunto y esto servirá para definir también los límites en lo que se deberá trabajar. En segundo término propone determinar los elementos del problema y esta operación facilitaría la proyectación porque tiende a descubrir los pequeños problemas particulares que se ocultan tras los subproblemas. El tercer punto es la *recopilación de datos para recabar la información necesaria en vinculación con el problema a resolver*. El cuarto ítem es el *análisis de todos los datos recogidos* que puede proporcionar sugerencias sobre qué es lo que no hay que hacer para proyectar (es decir, exponer las limitaciones) y puede orientar la proyectación hacia otros materiales, otras tecnologías, otros costes. La creatividad reemplazará a la idea intuitiva, vinculada todavía a la forma artístico-romántica de resolver un problema. Así pues la creatividad ocupa el lugar de la idea y procede según su método. Un quinto paso de la sucesiva operación consiste en otra *recolección de datos relativos a los materiales y a las tecnologías* que el diseñador

tiene a su disposición en aquel momento para realizar su proyecto. El siguiente sexto paso es el de la *experimentación donde se probarán los materiales y las técnicas* disponibles para realizar su proyecto. Estas experimentaciones permiten extraer muestras, pruebas, informaciones, que pueden llevar en un séptimo paso a la *construcción de modelos demostrativos* de nuevos usos para determinados objetivos. El último y octavo paso es el de la *verificación de los modelos*.

La metodología proyectual planteada por Munari sigue siendo utilizada hoy día en los talleres de diseño industrial y es un referente claro en la aplicación de metodología en el desarrollo de procesos proyectuales.

Ezio Manzini (1996) analiza la mirada del hombre hacia la naturaleza para obtener en un principio, imágenes y analogías que puedan ser transferidas de lo natural a lo artefactual. Con el desarrollo de las ciencias físicas se han tomado de allí otras metáforas y analogías que han sido aplicadas en distintas disciplinas. Con la imposición definitiva de la industria el hombre ha comenzado a buscar soluciones tecnológicas específicas a partir de las cuales orientar sus propias decisiones a la hora de diseñar en función de la traslación de formas observadas en lo natural a partir de la lectura de aparatos biológicos hacia el mundo de lo artificial. Manzini desarrolla la idea del ***aprendizaje de la naturaleza*** a partir de la observación que por un lado puede ser puntual a partir de establecer una comparación entre organismos y objetos concretos y por otro, la observación global estableciendo una comparación entre ecosistemas naturales con su evolución y sistemas artificiales con sus innovaciones.

Manzini plantea la observación de la naturaleza desde dos puntos significativos: la evolución del pensamiento científico y la transformación de la idea de la naturaleza que se deriva de ella y la crisis ambiental y la transición hacia una sociedad sustentable, (Manzini, 1996).

Estas referencias y metodologías relevadas de algunos de los autores más destacados vinculados con el Diseño Industrial en el último siglo siguen siendo consideradas actualmente como marcos teóricos para la realización de proyectos en el taller. En

todas las metodologías presentadas se observa una coherencia en cuanto al desarrollo temporal del proyecto así como en el planteo de todas las etapas planteando siempre un desarrollo de carácter lineal.

Se observa que todos los autores vinculados al Diseño Industrial de alguna forma u otra han mencionado a la *biónica* y a su posible incidencia en el marco de un proceso proyectual y en general a los procesos de relación entre componentes naturales y elementos artificiales o fruto de acciones u operaciones de diseño.

En la actualidad existen diversas corrientes que están trabajando sobre el tema del enfoque proyectual en el marco educativo desarrollando una búsqueda de metodologías proyectuales más abiertas para poder ser adaptadas en función de la necesidad de cada proyecto. Esto es muy conveniente sobre todo en el campo del diseño industrial donde los proyectos tienen una gran amplitud temática en que resulta necesario establecer una metodología que pueda por un lado, generar una flexibilidad en el enfoque teórico y por otro lado, posibilitar la vinculación y el desarrollo de proyectos con otras disciplinas.

En este sentido resulta interesante analizar algunos de los conceptos y corrientes que hoy están motorizando la búsqueda de nuevas metodologías y enfoques de trabajo dentro del campo del diseño.

Una de estas corrientes es la del ***Design Thinking*** desarrollada en la Universidad de Stanford, USA, como una metodología para desarrollar la innovación centrada en los usuarios, ofreciendo una nueva visión a través de la cual se pueden observar las necesidades desde otro ángulo generando así soluciones más acordes al problema planteado. Esta metodología se centra en el proceso de diseño dejando en un segundo plano el producto final integrando enfoques desde diferentes campos mediante la participación de equipos multidisciplinares que ofrecen diversos puntos de vista durante el proceso. La intervención de otras disciplinas durante el desarrollo proyectual es un factor muy importante para conocer y entender con mayor

profundidad cual es el problema a resolver pues en el campo del Diseño Industrial donde la variedad de desarrollos de objetos puede ir desde productos dentro del campo de la medicina y la salud hasta campos vinculados con el transporte y otras áreas, es de fundamental importancia contemplar la relación con otras disciplinas durante el desarrollo proyectual. Lo que resulta interesante de esta nueva corriente es que está siendo aplicada en diversos campos de trabajo y que en este caso no se trata de *enseñar para hacer* sino de enseñar para saber generándose una nueva relación y configuración entre el *saber* y el *hacer*.

El *Design Thinking* tiene un enfoque particular sobre la empatía y la etnografía del ser humano; la generación de ideas, la invención de las artes y la ingeniería, la creación de hipótesis, la creación de prototipos y diferentes pruebas y la metodología reflexiva tomada del campo de las ciencias. Al articular toda esta información con los modos de pensar y las habilidades del *Design Thinking* se logra que los estudiantes sean capaces de identificar las situaciones en las que pueden generar mejoras teniendo las herramientas personales y de colaboración para resolver y tomar medidas para un cambio y de esta forma redefinir la noción tradicional de proyecto; las metodologías proyectuales que están siendo hasta ahora utilizadas parten de un desarrollo lineal mientras que estas nuevas metodologías vinculadas al *Design Thinking* plantean un proceso no lineal sino de carácter más bien circular y con retroalimentación de la información con gran apertura de campos extradisciplinarios del diseño y por tanto con una voluntad de transformar el carácter endógeno y autorreferencial de las teorías, conceptos, críticas y valoraciones generada por los diseñadores para consumo interno.

Dentro del campo del *Design Thinking* surge en los últimos años un enfoque particular que es el de *Biomimicry Thinking* definido en función de los métodos y procedimientos para la determinación de las relaciones funcionales de problemas, la adquisición y la abstracción de conocimientos biológicos; todo esto realizado a partir de la búsqueda de ejemplos en la naturaleza de conjuntos de soluciones o puntos de decisión para los procesos de diseño, ingeniería, planificación o campos dentro de la economía.

Es inherente al ***Biomimicry Thinking*** la búsqueda de una propuesta de valor con el fin de crear productos, sistemas o servicios que sean sustentables en el planeta y que reflejen los atributos del sistema similares a los que se han desarrollado en más de 3,8 billones de años de vida. Como un campo que se integra con el pensamiento de diseño, el pensamiento sistémico y los paradigmas de la ingeniería, aún genera una relación de antecedentes matizada y profunda con los sistemas de vida y la biología. Esta relación con el conocimiento biológico y el pensamiento análogo a menudo inspira y conduce a varios beneficios inesperados que tienen un impacto profundo en la práctica de la biomimética. Estos incluyen un aumento de la fidelidad en la comunicación, la capacidad de superar el sesgo cognitivo común y la creación de marcos disruptivos positivos de pensamiento. Estos se han manifestado de diversas maneras pero en general son vistos como un *motor de la innovación*. El mayor impacto del *Biomimicry Thinking* no está en la innovación incremental sino en lograr un cambio en la interacción y los supuestos sociales de valor y los objetivos que emergen como un proceso de *mirar a la naturaleza* (Benyus, 1997).

Estas nuevas corrientes posibilitan la apertura hacia otras aproximaciones desde diversos ángulos logrando resultados alternativos. La corriente *Biomimicry Thinking* provee un contexto sobre cuándo, cómo y porqué la biomimética encaja dentro de los procesos de cualquier disciplina y de cualquier escala de diseño ya que es una metodología que genera un marco de trabajo cuyo objetivo es introducir a la biomimética dentro de un proceso de diseño. Existen áreas donde la biomimética provee de valores específicos para otorgarle al proceso de diseño como por ejemplo las de descubrir, crear y evaluar; esto independientemente de la disciplina donde esté siendo utilizada. La biomimética proyectual encuentra un espacio de trabajo entre la ideación y la realización de un proyecto y a partir de la generación de este nuevo espacio se logra trabajar desde un aspecto más conceptual analizando las problemáticas planteadas en el proyecto desde otro lugar.

La corriente del *Biomimicry Thinking* plantea una serie de principios para guiar el proceso proyectual en el que uno de los aspectos más contemplados es el de la sustentabilidad. Es un hecho biofísico y ecológico que la cultura nunca está realmente separada de la naturaleza y por tanto no hay mejor alternativa proyectual-sustentable que la de observar a la naturaleza para entender sus desarrollos y buscar aplicaciones sustentables. Estos principios plantean enfoques proyectuales a partir del uso de tecnologías apropiadas para el medio ambiente, concientizan sobre el uso racional de las diferentes energías y sobre el uso correcto de materiales. Muchas de las soluciones sustentables pueden encontrarse en la naturaleza como por ejemplo estructuras super-eficientes, materiales de alta resistencia y biodegradables, superficies auto-limpiantes, sistemas de residuos cero, etc.

1.2.2. Análisis crítico de los enfoques biomiméticos recientes

En esta sección se realiza una identificación y reconocimiento de ámbitos investigativos nacionales e internacionales que se pueden considerar ligados a la producción de conocimiento básico y aplicado en el campo de la biomimética y que son de interés particular para el Diseño Industrial y su enseñanza en el país.

Es pertinente detallar sus actividades desde una perspectiva analítica que conlleve a definir tendencias o direcciones teóricas y prácticas en la relación entre la biomimética, el Diseño Industrial y su enseñanza.

A partir de una búsqueda de referentes internacionales vinculados a la temática, a continuación se describen los que presentan la actividad más relevantes: en primer lugar, el ***Centro de Investigaciones de Estructuras Naturales del Instituto Europeo di Design*** en Milán, Italia, en este centro se han realizado desarrollos que resultan valiosos para la comprensión de las formas para acceder a la biónica vinculada con el proyecto. Estas aproximaciones realizadas por Carlo Bombardelli y Carmelo Di Bartolo (Di Bartolo, 1981) parten de la investigación y análisis biónico proponiendo diversos métodos y estableciendo diferentes niveles analógicos. Di Bartolo y Bombardelli proponen aportaciones vinculadas al estudio de los métodos y casos

aplicativos experimentados que constituyen un gran paso para la comprensión de las posibles formas de acceder a la biónica con relación al proyecto.

En los cursos que se dictaron en el *Istituto Europeo de Design* vinculados a la biónica se propuso una organización a partir del seguimiento de una serie de fases:

- a) Una fase teórica con información acerca de la especificidad de la temática.
- b) Una fase de diseño a partir de la implementación de la metodología planteada en el curso en un tema designado en el curso.
- c) Una fase comunicacional preparando la presentación del tema para exhibirlo a profesionales y empresarios.

El aspecto diferenciador planteado por Di Bartolo en estos cursos fue el de generar una fuerte vinculación con profesionales, empresarios y diferentes industrias. Lo interesante de la propuesta fue la de permitir a los alumnos trabajar en relación con proyectos e industrias reales aprendiendo de esta forma al estar en constante contacto con profesionales del área.

El *Instituto de Estructuras Ligeras de la Universidad de Stuttgart*, Alemania, fue fundado por el arquitecto Frei Otto en el año 1964, (Meissner, Möller, 2015), desde entonces ha desarrollado un método que se caracteriza por reconocer los elementos básicos constructivos que pueden encontrarse en la naturaleza. El instituto presenta una clara influencia de su fundador en cuanto al desarrollo de estructuras tensadas y el desarrollo de grandes membranas de bajo peso.

Se han desarrollado investigaciones en vinculación con la biología constructiva en relación con las telas de araña, con el objetivo de reconocer elementos básicos constructivos en la naturaleza los cuales dieron luego origen a todos los productos desarrollados con estructuras tensadas.

El Instituto en la actualidad tiene un enfoque particular delimitando sus campos de investigación hacia la búsqueda de la ligereza en la construcción de estructuras dentro del campo de la arquitectura y la ingeniería.

En la ***School of Biology and Center for Biologically Inspired Design, Georgia Institute of Technology***, Atlanta, Estados Unidos, se plantean aproximaciones a desarrollos vinculados con el diseño y la ingeniería partiendo del *diseño biológicamente inspirado*, tomado como una metodología con dos objetivos:

- El primero vinculado al reconocimiento de los campos, problemáticas y aplicaciones donde podría incorporarse la aproximación biomimética.
- El segundo tendiente a definir los pasos básicos requeridos para una correcta vinculación entre la biomimética y la ingeniería.

Este instituto plantea como objetivo principal lograr una educación interdisciplinaria y propone una ruptura en los límites existentes entre la biología y la ingeniería.

En el Laboratorio ***Biomimetics and Dexterous Manipulation Lab, Center for Design Research***, Standford, Estados Unidos, se concentra en desarrollos vinculados a la robótica y a la búsqueda de nuevos materiales y está enfocado hacia la investigación y la enseñanza vinculada estrechamente con el campo tecnológico y sus aplicaciones robóticas.

Allí se encuentran en desarrollo investigaciones vinculadas a los adhesivos y sus aplicaciones inspirados en las características del Gecko para generar nuevas aplicaciones y mejoras de sus características como se señaló en una parte precedente de este trabajo.

El laboratorio está desarrollando proyectos vinculados a la robótica y su mejora de la manipulación de sensores para manos y pies debajo del agua así como también desarrollos robóticos para lograr la menor invasión corporal posible al realizar cirugías de alta complejidad.

En el ***Centre for Biomimetic and Natural Technologies***, University of Bath trabajan a partir de la incorporación del método BioTriz tomando como base la estructura del método TRIZ (Vincent, 2006) cuyas características se analizarán más adelante en la presente tesis.

Los últimos proyectos que están desarrollando los investigadores de este centro experimental están en vinculación con temáticas como:

- El análisis del escarabajo del desierto para lograr aplicaciones de una tecnología que genere agua a partir de la condensación.
- El análisis de los órganos sensoriales de los insectos para generar sistemas de control de salud.
- La caracterización de los órganos reproductores de las avispas para diseñar un nuevo endoscopio direccionable.

El ***Biomimicry Institute***, Estados Unidos, asesora sobre las temáticas vinculadas con la observación de la naturaleza para lograr así soluciones biomiméticas. Fue creado por la bióloga y consultora estadounidense Janine Benyus (Benyus, 1997), autora de varios libros vinculados a la temática así como también directora de la compañía *Biomimicry Guild* donde asesora a diversos clientes sobre cómo obtener información de la naturaleza para luego aplicarla a sus procesos y productos.

El ***Massachusetts Institute of Technology, (MIT)***, Estados Unidos, dentro de su área de R+D tiene un grupo de investigación vinculado a la biomecatrónica cuyos metas son las de lograr avances en los campos de la biomecánica, la biología y la biónica para aplicar esos conocimientos en el diseño de productos para rehabilitación, así como también búsqueda de nuevas tecnologías y materiales.

Muchos proyectos de estas áreas del MIT se realizan en cooperación con poblaciones marginales como el proyecto Mayapedal que es una asistencia a comunidades hondureñas para desarrollar máquinas simples hogareñas y de trabajo basadas en el uso de energía humana.

Existen en el país grupos ya ligados a esta temática:

- Universidad del Litoral
- Universidad de Córdoba

- Universidad de Buenos Aires

En la **Universidad del Litoral** se han conformado grupos de investigación vinculados a la biomimética; en la **Universidad de Córdoba** se realizan investigaciones ligadas a la biónica y la biomimética y en Buenos Aires, en la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo se dicta desde el año 2007 el **Posgrado en Biodiseño y Productos Mecatrónicos** (BIME).

La Carrera de Especialización en Biodiseño y Productos Mecatrónicos surge a partir de la observación y análisis de experiencias nacionales e internacionales en los campos temáticos de la biónica, la biomecánica, la robótica y la mecatrónica.

El objetivo central de este posgrado es plantear la profundización en campos de conocimientos interdisciplinarios y simultáneamente, desarrollar y establecer nuevas áreas de conocimiento que generen impactos modificatorios en la concepción tradicional del diseño abriendo estrategias proyectuales nuevas ligadas a los saberes biomiméticos y con posible efecto de innovación.

Esto constituye una plataforma para el cruce de disciplinas en el desarrollo de productos pues así como la biónica, la biomecánica y la ergonomía científica son el núcleo sustantivo del biodiseño; el *software*, la ingeniería mecánica, la electrónica y el diseño industrial le dan sentido a la mecatrónica.

En Argentina, salvo las experiencias mencionadas, no se detectan significativos desarrollos teóricos y experimentales que puedan constituirse en referencias de este campo ni tampoco resultan importantes todavía los aportes orientados a la vinculación de diseñadores con industrias y empresas en relación a la biomimética.

Esta situación evidencia cierto retraso respecto de centros y referentes internacionales que han comenzado a incorporar esta temática en relación a la ingeniería y la tecnología desde hace varias décadas. El menor grado del avance de aportes locales, teóricos, experimentales e innovativos, en cuanto al desarrollo de proyectos y sus posibles vinculaciones con industrias, define sin duda un espacio de

desafíos para avanzar en estas direcciones que requieren nuevas estrategias y protocolos de investigación y experimentación proyectual y de enseñanza al grado y al posgrado.

1.2.3. Biomimética e innovación tecnológica

En los últimos años se ha verificado gran cantidad de avances en el campo de desarrollos biomiméticos.

Dicho campo se ha ido conformando a través de:

- Diversos aportes teórico-metodológicos.
- Resultados exitosos de investigaciones experimentales realizadas en ámbitos universitarios y empresariales con la perspectiva de identificar algún principio, cualidad o propiedad natural que pueda ser estudiada e imitada en la generación de un producto, dispositivo o artefacto pensados en la dimensión innovativa que los podría hacer pasar de ideas, conceptos o prototipos a productos seriales o susceptibles de ser producidos industrialmente.

Casi siempre la adecuada trasposición, imitación o traducción de una instancia o fenómeno natural a una cosa proyectada artificialmente suele requerir insumos tecnológicos complejos. Incluso, a veces, instala la necesidad de descubrir nuevos materiales o nuevas aplicaciones o formulaciones de materiales conocidos.

La nanotecnología

Una de estas instancias de nuevos desarrollos tecnológicos requeridos se ejemplifica en el desarrollo de modos de manipulación de materia a escala nanométrica lo que traducido a la manipulación, en forma precisa, de átomos y moléculas para la fabricación de productos a microescala. Ello implicó el desarrollo de una nueva dimensión tecnológica que fuera capaz de traducir fenómenos atómicos y naturales del mundo natural, al artificial.

Dicho de otra forma, no se podrían haber obtenido resultados biomiméticos exitosos a ciertas situaciones, si no fuera mediante la implantación de aplicaciones nanotecnológicas. La nanotecnología ha posibilitado la investigación y el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías al poder acceder al análisis de la materia hasta el menor umbral de tamaño conocido.

La inteligencia artificial

Una segunda instancia relevante de nuevos desarrollos tecnológicos demandados por la intención de efectuar operaciones biomiméticas de diseño es el caso de la llamada **inteligencia artificial** que constituye otro de los grandes avances recientes que ha generado alto impacto en avances tecnológicos.

Esta clase de inteligencia generada por las máquinas –que imitan la estructura sináptica de la máquina cerebral- ha posibilitado aperturas hacia diversos campos de implementación maximizando las posibilidades de éxito en objetivos y tareas a partir de la implementación de este tipo de inteligencia.

Los dispositivos de la mecatrónica (mecánica activada por sensores procesadores de información que dan paso a organismos autopoieticos o con regulación endógena de sus cambios de función o comportamiento) imitan funciones o propiedades de la inteligencia natural como fue el caso de los célebres TTT (*Things that think, objetos que piensan*) desarrollados en el MIT, desde los años 80.

Prótesis biónicas

Una tercera instancia relevante de como el desarrollo de la biomimética impulsó cambios tecnológicos necesarios para imitar artificialmente el funcionamiento natural es el que se genera con las investigaciones experimentales desarrolladas para realizar prótesis biónicas generando dispositivos controlados de manera intuitiva, permitiendo gran libertad de movimientos y posibilitando reconstituir, no sólo movimientos naturales, sino también aspectos o funciones sensoriales como, por ejemplo, el sentido del tacto.

El nivel de reemplazo casi completo de partes artificiales por miembros y órganos de seres vivos que posibilita el desiderátum protésico (que en extremo y en torno de los

dispositivos de la *clonación* podría alcanzar el reemplazo total por *repetición* de un cuerpo natural) implica en un sentido una de las dimensiones más efectivamente potentes de la biomímesis protésica y de sus desarrollos tecnológicos, pero también, abre las preocupaciones bioéticas, filosóficas y religiosas sobre los posibles límites morales de estos procedimientos incluso con los peligros manipuladores de un nuevo e hipertecnológico *eugenismo* (Sloterdijk, 1999).

Como ejemplificación de los ítems precedentes cabe consignar a continuación algunos de los últimos avances y desarrollos de nuevas tecnologías escogiéndose ciertos casos cuya selección se basa en función de su implementación e innovación:

- Desarrollos de superficies reflectantes basadas en las alas de los insectos (Stoddart et al, 2008) y también en hojas de algunas plantas de selvas tropicales (Lee, 1986). Estos desarrollos son realizados en láminas de polietileno que es adherida a la superficie de un vidrio de un panel solar dando como resultado una mejora del 10% en la captura de la luz.
- Diseño de sistemas de control robóticos inspirados en los circuitos neuronales naturales -especialmente los que poseen los insectos- que han dado resultados de gran simpleza y excelente rigidez estructural, (Reeve & Webb 2001).
- Desarrollo de dispositivos de camuflaje de movimiento (Anderson & McOwan 2003) basados en la libélula, que al acercarse a su presa se esfuerza por ocupar la misma parte del campo visual de la misma, pareciendo así no moverse y por lo tanto no ser una amenaza.
- Desarrollos para mejorar las superficies de las maquinarias que trabajan la tierra (arados, *bulldozers*) logrando mayor eficacia a partir de modelar el área de contacto tomando como referente superficies que poseen algunos animales que mueven el suelo con extremidades geoméricamente optimizadas para esa acción, lo que logra reducir el grado de interacción de la superficie con el suelo reduciendo la fricción.
- Aplicaciones de los vórtices inducidos por las crestas que presenta la piel del tiburón que pueden reducir significativamente la fricción se están utilizando

en cascos de barcos de vela y en revestimientos de las tuberías que transportan líquido. El mismo sistema se ha utilizado en aviones mostrando una reducción de arrastre del 5-10% (Bechert et al., 2000).

1.2.4. Hipótesis y objetivos de la tesis

Presentados en la introducción y en los capítulos precedentes el marco general de la cuestión que denominamos *biomimética proyectual* y una descripción genérica del estado de la cuestión a nivel teórico y práctico (en el sentido de la producción de *acciones de investigación experimental* y de *desarrollos proyectuales innovativos*) es posible en este punto exponer la hipótesis central y los objetivos que inspiran la investigación base de la presente tesis.

La hipótesis central de la presente investigación conducente a esta tesis doctoral podría enunciarse así:

“La investigación en el campo de las aplicaciones biomiméticas, que evidencian la posibilidad de establecer relaciones entre formas, procesos y mecanismos naturales y artificiales, permitirá proponer nuevas orientaciones metodológicas para la enseñanza del Diseño Industrial, generando prácticas proyectuales que provean de nuevas herramientas para el desarrollo de los procesos proyectuales en el diseño industrial.”

La hipótesis implica considerar que el desarrollo del campo biomimético constituye una novedad cognitiva reciente que debe entenderse como un desarrollo epistemológico evolutivo positivo en razón de la voluntad general de aprovechar los valores de propiedades o características del mundo natural a fin de generar productos artificiales calificados y sustentables y orientados hacia una economía general de materia y energía consecuente con entender la llamada *crisis ambiental de sustentabilidad ecosférica*.

Para asimilar, entender y aplicar dicho desarrollo epistemológico, la hipótesis en la presente tesis indica la conveniencia de acceder a una teoría y práctica biomimética a través de una modificación de las metodologías convencionales del proyecto de diseño industrial que se relacionan más con el *creacionismo estético-cultural (diseño de autor)* o con la *autonomía tecnológica insustentable (diseño high-tech)*, modificación que propone explorar una metodología ad-hoc que en nuestro caso se apoya en una serie de experiencias didácticas programadas y evaluadas y que constituyen como una práctica investigativa del orden del *laboratorio proyectual* que nutre la dimensión experimental de esta investigación y tesis.

Para alcanzar a desarrollar y demostrar tal hipótesis se formulan los siguientes objetivos:

- Analizar sistemáticamente los desarrollos conceptuales y experimentales de la biomimética para evaluar su posible aplicación a escenarios proyectuales de diseño industrial, a partir de la construcción de un marco teórico que pueda ser utilizado como andamiaje metodológico.
- Definir los criterios de diseño que surgen de los modelos biomiméticos de funciones y mecanismos biológicos adaptados o, de una posible adaptación a reformulaciones artificiales tanto mecánicas como electrónicas.
- Realizar experimentaciones proyectuales en el marco de instancias formales de enseñanza de diseño según parámetros deducidos del campo de la biomimética y en general de la posibilidad de efectuar operaciones miméticas a partir de mecanismos evidenciados en fenómenos de la naturaleza.
- Analizar la identificación de las modalidades específicas de diseño basada en las operaciones genéricas de la biomimética y su posibilidad para constituir marcos metodológicos proyectuales para el diseño industrial; considerándose además en esta apelación a lo biomimético, la comprensión de factores que ayuden a pensar un diseño industrial más sustentable o responsable.

- Desarrollar en base a las conclusiones teórico-conceptuales, referenciales y experimentales realizadas en el desarrollo de la presente tesis de investigación, criterios conclusivos orientadores de modalidades metodológicas alternativas para la enseñanza del diseño industrial.

1.2.5. Conclusiones

El desarrollo de la Parte 1 de esta tesis confluye hacia la precedente formulación de la hipótesis y objetivos de investigación de la misma y planteando, en tal sentido, una cierta descripción de la **cuestión relacional entre biomimética y proyecto**, así como, la caracterización del estado general de la cuestión inherente a este tema y sus desarrollos.

Una primera reflexión se centra en reconocer a la vez cierta larga data histórica y filosófica de esta temática - desde alusiones propias del pensamiento clásico en Platón hasta el interés científico-estético - del humanismo renacentista en los estudios anatómicos y las propuestas de máquinas imitadoras de elementos naturales en Leonardo hasta todo el interés barroco en los autómatas y el desarrollo iluminista del maquinismo de La Mettrie (Le Mettrie, 2014).

Considerando paradójicamente a la vez la novedad del desarrollo de la biónica y la biomímesis hace no más de un cuarto de siglo lo que indica la perduración de una voluntad histórica de imitar la naturaleza entendida como belleza, verdad y manifestación de lo divino junto al interés más reciente y urgente de desarrollar científicamente tal biomímesis. Este interés vinculado al propio desarrollo científico-tecnológico tanto como a la primaria constatación de que una *tecnología equivocada* basada en altísimos consumos de energías y materias no renovables (en muchos casos fósiles) habría engendrado la también reciente sensación de crisis de la naturaleza, deterioro irreversible de la misma y arribo a una situación técnica de incapacidad de sustentar los casi 7 mil millones de habitantes de la Tierra.

El interés por los procesos de la biomímesis se vincula así con una larga tradición de replicar lo bueno de la ecósfera que permitió el desarrollo humano así como cobra

una centralidad tecno-social reciente en tanto uno de los campos estratégicos en lo que fundar una revisión sustentable del diseño industrial y sus productos y servicios.

Una segunda reflexión a modo de conclusión para esta primera parte se vincula a la necesidad de sistematizar y profundizar el conocimiento teórico vinculado con la biomímesis entendiendo que no sólo es un campo dominado estratégicamente por la ingeniería biónica sino que constituye un nuevo espectro de problemas y situaciones que requiere abordajes sociales, políticos y culturales.

De ello emerge si se quiere, la necesidad de que tal nuevo conocimiento asuma su inevitable condición multidisciplinar y la estrategia de construcción de conocimiento integrado por préstamos entre disciplinas.

Un tercer plano de reflexión ligado al precedente es constatar como muchos de los desarrollos recientes resultan fruto de los intercambios en plataformas colaborativas internacionales e incluso del diseño colaborativo o de código abierto y del funcionamiento de muchas redes cooperativas académicas y empresarias.

Así como resulta evidente, tal como consignamos, la intensidad en el desarrollo de redes cooperativas de producción de conocimiento y de investigaciones experimentales relacionadas que se manifiesta a escala global también es necesario advertir el escaso nivel de organización que tales aspectos tienen a las escalas regional y local, lo cual obligaría al montaje entre nosotros de instancias equivalentes a las descritas lo que implicaría un gran desafío sobre todo por la urgencia que este aspecto tiene para el avance colectivo de los saberes y aplicaciones. Ello se hace además muy acuciante si cabe, frente a la constatación que las áreas del sur del mundo (que son las menos desarrolladas y en las que nos incluimos) son las que poseen el mayor capital natural en los mapas mundiales de biodiversidad lo que equivale a indicar que potencialmente disponemos de un mucho mayor y diverso arsenal de componentes y recursos naturales en los que fundar procesos biomiméticos.

Un cuarto aspecto reflexivo es aquel propio de entender y establecer los límites bioéticos de una virtual reposición total de un mundo artificial sustitutivo del mundo natural en extinción. Ese proceso tendiente, vía biomímesis, a una técnicamente optimista construcción sustitutiva de una *ecología artificial* tiene las tentaciones de un salvataje proyectual –lo que Tomas Maldonado supo definir en los 60 como *esperanza proyectual*- pero también las exigencias inherentes a limitar el poder de una *tecnonaturaleza* artificial y humana aunque trate de ser una *econaturaleza* o una *bionaturaleza*.

En este punto antropólogos como Bruno Latour (Latour, 2007) plantean la cuestión moderna o contemporánea según la cual la distinción entre *objeto natural* y *objeto artificial* que tan tajantemente explica toda la historia y el acuñaamiento mismo de la noción de *cultura*, ahora muta al surgimiento de lo que llama *híbridos* (objetos que no son ni naturaleza ni artificialidad sino que se trata de ensambles) así como al reconocimiento de ambientes sociales que Latour indica, están poblados por *humanos* y *no-humanos*.

Un quinto y final comentario conclusivo se vincula con nuestra convicción acerca de que la internalización de un pensamiento biomimético en el diseño debe comenzar no por la ideología ni por la teoría sino por la experimentación teórico-práctica (o sea la construcción de saberes puestos a prueba gradualmente en experimentos de diseño). Esa dimensión de experimentación debe explorarse en ámbitos didácticos en los que se enseñe a proyectar biomiméticamente a nuevos proyectistas cuya vida cognitiva y profesional útil va a estar adentrada en un futuro cada vez más problemático en términos de sustentabilidad, por lo cual en esta tesis se dedica mucho interés en el *laboratorio proyectual* que como base de investigación empírica de este trabajo tratará de plantear condiciones y posibilidades de una enseñanza alternativa.

BIOMIMÉTICA PROYECTUAL

Aproximaciones a la enseñanza del proyecto en Diseño Industrial



PARTE 2

2.1. La enseñanza de la biomimética

2.1.1. Presentación de marcos teórico-metodológicos de diseño biomimético

A partir de la investigación y relevamiento de propuestas metodológicas existentes en relación con la utilización de principios biomiméticos, se seleccionaron tres propuestas en vinculación con el Diseño Industrial y el desarrollo de los procesos proyectuales.

Estas tres metodologías se seleccionaron por ser las más reconocidas en relación a la aplicación de la biomimética en diversos campos disciplinares.

Las metodologías didácticas del diseño biomimético seleccionadas fueron analizadas en profundidad, para ser aplicadas en los procesos de desarrollo de producto desde diferentes ópticas.

Los tres marcos teóricos, que originalmente no se concibieron para el campo del Diseño Industrial, fueron tomados como marcos referenciales para el desarrollo de las experiencias en los talleres de diseño industrial.

Las tres metodologías seleccionadas fueron las siguientes:

- a) **BioTriz** (Vincent, 2006); surgida a partir de la llamada **TRIZ. (BT)**
- b) **Biomimicry DesignLens** (Benyus, 1997); planteada por Janine Benyus que parte del llamado **Biomimicry Thinking.(DL)**
- c) **Dos aproximaciones estratégicas desde la biónica** (Neurohr&Dragomirescu, 2001); propuesta por Neurohr y Dragomirescu. **(DA)**

Dentro del contexto de investigación de esta tesis, estas metodologías, junto con sus resultados, fueron analizadas, revisadas y reformuladas a partir de los resultados obtenidos en trabajos prácticos proyectuales realizados con alumnos terciarios de la Carrera de Diseño Industrial, (ORT), y de grado en la Carrera de Diseño Industrial, (FADU) y en la Carrera de Diseño Industrial, (UNRN), (ver punto 2.2.2.).

A continuación se detallan los procesos, pasos y secuencias en cada una de las ellas:

2.1.1.1. BioTriz

El diseño bioinspirado parte de encontrar analogías correctas entre el mundo biológico y el tecnológico. Para desarrollar esta tarea se han concebido diferentes metodologías, una de las más exitosas ha sido la llamada TRIZ, la Teoría de Resolución de Problemas en forma Inventiva (*Theory of Inventive Problem Resolving*, TRIZ), desarrollada por Genrich Altshuller (Altshuller, 1999).

Esta herramienta, define una serie de pasos metodológicos en la cual el problema se plantea en términos de un conjunto de pares de parámetros en conflicto, los cuales deben buscarse en una matriz (Matriz de Contradicción) de 39x39 filas y columnas, ya definida.

En cada celda, se explicitan los “*Inventive Principles*” (IPs) que corresponden a las soluciones ya encontradas en forma tecnológica, a partir de la revisión de cerca de tres millones de patentes exitosas y una gran cantidad de conocimiento físico, químico y matemático asociado.

En este primer desarrollo faltaba considerar el conocimiento de resultados provenientes del campo biológico. De este modo nace el BioTriz, (Vincent, 2006). El mismo es producto de interrogarse acerca de cómo los mismos problemas tratados en el TRIZ, son resueltos en el mundo natural (partir del estudio del estudio de 270 funciones en más de 500 fenómenos biológicos).

La matriz correspondiente al BioTriz está organizada en seis campos de operación: **sustancia, estructura, espacio, tiempo, energía e información**, que convierte a la matriz inicial de 39x39 en una matriz de 6x6 más sencilla de utilizar pero con celdas enriquecidas o ampliadas por el conocimiento de los principios naturales.

El listado de los 40 principios de invención totales de la matriz TRIZ, los 39 pares de parámetros conflictivos y la BioMatriz de contradicciones se encuentran detallados en el ANEXO.

Vincent propuso una metodología de cinco pasos para el uso de la metodología BIOTRIZ, que se presenta en el diagrama de bloques de la figura 2.1.

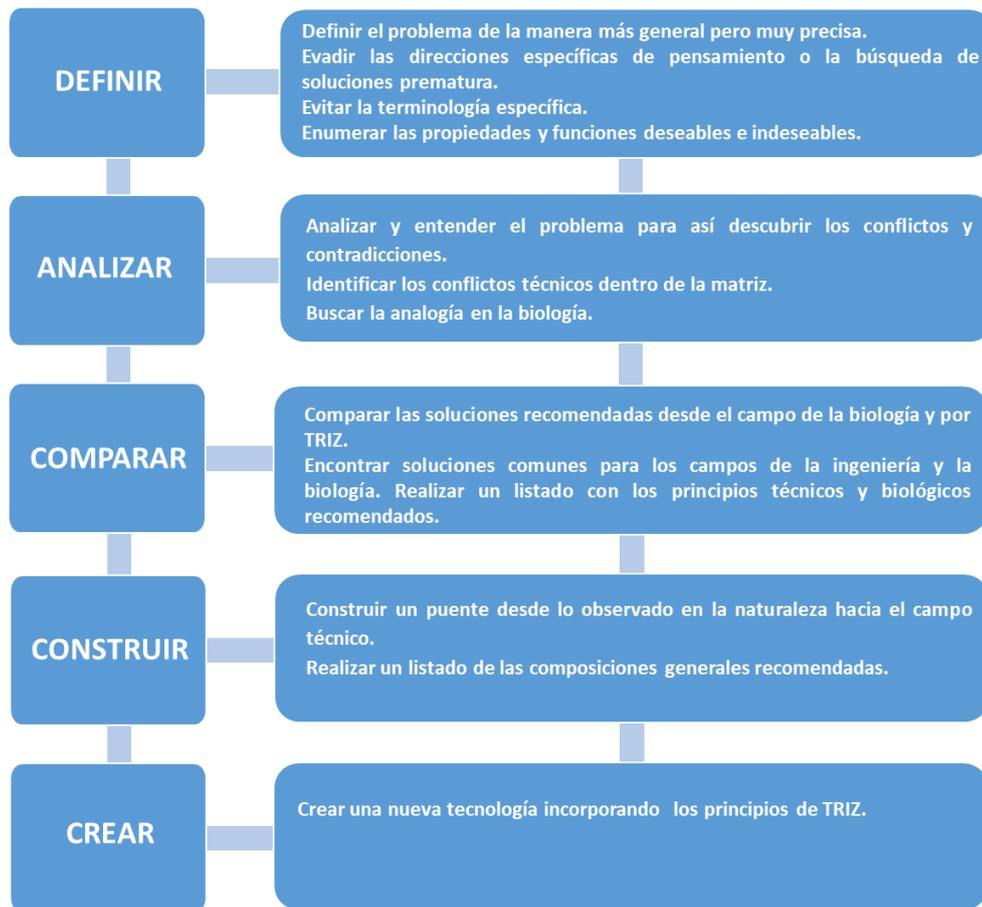


Figura 2.1 Secuencia para la resolución de problemas con la metodología BioTriz (BT)

Un ejemplo clásico del uso de esta metodología fue ilustrado por el autor. El problema a tratar fue el de diseñar un neumático adecuado para superficies con nieve y sin nieve.

Como respuesta, utilizando los principios de invención de la BioMatriz, se concibió un neumático innovador inspirado en la analogía del neumático con la garra de un gato,

(Glier et al, 2011). Se puede observar que cada uno de los principios analizados, tanto los biológicos como aquellos del campo tecnológico, aportaron diferente información que fue utilizada para el planteo de la solución al problema.

Cabe destacar que este método se complementa con el llamado modelo funcional para la bioinspiración, (Glier et al, 2011) que se basa en el análisis estrictamente funcional sin mirar los mecanismos físicos que hacen posible a la función.

El aporte desde esta mirada es el hecho de tener en cuenta la categoría y la escala del sistema a diseñar antes de buscar el referente biológico más adecuado. Para realizar este tipo de conexiones, hay desarrollados tesauros que tratan de definir “bio-palabras” claves para ayudar a la búsqueda de las analogías tecnológicas, sin necesidad de un previo conocimiento minucioso.

2.1.1.2. Biomimicry Design Lens y Biomimicry Thinking

Janine Benyus, bióloga y consultora, plantea a la biomimética (*biomimicry*) como una aproximación a la innovación en la búsqueda de soluciones sostenibles a partir de la emulación de modelos y estrategias provenientes de la naturaleza a lo largo del tiempo (Benyus, 1997). El objetivo es el de crear productos y procesos que estén bien adaptados a la tierra a largo plazo.

La idea central planteada por Benyus es que en la naturaleza, después de miles de millones de años de *evolución* (que podría entenderse como la investigación y desarrollo que fue aplicando la naturaleza en su propia evolución y transformación biológica), ya se encuentran resueltos mucho de los problemas que surgen hoy. En particular, aquellos ligados con el alto impacto que la cultura técnica moderna generó sobre la naturaleza y las regresiones que ésta hoy atraviesa.

La crisis ambiental y de sustentabilidad, la extinción de recursos naturales o las transformaciones regresivas, como el calentamiento global, son ejemplos salientes de esta problemática.

La metodología propuesta por Benyus parte de una colección de diagramas (*Design Lens*) que representan los fundamentos de la propuesta para la aproximación al diseño desde la naturaleza.

Estos diagramas pueden ayudar a observar de qué forma funciona la naturaleza y puede proveer de un marco para utilizar la naturaleza para aplicarla al diseño y son, como indica su denominación inglesa, lentes de diseño, o sea, modos de ver en lo natural aspectos o cuestiones transferibles a lo artificial y a sus procesos de proyecto.

La práctica de la biomimética comprende tres aspectos que están interconectados cada uno con sus características particulares y con los elementos esenciales que representan la fundación de la biomimética, o su estatuto conceptual originario. Al combinar exitosamente esos tres elementos, el diseño bio-inspirado pasa a ser diseño biomimético, por lo cual la *biomimicry* no sería tan sólo una mimesis parcial (de forma o función por ejemplo) sino un sistema conceptual completo que incluye dimensiones o visiones tales como la ética-filosófica o la socio-económica.

Dichos tres elementos o lentes de percepción/interpretación (Figura 2.2) son los siguientes:

- 1) **ETHOS**, expresión griega que significa interactivamente costumbre y conducta, que deriva de la palabra *ética*, es la esencia de la práctica de la biomimética representando la responsabilidad y el respeto en relación con la naturaleza.
- 2) **(RE)CONECTAR** refuerza la conexión entre la naturaleza y el ser humano así como también explora esa vinculación más en profundidad al tratar de resolver o mitigar la disociación entre sujeto y mundo natural que produjo el desarrollo técnico moderno, insensible respecto de las condiciones necesarias para conservar la calidad de la naturaleza.
- 3) **EMULAR** aporta el reconocimiento de los principios o leyes de la biología, los patrones de organización de la complejidad natural, las estrategias evolutivas y adaptativas del desarrollo natural y, las funciones o principios y cualidades

(como la sucesión o la resiliencia) que encontramos y extraemos de la naturaleza.



Figura 2.2 Elementos esenciales de los Lentes de diseño de la biomimética

El desarrollo metodológico de la *biomimicry* postula atender especialmente a lo que llama *principios de vida*. Estos principios son lecciones de diseño que da la naturaleza. Estos principios de vida representan los patrones encontrados en las especies que han ido sobreviviendo a lo largo del tiempo en la tierra. Estas condiciones de vida integran y mejoran estas estrategias creando *condiciones de vida*.

Tomando como referencia estas lecciones de diseño, pueden desarrollarse estrategias innovativas y cuali-cuantificarse los diseños propuestos con parámetros *comparativos de sustentabilidad*, así como permitir la utilización de soluciones de la naturaleza usando los principios de vida como referentes de los resultados ideales.

En base a estos desarrollos, la *biomimicry* propone lo que denomina *pensamiento biomimético*. Es el pensamiento provee el contexto sobre dónde, qué y por qué la biomimética puede encuadrarse dentro de cualquier proceso, en cualquier disciplina, y en cualquier escala de diseño.

Existen cuatro áreas donde las lupas o lentes de la biomimética proveen los mayores aportes dentro de un proceso de diseño, independientemente de la disciplina en la que este esté integrado (Figura 2.3).

Estas cuatro áreas pueden definirse por la acción o verbo que las caracteriza y son: examinar, descubrir, crear y evaluar y las mismas se aplican según los siguientes pasos:

1) Examinar

Definir contexto

Identificar funciones

Integrar *principios de vida*

2) Descubrir

Descubrir modelos naturales

Abstraer estrategias biológicas

3) Crear

Ideas bio-inspiradas

Imitar principios de diseño

4) Evaluar

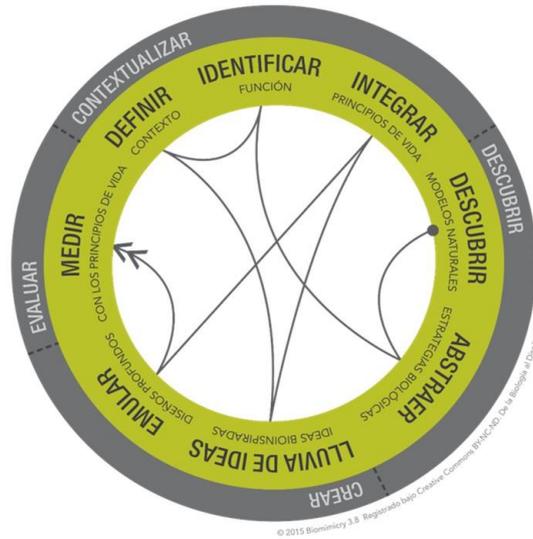
Medir el uso de los *principios de vida*

En las dos figuras siguientes se consignan estas áreas así como sus interacciones que dan paso a secuencias o procesos metodológicos alternativos (Figura 2.3 y Figura 2.4).



PENSAMIENTO BIOMIMÉTICO
Lentes de Diseño de la Biomimesis
Biomimicry 3.8 | Biomimicry.net

Figura 2.3 Lente de diseño. Áreas biomiméticas



PENSAMIENTO BIOMIMÉTICO
Lentes de Diseño de la Biomimesis
DE LA BIOLOGÍA AL DISEÑO
Biomimicry 3.8 | Biomimicry.net

Figura 2.4 Lente de diseño. Posibles caminos metodológicos

El siguiente diagrama de bloques (Figura 2.5) consigna en resumen las 8 fases o instancias conceptuales de aplicación del modelo de Benyus, definiendo el alcance de cada fase e indicando la actividad u operación metodológica de cada una de las mismas.

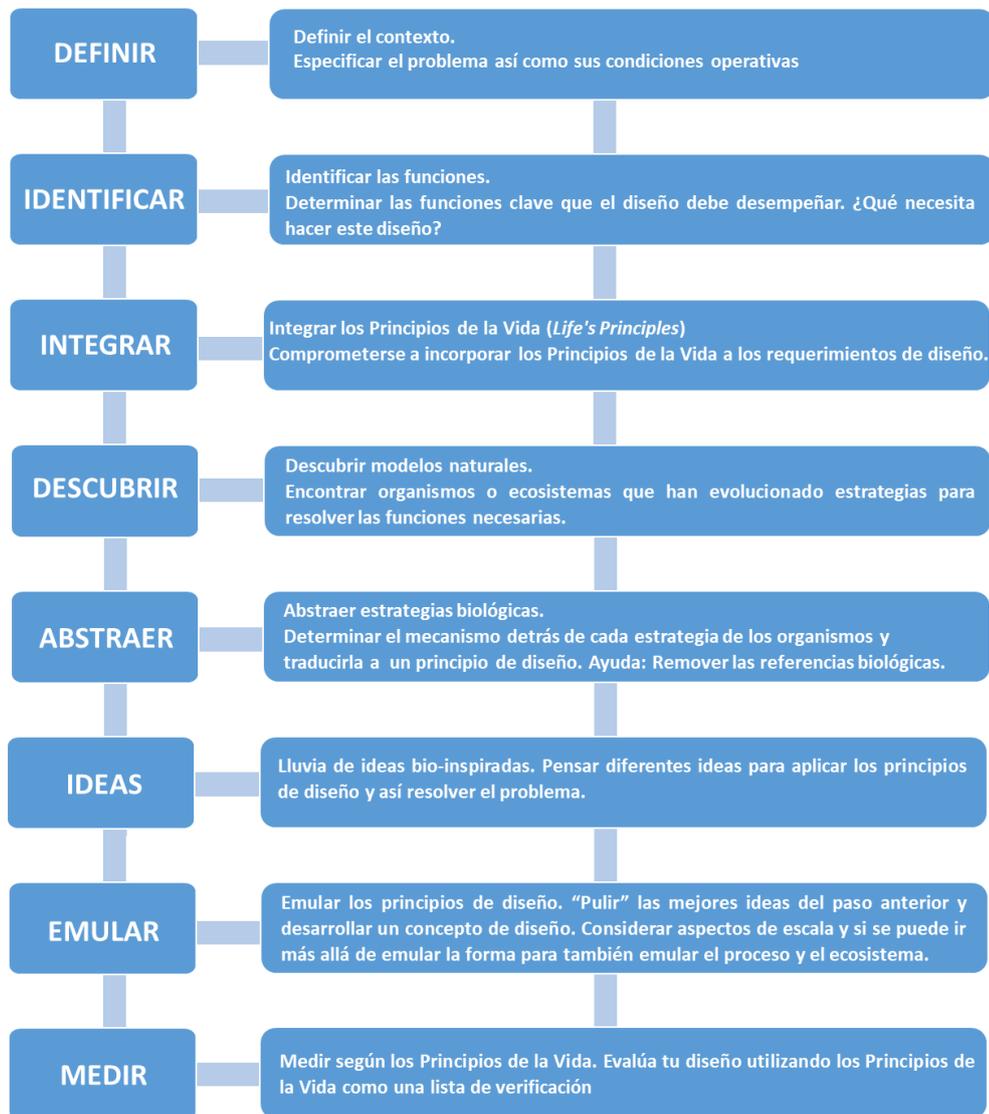


Figura 2.5 Etapas de desarrollo en la metodología *DesignLens* (DL)

2.1.1.3. Dos aproximaciones estratégicas desde la biónica

Este enfoque se plantea desde la transferencia de la biónica en vinculación con la ingeniería. Es un trabajo realizado en relación con el concepto BKN o red de competencias biónicas, *Bionik-Kompetenz-Netzwerk*.

La definición de la biónica como una disciplina moderna la formuló Neumann diciendo que *“la biónica es una disciplina científica que se encarga de la transferencia sistemática de la construcción, procesos y evolución de los principios de los sistemas vivos en aplicaciones técnicas”* (Neumann, 1983).

Neumann la definió como un campo interdisciplinario entre la biología y la tecnología que abarca estudios sistemáticos sobre las funciones, relaciones, estructuras y procesos presentes en los sistemas biológicos y su transformación en soluciones para problemas o demandas tecnológicas.

Esta definición implica que la biónica se propone como un modo de comprender y aplicar las interacciones detectables entre los biosistemas y su entorno. Nachtigall enfatiza la importancia de *aprender de e inspirarse en* la naturaleza, en vez de copiar directamente sus principios en soluciones técnicas, o sea, postulando un paso más complejo que la mimesis clásica.

Por su parte, aporta además algunas características axiomáticas de la biónica:

- La biónica es una herramienta analítica de algo externo a ella (el mundo natural y su complejidad), no un campo disciplinar autónomo en sí.
- La biónica no opera ni como una cura o terapéutica deducida de fenómenos naturales ni tampoco se propone generar copias de la naturaleza.
- La biónica es un dispositivo o aplicación instrumental para servir como base o fundamento de procesos de desarrollos tecnológicos basados en manejar principios o propiedades naturales pero que como herramienta no debería ser usada de forma forzada o mecanicista.

- La biónica no puede ser concebida como una herramienta universal para la solución de problemas, pues no puede garantizar *a priori* infalibilidad. En cambio sí se constituye y ofrece como un dispositivo cognitivo, puede transferir criterios propios de soluciones complejas de problemas naturales para ayudar o asistir en los procesos de diseño y en el desarrollo de soluciones técnicas de problemas.

Desde dichas perspectivas Neumann enfatiza la importancia de incluir aspectos de interacción entre sistemas biológicos o biosistemas con su entorno y luego, aprender de ello.

Natchigall, pionero alemán en los temas vinculados a la biónica, resume su definición de la misma como sigue: *La biónica es el aprendizaje de la naturaleza para la creación de soluciones técnicas independientes* (Natchigall, 2003), de lo que surgen los siguientes corolarios:

- 1) Debe estudiarse lo natural en sí y entender su lógica de desarrollo.
- 2) La solución técnica tendrá su autonomía conceptual y metodológica.

A partir de estas concepciones, el desarrollo de modalidades de actuación biomimética, inspiradas en la biónica, se plantean dos posibles estrategias de aproximación con enfoques diferentes.

Una de ellas está dada desde la ***aproximación de arriba hacia abajo***, que significa que la estrategia comienza desde un problema técnico bien definido y procede a realizar una búsqueda en la naturaleza de situaciones análogas que podrían proveer de una solución a ese problema específico.

El objetivo de la biónica, en este caso es el de generar un detallado análisis del sistema que proveería de una posible solución para lograr entender cómo cierta

propuesta de la naturaleza podría ser transformada en un sistema técnico con propiedades similares.

La otra estrategia planteada es la ***aproximación de abajo hacia arriba*** donde no se comienza desde un problema bien definido, que tiene que ser resuelto, sino que se arranca desde una observación o descubrimiento dentro del campo biológico que debe ser bien analizado e investigado y que, como consecuencia de ello, podría generar cierta clase de referencia para posibles aplicaciones de diseño técnico.

Este principio se traslada a una descripción abstracta, formal e interdisciplinaria que abre un camino posible hacia una transferencia desde los campos vinculados a la tecnología.

La aproximación estratégica ***descendente*** refiere a concentrarse en una búsqueda de referencias biológicas inspirada por la clase de problema de diseño técnico que se está manejando y en la misma el conocimiento de lo natural opera como una especie de depósito de propiedades, cualidades o funciones algunas de las cuáles pueden ser útiles para acercarse a una solución técnica.

La ***ascendente*** en cambio, puede no tener entre manos un problema de diseño sino que más consiste en una investigación abierta y básica que puede ofrecer el descubrimiento o proposición de alguna condición devenida del mundo natural que podría ser útil para el diseño artificial.

En el siguiente diagrama de bloques (Figura 2.6.) se consignan comparativa e interactivamente ambas secuencias metodológicas de las dos estrategias ascendente y descendente y se ve además cómo ambas estrategias se relacionan.

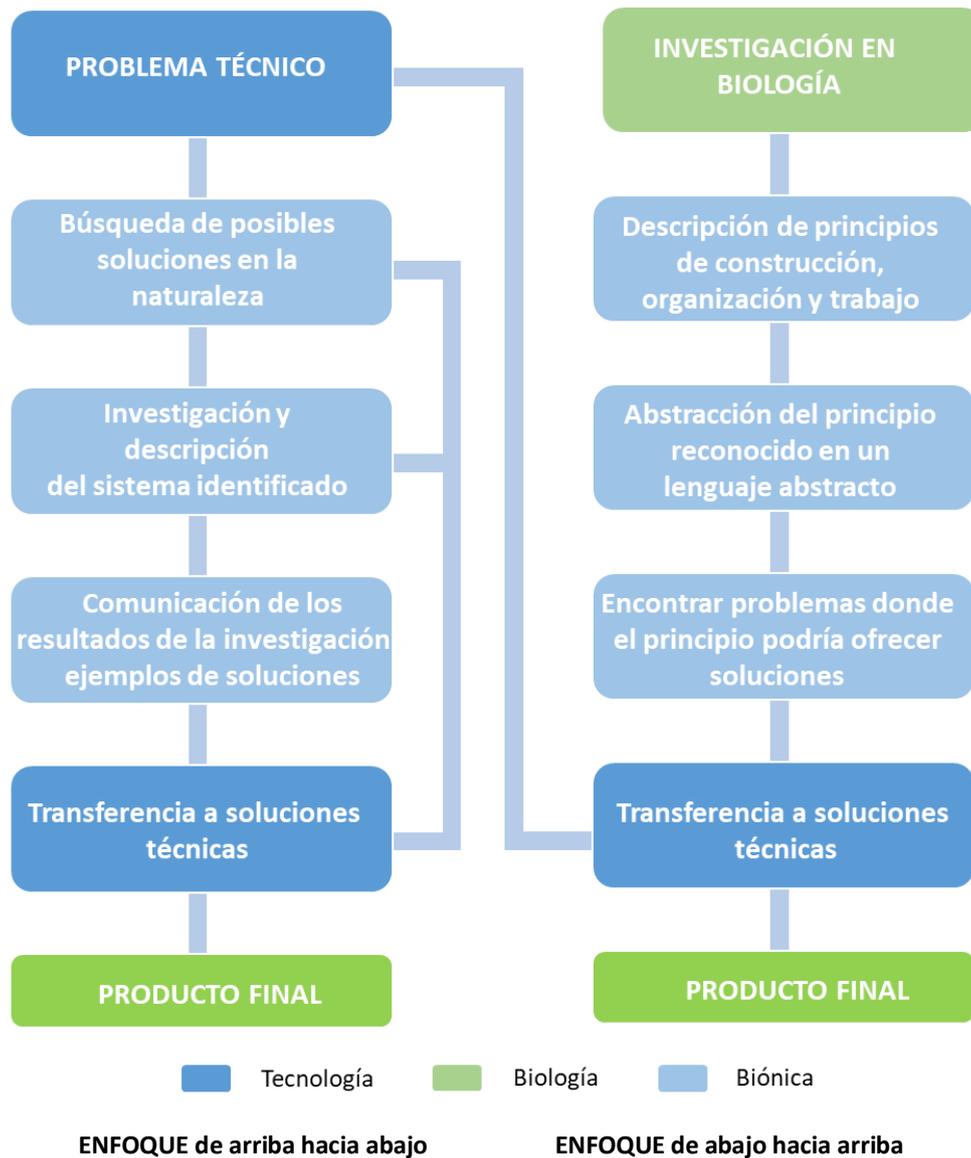


Figura 2.6 Las dos aproximaciones estratégicas (DA) para integrar a la biónica en el desarrollo tecnológico

2.1.2. Análisis comparativo de los tres marcos teóricos

Con el fin de definir herramientas didáctico-proyectuales adecuadas a procesos de diseño específico, se compararon las tres metodologías presentadas en el punto anterior.

La Tabla 2.1 presenta una matriz comparativa en la cual se resumen los aspectos considerados significativos para el diseño industrial de los tres enfoques analizados.

Metodologías/ Aspectos	Enfoque	Innovación	Base de conocimiento y espacio disciplinar de referencia	Traslación del campo teórico-conceptual al práctico-proyectual	Resultado
BioTriz (BT)	Sistémico. Orientado desde una perspectiva científica	Sigue las reglas para lograr la innovación a partir del correcto uso de la base de datos	Multidisciplinar. Bien organizada y con la información claramente tipificada	Calificable a partir de la eficacia del uso de la información	Desde la deducción científica enfocado hacia un logro tecnológico
Design Lens (DL)	Intuitivo. En busca de inspiración y de creatividad	Desde la inspiración basada en los organismos naturales y su comportamiento	Vinculada al pensamiento ecologista y con respeto hacia el mundo natural	Calificación o valoración desde una buena articulación imitativa de una idea natural y un producto artificial	Desde la verificación de la correcta aplicación del método, alrededor de una tecnología limpia o adecuada
Dos aproximaciones (DA)	Dual. Un enfoque deductivo y otro inductivo	En función de la selección de la secuencia inductiva o deductiva y sus estrategias de articulación	Implícitas en los puntos de partida de cada uno de las secuencias. Base biológica o base ingenieril, biónica	Consistencia de la relación (en ambas secuencias) para la correcta traslación de las propiedades detectadas en la investigación	Aprovechamiento tecnológico biónico emergente a partir de algún descubrimiento de una función natural o una solución biónica

Tabla 2.1 Matriz comparativa de las características de las metodologías biomiméticas analizadas

Se destaca, en particular, sus disimiles enfoques acerca de la innovación, la base de conocimiento o el espacio disciplinar de referencia u origen, la traslación del campo teórico-conceptual al práctico proyectual y los resultados, enfocados desde el campo preponderante al que pertenecen.

En cuanto al **enfoque**, el método BT es sistémico y orientado desde una perspectiva científica. Centra la estrategia de diseño en la comprensión de la matriz de contradicción biológica-tecnológica, junto a un conocimiento adicional (restricciones, requisitos a cumplir, etc.) de cada problema específico.

El enfoque del método DL es el más ideológico de los tres, en el sentido de postular una filosofía de extremo respeto por las características medio ambientales y, desde el punto de vista heurístico, esa orientación axiológica le otorga un enfoque intuicionista o creativo que podría asociarse más al diseño artístico-cultural, que al diseño industrial.

El enfoque del método DA es dual según la secuencia a aplicar, una deductiva de lo natural a lo biónico; otra inductiva de lo biónico a lo natural.

La deductiva tratará de formular opciones emergentes de la oferta natural que pueden suscitar soluciones a problemas de diseño biónico. La inductiva parte de la problemática que se está afrontado en el diseño de ingeniería, a partir de la cual, se desarrollará un proceso de búsqueda de alternativas de solución que pueda ofrecer el mundo natural. Ambas secuencias en la práctica se articulan.

La **innovación** en el método BT sería consecuencia de lograr la correcta analogía biológica-tecnológica funcional a partir de la utilización de los principios de invención. En el método DL, la innovación sería resultado de la exitosa captura de calidades que provendrán de fenómenos orgánicos naturales.

En el método DA la búsqueda de innovación sería el motivo fundamental de selección de la secuencia inductiva o deductiva y/o de sus estrategias de articulación.

La **base de conocimiento** en el método BT es multidisciplinar y asociada a la información que nutrirá sus bases de datos y sus principios de organización y tipificación de tal información.

En el método DL estará vinculada al pensamiento ecologista y de tratamiento respetuoso del mundo natural por lo cual podría también asociarse al conocimiento ambiental (como el conocimiento de las relaciones racionales entre naturaleza y cultura/sociedad).

En el método DA las bases de conocimiento estarían implícitas en los puntos de partida de cada secuencia deductiva (la biología) o inductiva (la ingeniería biónica).

La **traslación de la idea a la práctica** (entendible como pertinencia metodológica de relacionar con éxito ideas y objetos o productos o prestaciones) resulta en el método BT relativamente calificable por la eficacia del uso de la información; en el método DL por la calificación o valoración filosófica y cultural de la buena articulación imitativa de una idea natural y un producto artificial y, en el método DA, por la consistencia de la relación o secuencia ascendente o descendente entre cualidades o propiedades detectadas por la investigación biológica y/o aprovechadas o aplicadas por la ingeniería biónica.

El **resultado**, definible como la clase de producto emergente de la aplicación de cada metodología, sería para el método:

- a) BT, una cierta calidad de deducción científica orientada hacia un logro tecnológico surgido a partir de las contradicciones definidas y halladas en la base de datos.
- b) DL, es alcanzar un resultado capaz de verificar una adecuada *biomimicry* asociada a una noción de tecnología limpia o adecuada.
- c) DA un aprovechamiento biónico emergente de algún descubrimiento de cualidad o función natural, o bien, una solución biónica alcanzada mediante la búsqueda de algún principio o fenómeno natural que ayuda o permite dicha solución.

2.1.3. Conclusiones

Las tres referencias teórico-metodológicas presentadas y estudiadas, y que en el próximo capítulo también serán puestas en juego en el aula, tienen enfoques diferentes.

No hay, al menos hasta el momento información acerca del uso de estas metodologías en el aula universitaria con alumnos de diseño industrial, algunos trabajos (Glier et al, 2011) hacen referencia al uso de una de ellas (Biotriz) en un reducido grupo piloto de profesionales durante un fin de semana.

Con lo cual la referencia se vuelva anecdótica y no generalizable.

El sistema *BioTRIZ* -es sistemático, clasificador y relativamente determinista en su reducción de patrones o características. Funciona más bien como un instrumento de ordenamiento y clasificación de información básica para el diseño, más que como un instrumento de tipo heurístico, en el sentido que esta expresión refiere a la relación consciente o racional entre pensar y proyectar.

Por otra parte requiere conocimientos no triviales de otras disciplinas, en partículas de las ingenierías y ciencias duras.

El sistema *Design Lens*, dentro del enfoque general de la *biomimicry* planteada por Benyus, es más bien axiológico o valorativo. Tiende a definir un marco bioético para el diseño en general y, si se quiere, para la relación entre ciencia y tecnología.

Es más cualitativo que especificista, interesado más en resultados o acciones integradas u holísticas que en aquellas sistemáticas y desglosadas.

El sistema de la *doble relación ascendente-descendente propuesta en base a la biónica* presenta a la investigación biológica básica como significativa para descubrir a partir de ella nuevas cualidades o prestaciones que ofrecería la naturaleza para pensar nuevos artefactos. Se trataría, en tal sentido, de un campo muy orientado a tecnologías complejas propias de la ingeniería.

La investigación biológica básica o aplicada, tendrá un rol central, lo cual requiere grandes inversiones y dedicación especial de investigadores formados en este campo.

Estas caracterizaciones de las referencias teóricas planteadas, si bien atienden a los mejores aportes desde enfoques biomiméticos, presentan considerables brechas respecto del ambiente intelectual y formativo del diseño industrial, como por ejemplo, el escaso desarrollo de investigación técnico-experimental.

En general, estas referencias llevan a considerar un aspecto que resulta fundamental. Se trata de lograr la incorporación de la investigación en el marco de un desarrollo proyectual. Este aspecto presenta muchos matices que deben ser considerados.

En el capítulo siguiente, al irse presentando y analizando las diferentes experiencias propuestas, así como también los casos proyectuales realizados por alumnos, se irá poniendo de manifiesto cómo se han utilizado los ya mencionados marcos metodológicos.

En tales experimentaciones proyectuales se fueron efectuando pruebas y comprobaciones de las posibles aplicaciones y utilidades de las herramientas metodológicas recién expuestas.

A partir del análisis y evaluación de los resultados en cada una de las experiencias, el objetivo fue desarrollar un marco metodológico (biomimética proyectual), específicamente planteado para el desarrollo de proyectos en el marco de la carrera de diseño industrial. El mismo surge de la reflexión crítica de los resultados obtenidos.

La necesidad de potenciar o iniciar la interacción con múltiples redes que sistematizan información referente a investigaciones realizadas en diseño industrial, o bien, la cooperación interdisciplinar, nacional o internacional, en particular con

áreas afines como la biología, la medicina o la ingeniería, se vuelve cada vez más imperiosa.

En esa dirección una de las líneas que se advierten como estratégicas es la incorporación de una nueva metodología en la enseñanza en el marco del Taller de diseño industrial. La misma debe propiciar actividades de investigación, así como generar la necesidad de crear espacios extra-curriculares de discusión y difusión de los resultados de las investigaciones.

2.2. Propuesta teórico-metodológica para la enseñanza del proyecto biomimético

2.2.1. Hacia una enseñanza proyectual desde el punto de vista biomimético.

No cabe duda que la biomimética debe ser incorporada en la formación de los diseñadores industriales del siglo XXI debido, tanto a que constituye una alternativa vigente del diseño, como a que aporta una de las líneas teóricas para atender la crisis de sustentabilidad con toda la carga ética y de responsabilidad social que ello implica.

Si el aporte biomimético resulta significativo, uno de los problemas centrales para entrenar nuevos actores, es cómo enseñarlo en los talleres de diseño industrial en el nivel de grado.

En el capítulo anterior se han presentado y analizado las diversas metodologías en curso, así como en sus acuerdos y desacuerdos y el campo propicio para aplicarlas en cada caso. Es aquí donde se trata de formular una propuesta integradora que pueda ser aplicable en la enseñanza en los talleres de diseño industrial y, en general, en la formación proyectual del diseñador, incluido el enriquecimiento de aquellos, ya graduados, que quieran actualizarse.

En función de la propuesta planteada en la tesis, acompañar la estrategia de investigación experimental relacionada con las actividades didáctico-proyectuales, se

ha trabajado en diversas instancias didácticas para el grado, proponiendo distintos argumentos desde los tres enfoques biomiméticos ya mencionados.

De tal forma el presente capítulo expone algunos resultados de las actividades didácticas propuestas en el marco teórico-metodológico biomimético (biomimética proyectual).

En esa experimentación se pudieron alcanzar algunos resultados empíricos sustantivos para esta tesis, como los que se detallan a continuación:

- 1)** Analizar, discutir y aplicar el ideario biomimético a la luz de los aportes teóricos y proyectuales disponibles.
- 2)** Estudiar y aplicar el conjunto de referencias bibliográficas vinculado con las metodologías de diseño biomimético más relevantes.
- 3)** Adaptar y reelaborar tales metodologías al desarrollo específico de un conjunto de procesos proyectuales. Las mismas conformarán un corpus significativo de posibles prácticas profesionales de actuación del diseñador industrial.
- 4)** Reflexionar sobre las relaciones entre teoría y práctica estableciendo conclusiones y valoraciones sobre la relación de la teoría general de la biomimética proyectual con cada una y, con cada conjunto de actividades prácticas proyectuales.
- 5)** Evaluar y ajustar, desde tal experiencia práctica, la pertinencia de las tres metodologías utilizadas antes descriptas.
- 6)** Establecer teórica y/o prácticamente relaciones interdisciplinarias, en relación con la biología o la ingeniería biónica (entre otras posibles), para cubrir nuevas posibilidades de relaciones para investigar y proyectar un pensamiento biomimético.
- 7)** Hipotetizar a partir de todo lo realizado en tono a los tres enfoques metodológicos trabajados, la formulación de un posible marco metodológico específico que es el llamado de la biomimética proyectual en esta tesis.

2.2.2. Presentación y análisis de experiencias y casos. Críticas de los casos desde la óptica de los tres marcos teóricos propuestos

En este punto se analizarán y ejemplificarán los tipos de proyectos desarrollados a partir de la incorporación de la biomimética planteada en el desarrollo de trabajos prácticos con diferentes grupos de alumnos, con diferentes tiempos de duración y presentando diferentes grados de complejidad.

Las metodologías presentadas en el capítulo anterior fueron tomadas como **marcadores referenciales** para el desarrollo de los trabajos prácticos; en función del nivel y los tiempos en los que se presentó cada trabajo, se formularon introducciones a la cuestión de la biomimética en relación al diseño con diferentes grados de complejidad y a partir de la implementación de metodologías consideradas adecuadas en cada uno de los trabajos.

Estas ejercitaciones han sido evaluadas y discutidas en sus contextos para lograr una verificación de los resultados proyectuales diferenciales a partir de la incorporación de las aproximaciones biomiméticas.

El corpus de los ejercicios realizados es lo que constituye la **base empírica** a partir de la cual se derivan las conclusiones sobre la viabilidad de estos procedimientos y su originalidad.

Las experiencias y los casos presentados, a lo largo de cinco años, se encuentran organizados en forma cronológica y secuencial.

Los mismos fueron siguiendo la dinámica de la propia experiencia, en cuanto al proceso particular de enseñanza-aprendizaje de cada enfoque utilizado.

A continuación la Tabla 2.2 se presentan y detallan todas las experiencias realizadas. En cada una de éstas, se analizaron los ejercicios proyectuales considerados paradigmáticos desarrollados por los alumnos.

SÍNTESIS GENERAL DE LAS EXPERIENCIAS Y CASOS REALIZADOS							
AÑO	ÁMBITO ACADÉMICO	EXPERIENCIA	DURACIÓN	OBJETIVOS	METODOLOGÍA	CASOS	IMÁGENES
2010	Taller de Diseño 5º año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU – UBA	A Workshop Biomimetismo	8 clases	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollar un proyecto tomando como referencia elementos de la naturaleza para luego extraer información para ser aplicada en un producto a seleccionar por cada grupo de alumnos. Incentivar a los alumnos a comenzar un proyecto desde la búsqueda de un referente a partir de la observación de la naturaleza. 	Dos aproximaciones estratégicas. Enfoque de abajo hacia arriba Neurohr& Dragomirescu	A1 EMERGE. Sistema modular que permite generar superficies flotantes Referencia natural: Victoria Amazónica A2 IZZO. Mochila con sistema preventivo de robo. Referencia natural: Erizo de tierra A3 STICKY. calzado con adherencia al pie Referencia natural: Pez Rémora	
2013	Taller de Diseño 1º y 2º año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU – UBA	B Bio Workshop	2 clases	<ul style="list-style-type: none"> Incorporar una nueva metodología de trabajo a partir de la observación de fenómenos y casos instalados en la naturaleza desarrollando los pasos para el proceso de la aplicación de la biomimesis Desarrollar estructuras en papel a partir de la información extraída de la naturaleza y tomando en cuenta las propiedades y características del material a trabajar. El objeto generado deberá: contener y sostener 1 kilo de arena 	Dos aproximaciones estratégicas. Enfoque de arriba hacia abajo Neurohr& Dragomirescu	B1 Referente estructural: Piña B2 Referente estructural: Flor de Loto B3 Referente estructural: Bicho Canasto B4 Referente estructural: Colmena	
2014	Taller de Diseño 2º y 3º año Carrera de Diseño Industrial Sede Alto Valle y Valle Medio, UNRN	C Seminario de Biomimética Proyectual	16 clases	<ul style="list-style-type: none"> Incorporar una nueva metodología de trabajo a partir de la observación de fenómenos y casos instalados en la naturaleza desarrollando los pasos para el proceso de la aplicación de la biomimesis Desarrollar un objeto tomando como referente algún ejemplo extraído de la naturaleza 	Dos aproximaciones estratégicas. Enfoque de abajo hacia arriba Neurohr& Dragomirescu	C1 Jarra basada en características de la rana C2 Preparador de infusiones basado en características del bambú C3 Escumidor de platos basado en características de la esponja vitrea	
2015	Taller de Diseño 2º y 3º año Carrera de Diseño Industrial Sede Alto Valle y Valle Medio, UNRN	D Seminario de Biomimética Proyectual	16 clases	<ul style="list-style-type: none"> Incorporar las definiciones y los conocimientos generales sobre la biónica y la biomimética comprendiendo, sus desarrollos y posibles aplicaciones. Comprender su vinculación con el diseño desde las áreas tecnológicas, proyectuales y metodológicas. Concluir en la identificación de modalidades específicas de diseño basada en las operaciones genéricas de la biónica y la biomimética estableciendo en base a tales conclusiones para el desarrollo de un producto. 	Design Lens Janine Benyus	Herramientas de Jardinería D1 Referente natural: Raya marina D2 Referente natural: Lombrices D3 Referente natural: Grillo Topo	
2016	Taller de Diseño 1º año Carrera de Diseño Industrial Instituto Tecnario ORT Argentina	E Trabajo Práctico de Biomimetismo Proyectual	10 clases	<ul style="list-style-type: none"> Incorporar las definiciones y los conocimientos generales sobre la biónica y la biomimética comprendiendo, sus desarrollos y posibles aplicaciones. Comprender su vinculación con el diseño desde las áreas tecnológicas, proyectuales y metodológicas. Desarrollar un producto aplicando las operaciones genéricas de la biónica y la biomimética. 	Design Lens Janine Benyus	Herramientas de Jardinería E1 Referente natural: Raíces de plantas E2 Referente natural: Flores E3 Referente natural: Plantas	
2017	Taller de Diseño 1º año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU – UBA	F Trabajo Práctico de Biomimetismo Proyectual	10 clases	<ul style="list-style-type: none"> Incorporar las definiciones y los conocimientos generales sobre la biomimética comprendiendo sus desarrollos y posibles aplicaciones. Comprender su vinculación con el diseño desde las áreas tecnológicas, proyectuales y metodológicas. Concluir en la identificación de modalidades específicas de diseño basada en las operaciones genéricas de la biomimética estableciendo en base a tales conclusiones el desarrollo de un producto. 	bioTriz Vincent, Bogatyreva & Bogatyrev	Herramientas de Jardinería Kit de tres elementos a definir por el grupo de alumnos F1 Pala - Cultivador - Trasplantador F2 Serrucho - Tijera - Weeder F3 Cultivador - Pala - Trasplantador	

Tabla 2.2 Síntesis de las experiencias y casos proyectuales realizadas por alumnos de D.I. en el grado en el contexto de la biomimética proyectual

NOTA: La versión impresa de esta página se presenta en una página desplegable A3. En la versión digital se amplía con zoom al ancho de página o se puede continuar ampliando.

EXPERIENCIA A

La tabla 2.A sintetiza la información relevante de la experiencia A.

Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Objetivos	Metodología	Casos
2010	Taller de Diseño 5° año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU UBA	A Workshop Biomimetismo	8 clases (32 horas)	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar un proyecto tomando como referencia elementos de la naturaleza para luego extraer información para ser aplicada en un producto a seleccionar por cada grupo de alumnos. - Incentivar a los alumnos a comenzar un proyecto desde la búsqueda de un referente a partir de la observación de la naturaleza. 	Dos aproximaciones estratégicas. Enfoque de abajo hacia arriba (DA)	<p>A1 EMERGE. Sistema modular que permite generar superficies flotantes. Referencia natural: Victoria Amazónica</p> <p>A2 IZZO. Mochila con sistema preventivo de robo. Referencia natural: Erizo de tierra</p> <p>A3 STICKY. Calzado con adherencias al pie Referencia natural: Pez Rémora</p>

Tabla 2.A Resumen de la Experiencia A

El objetivo principal del *Workshop de Biomimetismo* fue el de desarrollar un proyecto tomando como referencia elementos de la naturaleza para luego extraer información para ser aplicada en un producto a seleccionar por cada grupo de alumnos basado en el método DA ascendente según el circuito expuesto en la figura 2.6.A.

Este ejercicio se desarrolló presentando como marco teórico a la metodología propuesta por Neurohr y Dragomirescu, tomando una de sus dos estrategias de aproximación según el enfoque de abajo hacia arriba.

El mismo no comienza desde el planteo de un problema bien definido, sino que arranca desde la observación y el descubrimiento, dentro del campo biológico, para luego proponer una transferencia hacia posibles campos de aplicación.

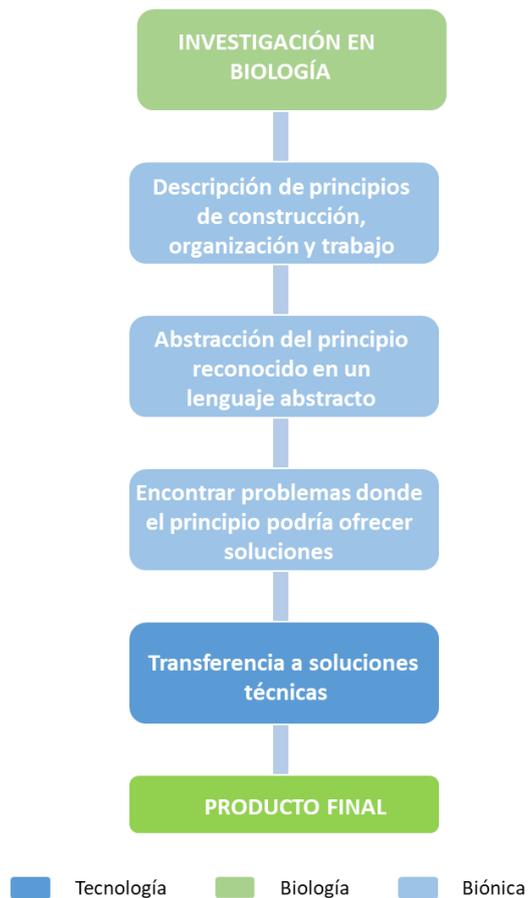


Figura 2.6.A Secuencia metodológica desde el enfoque DA “de abajo hacia arriba”

Cada grupo de alumnos realizó, en primer lugar, una investigación de posibles referencias naturales para aplicar a un proyecto.

Una vez seleccionado el referente natural se realizó, en una segunda instancia, un análisis de sus características formales, funcionales y técnicas para proponer a qué tipo de objeto de diseño podría aplicarse en función de la abstracción de los principios analizados.

En una tercera instancia se trabajó en el diseño de la propuesta y su transferencia a posibles soluciones.

El *workshop* concluyó con la entrega de las propuestas de diseño junto con la información que extrajeron de la naturaleza, especificando cuales fueron las características que tomaron, de qué forma las extrajeron y como las aplicaron al objeto.

A continuación se presentan los tres casos analizados.

CASO A1

En la tabla 2.A.1 se presentan las características relevantes correspondientes al caso A1.

EXPERIENCIA A	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO A1	2010	Taller de Diseño 5° año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU – UBA	A Workshop Biomimetismo	6 clases (24 horas)	- Salzman - Martín Martín - Alfagame	EMERGE Sistema modular que permite generar superficies flotantes Referencia natural: Victoria Amazónica

Tabla 2.A.1 Características del Caso A1.

Este grupo de alumnos planteó el desarrollo del sistema modular *Emerge* que permite generar superficies flotantes debido a la referencia natural, la planta Victoria Amazónica es una planta acuática propia de la zona de América meridional (área del río Amazonas) y se trata de un ejemplar acuático que llega a medir grandes dimensiones, pudiendo alcanzar los dos metros de ancho.

Las hojas tienen una forma perfectamente redonda y su borde mide unos quince centímetros de alto aproximadamente lo que hace que el agua no llegue a penetrar en la zona superior de la planta por lo que ésta se mantiene siempre flotando en la superficie del agua.

Otra de las características interesantes de su capacidad elástico-estructural es la carga que puede llegar a soportar. Pájaros u otros mamíferos de hasta 20 kilos pueden posarse en su superficie, sin que la planta se hunda.

A partir del análisis de este referente natural se extrajeron propiedades como las de la flotabilidad, liviandad, rugosidad, auto-desagote y la posibilidad de soportar pesos significativos.

Una vez observadas las características particulares presentadas por esta planta se realizaron diversas propuestas optimizando la aplicación de todas las propiedades y, finalmente, en la decisión de diseño innovativo o de posible aplicabilidad, se optó por proponer el desarrollo de un sistema modular que genera una superficie flotante.

El sistema modular fue propuesto tanto para situaciones de emergencia y rescate como para situaciones recreativas.

En ambos casos se optimizan las características de la planta utilizándolas para generar una superficie liviana pero que a la vez pueda soportar mucho peso, con buena flotabilidad, con un sistema de autodesagote resuelto a partir de las aperturas laterales observadas en la planta y la rugosidad y estructura de la hoja que le otorga una mayor resistencia a la superficie.

La figura 2.8 ilustra el principio estructural de la referencia orgánica (estructura de la hoja de la Victoria Amazónica) consistente en la forma particular de ramificación de esta planta.

En la figura 2.9 se muestra el módulo proyectado según la analogía biológica estructural de la hoja.



Figura 2.8



Figura 2.9

En la Fig. 2.8 se observa el detalle de la estructura de la planta Victoria Amazónica. En la Fig. 2.9 se presenta el módulo desarrollado a partir de las características estructurales extraídas de la planta.

En la figura 2.10 se presenta el encastre genérico de los módulos diseñados para generar superficie flotante de origen artificial. Los materiales para la puesta en valor del principio estructural, con cualidades mecánicas equivalentes, sugeridos por el grupo de alumnos, fueron plásticos moldeados.



Figura 2.10 Detalle de la configuración propuesta aprovechando la estructura que presenta la planta

En las figuras 2.11 y 2.12 se observa el pasaje del elemento biomimetizado (la hoja natural travestida en hoja o módulo artificial), a su condición de diseño innovativo, es decir, atendiendo a su viabilidad y aplicabilidad serial e industrial.



Figura 2.11



Figura 2.12

En las dos figuras se observan propuestas de alternativas para diferentes usos y contextos del sistema modular. La Fig. 2.11 muestra el uso del sistema modular en situaciones de emergencia y rescate, mientras que en la Fig. 2.12 se observan situaciones de uso recreativas.

En las figuras 2.13 y 2.14 se puede observar la presentación del proyecto Emerge con todas sus características y referencias de la propuesta.



Figura 2.13 Proyecto *Emerge*. Referencias naturales tomadas para el desarrollo del producto

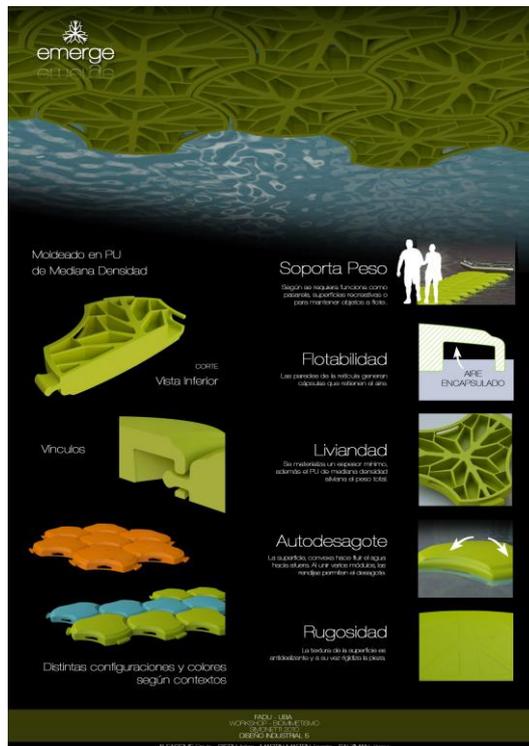


Figura 2.14 Proyecto *EMERGE* Aplicaciones, características y usos del sistema modular

Es posible desarrollar conceptos o aplicaciones teóricas más complejas a partir de estos estudios.

Por ejemplo:

- La funcionalidad genérica de estructuras ramificadas
- Flotabilidad para una carga dada
- Puntos de escurrimiento sin alteración de la flotabilidad, entre otros aspectos.

Este tipo de ejercitación, a partir de las conclusiones de los alumnos, puso de relieve la posibilidad de una forma más innovativa de diseñar, no convencional, que evita el *a priori* formal del *designer* culturalista o esteticista, e instala al proyectista en una dominante situación de analista-observador.

Al aplicar el método DA y se abre la posibilidad de que diseñadores puedan establecer procesos de investigación interdisciplinarios. En este caso particular, orientados a descubrir principios o funciones naturales complejas no intuitivas.

CASO A2

En la tabla 2.A.2 se presentan las características relevantes correspondientes al caso A2.

EXPERIENCIA A	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO A2	2010	Taller de Diseño 5° año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU – UBA	A Workshop Biomimetismo	6 clases (24 horas)	- Berrino - Carrizo - De La Orden - Diaz - Cazaux	IZZO Mochila con sistema preventivo de robo. Referencia natural: Erizo de tierra

Tabla 2.A.2 Características del Caso A2.

El caso A2, tomando la metodología del método DA ascendente, parte de la investigación de la función autodefensiva de la caparazón de espinas que caracteriza al erizo de tierra.

Esta caparazón de espinas plantea la posibilidad de proyectar un material superficial, que se puede considerar “inteligente” Ello se debe a que posee la característica de reorganizarse ante estímulos externos que el animal considera peligrosos.

El erizo dispone de una función agresiva-defensiva generada por una armadura consistente de una superposición móvil de espinas que pueden funcionar aplanadas, o bien, como una envolvente direccional, según la orientación espacial de la punta de cada una de ellas (Figura 2.15).



Figura 2.15



Figura 2.16

En la Fig. 2.15 se observa el detalle del caparazón del erizo de tierra. En la Fig. 2.16 se presenta la propuesta de mochila desarrollada a partir de las características extraídas del erizo de tierra.

Como se presenta en la figura 2.16, la trasposición mimética de la piel del referente natural, para su aplicación en un objeto de diseño, se basa en reproducir la forma alternativa de organización de la superficies de las púas y los mecanismos que producen las variaciones de forma en los diversos estadios tales que determinan envolventes neutrales o defensivas.

El grupo de alumnos propuso la mochila *Izzo* que cuenta con un sistema de alerta donde propone la identificación de su usuario a partir de la huella digital. Si la huella no es registrada correctamente y, si se intenta la apertura de la mochila, se activa un sistema de defensa basado en la activación de púas, cuya reorganización esconde la apertura de la mochila.



Figura 2.17 Esquema de cómo del referente biomimético (erizo de tierra) mostrado arriba a la izquierda, se pasa a las características de su armadura defensiva (figura central) y se concibe un producto (“Mochila Izzo”), a la derecha abajo.

En este caso la trasposición biomimética efectuada implica la utilización del elemento o módulo activo generador de la superficie del erizo transferida al diseño de una piel envolvente basada en tal repetición y solapamiento de un micromódulo (Figura 2.17).

Se propuso para la activación de las púas dispuestas en la mochila una estructura por donde circula un fluido capaz de cambiar rápidamente hacia un estado sólido al ser atravesado por un campo eléctrico (activación químico-eléctrica) Dicho líquido es conocido como ER o *Electroheological*.

En la figura 2.18 se registran los datos principales del principio de activación de las púas de la mochila basado en la utilización del fluido ER así como el mecanismo de apertura de activación de huella.

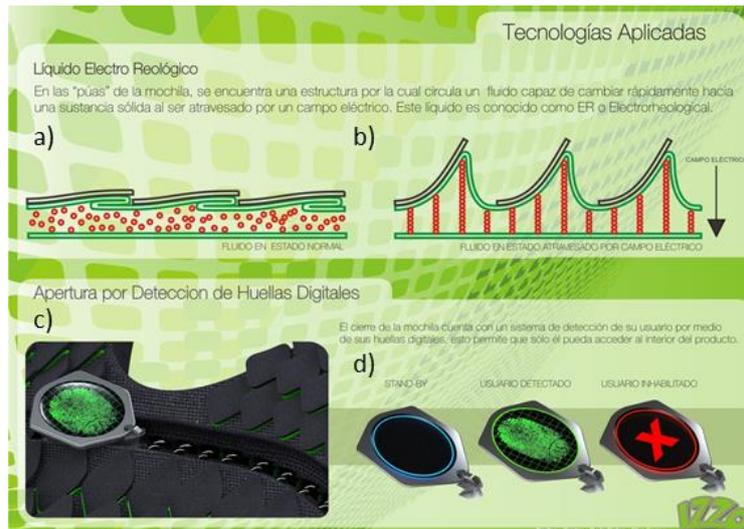


Figura 2.18 Propuesta de tecnologías aplicadas para lograr la transferencia de las características del referente natural. a) sistema de púas plegadas; b) sistema de púas activadas; c) sensor de huella digital; d) detalle de la activación del sensor.

En la figura 2.19 se registra la posición pasiva o de uso convencional de la mochila en la cual las piezas, que emulan las espinas del erizo, permanecen plegadas, planas constituyendo una superficie convencional de cobertura.



Figura 2.19 Presentación de las diferentes situaciones de uso cotidiano propuestas para el objeto. a) en tránsito, b) en reposo c) en posición activada.

CASO A3

En la tabla 2.A.3 se presentan las características relevantes correspondientes al caso A3.

EXPERIENCIA A	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO A3	2010	Taller de Diseño 5° año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU – UBA	A Workshop Biomimetismo	6 clases (24 horas)	- Torres - Ortiz - Estevez - Heredia	STICKY Calzado con adherencias al pie Referencia natural: Pez Rémora

Tabla 2.A.3 Características del Caso A3.

En este caso se ha efectuado otra aplicación del método DA ascendente (Figura 2.6.A) basado en la observación de la propiedad de adherencia que posee la parte externa superior de la piel del pez rémora (Figura 2.20).

A partir de la observación de la adherencia de este pez puede acoplarse a otro animal marino o bien a los cascos de barcos o a superficies rocosas, los alumnos comenzaron a estudiar las peculiares características del diseño del tejido epitelial de este animal.

Este pez presenta la particularidad de poseer un disco plano adhesivo en la parte superior de su cabeza producto de la evolución de su aleta dorsal.



Figura 2.20



Figura 2.21

En la Fig. 2.20 se observa el detalle de la superficie del referente natural. La Fig. 2.21 muestra la propuesta de calzado desarrollado a partir de la observación de las características extraídas del pez rémora.

Los alumnos trabajaron con diversas propuestas proyectual para implementar esta características en productos y, finalmente decidieron utilizarla para el desarrollo de un calzado poco convencional que los alumnos denominaron *Sticky* (Figura 2.21).

La innovación en este producto se basa en que no necesita ser envolvente del pie, sino que puede reducirse a una superficie que se adhiere transitoriamente a la planta, cumpliendo con la función de protegerla respecto de la fricción con el suelo.

Esta propuesta evita el desarrollo de la parte superior del calzado contando con una mayor flexibilidad, liviandad y adaptabilidad a todo tipo de superficies que las suelas convencionales.

En las figuras 2.22, 2.23 y 2.24 se detallan algunos paneles de presentación de la documentación gráfica del producto diseñado.

En el panel 1 (Figura 2.22) en la parte superior se presenta un render del producto, en la central las situaciones de uso y en la parte inferior se describe el objeto natural referencial (pez rémora).



Figura 2.22 Panel 1. Presentación del calzado *Sticky*, situaciones de uso y el referente proyectual natural

En el panel 2 (Figura 2.23) la parte superior ilustra tres situaciones de adhesión: a otro pez, a rocas y a un nadador. En el centro del panel se presenta un esquema de la descripción anatómica de la placa adherente y, en la parte inferior, la síntesis de las propiedades más destacadas del producto.



Figura 2.23 Panel 2. Detalles de la implementación del objeto al aplicar las características del pez rémora

En el panel 3 (Figura 2.24) se presentan posibilidades adicionales del producto, tales como cambio de color, adaptabilidad al usuario en función de la forma de la planta del pie, y demás imágenes del uso en diferentes contextos.



Figura 2.24 Panel 3. Presentación de la propuesta, situaciones de uso y de contexto

En este caso cabe destacar, además, como el aprovechamiento de la referencia biomimética permite un nivel de innovación significativa del producto.

La propuesta permite modificar tipológicamente la característica de envoltura (zapato) o fijación (ojota) que han determinado la forma y función del calzado.

A modo de comentario de conclusión de los tres casos de la Experiencia A puede señalarse lo siguiente:

- (1) que la misma condujo al modelo de aplicación del método DA ascendente en tanto centrado en descubrir y/o analizar propiedades determinadas de referentes naturales biónicos para desarrollar procesos de diseño de aplicación (es decir diseños emergentes del aprovechamiento de tales propiedades);
- (2) que los casos abrieron distintas instancias de discusión teórica en cuanto a entender, con mayor profundidad, la funcionalidad de las superficies de objetos artificiales, tales como, la flotación en el caso 1, la protección en el caso 2 y la adhesión en el caso 3;

- (3) que los casos abren perspectivas de innovación ligados al diseño de aplicaciones de referencias naturales, hasta ahora desaprovechadas, y que, por lo tanto, generan perspectivas de nuevas tipologías de objetos y;
- (4) que el potencial de innovación debe relacionarse con encontrar la tecnología adecuada a cada bio-réplica, así como, el mismo podría alcanzar instancias radicales en la renovación del producto tradicional respectivo.

EXPERIENCIA B

En este denominado *BioWorkshop* (Tabla 2B) se propuso a los alumnos que desarrollen estructuras envolventes de contención de sistemas granulados (1/2 kg. de arena), a partir de los análisis de semejanza geométrica con referentes tomados de la naturaleza.

Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Objetivos	Metodología	Casos
2013	Taller de Diseño 1° y 2° año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU – UBA	B Bio Workshop	2 clases (8 horas)	<ul style="list-style-type: none"> - Incorporar una nueva metodología de trabajo a partir de la observación de fenómenos observados en la naturaleza siguiendo los pasos para el proceso de la aplicación de la biomímesis. - Desarrollar estructuras en papel a partir de la información extraída de la naturaleza y tomando en cuenta las propiedades y características del material a trabajar. - El objeto generado deberá: contener y sostener 1 kilo de arena 	Dos aproximaciones estratégicas. Enfoque de arriba hacia abajo. (DA)	<p>B1 Referente estructural: Piña</p> <p>B2 Referente estructural: Flor de Loto</p> <p>B3 Referente estructural: Bicho Canasto</p> <p>B4 Referente estructural: Colmena</p>

Tabla 2.B Resumen de la Experiencia B

El *workshop* se desarrolló en dos clases (8 hs.) en donde los grupos de trabajo realizaron una búsqueda de propuestas formales, surgidas de referencias naturales, que lograsen cumplir con la función requerida, y teniendo en cuenta la resistencia mecánica necesaria para contener el peso dado.

Todas las propuestas se desarrollaron a partir del uso de papel plegado, priorizando la organización morfológica modular, en la que cada módulo natural pudiera transcribirse a una porción plegada de papel.

El ejercicio se desarrolló presentando como marco teórico a la metodología DA, propuesta por Neurohr y Dragomirescu, según el criterio o secuencia indicado en la figura 2.6.B tomando el enfoque *descendente*.

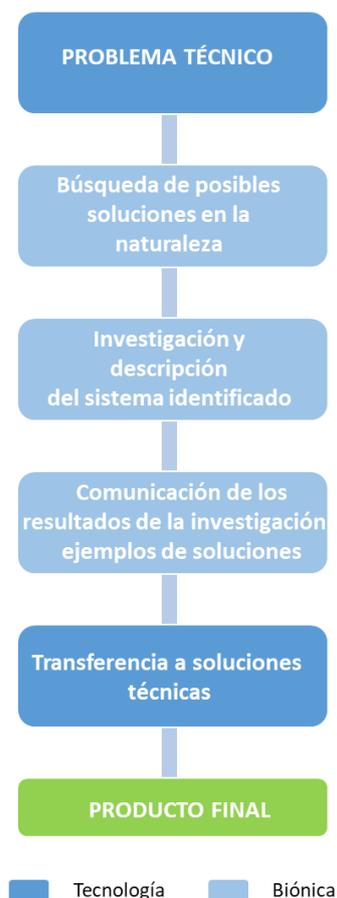


Figura 2.6.B Secuencia metodológica desde el enfoque DA “de arriba hacia abajo”

Este enfoque se centra, durante la primera etapa, en el planteo de un problema específico bien definido y, procede en las siguientes etapas a realizar la búsqueda de situaciones análogas observadas en la naturaleza. Situaciones que podrían proveer soluciones al problema planteado.

Se trata de una versión del método DA apoyada en la búsqueda de referencias deducidas del problema a resolver, diferente de la versión inversa (la estrategia ascendente) tratada en la experiencia A (Un descubrimiento de una propiedad o cualidad natural inspira o determina cierta aplicación proyectual).

A continuación se detallan algunos de los proyectos más característicos realizados por los grupos de alumnos.

CASO B1

En la tabla 2.B.1 se presentan las características relevantes correspondientes al caso B1.

EXPERIENCIA B	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Proyecto
CASO B1	2013	Taller de Diseño 1° y 2° año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU – UBA	B BioWorkshop	2 clases (8 horas)	Referente estructural: Piña

Tabla 2.B.1 Características del Caso B1.

En la figura 2.25 se sintetizan las características y la base de la trasposición mimética desarrollada.



Figura 2.25 Propuesta de resolución a partir de la estructura de la piña

En este caso, usando el referente orgánico del fruto del pino, la piña o piñón, la disposición helicoidal de hileras de escamas (8 enrollándose hacia la izquierda y 13 hacia la derecha, o bien 13 a la izquierda y 21 a la derecha) da cuenta de la resistencia a la forma del fruto.

La figura 2.25 muestra a la derecha la imagen de la propuesta concebida por los alumnos realizado plegando papel.

En la misma puede verse la generatriz morfogenética de cada elemento constitutivo, junto a los principios de forma y estructura, que fueron traducidos en el ejercicio.

Los alumnos pudieron pensar en otras estructuras laminares generativas que cumplieran la exigencia de contener un determinado peso de la sustancia granulada propuesta.

CASO B2

En la tabla 2.B.2 se presentan las características relevantes correspondientes al caso B2.

EXPERIENCIA B	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Proyecto
CASO B2	2013	Taller de Diseño 1° y 2° año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU – UBA	B BioWorkshop	2 clases (8 horas)	Referente estructural: Flor de loto

Tabla 2.B.2 Características del Caso B2.

En el caso B2 se tomó el referente orgánico de la flor de loto cuya generación de pétalos, en forma de círculos superpuestos, le otorga resistencia y liviandad (flotabilidad).



Figura 2.26 Propuesta de resolución a partir de la estructura de la flor de loto

En la figura 2.26 se presentan, a la izquierda, las imágenes dadas del referente natural (flor de loto) y, a la derecha, la traducción biomimética elaborada por los alumnos a la derecha con papel plegado.

La idea propuesta por los alumnos fue un recipiente laminar liviano de *pétalos* yuxtapuestos, que cumple la función de traducir, en papel, la consigna de ser un contenedor de sustancias granuladas.

CASO B3

En la tabla 2.B.3 se presentan las características relevantes correspondientes al caso B3.

EXPERIENCIA B	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Proyecto
CASO B3	2013	Taller de Diseño 1° y 2° año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU – UBA	B BioWorkshop	2 clases (8 horas)	Referente estructural: Nido del bicho canasto

Tabla 2.B.3 Características del Caso B3.

En este caso, la propuesta partió del análisis del nido del llamado bicho canasto. Este canasto que generan se construye con seda, restos vegetales y sustancias membranosas segregadas por el insecto, una vez construido lo fija colgando de una rama de un árbol.



Figura 2.27 Propuesta de resolución a partir del nido del bicho canasto

En la figura 2.27 a la izquierda se presenta una imagen del referente biológico y a la derecha, la maqueta realizada por los alumnos, mostrando la transcripción de la forma generativa y evolutiva del referente natural que ellos proponen.

Esto sirvió como punto de partida para desarrollar un contenedor apto para la exigencia del ejercicio que retoma el carácter liviano y colgante del referente observado.

CASO B4

En la tabla 2.B.4 se presentan las características relevantes correspondientes al caso B4.

EXPERIENCIA B	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Proyecto
CASO B4	2013	Taller de Diseño 1° y 2° año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU – UBA	B BioWorkshop	2 clases (8 horas)	Referente estructural: Colmena

Tabla 2.B.4 Características del Caso B4

En este caso el referente natural propuesto fue la estructura de colmenas con sus compartimientos hexagonales.



Figura 2.28 Propuesta de resolución a partir de la estructura de una colmena

En la figura 2.28 a la izquierda se muestra el referente natural, a la derecha la maqueta generada por los alumnos, basada en la reelaboración del referente orgánico de las colmenas de abejas.

La estructura generativa de las colmenas mediante la repetición de una microforma o módulo, que es en sí un poliedro generado por superficies planas, es tomada como un principio de diseño para proponer un artefacto contenedor que cumple la exigencia del ejercicio.

La maqueta es la resultante de la superposición de módulos abiertos plegados cuya generación libre permite, además, obtener tanto formas regulares como libres.

Como conclusiones de este *bioworkshop* de corta duración (8hs.) se puede señalar lo siguiente:

- (1)** que los alumnos participantes recibieron una sucinta información metodológica, a partir de la cuál concibieron aspectos innovativos para un contenedor a partir de analizar el referente natural;
- (2)** que el condicionamiento de operar sobre una geometría generativa determinada (la del referente orgánico) facilitó una operación de diseño centrada en la reelaboración y adaptación de tal criterio morfogenético;
- (3)** que la restricción de traducción/adaptación de una geometría o principio geométrico externo no redujo la creatividad de las opciones de resolver el ejercicio sino que multiplicó sus soluciones (Figura 2.29) y; finalmente,
- (4)** que el proceso de aplicación del método DA ascendente permitió incorporar al conocimiento de los alumnos una herramienta de búsqueda en soluciones naturales conocidas, poder contar con formas referenciales sobre las que centrar su destreza a la hora de obtener soluciones, haciendo que éstas, puedan ser jerarquizadas según su menor o mayor calidad resolutoria o de diseño.



Figura 2.29 Finalización del *workshop* y presentación de las maquetas resultantes

EXPERIENCIA C

En este seminario de biomimética proyectual se partió desde un enfoque de análisis e investigación de referentes naturales, sin comenzar desde el planteo de un problema preestablecido, para luego realizar la búsqueda de posibles aplicaciones de dichos referentes, (Tabla 2.C).

Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Objetivos	Metodología	Casos
2014	Taller de Diseño 2° y 3° año Carrera Diseño Industrial Sede Alto Valle y Valle Medio, UNRN	C Seminario de Biomimética proyectual	16 clases (32 horas)	<ul style="list-style-type: none"> - Incorporar una nueva metodología de trabajo a partir de la observación de fenómenos y casos instalados en la naturaleza desarrollando los pasos para el proceso de la aplicación de la biomimesis - Desarrollar un objeto tomando como referente un ejemplo extraído de la naturaleza 	Dos aproximaciones estratégicas. Enfoque de abajo hacia arriba (DA)	<p>C1 Jarra basada en las características de la rana</p> <p>C2 Preparador de infusiones basado en características del bambú</p> <p>C3 Escurridor de platos basado en las características de la esponja vítrea</p>

Tabla 2.C Resumen de la experiencia C

La experiencia se desarrolló presentando como marco teórico a la metodología DA ascendente propuesta por Neurohr y Dragomirescu y basada en la estrategia de aproximación desde el enfoque de abajo hacia arriba (Figura 2.6.A).

Este enfoque no comienza desde el planteo de un problema de diseño bien definido sino que parte desde la observación y el descubrimiento dentro del campo biológico específicamente considerado mediante una operación de análisis e investigación para luego explorar y proponer una transferencia hacia posibles campos de aplicación.

Esta metodología, como ya se observara previamente, abre para el diseño la perspectiva de una inversión del enfoque y presenta un campo apto para la investigación más allá de la práctica objetual.

Los alumnos realizaron una investigación preliminar enfocada hacia referentes observados en la naturaleza analizando sus principios de construcción y de organización estructural.

Luego se pasó a la etapa de abstracción el principio observado y realización una búsqueda de posibles problemas donde aplicar dichos principios o condiciones exploradas.

En el transcurso del desarrollo del ejercicio se realizó la transferencia de este principio para aplicarlo en un producto seleccionado.

A continuación se analizan algunos de los proyectos realizados en el marco del seminario que siguieron la metodología planteada anteriormente.

CASO C1

En la tabla 2.C.1 se presentan las características relevantes correspondientes al caso C1.

EXPERIENCIA C	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO C1	2014	Taller de Diseño 2° y 3° año Carrera Diseño Industrial Sede Alto Valle y Medio, UNRN	C Seminario de Biomimética Proyectual	16 clases (32 horas)	- Aguirre - Muñoz - Reyes	Jarra anfibia basada en la rana

Tabla 2.C.1 Características del caso C1

En este caso se parte del análisis de las referencias que emergen de las características de la rana observando que posee una piel muy fina y flexible con un tejido epitelial que permite la distensión y extensión de su papada hasta dos veces su tamaño normal permitiendo volver a su tamaño normal sin generar ningún tipo de pliegues (Figura 2.30).



Figura 2.30 Referencia Natural: Rana

La rana no posee estructura ósea en esa zona y es por eso que puede inflar la piel como mecanismo de defensa.

Para lograr una aplicación de este fenómeno orgánico se requiere mantener la estructura hueca de sección triangular que posee el cráneo del referente natural.

Una vez analizadas dichas características, se extrajo la información básica para desarrollar un modelo de datos apto para transformar lo observado en el anfibio en directrices aplicables al objeto a desarrollar.



Figura 2.31
Producto propuesto: Jarra



Figura 2.32
Maqueta de representación del producto

Se realizaron diversas pruebas de materiales para buscar lograr la estructura rígida y a su vez la flexible combinando ambas para lograr la concreción del objeto de diseño.

El objeto propuesto fue una jarra para líquidos que poseyera una nueva característica del objeto resultante que sería la variación de volumen (con poco espacio al estar vacía y expandida o completa cuando la jarra se encuentra llena de líquido). (Figura 2.31 y 2.32).

El concepto central fue evocar la estructura ósea del animal y la envolvente de tejido flexible.

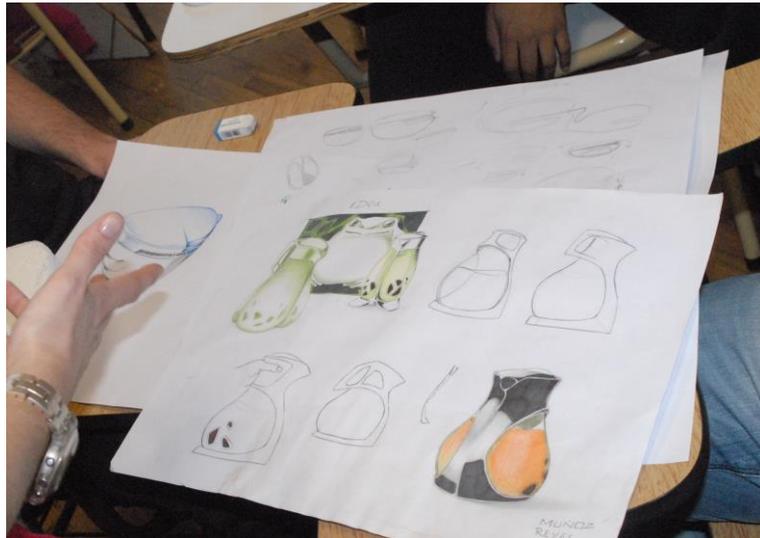


Figura 2.33 Dibujos con avances y desarrollos de la propuesta planteada



Figura 2.34 Desarrollo del proyecto para la realización de una jarra a partir de las referencias naturales tomadas de las características estructurales de la rana

En el desarrollo de esta propuesta fue interesante lo que se obtuvo en el análisis realizado del referente natural y como se trasladó luego a un objeto de uso cotidiano otorgándole una nueva propiedad basada en el ahorro de espacio en función de su contenido.

CASO C2

En la tabla 2.C.2 se presentan las características relevantes correspondientes al caso C2.

EXPERIENCIA C	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO C2	2014	Taller de Diseño 2° y 3° año Carrera Diseño Industrial Sede Alto Valle y Medio, UNRN	C Seminario de Biomimética Projectual	16 clases (32 horas)	- Cañoles - Vasches	Preparador de infusiones basado en la caña de bambú

Tabla 2.C.2 Características del caso C2

En este caso, se toma como referente natural a analizar la caña de bambú, observando en especial las separaciones estructurales que posibilitan la movilidad del agua entre los distintos segmentos.

También resultó de interés como conclusión del análisis, la característica que posee la caña de la aislación exterior así como así también muestra una gran resistencia basada en la agrupación de fibras y su sección circular hueca (Figura 2.35).



Figura 2.35 Referencia Natural: Caña de Bambú

A partir esa información emergente del análisis del referente, se extrajeron algunas de sus características para aplicarlas al proyecto del preparador de infusiones propuesto.

Los alumnos plantearon un preparador de infusiones tomando las propiedades de porosidad, separación estructural y aislación exterior de la caña de bambú.

La caña de bambú posee una estructura interna porosa que posibilita el filtrado y el flujo del agua a través de las porosidades internas (Figura 2.35).



Figura 2.36 Producto propuesto: Preparador de infusiones

Para preparar té o café, el objeto cuenta con un anillo transparente que funciona de filtro transmitiendo una continuidad y transparencia del fluido de la misma forma que sucedería en la caña.

El objeto cuenta con un segmento central que es el que contiene el agua caliente y a su vez cuenta con dos tazas y dos filtros (Figura 2.36).

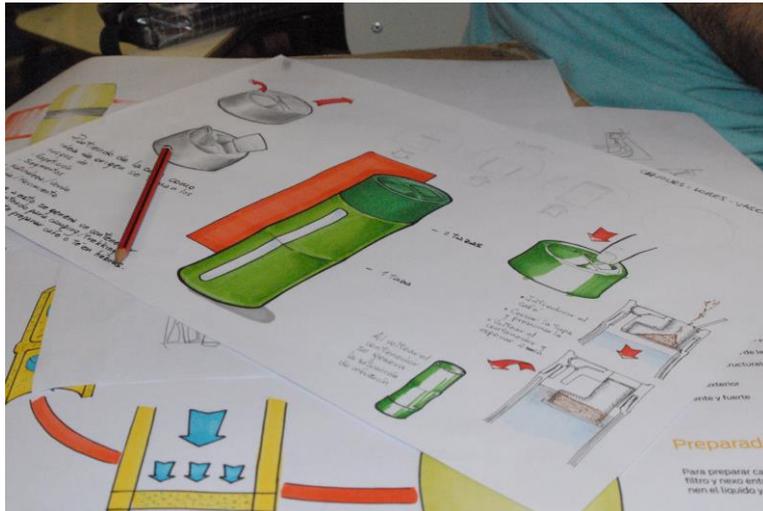


Figura 2.37 Preparador de infusiones y dibujos con avances y desarrollos de la propuesta planteada.

En este producto se logró incorporar y transformar las características observadas en la caña de bambú aprovechando su estructura porosa, su aislación para mantener la temperatura adecuada y su gran resistencia que admite proponer un objeto transportable y seguro, (Figura 2.37 y 2.38).



Figura 2.38 Desarrollo de un proyecto para la realización de un preparador de infusiones a partir de las referencias naturales tomadas de la característica estructural de la caña de bambú

CASO C3

En la tabla 2.C.3 se presentan las características relevantes correspondientes al caso C3.

EXPERIENCIA C	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO C3	2014	Taller de Diseño 2° y 3° año Carrera Diseño Industrial Sede Alto Valle y Medio, UNRN	C Seminario de Biomimética Proyectual	16 clases (32 horas)	- Bari - Lastra	Escurridor de platos basado en la esponja vítrea

Tabla 2.C.3. Características del caso C3

En este caso los alumnos trabajaron en el análisis de las características presentadas por la esponja vítrea o silíceo dentro de la clase de los hexactinélidos.

Estas esponjas poseen un esqueleto mineral compuesto por espículas silíceas (unidades esqueléticas) que forman un entramado (Figura 2.39).

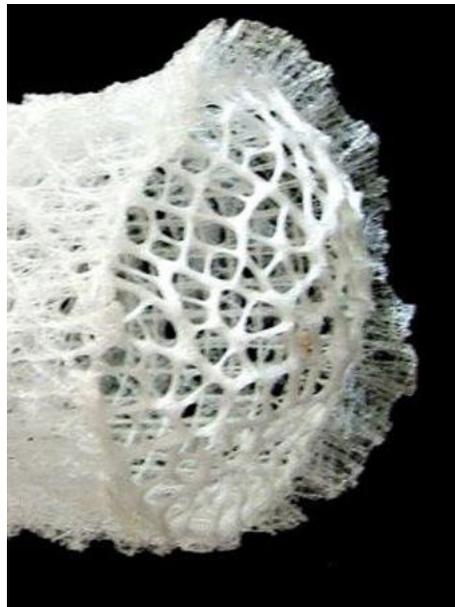


Figura 2.39 Referencia Natural: Esponja Vítrea

Estas esponjas se desarrollan de forma vertical y cuentan con estructuras especiales que sustentan esa posición. La mayoría de estos organismos tiene una estructura radial con formas cilíndricas en forma de vaso o de ramas.

La longitud promedio de las esponjas silíceas es entre 10 y 30 cm aproximadamente. Estas esponjas poseen una cavidad central cavernosa conocida como atrio, a través de la cual puede fluir el agua.

La propuesta del grupo fue la de generar un objeto escurridor de platos a partir de la transferencia de las características observadas en estas esponjas (Figura 2.40).



Figura 2.40 Producto propuesto: Escurridor de platos

Al establecer la conexión entre la información obtenida del organismo y el objeto artificial previsto, se construyó un modelo de datos donde se detallaron las características encontradas.

Luego se trabajó en la transformación y adaptación de las mismas para el desarrollo del objeto escurridor de platos dándole las características estructurales observadas en el referente natural (Figura 2.41).



Figura 2.41 Panel de Entrega Producto: Escurreidor de platos Referencia natural: Eponja vítrea



Figura 2.42



Figura 2.43

En la fig. 2.42 se observa el desarrollo de la parte teórica del seminario y la Fig. 2.43 muestra las correcciones en la práctica.

Los resultados de este seminario, y en relación a su duración, permitieron lograr lo siguiente:

- (1) que los alumnos participantes destinaron un tiempo significativo al estudio de la metodología DA y al examen de situaciones naturales con potencial de aplicabilidad y/o transferencia biomimética: es decir mirar lo natural con una óptica a la vez científica (y articulada a conocer la información biológica más detallada posible) y,

- (2) desde lo proyectual se investigaron esas referencias imaginando la perspectiva de una aplicación artificial mediada por la conformación de matrices o modelos de datos que detallan las cualidades observadas en la referencia orgánica;
- (3) que el desarrollo de los casos abren nuevos campos de innovación ligados al diseño de aplicaciones de referencias naturales y permiten encontrar nuevas tipologías de objetos.

A partir de tal base, la actividad proyectual o experimental del taller (Figuras 2.42 y 2.43), se concentra en establecer lo más pertinentemente posible las relaciones biomiméticas.

En función de esta base es que se logra transformar sustancialmente el proceso de diseño y lo hace más sistemático y ordenado lo que a su vez puede dar paso a un diseño abierto para la proposición de innovaciones que puedan devenir en productos de fabricación serial o industrial.

A su vez y en relación con ello, el proyecto biomimético debe destinar gran parte de su esfuerzo a identificar el modo de conseguir la transferencia más pertinente entre material natural y material artificial.

Esto debe lograrse sin perder de vista la viabilidad técnica y productiva de la reproducción tecnológica de la situación originaria.

Para lo cual es muy importante analizar las cualidades o propiedades del material orgánico lo que puede dar paso a investigaciones experimentales especiales.

La metodología trabajada generó un marco de referencia que sirvió como base para lograr la correcta extracción de los resultados de cada una de las investigaciones propuestas y así poder trasladarlo a las propuestas objetuales utilizando las características más relevantes del referente natural.

EXPERIENCIA D

En este seminario de biomimética proyectual, de un cuatrimestre de duración, la consigna planteada fue la de revisar, desde la perspectiva biomimética, objetos específicos que poseen tradiciones de diseño y formas convencionales de resolverse (Tabla 2.D).

Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Objetivos	Metodología	Casos
2015	Taller de Diseño 2° y 3° año Carrera Diseño Industrial Sede Alto Valle y Valle Medio, UNRN	D Seminario de Biomimética proyectual	16 clases (32 horas)	<ul style="list-style-type: none"> - Incorporar las definiciones y los conocimientos generales sobre la biónica y la biomimética comprendiendo, sus desarrollos y posibles aplicaciones. - Comprender su vinculación con el diseño desde las áreas tecnológicas, proyectuales y metodológicas. - Concluir en la identificación de modalidades específicas de diseño basada en las operaciones genéricas de la biónica y la biomimética estableciendo en base a tales conclusiones para el desarrollo de un producto. 	Design Lens (DL)	Herramientas de jardinería D1 Referente natural: Raya marina D2 Referente natural: Lombrices D3 Referente natural: Grillo topo

Tabla 2.D Resumen de la Experiencia D

Para el desarrollo del ejercicio se planteó una actividad concentrada en diseñar desde el enfoque biomimético un kit de herramientas de jardinería (pala y rastrillo).

Preliminarmente los alumnos realizaron una búsqueda amplia y abierta de referentes naturales en función de las supuestas e ideales necesidades y requerimientos del objeto.

En este trabajo se formuló adicionalmente un proceso de trabajo en etapas siguiendo la metodología DL (*Design Lens*) planteada por Janine Benyus (Figura 2.2).

Estos lentes o lupas de diseño consisten en una colección de diagramas que representan visualmente los fundamentos de la propuesta biomimética de aproximación al diseño formulada por esta bióloga que además acuñó la noción de *biomímesis* (*biomimicry*).

Este enfoque provee de un contexto sobre cómo, que y porque la biomimética encaja dentro de un proceso de cualquier tipo de disciplina en cualquier dimensión del diseño.

Existen cuatro áreas donde las lupas de diseño son fundamentales en el desarrollo de un proceso de diseño a saber (1) *Scoping* –Examinando-, (2) *Discovering* – Descubriendo-, (3) *Creating* –Creando- y (4) *Evaluating* –Imitando- que se agrupan en pares en las 8 fases del método (Figura 2.44).



Figura 2.44 Lupas de Diseño. Etapas en el desarrollo de la metodología

A continuación se analizan algunos de los proyectos realizados por los alumnos siguiendo este enfoque metodológico.

CASO D1

En la tabla 2.D.1 se presentan las características relevantes correspondientes al caso D1.

EXPERIENCIA D	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO D1	2015	Taller de Diseño 2° y 3° año Carrera Diseño Industrial Sede Alto Valle y Medio, UNRN	D Seminario de Biomimética Projectual	16 clases (32 horas)	- Alcucero - Lastra	Herramientas de jardinería. Referente natural: Raya marina

Tabla 2.D.1 Características del caso D1

En este caso el proyecto desarrollado partió del análisis de las propiedades encontradas y analizadas en el pez conocido como *raya marina*.

La investigación comenzó en función de la aplicación de la metodología de lupas de diseño propuesta.

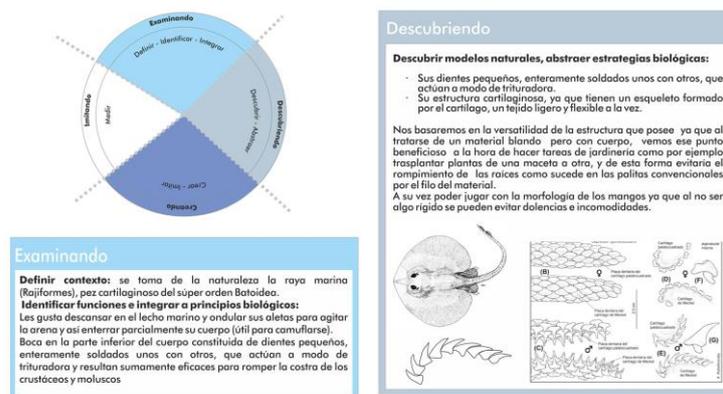


Figura 2.45 Referencias metodológicas y características del referente natural en el que se basó el proyecto

En la primera etapa –Definir– se decide que el trabajo práctico comenzará a partir de la observación y las características presentadas por la raya marina.

A continuación se identifican e integran las funciones y los principios biológicos, se observa la posibilidad que tiene el animal de camuflarse a partir de generar una ondulación con sus aletas y de esta forma ocultarse parcialmente en la arena; por otro lado, se identifica la función trituradora que poseen en los dientes pequeños inferiores que resulta sumamente eficaz para romper estructuras duras como las costras de los moluscos y crustáceos (Figura 2.45).

En la segunda etapa –*Descubrir*– se procede a identificar modelos naturales y abstraer estrategias biológicas, observándose que la estructura cartilaginosa genera un tejido ligero y flexible y que los dientes pequeños se encuentran soldados entre sí actuando a modo de trituradora.

Se tomaron estas estrategias biológicas y se comenzó a plantearlas para los elementos a diseñar en el proyecto, utilizando la idea de estructura flexible para aplicarla al traslado de plantas cuidando de esta forma las raíces y también tomando la flexibilidad observada en la morfología para proponer cierta flexibilidad adaptada al mango del producto para hacer amigable el uso del mismo.

En la tercera etapa –*Creación*– se aplicaron las condiciones biológicas analizadas adaptándolas a las funciones requeridas en los productos a desarrollar, (Figura 2.4.5).



Figura 2.46 Aplicación de las etapas planteada por la metodología: Lupas de diseño

En la cuarta etapa –*imitar*– es donde se adaptan las cualidades observadas y se trasladan a los objetos (Figura 2.46).

En el caso de la pala se utilizó la función de flexibilidad de las aletas observada para proponer un objeto semirrígido que resuelva la función de la pala y a la vez también tenga cierta flexibilidad para no lastimar las raíces de la planta.

En el caso del rastrillo se utilizó la función observada en los dientes pequeños delanteros adaptándolos al objeto y dándole más rigidez al mismo (Figura 2.47).

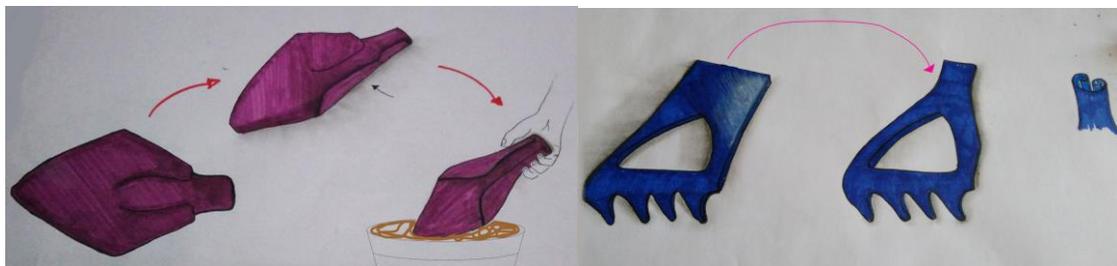


Figura 2.47 Propuesta de pala y rastrillo tomando características del referente natural *raya marina*

CASO D2

En la tabla 2.D.2 se presentan las características relevantes correspondientes al caso D2.

EXPERIENCIA D	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO D2	2015	Taller de Diseño 2° y 3° año Carrera Diseño Industrial Sede Alto Valle y Medio, UNRN	D Seminario de Biomimética Proyectual	16 clases (32 horas)	- Paz - Barceló - Melo - Castaño	Herramientas de jardinería. Referente natural: Lombrices

Tabla 2.D.2 Características del caso D2

En este caso se tomó como referencia natural a las lombrices de tierra (Figura 2.48).

En la etapa de *Definir* se observaron características como que las lombrices prefieren sitios húmedos, no toleran las sequías ni las heladas y proliferan en suelos frescos. La función que se *Identifica* es la de la posibilidad que tienen de realizar importantes

modificaciones físicas, variando el ambiente para ellos y otros organismos y alterando la disponibilidad del hábitat y de alimentos para otros animales y plantas. Al *Integrar* los principios de vida se observa que las lombrices desempeñan un importante papel en la ecología del suelo ya que éste se vuelve más fértil al ser removido y aireado por la acción de las lombrices.



Figura 2.48 Referencias y características del elemento de la naturaleza en el que se basará el proyecto

En las etapas de *Descubrir* y *Abstraer* se destacan ciertas características tales como que el sistema muscular de la lombriz consiste en una serie de fibras externas circulares o transversales a los músculos que rodean al cuerpo y por otro lado poseen una serie interna de fibras musculares longitudinales que sirven para mover las cerdas. Se disciernen así tres elementos esenciales de su sistema nervioso: rectores, conductores y efectores.

En la etapa de la *Creación* los alumnos se basaron en la observación de las setas (que ayudan a la tracción para el movimiento a través del suelo) y del sistema muscular (que fue analizado el traslado y el proceso de descomposición de la materia orgánica), (Figura 2.49).



Figura 2.49 Aplicación de las etapas planteada por la metodología: Lupas de diseño

La propuesta de los objetos (Figuras 2.50 y 2.51) toma lo observado en las *lupas de diseño* y lo *Imita* en cierto grado para generar una propuesta donde se observan las características extraídas utilizadas para lograr una propuesta innovadora en la pala y rastrillo generando en la pala una contención del material a trasladar y en el rastrillo cierta movilidad en los dientes del mismo basada en el movimiento observado en el referente natural.



Figura 2.50 Propuesta de pala tomando características de un referente natural



Figura 2.51 Propuesta de rastrillo tomando características de un referente natural

Estas funciones son asociables o deseables para la función de las herramientas de jardinería que debían diseñarse mediante soluciones relativamente convencionales como piezas y elementos fijos bastante distintos de la casi total flexibilidad/movilidad que exhibe la lombriz de tierra y los anélidos en general con su conformación muscular anular variable regulada por elementos longitudinales de torsión.

La función de abstracción, que constituye una fase del método DL, en este caso es muy importante pues los elementos entregados por el análisis de la referencia natural son propios de una complejidad de forma móvil que no podía, por exceso, transcribirse al diseño de estas herramientas, de modo que el mismo debe hacer uso de ciertas decisiones de definición de forma y función que deben decantar el principio funcional observado a través de la abstracción y selección de alguna de sus características para las aplicaciones específicas que contiene el proyecto.

CASO D3

En la tabla 2.D.3 se presentan las características relevantes correspondientes al caso D3.

EXPERIENCIA D	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO D3	2015	Taller de Diseño 2° y 3° año Carrera Diseño Industrial Sede Alto Valle y Medio, UNRN	D Seminario de Biomimética Proyectual	16 clases (32 horas)	- Tempo	Herramientas de jardinería. Referente natural: Grillo Topo

Tabla 2.D.3 Características del caso D3

En este caso el enfoque del proyecto y la aplicación del método DL se realizó a partir de tomar como referente natural al insecto conocido como grillo topo.

En primer lugar se *Definió* el uso del referente del grillo topo en función de considerar su capacidad para la actividad de excavación.

Se *Identificó* además el insecto posee ciertas características para desplazarse en la tierra que fueron analizadas en esta instancia en función de posibles aplicaciones del sistema de movilidad, (Figura 2.52).



Figura 2.52 Referencias y características del elemento de la naturaleza en el que se basará el proyecto

Al *Integrar* los principios de vida observados en el insecto analizado se comenzó la fase de sintetización y relacionamiento de las cualidades o prestaciones observadas para luego llegar a la propuesta de los objetos planteados en el ejercicio proyectual. En la etapa de *Descubrir* se observan las características que poseen las extremidades del insecto que asemejan a azadones y que con la ayuda de la morfología que presenta la cabeza se logra generar el avance dentro de la tierra, sobre todo en suelos húmedos, (Figura 2.53 y 2.54).



Figura 2.53 Aplicación de las etapas planteada por la metodología: Lupas de diseño

Al *Abstraer* estas dos características ellas se asumen como referencias para que el diseño en las fases de *Creación* e *Imitación* aplique y elabore las mismas para trasladarlas a los objetos a diseñar (Figura 2.54 y 2.55).



Figura 2.54 Propuesta de pala tomando características del referente grillo topo.

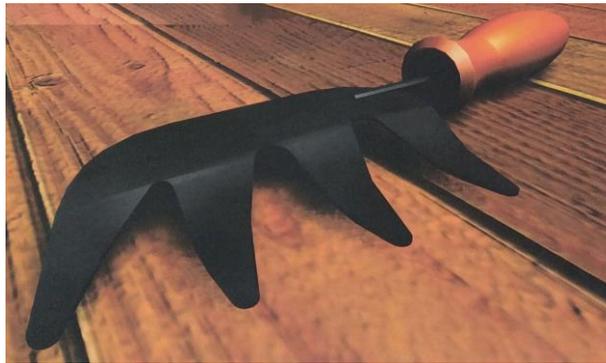


Figura 2.55 Propuesta de rastrillo tomando características del referente grillo topo.

A modo de comentario de conclusión de los casos analizados en la Experiencia D se observa lo siguiente:

- (1)** que la misma condujo al modelo de aplicación de las lupas de diseño planteadas por el método DL analizando propiedades de distintos modelos naturales para luego incorporarlos en procesos proyectuales,
- (2)** que el desarrollo de los distintos modelos naturales aplicados en los casos abrieron instancias en cuanto a las diversas intervenciones posibles sobre el mismo kit de objetos,
- (3)** que a partir de la implementación de las etapas planteadas por la metodología DL, se ordenó el proceso proyectual diferenciando las actividades realizadas en cada una de ellas.

EXPERIENCIA E

En este ejercicio proyectual de taller básico de un ámbito educativo terciario la consigna planteada fue la de desarrollar un objeto específico definido de entrada que fuera un set de herramientas de jardinería (pala y rastrillo).

Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Objetivos	Metodología	Casos
2016	Taller de Diseño 1° año Carrera Diseño Industrial Instituto Terciario ORT Argentina	E Trabajo Práctico de Biomimetismo Proyectual	10 clases (20 horas)	<ul style="list-style-type: none"> - Incorporar las definiciones y los conocimientos generales sobre la biomimética comprendiendo sus desarrollos y posibles aplicaciones. - Comprender su vinculación con el diseño desde las áreas tecnológicas, proyectuales y metodológicas. - Desarrollar un producto aplicando las operaciones genéricas de la biomimética. 	Design Lens (DL)	Herramientas de jardinería Pala y Rastrillo E1 Referente natural: Raíces de plantas E2 Referente natural: Flores E3 Referente natural: Plantas

Tabla 2.E Resumen de la Experiencia E

Los alumnos trabajaron a partir de la secuencia para la resolución de problemas planteada en la metodología DL (*Design Lens*) planteada por Janine Benyus.

Estos lentes o lupas de diseño consisten en una colección de diagramas que representan visualmente los fundamentos de la propuesta biomimética de aproximación al diseño formulada por esta bióloga que además acuñó la noción de *biomímesis* (*biomimicry*).

Este enfoque provee de un contexto sobre cómo, que y porque la biomimética encaja dentro de un proceso de cualquier tipo de disciplina en cualquier dimensión del diseño.

Existen cuatro áreas donde las lupas de diseño son fundamentales en el desarrollo de un proceso de diseño a saber (1) *Scoping* –Examinando-, (2) *Discovering* – Descubriendo-, (3) *Creating* –Creando- y (4) *Evaluating* –Imitando- que se agrupan en pares en las ocho fases del método (Figura 2.5.).

El trabajo práctico constó de una duración de diez clases, donde en primer lugar se analizaron y discutieron las características y la aplicación de tal método proyectual biomimético.

En la primera etapa se definió el problema de una manera general estableciendo las propiedades y funciones de los objetos planteados y en cierto modo la caracterización o enunciación de los aspectos que debía resolver el diseño.

En la siguiente etapa de análisis se estudia el problema (como aquello que el diseño debía solucionar) para entender los conflictos y contradicciones que pueden aparecer en el proceso; es decir la intención de construir una trama lógica en la que pudieran advertirse componentes opuestos o por el contrario, sinérgicos o complementarios.

En esa etapa el grupo de trabajo comienza a buscar referentes analógicos observados en la biología. Una selección de estas referencias se analizan en mayor detalle para luego realizar comparaciones entre las soluciones observadas en la naturaleza y las necesidades de los objetos planteadas previamente, entendidas así como problemas que el diseño solucionará y que quizá, de modo analógico, referencias orgánicas podrían suministrar direcciones de soluciones posibles.

A partir de las mismas se comienza la construcción de campo de nexos o relaciones y posibles extrapolaciones entre lo observado en la naturaleza y su transferencia al campo artificial.

En la siguiente etapa de creación es donde se incorporan algunos de los principios referenciales encontrados para generar los objetos.

Los grupos trabajaron de tal forma, en las propuestas de diseño siguiendo las etapas planteadas por la metodología DL cuya validez fue comprobada mediante la conclusión del ejercicio con el aporte de las propuestas de pala y rastrillo cuyo proyecto se basó en efectuar aplicaciones de soluciones de diseño extraídas de la biología.

Por constituir un trabajo básico o preliminar de inicio de carrera, el objetivo didáctico principal no fue producir un resultado de diseño final, sino más bien entender e incorporar en los procesos subjetivos de proyecto, una metodología racional y organizada.

Esto se desarrolló a partir de apropiarse de archivos de soluciones orgánicas susceptible de ofrecer información precisa para poder resolver problemas o contradicciones del encargo de proyecto y alcanzar a completar de todas maneras, un proceso de carácter creativo e innovativo.

La idea es que la capacidad creativa propia de cada sujeto en esta instancia preliminar de su formación no se bloquee sino que se encauce y se potencie para lograr así mejor calidad en los resultados.

En las figuras 2.56 y 2.57 se consignan algunas transcripciones preliminares de rasgos orgánicos para posibles soluciones proyectuales que se desarrollaron durante la primera etapa de la ejercitación.



Figura 2.56 Primeras propuestas surgidas de la definición y análisis de posibles referentes observados en la naturaleza

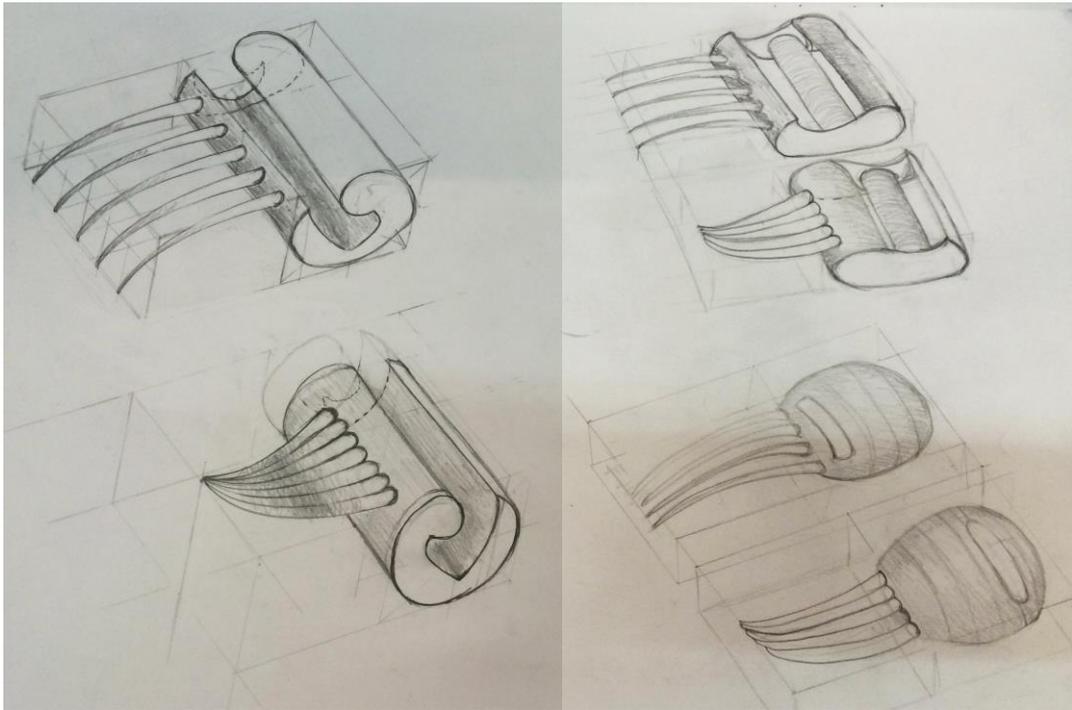


Figura 2.57 Primeras propuestas surgidas de la definición y análisis de posibles referentes observados en la naturaleza

A continuación se detallan tres de los casos más característicos de los realizados por los grupos de alumnos.

CASO E1

En la tabla 2.E.1 se presentan las características relevantes correspondientes al caso E1.

EXPERIENCIA E	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO E1	2016	Taller de Diseño 1° año Carrera Diseño Industrial Instituto Terciario ORT Argentina	E Trabajo Práctico de Biomimetismo Projectual	10 clases (20 horas)	- Alonso	Herramientas de jardinería. Referente natural: Raíces de plantas

Tabla 2.E.1 Características del caso E1

En este caso las referencias tomadas del mundo orgánico fueron los tubérculos y raíces vegetales que se desarrollan penetrando el suelo, (Figura 2.58).

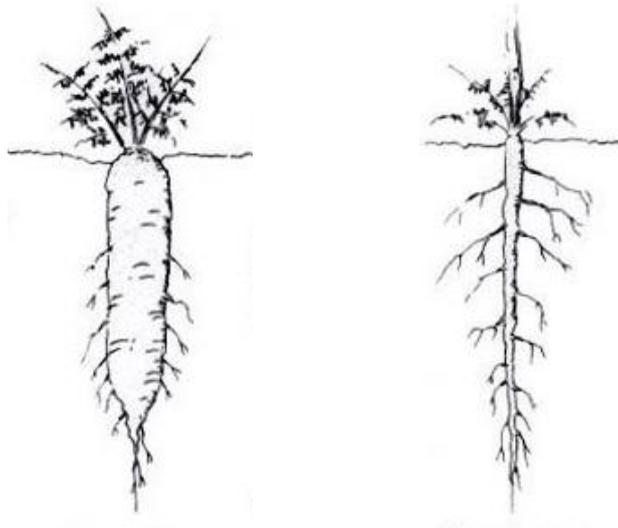


Figura 2.58 Referencia Natural: Raíces

La función de penetrabilidad, dada por la forma aguzada redondeada en el tubérculo y por las ramificaciones diversificadas en las raíces, cuya geometría generativa permite buscar en el suelo el punto más débil y penetrable, fueron asumidas como características genéricas aplicables a la pala.



Figura 2.59 Productos propuestos: pala y rastrillo

Esta reconfigura en su condición envolvente la forma del tubérculo y en el caso del rastrillo, cuyos elementos de rasgado, penetración y disgregación, evocan la geometría radicular, (Figura 2.59).

CASO E2

En la tabla 2.E.2 se presentan las características relevantes correspondientes al caso E2.

EXPERIENCIA E	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO E2	2016	Taller de Diseño 1° año Carrera Diseño Industrial Instituto Terciario ORT Argentina	E Trabajo Práctico de Biomimetismo Proyectual	10 clases (20 horas)	- Curzel	Herramientas de jardinería. Referente natural: Flores

Tabla 2.E.2 Características del caso E2

En este caso se tomaron como referencias características presentadas en las formas de las flores Zantendeschia (Figura 2.60) y Hakea Laurina (Figura 2.61).



Figura 2.60 Referencia Natural: Flor: Cala, llamada Zantedeschia



Figura 2.61 Referencia Natural: Flor: Hakea Laurina



Figura 2.62 Productos propuestos: pala y rastrillo

Para el desarrollo de la propuesta de la pala, se tomó como referente natural la forma de plegadura plana de generación helicoidal que presenta la cala (Zantendeschia) para asumir tal referencia de plegadura (con su cualidad de resistencia).

Como referencia natural para el desarrollo del rastrillo se tomó el modelo de flores y cactáceas basado en hojas-espinas de generación radial (Hakea Laurina) como alusión desarrollada en el caso del elemento rastrillo (Figura 2.62).

CASO E3

En la tabla 2.E.3 se presentan las características relevantes correspondientes al caso E3.

EXPERIENCIA E	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO E3	2016	Taller de Diseño 1° año Carrera Diseño Industrial Instituto Terciario ORT Argentina	E Trabajo Práctico de Biomimetismo Proyectual	10 clases (20 horas)	- Pacheco	Herramientas de jardinería. Referente natural: Plantas

Tabla 2.E.3 Características del caso E3

En este caso la doble referencia a dos modelos de hojas vegetales (Figura 2.63 y 2.64).

Por un lado, las hojas duras, largas y afiladas (Figura 2.63), Yucca Filamentosa y por otro lado, la planta Codiaeum Variegatum, que presenta hojas retorcidas de generación helicoidal cóncavas (Figura 2.64) que tienen la particularidad de retener gotas de lluvia.

Esto suscitó la respectiva motivación para el diseño: en el primer caso del elemento pala, cuya forma permite una excavación rotacional, y en el segundo caso del elemento rastrillo que se piensa como un manojo de hojas aguzadas tipo púa que funcionarían en la tarea de puntear, remover y excavar tierra.



Figura 2.63 Referencia Natural: Planta: Yucca filamentosa



Figura 2.64 Referencia Natural: Planta: *Codiaeum variegatum*



Figura 2.65 Productos propuestos: pala y rastrillo

A modo de comentario de conclusión de los casos analizados en la Experiencia E se observa lo siguiente:

- (1) que la misma condujo al modelo de aplicación de las lupas de diseño planteadas por el método DL analizando propiedades de distintos modelos naturales para luego incorporarlos en procesos proyectuales,
- (2) que el desarrollo de los distintos modelos naturales aplicados en los casos abrieron instancias en cuanto a las diversas intervenciones posibles sobre el mismo kit de objetos,

(3) que a partir de la implementación de las etapas planteadas por la metodología DL, se ordenó el proceso proyectual diferenciando las actividades realizadas en cada una de ellas.

EXPERIENCIA F

En esta experiencia también desarrollada en un curso inicial y con un desarrollo con una duración de dos meses donde la consigna planteada fue la de diseñar un *kit* de herramientas para jardinería.

Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Objetivos	Metodología	Casos
2017	Taller de Diseño 1° año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU - UBA	F Trabajo Práctico de Biomimetismo Proyectual	10 clases (40 horas)	<ul style="list-style-type: none"> - Incorporar las definiciones y los conocimientos generales sobre la biomimética comprendiendo sus desarrollos y posibles aplicaciones. - Comprender su vinculación con el diseño desde las áreas tecnológicas, proyectuales y metodológicas. - Desarrollar un producto aplicando las operaciones genéricas de la biomimética. 	BioTriz (BT)	Herramientas de jardinería Kit de 3 elementos a definir por el grupo de alumnos F1 Pala Cultivador Trasplantador F2 SERRUCHO Tijera Weeder F3 Cultivador Pala Trasplantador

Tabla 2.F Resumen de la Experiencia F

Los objetos a desarrollar fueron seleccionados por los alumnos en función de la definición preliminar de un contexto de aplicación o utilización y de un usuario definido.

Los grupos trabajaron a partir de la secuencia para la resolución de problemas planteada en la metodología BioTriz (Figura 2.1.).

En la primera etapa se definió el problema de una manera general estableciendo las propiedades y funciones de los objetos seleccionados.

En la siguiente etapa de análisis se estudia la demanda de diseño como un problema para entender e dicha formulación los conflictos y contradicciones que pueden aparecer en el proceso de diseño (entendido como alcance de una solución al problema).

En la siguiente etapa se pasa a describir el problema como un conflicto entre un par de parámetros (enmarcados en la matriz de contradicción de 39x39 filas y columnas).

Los 39 parámetros en la columna vertical son las características del problema que se necesitan mejorar, los 39 parámetros en las filas horizontales son los que se encontrarían afectados degradados como resultado de mejorar los parámetros definidos para la resolución del problema, (Anexo).

Los números que aparecen en la intersección entre estos parámetros son los que van a servir de guía para la búsqueda de la solución al problema.

A continuación se plantearon los parámetros para la resolución de los objetos planteados (kit de herramientas de jardinería).

En esa etapa es donde comienzan los alumnos a buscar referentes análogos observados en los campos de la biología. Se analizan esos referentes para luego realizar una comparación entre las soluciones orgánicas escogidas y las necesidades - o problemas a resolverse - de los objetos planteadas previamente.

A partir de estas soluciones se comienza la definición de nexos o relaciones entre lo observado en la naturaleza y su transferencia al campo artificial.

En la siguiente etapa de creación es donde se incorporan los principios de invención encontrados para comenzar a generar la proyectación de los objetos.

La utilización de la metodología BT es apta para analizar relaciones analógicas entre referencias biológicas, ya catalogadas previamente, así como también para analizar opciones de diseño a partir de establecer correlaciones entre soluciones biológicas utilizadas con anterioridad y necesidades o problemas específicos tecnológicos.

Estas relaciones pueden tomarse con menor o mayor grado de profundización desde la adopción de categorías generales tomadas como punto de partida, hasta el análisis de condiciones o propiedades de funcionamientos naturales de mayor complejidad.

El uso de la metodología BT, a partir del uso de la Matriz *BioTriz*, ayuda a desarrollar habilidades graduales o progresivas de biomímesis proyectual desde la apropiación simple de una condición morfológica hasta la imitación compleja de mecanismos o funcionamientos propios de organismos naturales.

Para manifestar el espíritu de este ejercicio y su naturaleza didáctica más allá del análisis puntual de tres casos demostrativos de esta experiencia, las figuras 2.66, 2.67 y 2.68 transcriben las láminas de presentación de tres diferentes propuestas y en cada una de ellas se sintetizan los principios de la biomímesis proyectual y sus posibles intervenciones.



Figura 2.66 Panel 1. Primeras construcciones propuestas a partir del análisis de posibles referentes observados en la naturaleza



Figura 2.67 Panel 2. Primeras construcciones propuestas a partir del análisis de posibles referentes observados en la naturaleza



Figura 2.68 Panel 3. Primeras construcciones propuestas a partir del análisis de posibles referentes observados en la naturaleza

A continuación, se presenta unificadamente el objeto final diseñado, los principios de invención tomados como marcadores referenciales y los elementos orgánicos en los que se basan y fundamentan tales objetos proyectados.

Se pone especial énfasis en la consideración analítica observada en el referente natural, mediante la cual se sintetizan y definen cualidades o principios biológicos que pueden ser entendidos como soluciones de diseño de las que las herramientas mostradas en la misma lámina se adueñan y adaptan.

CASO F1

En la tabla 2.F.1 se presentan las características relevantes correspondientes al caso F1.

EXPERIENCIA F	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO F1	2017	Taller de Diseño 1° año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU - UBA	F Trabajo Práctico de Biomimetismo Proyectual	10 clases (40 horas)	- Berecochea - Vidal - Beranger	Herramientas de jardinería. Pala Cultivador Trasplantador

Tabla 2.F.1 Características del caso F1

En la primera etapa el grupo de alumnos definió el problema de una manera general estableciendo las propiedades y funciones de los objetos seleccionados.

En este caso, el kit de herramientas planteado estaba compuesto por una pala, un cultivador y un trasplantador.

Los objetivos planteados para este kit fueron los de resolver aspectos de comodidad y facilidad en su uso, así como también aspectos de protección y seguridad para el manejo de plantas de difícil manejo.

En la siguiente etapa se pasó a describir el problema como un conflicto entre un par de parámetros (enmarcados en la matriz de contradicción de 39x39 filas y columnas).

A continuación se plantearon los parámetros para la resolución de los objetos (kit de herramientas de jardinería).

El par de parámetros en conflicto seleccionados en este caso fueron los siguientes:

- **Mejora:** Forma (la configuración de la superficie característica de un objeto en el par de conflicto. Una forma definida y distintiva de la zona operacional durante el tiempo de operación).
- **Empeora:** Longitud del objeto estacionario (cualquier dimensión lineal del objeto se considera en conflicto. No es necesariamente la dimensión más larga).

A partir de la definición de estos dos parámetros, la Matriz *BioTriz* sugiere los siguientes principios de invención:

- 7. **Anidamiento**
- 10. **Acción previa**
- 13. **Inversión**
- 14. **Curvatura**

		EMPEORAR →		SUSTANCIA					ESPACIO				TIEMPO						
		MEJORAR ←		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
SUSTANCIA	1	Peso del objeto			5 35	3 26	28 27	5 8		29 17		29 2		10 14	2 8	5 34		10 35	35 3
		en movimiento			3 31	18 31	18 40	2 34		38 34		40 28		35 40	15 38	31 35		20 28	24 37
	2	Peso del objeto estacionario			5 8	19 6	28 2		10 1		35 30		5 35	13 10			2 27	10 20	1 28
		Perdida de sustancia	35 6	35 6		6 3	35 28	14 29	10 28	35 2	10 18	1 29	3 39	29 35	10 13	28 27	27 16	15 18	28 35
		Cantidad de sustancia	35 6	27 26	6 3		14 35	29 14		15 14	2 18	15 20		35 3	35 29	3 35	3 35	35 38	13 29
ESPACIO	6	Longitud del objeto en movimiento	8 15		4 29	29	8 35			15 17		7 17		1 8	13 4	19		15 2	14 4
		Longitud del objeto estacionario		35 28	10 28		15 14				17 7		35 8	13 14			1 10	30 29	30 14
	8	Area del objeto en movimiento	2 17		10 35	29 30	3 15	14 15				7 14		5 34	29 30	6		26	10 26
		Area del objeto estacionario	29 4		2 39	6 13	40 14	18 4			10 40		17 4		29 4	4 34	3		34 2
	9	Volumen del objeto en movimiento	2 26		36 39	29 30	9 14	1 7		1 7				1 15	29 4	6 35		2 6	10 6
		Volumen del objeto estacionario	29 40		34 10	7	15 7	4 35		4 17				29 4	38 34	4		34 10	2 34
	12	Forma	8 10	15 10	35 29	36	30 14	9 34	13 14	5 34		14 4	7 2		35 15	14 26		14 10	17 26
		Velocidad	2 28		10 13	10 19	8 3	1 14		9 30		7 29		35 15		3 19			

Tabla 2.F.1.1 Sección de la Matriz BioTriz con los parámetros y principios seleccionados

El principio seleccionado para ser tomado como punto de partida para la resolución del problema planteado que se tomó fue el siguiente:

14. **Curvatura:** Reemplazar las partes lineales o superficies planas con curvas. Reemplazar formas cúbicas por esféricas.

En la siguiente etapa, es donde los alumnos comenzaron a buscar referentes análogos observados en los campos de la biología vinculados al principio inventivo seleccionado.

Se analizaron varios referentes para luego realizar una comparación entre las soluciones orgánicas escogidas y las necesidades – o problemas a resolverse- de los objetos planteadas previamente.

En este caso, se desarrollan las tres herramientas requeridas mediante las siguientes referencias naturales que se encuentran detalladas en los siguientes paneles (figuras 2.70, 2.71 y 2.72).

En primer lugar, la relación pileo-pie del hongo como referencia del objeto pala; el principio aprehensivo de las pinzas frontales de los coleópteros o escarabajos como

referencia de la pinza y la solución del par frontal de pinzas serradas del insecto *dorcus titanus* para el desarrollo de la herramienta tijera.

Los referentes naturales seleccionados fueron diferentes a partir de la función necesaria para la operación a realizar en cada uno de los objetos.

El punto que se mantuvo en común en los tres elementos del kit fue el uso del principio inventivo (Curvatura) para el desarrollo de morfologías que permitan cumplir con los objetivos iniciales de protección, comodidad y seguridad.



Figura 2.69 Kit de Jardinería: Pala-Cultivador-Trasplantador

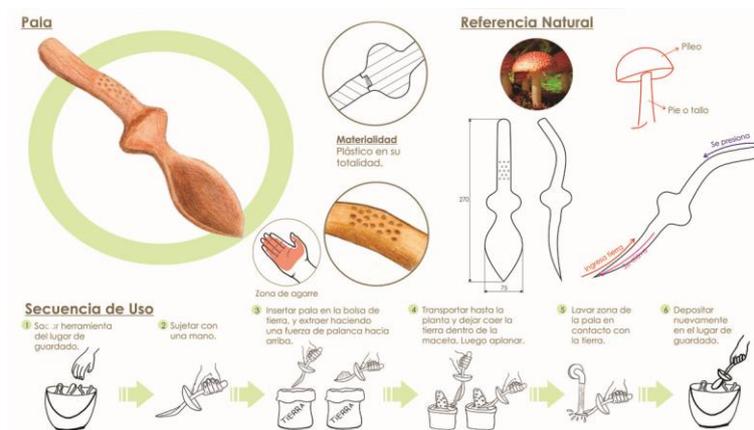


Figura 2.70 Panel 1. Desarrollo del objeto pala a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz

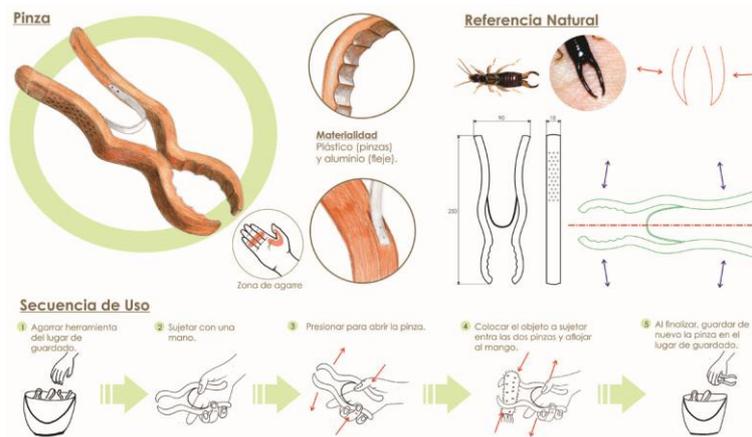


Figura 2.71 Panel 2. Desarrollo del objeto pinza a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz

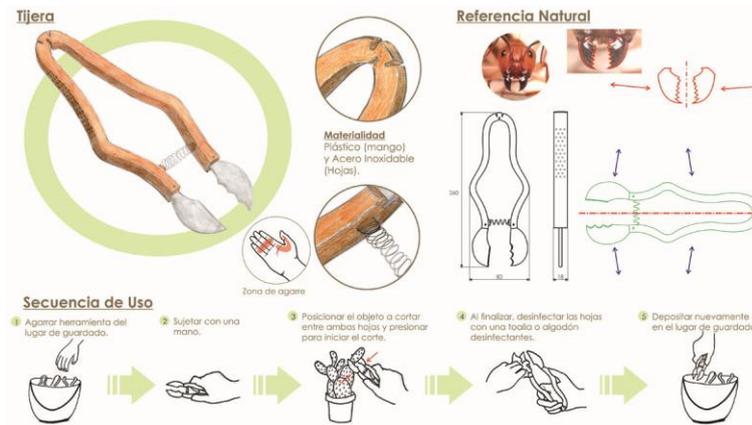


Figura 2.72 Panel 3. Desarrollo del objeto tijera a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz

En este caso se observa claramente la aplicación de, en primer lugar, referentes naturales seleccionados específicamente para la correcta realización de las operaciones de cada uno de los objetos, y en segundo lugar, se observa como un resultado positivo la intervención del principio inventivo de curvatura como elemento para plantear soluciones a los objetivos.

CASO F2

En la tabla 2.F.2 se presentan las características relevantes correspondientes al caso F2.

EXPERIENCIA F	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO F2	2017	Taller de Diseño 1° año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU - UBA	F Trabajo Práctico de Biomimetismo Proyectual	10 clases (40 horas)	- Mastro Simone - Lavaselli	Herramientas de jardinería. Serrucho Tijera Weeder

Tabla 2.F.2 Características del caso F2

En la primera etapa el grupo de alumnos definió el problema de una manera general estableciendo las propiedades y funciones de los objetos seleccionados. En este caso, el kit de herramientas estaba compuesto por un serrucho, una tijera y un weeder.

Los objetivos planteados para este kit fueron los de resolver un mejor agarre de las herramientas así como aspectos de liviandad y mejor accesibilidad.

En la siguiente etapa se pasa a describir el problema como un conflicto entre un par de parámetros (enmarcados en la matriz de contradicción de 39x39 filas y columnas).

A continuación se plantearon los parámetros para la resolución de los objetos planteados (kit de herramientas de jardinería).

El par de parámetros en conflicto seleccionados en este caso fueron los siguientes:

- **Mejora:** Forma (la configuración de la superficie característica de un objeto en el par de conflicto. Una forma definida y distintiva de la zona operacional durante el tiempo de operación).
- **Empeora:** Estabilidad de la composición del objeto (la integridad del sistema; la relación de los elementos del sistema durante el tiempo

operacional. El desgaste, la descomposición química y el desmontaje son todas las disminuciones en la estabilidad del objeto).

A partir de la definición de estos dos parámetros, la Matriz *BioTriz* sugiere los siguientes principios de invención:

- 1. Segmentación
- 4. Asimetría
- 18. Vibración mecánica
- 33. Homogeneidad

	↓	EMPEORAR	SUSTANCIA					ESPACIO					TIEMPO						
		→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SUSTANCIA	1	Peso del objeto en movimiento			5 35	3 26	28 27	5 8	29 17	29 2	10 14	2 8	5 34	10 35	35 3				
				3 31	18 31	18 40	2 34		40 28		35 40	15 38	31 35	20 28	24 37				
	2	Peso del objeto estacionario			5 8	19 6	28 2	10 1	35 30		5 35	13 10			2 27	10 20	1 28		
				13 30	18 26	10 27	28 35		13 2		14 2	29 14			19 6	35 26	15 35		
	3	Perdida de sustancia	35 6	35 6		6 3	35 28	14 29	10 28	35 2	10 18	1 29	3 39	29 35	10 13	28 27	27 16	15 18	28 35
ESPACIO	4	Cantidad de sustancia	23 40	22 32		10 24	31 40	10 39	24	10 31	39 31	30 36	18 31	3 5	28 38	3 18	18 38	35 10	10 23
			35 6	27 26	6 3		14 35	29 14		15 14	2 18	15 20		35 3	35 29	3 35	3 35	35 38	13 29
	5	Intensidad	18 31	18 35	10 24		34 10	35 18		29	40 4	29		22 5	34 28	10 40	31	18 16	3 27
			1 8	40 26	35 28	29 10		1 15	15 14	3 34	9 40	10 15	9 14	10 30	8 13	27 3		29 3	29 35
			40 15	27 1	31 40	27		8 35	28 26	40 29	28	14 7	17 15	35 40	26 14	26		28 10	10 14
	6	Longitud del objeto en movimiento	8 15		4 29	29	8 35			15 17		7 17		1 8	13 4			15 2	14 4
			29 34		23 10	35	29 34			4		4 35		10 29	8	19		29	28 29
	7	Longitud del objeto estacionario		35 28	10 28		15 14				17 7		35 8	13 14			1 10	30 29	30 14
			40 29	24 35		28 26				10 40		2 14	15 7			35	14	7 26	
8	Area del objeto en movimiento	2 17		10 35	29 30	3 15	14 15				7 14		5 34	29 30	6		26	10 26	
		29 4		2 39	6 13	40 14	18 4				17 4		29 4	4 34	3		4	34 2	
9	Area del objeto estacionario		30 2	10 14	2 18	40 4		26 7								2 10	10 35	10 15	
			14 18	18 39				9 39								19 30	4 18	17 7	
10	Volumen del objeto en movimiento	2 26		36 39	29 30	9 14	1 7		1 7				1 15	29 4	6 35		2 6	10 6	
		29 40		34 10	7	15 7	4 35		4 17				29 4	38 34	4		34 10	2 34	
11	Volumen del objeto estacionario		35 10	10 39	35	9 14	19 14	35 8					7 2			35 34	35 16	35 37	
			19 14	35 34	3	17 15		2 14					35			38	32 18	10 2	
12	Forma	8 10	15 10	35 29	36	30 14	29 34	13 14	5 34		14 4	7 2		35 15	14 26		14 10	17 26	
		29 40	26 3	3 5	22	10 40	5 4	10 7	4 10		15 22	35		34 18	9 25		34 17	34 10	
13	Velocidad	7 28		10 13	10 19	8 3	1 14		5 30		7 29		35 15		3 19				
		13 38		28 38	29 38	26 14	8		34		34		18 34		35 5				

Tabla 2.F.2.2 Sección de la Matriz BioTriz con los parámetros y principios seleccionados

Los principios de invención seleccionados para ser tomados como punto de partida para la resolución del problema serían los siguientes:

1. **Segmentación:** Divide un objeto en partes independientes.
2. **Asimetría:** Reemplazar una forma simétrica por una asimétrica.

En esa etapa es donde los alumnos comenzaron a buscar referentes análogos observados en los campos de la biología y tomando los principios de invención propuestos por la Matriz *BioTriz* como punto de partida.

Se analizaron esos referentes para luego realizar una comparación entre las soluciones orgánicas escogidas y las necesidades – o problemas a resolverse- de los objetos planteadas previamente.

En el caso F2 se puede observar en los paneles transcritos en las figuras 2.74, 2.75 y 2.76 las indicaciones referenciales de la biomímesis: en primer lugar, el aprovechamiento del ángulo corporal de trabajo de percusión del *pájaro carpintero* para desarrollar la herramienta serrucho; la geometría de la pinza del *cangrejo violinista* para inspirar el diseño de la tijera y la consideración de la geometría del pico del *ave avoceta* para conformar el diseño de la herramienta *weeder*.



Figura 2.73 Kit de Jardinería: Serrucho-Tijera-Weeder

Los referentes naturales seleccionados se plantearon diferenciando las necesidades de cada uno de los objetos del kit, manteniendo lo propuesto desde los principios de invención en cuanto a la segmentación y la asimetría de los objetos. La aplicación de estos dos principios permitió dar solución a las problemáticas planteadas en el inicio en cuanto a lograr un mejor agarre y a la vez mejorar la accesibilidad para la operación de cada objeto.



Figura 2.74 Panel 1. Desarrollo del objeto serrucho a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz



Figura 2.75 Panel 2. Desarrollo del objeto tijera a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz



Figura 2.76 Panel 3. Desarrollo del objeto weeder a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz

En este caso se ha dado énfasis a, en primer lugar, cuestiones de relación entre forma y función en la observación y apropiación de los dos picos de aves y de la pinza del cangrejo; es decir los objetos resultantes (Figura 2.73) parten de la intención de lograr una transcripción cuidada de elementos orgánicos cuyas geometrías optimizan el alcance de una función o prestación del animal considerado. En segundo lugar, se observa la intención de aplicación de los dos principios de invención seleccionados para lograr la obtención de mejores resultados finales.

CASO F3

En la tabla 2.F.3 se presentan las características relevantes correspondientes al caso F3.

EXPERIENCIA F	Año	Ámbito Académico	Experiencia	Duración	Alumnos	Proyecto
CASO F3	2017	Taller de Diseño 1° año Cátedra Simonetti Carrera Diseño Industrial FADU - UBA	F Trabajo Práctico de Biomimetismo Proyectual	10 clases (40 horas)	- Giebert - Jonte - Longo	Herramientas de jardinería. Cultivador Pala Trasplantador

Tabla 2.F.3 Características del caso F3

En la primera etapa el grupo de alumnos definió el problema de una manera general estableciendo las propiedades y funciones de los objetos seleccionados. En este caso, el kit de herramientas a resolver estaba compuesto por un cultivador, una pala y un trasplantador.

En este kit los objetivos a cumplir eran los de lograr un buen agarre así como también facilidad en el uso y en la operación para usuarios con motricidad reducida.

En la siguiente etapa se pasa a describir el problema como un conflicto entre un par de parámetros (enmarcados en la matriz de contradicción de 39x39 filas y columnas).

A continuación se plantearon los parámetros para la resolución de los objetos planteados (kit de herramientas de jardinería).

El par de parámetros en conflicto seleccionados en este caso fueron los siguientes:

- **Mejora:** Facilidad de operación (Conveniencia de uso. El proceso fácil de operar tiene mejor capacidad de control y alto rendimiento).
- **Empeora:** Peso del objeto estacionario (la masa de un objeto en un campo gravitacional. La fuerza con que el objeto interactúa en su soporte o suspensión, en la superficie sobre la que se colocó).

A partir de la definición de estos dos parámetros, la Matriz *BioTriz* sugiere los siguientes principios de invención:

- 1. **Segmentación**
- 6. **Universalidad**
- 13. **Inversión**
- 25. **Autoservicio**

		EMPEORAR		SUSTANCIA					ESPACIO				
		MEJORAR		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SUSTANCIA	1	Peso del objeto en movimiento			5 35	3 26	28 27	15 8		29 17		29 2	
	2	Peso del objeto estacionario			5 8	19 6	28 2		10 1		35 30		
	3	Perdida de sustancia	35 6	35 2		6 3	35 28	14 29	10 28	35 2	10 18	1 29	
	4	Cantidad de sustancia	18 31	18 35	10 24		31 40	10 39	24	10 31	39 31	30 36	
	5	Intensidad	1 8	40 26	35 28	29 10		1 15	15 14	3 34	9 40	10 15	
ESPACIO	6	Longitud del objeto en movimiento	8 15		4 29	29	8 35			15 17		7 17	
	7	Longitud del objeto estacionario	29 34		23 10	35	29 34			4		4 35	
	8	Area del objeto en movimiento		35 28	10 28		15 14					17 7	
	9	Area del objeto estacionario	2 17	40 29	24 35		28 26				10 40		7 14
	10	Volumen del objeto en movimiento	29 4		2 39	6 13	40 14	18 4				17 4	
	11	Volumen del objeto estacionario		30 2	10 14	2 18	40		26 7				
	12	Forma	2 26	29 40	14 18	18 39	40 4		9 39				
TIEMPO	13	Velocidad	2 28		10 13	10 19	8 3	13 14		29 30		7 29	
	14	Duración de la acción del objeto en movimiento	13 38		28 38	29 38	26 14	8		34		34	
	15	Duración del objeto estacionario	19 5		28 27	3 35	27 3	2 19		3 17		10 2	
	16	Perdida de tiempo	34 31		3 18	10 40	10	9		19		19 30	
	17	Productividad		6 27	27 16	3 35			1 40				
ENERGIA	18	Fuerza	19 16		18 38	31			35				
	19	Estrés o presión	10 20	10 20	35 18	35 38	29 3	15 2	30 24	26 4	10 35	2 5	
	20	Temperatura	37 35	26 5	10 39	18 16	28 18	29	14 5	5 16	17 4	34 10	
	21	Intensidad de la iluminación	35 26	28 27	28 10	35	29 28	18 4	30 7	10 26	10 35	2 6	
	22	Uso de la energía moviendo el objeto	24 37	15 3	35 23	14 29	10 18	28 38	14 26	34 31	17 7	3 10	
	23	Uso de la energía por objeto estacionario	8 1	18 13	8 35	18 36	35 10	17 19	28	19 10	1 18	15 9	
	24	Poder	37 18	1 28	40 5		14 27	9 36	10	15	36 37	12 37	
	25	Perdida de energía	10 36	13 29	10 36	10 14	9 18	35 10	35 1		10 15	6 35	
	26	Estabilidad de la composición del objeto	37 40	10 18	3 37	36	3 40	36	14 16		36 37	10	
ESTRUCTURA	27	Precisión de la fabricación	36 22	22 35	21 36	3 17	10 30	15 19	15 19	3 35	35	34 39	
	28	Facilidad de la fabricación	6 38	32	29 31	30 39	22 40	9	9	39 18	38	40 18	
	29	Complejidad del dispositivo	19 1	2 35	1 1	19	35	19 32		19 32		2 13	
	30	Pérdida de información	32	32	1	19	19	16		26		10	
	31	Confiabilidad	12 18		35 24	34 23	5 19	12		15 19		35 13	
INFORMACIÓN	32	Precisión de medición	28 31		18 5	16 18	9 35	28		25		18	
	33	Factores perjudiciales afectados por el objeto		19 9	28 27	3 35							
	34	Factores dañinos generados por el objeto	8 36	19 26	28 27	4 34	26 10	1 10		19 38	17 32	35 6	
	35	Facilidad de operación	38 31	17 27	18 38	19	28	35 37			13 38	38	
	36	Facilidad de reparación	15 6	19 6	35 27	7 18	26	7 2	6 38	15 26	17 7	7 18	
	37	Facilidad de mantenimiento	19 28	18 9	2 37	25	26	6 13	7	17 30	30 18	2 3	
	38	Facilidad de transporte	21 35	26 39	2 14	15 32	17 9	13 15	37	2 11	39	28 10	

Tabla 2.F.3.3 Sección de la Matriz BioTriz con los parámetros y principios seleccionados

El principio inventivo seleccionado para ser tomado como punto de partida para la resolución del problema sería el siguiente:

- 6. Universalidad:** Hacer que el objeto realice múltiples funciones, eliminando así la necesidad de otros objetos.

En esa etapa es donde comienzan los alumnos a buscar referentes análogos observados en los campos de la biología y a su vez teniendo en cuenta a uno de los principios de invención sugeridos por la Matriz *BioTriz* (Universalidad) para utilizarlo como referencia para el desarrollo de las propuestas.

Se analizaron esos referentes para luego realizar una comparación entre las soluciones orgánicas escogidas y las necesidades – o problemas a resolverse- de los objetos planteadas previamente.

El caso F3 también parte de fundamentos de diseño del conjunto proyectado (las tres herramientas del *kit* presentado en la figura 2.77) extraídos puntualmente de referencias naturales tal como se presenta en los paneles de las figuras 2.78, 2.79 y 2.80: la garra de la suricata se toma como punto de partida para el desarrollo de la herramienta cultivadora; el caparazón del nautilus refiere al diseño de la pala y el pico prensil del hornero se utilizó para proyectar la herramienta trasplantadora.

Como en los dos casos anteriores, los referentes naturales fueron seleccionados para lograr la mejor funcionalidad de cada uno de los objetos, el principio inventivo seleccionado se tomó como referente para el planteo de la solución general del kit en cuanto al desarrollo de un buen agarre dando la posibilidad de la facilidad para el uso y planteando cierto grado de universalidad en los objetos generando alternativas de uso.



Figura 2.77 Kit de Jardinería: Cultivador-Pala-Trasplantador



Figura 2.78 Panel 1. Desarrollo del objeto cultivador a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz



Figura 2.79 Panel 2. Desarrollo del objeto pala a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz

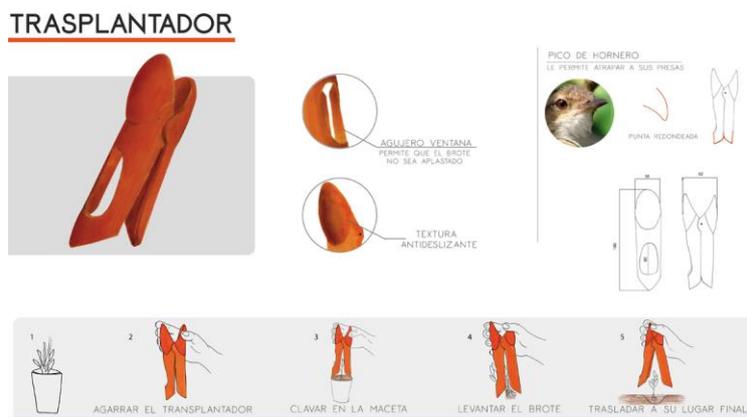


Figura 2.80 Panel 3. Desarrollo del objeto trasplantador a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz

A modo de comentario de conclusión de los casos analizados en la Experiencia F se observa lo siguiente:

- (1) que la misma propuso, a partir de la aplicación de la metodología BT, la incorporación de una cantidad de información de base que posibilitó la amplitud de respuestas a un mismo problema,
- (2) que a partir del orden dado a partir de la implementación de las etapas planteadas por la metodología BT, se generó un proceso proyectual que definió claramente cada actividad a realizar dentro de cada etapa,
- (3) que los alumnos obtuvieron una posible nueva metodología para aplicar en ciertos casos generando mayor facilidad para realizar la transferencia biomimética una vez incorporada la información planteada en la metodología.

Los casos de esta experiencia basados en el desarrollo de herramientas de jardinería es un trabajo que se realiza con bastante frecuencia en los cursos básicos de la carrera dada su escala aptica y la posibilidad de diseñar herramientas ergonómicas desde el análisis de la relación del producto con la mano.

2.2.3 Análisis de casos realizados con métodos tradicionales y comparación con casos realizados con métodos biomiméticas

La tabla 2.3 presente un cuadro que permite comparar los kit de herramientas de jardinería desarrollados con una metodología biomimética (columna izquierda, ya discutidos en el punto 2.2.2.) y las herramientas homólogas desarrolladas con los recursos metodológicos tradicionales (columna derecha), en alumnos de primer año de la carrera.

Se puede concluir al observar los productos diseñados por los alumnos:

- a) Un mayor grado de innovación y creatividad al implementar las metodologías con referencias a la biomimética. En algunos de los casos se observa la intención de profundizar el problema específico a resolver, proponiendo herramientas de jardinería nuevas o no tradicionales. En los casos donde se

trabajó desde las metodologías convencionales, las propuestas son simples alternativas tomadas de los modelos tradicionales, donde, por ejemplo se distingue claramente el agarre del objeto bien diferenciado de la zona funcional, sin cambiar la orientación angular para el uso del producto. Es decir, en tales casos el diseño suele restringirse a un *rediseño* de la pieza en cuestión. En general, se podría concluir que, a partir de las experiencias docentes realizadas, esta característica reproductiva corresponde a buena parte de los desarrollos proyectuales emergentes de las formas tradicionales de enseñanza del diseño industrial. En los casos donde se desarrollaron las propuestas desde la aplicación de la metodología biomimética, se verificaron resultados donde se observa la modificación de los ángulos de uso del producto, variaciones en el agarre del mismo y, también, diferentes maneras de vinculación entre el mango y la zona funcional. En algunos de los casos se obtuvieron propuestas integradoras de ambas zonas (funcional y de agarre) generando objetos de dimensiones más acotadas y de menor demanda de material y/o con mayor simplicidad de producción (moldeos de piezas únicas, simplificación de conectores entre partes, etc.). Muchas de las características que presentan los productos biomiméticos son consecuencia de la selección, el análisis y la traducción de alguna función del referente biológico seleccionado. Dichas funciones se asumen que han sido optimizadas al realizar acciones en sus contextos de vida evolutivo (percutir árboles, perforar suelos), o bien en las que la selección natural logró, además, la optimización del órgano interviniente (pico, garra, pinza). El resultado es la minimización de la energía y del tiempo requerida por el organismo para lograr la finalidad perseguida.

- b)** Los enfoques biomiméticos pueden ser aplicados en diverso grado de complejidad en momentos diversos de la formación proyectual. Estos enfoques se encuentran siempre asociados a perspectivas de investigación que van desde la simple curiosidad y capacidad de reconocer alguna propiedad orgánica, hasta investigaciones interdisciplinarias “*ad-hoc*” que

exploren en profundidad algún aspecto del mundo natural que pueda ser fruto de transferencias al desarrollo de productos.

- c) A su vez, estas aportaciones abren una perspectiva de posible profundización teórico-metodológica con posibilidades reflexivas consistentes para el campo del diseño en el que hoy predominan los criterios tipo *caja negra* y cierta apelación a una *creatividad* ligada al *diseño de autor*. En este caso, se entiende como posible imaginar que las proposiciones de una biomímesis proyectual apuntarían a una formación de diseñadores más racional y metódica, basada en referentes biológicos que no niega el efecto de novedad o descubrimiento del diseño subjetivo excepcional, sino que lo complementa a un estilo de proyecto más general y colectivo que, en ciertos aspectos, posee algunos rasgos emergentes del método científico.

CUADRO COMPARATIVO DE HERRAMIENTAS DE JARDINERÍA DESARROLLADAS CON DIFERENTES METODOLOGÍAS	
HERRAMIENTAS DE JARDINERÍA DESARROLLADAS CON UNA METODOLOGÍA BIOMIMÉTICA	HERRAMIENTAS DE JARDINERÍA DESARROLLADAS CON UNA METODOLOGÍA TRADICIONAL
	
	
	
	

Tabla 2.3 Cuadro comparativo de kit de herramientas de jardinería desarrolladas por alumnos de primer año de la Carrera de Diseño Industrial realizados con un enfoque biomimético y con uno tradicional.

2.2.4 Metodología propuesta

Para la aplicación de metodologías que incorporen a la biomimética y puedan ser implementadas en los desarrollos de proyectos en el marco del diseño industrial, se propone una metodología alternativa donde se generan diversas posibilidades de aplicación y desarrollo en función del proyecto a realizar.

Esta metodología surge a partir del análisis crítico de las tres metodologías que fueron profundizadas en el desarrollo de esta tesis (Punto 2.1.1.).

En cada una de ellas, la mirada fue puesta con particular interés en las herramientas posibles de ser utilizadas o reformuladas en una nueva metodología integradora acorde al desarrollo de trabajos prácticos en el marco del diseño industrial.

En la primera de las metodologías analizadas, Biotriz (BT), (Punto 2.1.1.1.) el enfoque sistémico y orientado desde una perspectiva científica resulta muy estructurado para la incorporación de la creatividad y la innovación en el marco de un ejercicio proyectual. Sin embargo, la base de conocimiento multidisciplinar que propone resulta muy interesante para la organización de la información obtenida ya que la información específica surge a partir de la selección de los principios inventivos.

En cuanto a la metodología planteada por Benyus, Design Lens (DL), (Punto 2.1.1.2.), el enfoque es más intuitivo, pretende desarrollar la creatividad, pero su aplicación específica no queda clara siendo su formulación muy general. Se basa en un pensamiento fuertemente ecologista con una clara postura ideológica con respeto al medioambiente.

En la tercer metodología presentada, Dos Aproximaciones (DA), la cual plantea un método dual (Punto 2.1.1.3.) es interesante para el desarrollo de ejercicios proyectuales en el grado, ya que genera dos caminos posibles de encarar un proyecto. Estas vías son claramente diferentes a la luz de los objetivos a desarrollar.

La propuesta metodológica de esta tesis, biomimética proyectual:

- Ha tomado los aspectos más significativos de cada uno de las tres metodologías anteriores.
- Está específicamente planteada para el desarrollo de proyectos en el marco de la carrera de diseño industrial.
- Contempla la adaptabilidad de la misma a las necesidades de cada proyecto según el interés particular del alumno y el grado de formación académica.

En la figura 2.2.1 se presenta un gráfico de la propuesta pensada como una matriz general de cinco columnas.

Dicha matriz se encuentra organizada partiendo, en primer lugar, desde la definición del nivel académico en el que se encuentra el alumno ya que ello definirá el grado de complejidad en función de los objetivos a cumplir en el desarrollo del ejercicio.

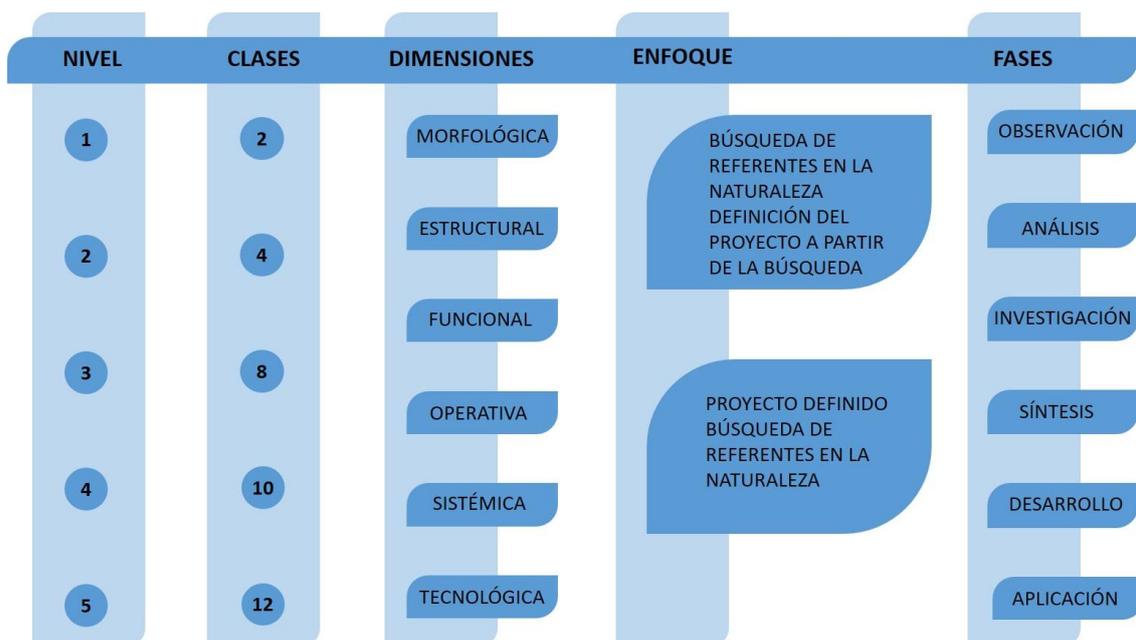


Figura 2.2.1 Metodología propuesta a partir del desarrollo de una matriz general

En la segunda columna se contempla la distinta duración de las clases según el nivel y el tipo de modalidad (workshop, seminario, trabajo práctico, etc) en que cada una de estas experiencias tendrá lugar.

La tercera columna corresponde a las diferentes dimensiones presentes en los procesos proyectuales:

- **Morfológica:** basada en el conjunto de características estético-formales del objeto.
- **Estructural:** basada en la los componentes del objeto y como se relacionan entre ellos.
- **Funcional:** basada en el funcionamiento interno del objeto, definiendo para qué sirve el objeto.
- **Operativa:** basada en la operatividad del objeto, definiendo como es su funcionamiento en su relación con el usuario.
- **Sistémica:** basada en la relación del objeto con otros objetos.
- **Tecnológica:** basada en los procesos productivos de los objetos.

En cada uno de los proyectos que se desarrollen se destacarán aquellas dimensiones que tengan prioridad de acuerdo al nivel académico o al enfoque que se plantee en los objetivos del proyecto.

Estas dimensiones pueden ser analizadas desde lo planteado por Simon, que fue desarrollado en las fichas presentadas en esta tesis, (Punto 1.1.2.1.) desde la siguiente configuración:

- **Entorno interno:** dimensión morfológica (configuración espacial) y dimensión estructural (materialidad y mecanismos).
- **Propósito:** dimensión funcional (tecno bio-replicación) y dimensión operativa del contexto interno, midiendo la respuesta del entorno.
- **Entorno externo:** la dimensión sistémica desde la interacción del objeto con otros objetos y la dimensión tecnológica desde los procesos productivos a escala industrial y su impacto en el medio ambiente.

La cuarta columna presenta los dos enfoques posibles íntimamente ligados al objetivo proyectual del ejercicio.

Partir desde el referente biológico para analizar una función a ser tecno-traducida o bien partir desde un objeto en el cual se quiere innovar.

La última columna presenta las seis fases que estarán siempre presentes en cada una de los proyectos pero la selección de las distintas etiquetas destaca el predominio de cada una de estas fases acorde al nivel académico y al enfoque del proyecto.

El orden de estas dimensiones es sólo una propuesta ya que podrían ser cambiadas y sobre todo sería deseable que fueran acompañadas por los conocimientos adquiridos en ese año en las diferentes materias presentes en la currícula de la carrera.

A continuación se presentan tres de las experiencias realizadas en la tesis, (Experiencia A, B, y E) presentadas en las tablas 2.A, 2.B y 2.E, donde se observa cómo sería la configuración de la matriz propuesta en relación a los casos presentados anteriormente.

En primer lugar, en la figura 2.2.2 se observa la aplicación de la metodología en la Experiencia A desarrollada en la tesis, (Tabla 2.A) donde se realizó un Workshop de Biomimetismo en el último año de la carrera, con una duración de ocho clases.

Esta experiencia se plantea desde las dimensiones operativa, sistémica y tecnológica con un enfoque desde la búsqueda de referentes en la naturaleza para luego definir el proyecto en función de lo observado en la búsqueda.

Las fases del proyecto donde se hizo mayor énfasis fueron en primer lugar, las de observación y análisis y, en segundo lugar, las de aplicación y desarrollo.

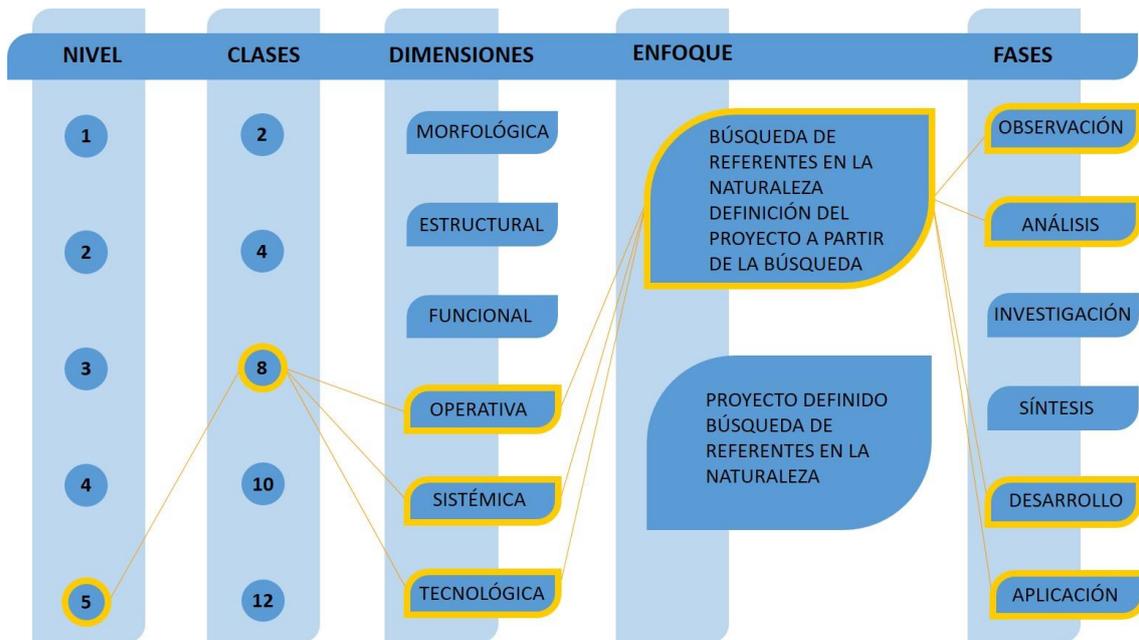


Figura 2.2.2 Ejemplo de la metodología propuesta de aplicación en el quinto año de la carrera

En la figura 2.2.3 se observa la aplicación de la metodología en la Experiencia B, que fue desarrollada en el primer año de la carrera, denominada *BioWorkshop* (Tabla 2.B).

Esta experiencia tuvo una duración de dos clases, donde se tomaron como aspectos principales para el desarrollo el ejercicio las dimensiones morfológica y estructural, planteado desde un enfoque de búsqueda de referentes naturales para luego definir posibles proyectos basado en las fases de observación, análisis e investigación.

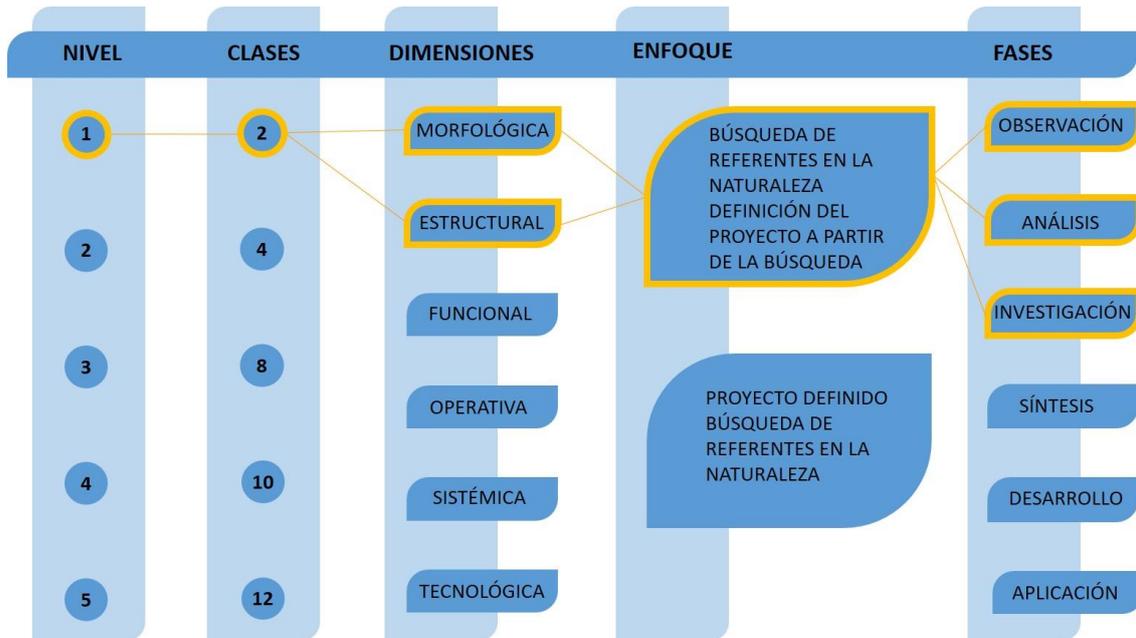


Figura 2.2.3 Ejemplo de la metodología propuesta de aplicación en el primer año de la carrera

En la figura 2.2.4 se observa la aplicación de la metodología en la Experiencia E presentada en la tesis (Tabla 2.E), donde se desarrolló un trabajo práctico de biomimetismo proyectual en el segundo año de la carrera, con una duración total de diez clases.

El enfoque propuesto fue el de partir de un proyecto definido para luego buscar referentes en la naturaleza, trabajando en las fases de observación, análisis, desarrollo y aplicación desde las dimensiones funcionales y operativas.

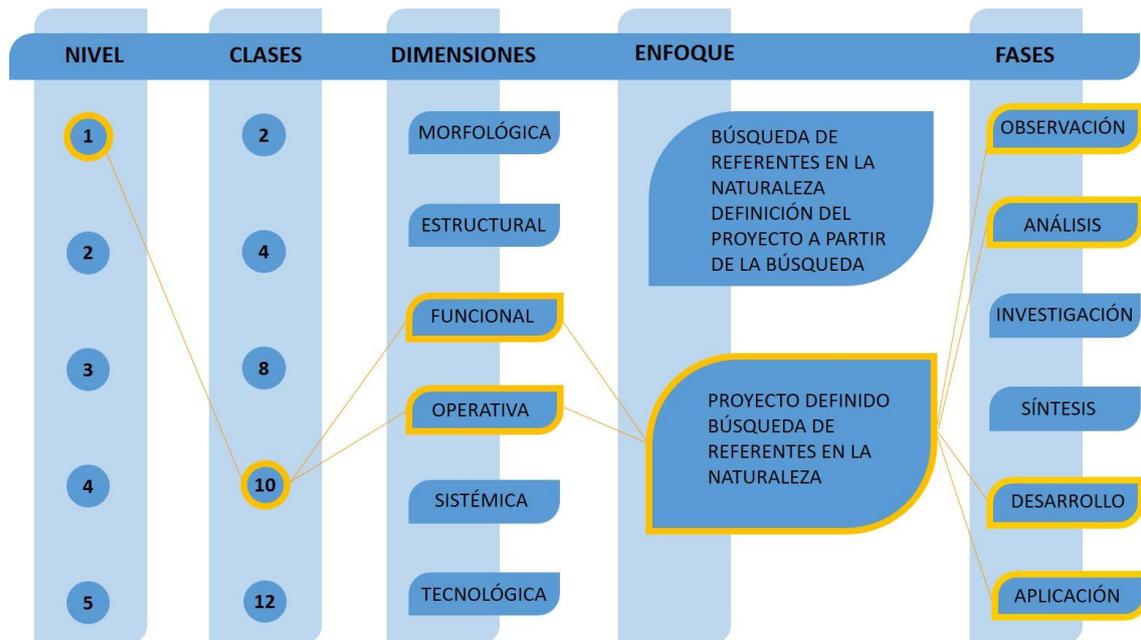


Figura 2.2.4 Ejemplo de la metodología propuesta de aplicación en el segundo año de la carrera

Una de las conclusiones obtenidas es la observación de que en los cursos básicos predominaron las analogías formales y funcionales simples y en los cursos avanzados emergen analogías de formas generativas complejas, aplicaciones de funcionalidades complejas, mayor audacia en la apropiación técnica de la cualidad orgánica detectada y mayor énfasis en la indagación sobre materialización.

A partir de esto es que se entiende como posible la formulación de una propuesta integradora que pueda ser aplicada en la enseñanza dentro del marco de los talleres de diseño industrial integrando y dosificando los matices y alternativas de la biomímesis.

Esta propuesta podría elaborarse a partir de los resultados en los diferentes desarrollos realizados y buscando lograr su aplicación en los procesos proyectuales de diseño industrial en nuevas y más comprensivas formulaciones de lo que llamamos *laboratorio proyectual*.

Si bien se ha aprovechado la teoría emergente de los aportes biomiméticos y se han efectuado los procesos de adaptación y adecuación de los mismos, se percibe como

necesaria la búsqueda de una formulación metodológica más enfocada hacia el diseño industrial, destacando claramente los distintos niveles de dimensiones en los conceptos biomiméticos según la etapa del proceso didáctico general.

También es importante proponer una clara diferenciación entre la realización de trabajos prácticos, *workshops* o seminarios enfocados al tema, más que nada vinculado a la duración de cada trabajo y considerando también el nivel del alumno.

En algunos casos se promueve una creatividad tipo *brainstorming* y una apertura casi empática a la biomimesis y en otros debe programarse un desarrollo proyectual fuertemente articulado con la investigación y la consultoría extradisciplinar.

2.2.5 Conclusiones

Las experiencias formuladas fuera de su inserción en la programación específica de cada uno de los talleres o cátedras en que se realizaron, fueron planteadas como una secuencia de experimentos para comprobar y demostrar hipótesis de la presente tesis y por tanto fueron concebidas a la manera de las experimentaciones que se hacen por ejemplo, en un laboratorio físico o biológico y en ese sentido adquieren el valor de una suerte de laboratorio proyectual, del cual las presentes experiencias son iniciales e incipientes pero seguramente abren la posibilidad futura de revisar por completo la estrategia de enseñanza del proyecto en Diseño Industrial.

En los casos donde la metodología aplicada fue la planteada por Janine Benyus se observó que propone una gran amplitud en su concepción o propuesta biomimética para ser aplicada en áreas muy diversas lo que hace que sea una metodología muy generalista y con falta de especificidad sobre todo técnica y presenta así más bien un perfil de encuadramiento ideológico de compromiso ambiental y actitud de diseño de alta sensibilidad frente a la crisis ecológica.

Algunos conceptos generales fueron trasladados a los ejercicios pero se notó cierta falta de vinculación a las problemáticas específicas del diseño industrial siendo un

esquema metódico que funcionó para realizar las primeras etapas de los ejercicios pero luego al pasarse a la etapa de la aplicación en el objeto a desarrollar de la inicial biorreferencia no contaba con las suficientes herramientas para su definición.

En los casos donde la metodología aplicada fue el de las dos estrategias ascendente y descendente entre la biología y la biónica se obtuvieron interesantes resultados también observando cierta falencia en las últimas etapas donde se integra, transforma y se aplican en el producto las características extraídas de la naturaleza.

Quizá la fase ascendente - desde una propiedad biológica hacia una aplicación biónica - sea la más promisoría en espacios didácticos básicos pues propone el análisis de tal propiedad como elemento objetivo, visible y comprobable en que fundar una transcripción artificial y en cambio, la secuencia descendente - desde el problema biónico hacia la solución biológica - se vincule más con estrategias de proyecto basadas en investigaciones experimentales más complejas y quizá vinculadas a la necesidad de cooperaciones interdisciplinarias. Desde luego el segundo camino, si fructifica, garantiza mayor y más calificada calidad de innovación que el primero.

Se entiende como posible proponer una aproximación desde este nuevo paradigma biomimético considerando el alto valor innovativo de las propuestas resultantes lográndose también originalidad y sobre todo facilitando la incorporación de nuevos conocimientos y procesos en relación al uso de nuevos materiales y a la incorporación de nuevas tecnologías.

Frecuentemente el proceso de trasposición del principio orgánico a su utilización artefactual exige o demanda creatividad a nivel de seleccionar el material y la forma de producción del objeto a diseñarse.

BIOMIMÉTICA PROYECTUAL

Aproximaciones a la enseñanza del proyecto en Diseño Industrial



CONCLUSIONES

3 Conclusiones finales

3.1 Conclusiones y reflexiones generales

En esta última sección se presenta una síntesis de la investigación emprendida en esta tesis y las conclusiones globales, ya que al final de cada sección se han expuesto las conclusiones correspondientes.

Con el título de *biomimética proyectual* se resumió la relación encontrada entre el campo de la biomimética y aquel de proyecto en diseño industrial.

El objetivo fue formular un marco teórico, a partir de la reelaboración de las ideas de H. Simon al plano proyectual, que permitiera analizar productos exitosos de origen biomimético, como también posibilitar una metodología alternativa de enseñanza en el plano proyectual, a la metodología tradicional, con el objetivo de superarla y vincularla con los procesos de innovación en el siglo XXI.

Para ello fue necesario revisar el campo biomimético desde sus orígenes, distinguir las áreas preponderantes, ver sus patentes, hallar las bases y redes disponibles en el mundo, revisar marcos teóricos generales, y marcos teóricos ligados a la enseñanza de la disciplina desde esta mirada, generar múltiples talleres con alumnos de diferente nivel académico y de distinta duración, y dar finalmente una propuesta (biomimética proyectual).

La decisión de trabajar desde la biomímesis proyectual con fines didácticos, se vinculó con la formulación y desarrollo de una serie programada de experiencias didácticas que conformaron un *laboratorio experimental* para presentar las diversas teorías, analizar y aplicar las metodologías biomiméticas consideradas, sistematizar y evaluar resultados.

Los alumnos que participaron de las experiencias tuvieron disponible un marco metodológico preciso (que se seleccionó en cada caso para verificar las posibilidades

de cada uno de los enfoques escogidos), para luego dar pie a la creatividad, pero desde una base de racional fundamentada.

Se pudo observar que, la biomímesis proyectual, genera una disposición natural hacia la investigación por parte de los alumnos.

Esto fue tanto para aquellos, que partieron de un referente biológico seleccionado buscando aplicaciones para el diseño, como para los que comenzaron con la idea de resolver un problema específico analizando cómo lo solucionaba la naturaleza. Se verificó que pensar en el artefacto como un sistema adaptativo complejo permitía incorporar niveles de comprensión que, partiendo de la observación del referente natural, iban logrando una elaboración cada vez más avanzada, que requería conocimientos interdisciplinarios.

A partir de la presentación de una selección de productos paradigmáticos en 1.1.2.1., la cual fue analizada bajo el modelo de Simon, se logró la construcción de un corpus empírico que permitió el desarrollo de herramientas didácticas que aporten un mejor entendimiento para la posterior aplicación de las ideas biomimética.

El desarrollo de las fichas presentadas en 1.1.2.1 estableció una serie de criterios en función de las categorías *entorno interno*, *externo* y *propósito*, generando una mayor profundidad al momento de analizar productos paradigmáticos, dejando en claro que las prácticas biomiméticas pudieran significar un aporte crítico y renovador de las teorías y prácticas del diseño industrial.

El *laboratorio proyectual* fue el espacio de experimentación empírica de la tesis y el lugar que permitió empezar a demostrar y poner a prueba la hipótesis de esta tesis. Es decir, el enfoque biomimético puede ser significativo para una renovación profunda de la práctica del diseño industrial, empezando tal renovación por la experimentación de nuevas formas de enseñarlo.

La perspectiva biomimética asegura posibilidades de conferir al proyecto el potencial innovativo de una eventual traslación a la producción industrial empresarial de las ideas trabajadas. De hecho varios de los trabajos realizados por los alumnos poseen valores innovativos genuinos, que valdría la pena desarrollar y, de este modo evaluar su viabilidad para el pasaje a productos.

Independientemente del nivel académico alcanzado, o el nivel de los cursos, en todos los casos, la biomímesis proyectual ofrece una variable y variada cobertura para atender los diferentes momentos formativos de la enseñanza de esta profesión.

El resultado alcanzado en la tesis pretende ser un sistema articulado y coherente de conceptos y proposiciones integrado en una propuesta para la enseñanza de la denominada *biomimética proyectual* tanto en el grado, como en el posgrado.

3.2 Perspectivas futuras

Esta tesis podría entenderse sólo como el comienzo de una propuesta para enriquecer, actualizar y fecundar la enseñanza proyectual en el marco del diseño industrial desde la perspectiva biomimética.

La puesta en juego de diferentes experiencias y sus respectivos casos ha permitido una primera exploración acerca de la actividad docente y hacia donde esta debe ser dirigida y, por lo tanto, la perspectiva futura es continuar fortaleciendo este marco teórico y consolidarlo definiendo instrumentos de validación para su posterior puesta en práctica en variadas condiciones, y en instancias didácticas de grado y posgrado.

Una de las directrices futuras devenidas de esta investigación, a partir de la biomimética proyectual, será construir un *archivo de proyectos institucional*, un repositorio organizado de respuestas y resultados, que pueda ser ofrecido como saber colectivo para futuros y evolutivos experimentos, en línea con posibles articulaciones con redes existentes de cooperación entre ámbitos formativos y productivos.

También será acuciante resolver cuáles son las características que distinguen el análisis biónico y la cultura de proyecto que se deriva del mismo, o cuál es la relación entre ese campo y el grado de comprensión alcanzado por la ciencia y la tecnología, desde sus propias fronteras y su forma de traducción a la enseñanza del diseño industrial.

La tesis enmarcada en el área temática del diseño industrial, revisada desde la biomimética, apunta a la construcción de un marco teórico sintético con objetivos intrínsecos y extrínsecos, es decir, la producción de conocimiento en sí. A ello se suma la propuesta metodológica aplicativa de ese conocimiento para la enseñanza del diseño industrial, que debe continuarse con nuevas investigaciones.

A medida que la ciencia y la tecnología continúan acelerando y cambiando nuestra sociedad, el diseñador tendrá un rol creciente como principal mediador en la implementación de estos cambios en la forma de objetos, productos o nuevas ideas, en la sociedad global.

El diseño de la naturaleza, y el que realiza el hombre, son sustancialmente diferentes. Entender esta diferencia es clave para la innovación. El hombre diseña utilizando su intuición, siempre con un propósito, mientras que la naturaleza lo hace por prueba y error, a lo largo de la evolución, sin planos prefijados o una finalidad última.

Dado que la barrera entre lo biológico y lo artificial se ha desdibujado, una nueva epistemología se establece en torno al concepto de artefacto, y por ello la conexión entre estos dos dominios debe iniciarse desde la formación de grado, continuar en el posgrado y, finalmente, ser continua, para la actualización permanente de los profesionales.

La necesidad de instalar la reflexión sobre el campo de la biomimética en el universo del diseño, y sobre las posibles y variadas metodologías de los procesos de

enseñanza - aprendizaje, es evidente. Esta necesidad está en proceso de implementación en muchas de las escuelas de diseño que son referentes en el mundo.

Esta formación tiene que tender al desarrollo de capacidades nuevas, en particular, aquellas que permitan captar, en forma dinámica, los aportes susceptibles a ser traducidos a productos.

La interdisciplina, es decir, la integración con expertos en biología y disciplinas afines, debe ser considerada. La experimentación con formas biológicas es esencial para que los alumnos puedan iniciar la etapa de análisis, en cada una de sus dimensiones (forma, función, operatividad, materialidad y estructura) de una manera que les permita poder abstraer los principios básicos, para luego, ser generalizados y aplicados en sus proyectos.

Ello debe realizarse teniendo en cuenta que la naturaleza, como referente conceptual, debe serlo a todas las escalas de tamaños. Desde el organismo hasta los ecosistemas, desde el átomo hasta las nebulosas estelares, con la comprensión creciente que ello implica. Pero también, con la certeza de obtener un potencial inspirador mayor, emergente natural, de la cada vez más alta jerarquía propia de estas relaciones.

Es decir, el diseñador tendrá que ser capaz de ver al mundo en su complejidad y su interrelación para poder fluir entre el mundo de los artefactos, el sistema biofísico, el social y, finalmente, el universo simbólico.

El diseñador, como un sintetizador de realidades emergentes, debe también reflejar las responsabilidades ecológicas y de sustentabilidad. Hoy el diseño sustentable es aceptado como una forma cultural, que propicia hallar las condiciones para el enriquecimiento social y medioambiental, con el propósito de aumentar la calidad de vida indefinidamente, a cualquier nivel.

La necesidad de construir entornos, que sean social, cultural y económicamente viables, debe ser acompañada, a su vez, de las preocupaciones ecológicas. En consecuencia, la sensibilidad tecnológica se vuelve un problema ético.

La formación sobre ética tecnológica y ecológica serán otras dimensiones a tener en cuenta en la formación de los diseñadores, verdaderos agentes de la genuina transformación social del siglo XXI.

Bibliografía

- Alexander, C., (1964), *Notes on the Synthesis of Form*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press.
- Altshuller, G. (1999), *The Innovation Algorithm: TRIZ, systematic innovation, and technical creativity*, Technical, Worcester Innovation Center.
- Anderson, A., McOwan, P., (2003), *Model of a predatory stealth behaviour motion*, Londres, The Royal Society Publishing.
- Ask Nature, (2016), *Skinkansen Train*, Estados Unidos, <https://asknature.org/idea/shinkansen-train/#.WtdZLojwblU>
- Bar-Cohen, Y., (2006) *Biomimetics--using nature to inspire human innovation*, Estados Unidos, California Institute of Technology.
- Barthelet, F., (2007) *Biomimetics for next generation materials*, Canada, Department of Mechanical Engineering, McGill.
- Barthlott, W., C. Neinhuis; (1997) *Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces*; Alemania, Planta.
- Bechert et al, (1997) *Experiments on drag-reducing surfaces and their optimization with an adjustable geometry*, Londres, Cambridge University Press.
- Bechert et al., (2000), *Experiments with three-dimensional riblets as an idealized model of shark skin*, Alemania, Springer.
- Benyus, J., (1997), *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, Nueva York, Perennial.
- Bhushan, B., (2009), *Biomimetics: lessons from nature—an overview*, Estados Unidos, Ohio State University.
- Bonsiepe, G., (1975), *Teoría y práctica del diseño industrial*, Barcelona, Gustavo Gili.
- Breyer, G. (1978), *Heurística del diseño*, Buenos Aires, Ediciones FADU.
- Buur, J., (1989), *Mechatronic design in Japan*, Copenhague, Institute for Engineering Design, Technical University of Denmark.

- BZ, Arquitectura, (2013), *Arquitectura de termitas*, Barcelona, España, <http://bzarquitectura.com/arquitectura-de-termitas/>
- Calisti, M., et al, (2016), *An octopus-bioinspired solution to movement anmanipulation for soft robots*, Bioinspiration&Biomimetics, Estados Unidos, IOP Science.
- Canina, M., (2005), *Biorobotica, Verso l'Hi Tech Design*, Roma, Aracne.
- Center for Extreme Bionics, (2016), MIT, Estados Unidos, www.media.mit.edu.
- Centre for Biomimetic and Natural Technologies, (2006), Inglaterra, University of Bath, www.bath.ac.uk
- Chang, J., (2000), *The Analogy of Function in Bionics*, China, University of Tainan.
- Chaplin et al, (1983), *Composite Materials*, Estados Unidos, <https://patents.google.com/patent/US4533589A/en>
- Daimler, (2018), *Taking its clues from nature – Mercedes-Benz bionic car*, Alemania, <http://media.daimler.com/marsMediaSite/ko/en/9361190>
- Damuth, J., (1981) *Population Density and body size in mammals*, Estados Unidos, *Nature* 290: 699-700.
- Déribéré, M., (1952), *Imágenes curiosas de la Naturaleza*, Paris, Larousse.
- Di Bartolo, C. (1981), *Strutture Naturali e Modelli bionici*, Milán, Departament of Industrial Design, Istituto Europeo di Design.
- Di Bártoło, C., Henninke J., Natchtingall W., Plasencia, C. & Songel, G. (2000), *La naturaleza como fuente de innovación*, Valencia, Editorial de la UP.
- Ellington, C.P., (1999), *The novel aerodynamics of inscet flight: applications to micro-air vehicles*, Cambridge, Inglaterra, *Journal of Experimental Biology*.
- Fernández, R. (2012), *Ecología artificial*, Buenos Aires, Concentra.
- Forbes, P, (2006), *Bio Inspiration – Engineering. New materials form nature*, Londres, W.W. Norton & Company.
- Fuller, R.B., Applewhite, E. J., Synergetics. (1975), *Explorations in the Geometry of Thinking*, Macmillan Publishing Co. Disponible en: <https://goo.gl/XkMqRK>. Acceso en web: 22 de jun de 2017.

- Gerardin, L, (1968), *La biónica, Biblioteca para el hombre actual*, Toronto, Canadá, Mc. Graw-Hill.
- Ghyka, M, (1968), *El número de oro*, Barcelona, Poseidón.
- Glier, M., Tsenn, J., Linsey, J., McAdams, D., (2011), *Methods for supporting bioinspired design*, Colorado, Estados Unidos, IMECE.
- Guest, S.D., Pellegrino, S., (1992), *Inextensional wrapping of flat membranes*, Department of engineering, Inglaterra, University of Cambridge.
- Hargittai I., Hargittai, M., (1994), *Symmetry: A Unifying Concept*, Bolinas, Shelter Publications.
- Herr, H., et al, (2014), *Autonomous exoskeleton reduces metabolic cost of human walking during load carriage*, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, Londres, BMC.
- Hey, J. et al, (2008), *Analogies and Metaphors in Creative Design*, artículo en Revista *International Journal of Engineering*, University of California.
- Holl, S.M., et al, (1993), *Solid-state NMR Analysis of Cross-Linking in mussel protein glue*, Londres, Science Direct, Elsevier.
- Huan, L., (2007) *Applications to the product innovation of bionics*, Tainan, University of Tainan.
- Hung, G. K., (2010), *Biomedical Engineering: Principles of the Bionic Man*, Singapur, World Scientific.
- Jabbari, E., (2014), *Handbook of Biomimetics and Inspiration*, Londres, World Scientific.
- Sarikaya, M., Aksay, I., (1992), *Nacre of abalone Shell: a natural multifunctional nanolaminated ceramic-polymer composite material*, Londres, Springer, Londres.
- Johnson, F., Virgo, K.S., (2006) *The bionic human: health promotion for people with implanted prosthetic devices*, New Jersey, Humana Press.
- Kiesler, F., (2002, 1939), *Sobre el correalismo y la biotécnica. Una definición y enfoque para el diseño de la construcción*, artículo en *O Monografías*, número 1, Santiago de Compostela, *Architectural Record*.

- Knight, D., Vollrath, F., (1999), *Hexagonal columnar liquid cristal in the cells secreting spider silk*, Londres, Science Direct, Elsevier.
- Kolman E. Frolov, I.P., (1958) *La cibernética y el cerebro humano*; Montevideo, Pueblos Unidos.
- Lakhtakia et al, (2013), *Engineered Biomimicry*, Londres, Elsevier.
- Latour, B. (2007) *Nunca fuimos modernos. Ensayo de antropología simétrica*, Buenos Aires, Siglo XXI.
- Le Mettrie, J., (2014), *El hombre máquina, el hombre planta y otros escritos*, Buenos Aires, Editorial El cuenco de Plata.
- Lecuona, M., y Songel, C, (1993) *Design Research and Design Management*, Ponencia en el Fifth International Forum on Design Management, MIT, Boston, Research and Education, Sloan School of Management.
- Lee, C. Majidi, B. Schubert, and R. Fearing, *Sliding induced adhesion of stiff polymer microfiber arrays: 1. Macroscale behaviour*, Inglaterra, Journal of the Royal Society Publishing.
- Lepora, N, F; Vershure P, Prescott T. J., (2013) *The state of the art in biomimetics; Bioinspiration*. *Biomim*, 8, 013001 (11pp); doi: 10.1088/1748-3182/8/1/0213001.
- Litinetski, I. B. (1975) *Iniciación a La Biónica*, Barcelona, Barral.
- Lodato; F., (2000), *Biónica: la naturaleza como herramienta de innovación, Diseño Biónico: la naturaleza como modelo*, Barcelona, *Experimenta* 31, p. 47.
- Mak, J. N., Wolpaw, J. R., (2009) *Clinical Applications of Brain-Computer Interfaces: Current State and Future Prospects*. *Biomedical Engineering, IEEE Reviews in*, 2: p. 187-199.
- Makoto K., (1989) *A concept of mechatronics*, Department of Mechanical and Control Engineering, The University of Electro-Communications, Newcastle.
- Manzini, E., (1996) *Artefactos: hacia una nueva ecología del ambiente artificial*, Madrid, Experimenta Ediciones de Diseño-Celeste.
- Marafioti, R., Price, C., (2004) *El éxtasis de los signos*; Buenos Aires, Editorial Biblos, 1era edicion.
- McMahon, T., Bonner, J. (1986), *Tamaño y Vida*, Barcelona, Labor.

- Meissner, I., Möller, E. (2015), *Frei Otto: una vida de investigación, construcción e inspiración*, Madrid, Detail.
- Miralles, M., Giuliano, G., (2008), *Biónica: eficacia versus eficiencia en la tecnología natural y artificial*, I scientiæ Studia, São Paulo, v. 6, n. 3, p. 359-69.
- Montellano Tolosa, C. (1999); *Didáctica proyectual*, Santiago de Compostela, Ediciones Unidad Tecnológica Metropolitana.
- Mucherjee, A. (2010), *Biomimetics, Learning from Nature*, Estados Unidos, In-Tech.
- Munari, B., (1981), *¿Como nacen los objetos? Apuntes para una metodología proyectual*, Barcelona, Gustavo Gilli.
- Neurohr, R., Dragomirescu, C., (2001), *Bionics in engineering, Defining new goals in engineering education at Politehnica University of Bucharest*, Rumania.
- Nosonovsky, M., Rohatgi, P., (2012), *Biomimetics in material science*, Nueva York, Springer.
- Össur®, (2018), *Flex Foot Cheetah ®*, Estados Unidos, <https://www.ossur.com/prosthetic-solutions/products/sport-solutions/cheetah>
- Papanek, V., (1977), *Diseñar para el mundo real*, Madrid, Blume.
- Passino, K. (2004), *Biomimicry for Optimization, Control and Automation*, Nueva York, Springer.
- Ramakrishna, S; Ramalingam, M; Kumar T.S., Soboyejo, W; (2010) *Biomaterials: A nano Approach*, Londres, CRC Press.
- Reeve, R., Webb, B., (2001), *New neural circuits for robot phonotaxis*, Inglaterra, The Royal Society Publishing.
- Simon, H., (1996), *Sciences of the artificial*, Cambridge, Inglaterra, The MIT Press.
- Skinner, S. (2006), *Géometrie Sacrée*, Paris, Ediciones Vega.
- Skordos, A., et al, (2002), *A novel strain sensor based on the campaniform sensillum of insects*, Londres, The royal Society Publishing.

- Sloterdijk, P., (1999) *Normas para el Parque humano*, Madrid, Siruela.
- Soar, R., Turner, S., (2008), *Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building*, Leicester, Inglaterra, First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction.
- Songel, G.I, (1991) *Estudio metodológico de la biónica aplicada al diseño industrial*, tesis doctoral, ETSI Industriales, España, Universidad Politécnica de Valencia.
- StoColor Lotusan®, (2018), *Sto Building with conscience*, Alemania <http://www.stosea.com/en/company/innovations/sto-lotusan-/sto-color-lotusan.html>
- Stoddart et al, (2008), *Nanoimprinted optical fibres: Biotemplated nanostructures for SERS sensing*, Volume 4, Issue 5, Biosensors and Bioelectronics, Londres, Elsevier.
- Taylor, C. R., (1972) *Running up and down hills: some consequences of size*, Science178:1096-1097.
- The Editors of Encyclopaedia Britannica, (2018), *Chrystal Palace*, Building, Londres, Inglaterra. <https://www.britannica.com/topic/Crystal-Palace-building-London>
- University of Massachusetts Amherst, (2018), Geckskin™, *What is Geckskin™?*, Estados Unidos, <https://geckskin.umass.edu/>
- Van Gerven, M., et al. (2009), *The brain–computer interface cycle*. Journal of Neural Engineering, 6(4): p. 041001.
- Velcro®, *There is only one*, (2018), Estados Unidos, <https://www.velcro.com/>
- Vincent J. F. V.; Bogatyreva, O.A.; Bogatirev, N. R. ; Bowyer, A ; Pahl, A.K ; (2015) ; *Biomimetics : its practice and Theory (Review)*; J. R.Soc. Interface (2006), 3; 471-482.
- Vogel S. (2000) *Ancas y palancas: Mecánica natural y mecánica humana*, Barcelona, Turquets.
- Von Bertalanffy, L., (1995), *Teoría general de los sistemas*; Mexico, Fondo de Cultura Económica.
- Wagensberg, J. (2005), *La rebelión de las formas*, Barcelona, Tusquets.

- Wang, H., (2003), *Digit and Flower – On the crisis and momentum of instrumentalism in The Dimension of Design*. Tian Yuan, Taipei.
- Wang, H., (2003), *The encyclopedia of scientific methods*, Taipei.
- Wan-Ting, C. y Shang-Chia, C. (2005) *Discussion on Theories of Bionic Design*, http://www.academia.edu/15605555/Discussion_on_Theories_of_Bionic_Design.
- Wen, H. et al., (2008), *An Innovative Methodology of product Design from Nature*, *Journal of Bionic Engineering*.
- Westly, E. (2011) *Fixing the Brain-Computer Interface*, IEEE Spectrum Online.
- White, F. (1988), *Mecánica de Fluidos*, Nueva York, McGraw-Hill.
- Wiener, R., (1948), *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas*, Barcelona, Tusquets.
- Wieser, W., (1962), *Organismos, estructuras y máquinas*, Buenos Aires, Eudeba.
- Williams, C. (1984), *Los orígenes de la forma*, Barcelona, Gustavo Gili.
- Wolf, K.L., Kuhn, D., (1977), *Forma y Simetría*, Buenos Aires, Eudeba.
- Wolf-heinrich, H, (1998) *Aerodynamics of road vehicles*, Estados Unidos, Wolf-heinrich hucho.
- Zhou, H., et al, (2009), *Generation of Induced Pluripotent Stem Cells Using Recombinant Proteins*, Cell Stem Cell, Londres, Elsevier.

Referencias de tablas y figuras

Figuras de la portada: (de izquierda a derecha):

- Imagen que muestra el detalle ampliado de cómo se realiza el agarre en el producto. <https://www.reddit.com/r/pics/comments/isf1p/velcro/>
- Imagen que muestra la estructura de una hoja. <https://www.freeimages.com/.../leaf-structure-1164555>
- Imagen de abeja y detalle ampliado de celdas de una colmena. <https://mx.depositphotos.com> › Fotos › Animales
- Imagen ampliada de la piel del tiburón blanco. <https://news.softpedia.com> › News › Science › Sci Pry
- Imagen de la secuencia de Fibonacci observada en una planta. <http://laorquesta.mx/la-secuencia-fibonacci-columna-pablo-alonso/>
- Imagen del detalle del ala de la mariposa monarca. <http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2013/11/la-biomimetica-en-accion-janine-benyus.html>
- Imagen ampliada de la tela de una araña. www.20151102201546-tela-de-araña.png
- Imagen del detalle de las gotas de agua sobre la flor de loto. www.finekochemicals.com
- Imagen del detalle del caparazón de una tortuga de tierra. https://en.wikipedia.org/wiki/Desert_tortoise

PARTE 1

1.2.2.1. Productos biomiméticos paradigmáticos

Tabla 1.1 Ficha general con los productos biomiméticos paradigmáticos seleccionados.

Elaboración propia.

Tabla 1.1.1 Ficha del producto Velcro desde el enfoque biomimético proyectual.

Elaboración propia.

Figura en tabla: <https://networkingnerd.net/2012/10/05/velcro-for-var-engineers/>

Figura 1.1 Dibujo del mecanismo propuesto en la patente en el año 1955.

<http://tectonicablog.com/?p=67776>

Figura 1.2 Imagen que muestra el detalle ampliado de cómo se realiza el agarre en el producto.

<https://www.reddit.com/r/pics/comments/isf1p/velcro/>

Tabla 1.1.2 Ficha del producto Geckskin desde el enfoque biomimético proyectual.

Elaboración propia.

Figura en tabla: <https://geckskin.umass.edu/images>

Figura 1.3 Imagen que muestra ampliada la pata del gecko

<http://footage.framepool.com/es/shot/817765639-ventosa-geco-bionico-observacion-con-microscopio-electronico>

Figura 1.4 Imagen que muestra el detalle ampliado de una de las patas del gecko

<http://footage.framepool.com/es/shot/611203887-pared-de-vidrio-ventosa-geco-bionico>

Tabla 1.1.3 Ficha del Edificio Chrystal Palace desde el enfoque biomimético proyectual. Elaboración propia

Figura en tabla: <http://www.pearltrees.com/miragemoriarty/society/id2867434>

Figura 1.5 Detalle de la estructura nervada de la hoja de la Victoria Amazónica.

<http://matemolivares.blogia.com/2015/051901-victoria-amazonica-un-canto-a-la-belleza-geometrica-vegetal..php>

Tabla 1.1.4 Ficha del producto Lotusan desde el enfoque biomimético proyectual.

Elaboración propia.

Figura en tabla: <http://elenta.lt/118340/sto-color-lotusan-unikalus-savaime-apsiplaunantys-fasado-dazai-klaipedoje>

Figura 1.6 Superficie no hidrofóbica

<https://sites.google.com/site/biomimetisme1erec/home/comment-la-nature-a-t-elle-influenc-la-cration-de-structure-non-adhrente/quel-est-le-principe-de-leffet-lotus>

Figura 1.7 Superficie hidrofóbica.

<https://sites.google.com/site/biomimetisme1erec/home/comment-la-nature-a-t->

elle-influenc-la-cracion-de-structure-non-adhrente/quel-est-le-principe-de-leffet-lotus

Tabla 1.1.5 Ficha del Edificio Eastgate desde el enfoque biomimético proyectual. Elaboración propia.

Figura en tabla: <http://blog.is-arquitectura.es/2013/02/27/climatizacion-por-biomimesis-inspirada-en-los-termiteros/>

Figura 1.8 Flujo de Termosifón que ocurre en los montículos de la chimenea tapados.

Soar, R., Turner, S., (2008), *Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building*, First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction, Leicester, Inglaterra.

Figura 1.9 Flujo inducido que ocurre en montículos abiertos.

Soar, R., Turner, S., (2008), *Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building*, First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction, Leicester, Inglaterra.

Tabla 1.1.6 Ficha del Mercedes Benz Bionic desde el enfoque biomimético proyectual. Elaboración propia.

Figura en tabla: <http://cars-mercedes.com/mercedes-benz-interesting/free-mercedes-benz-all-activity-vehicle-aav-essays.html>

Figura 1.10 Esquema del Mercedes Benz Bionic, al que se le superpone un posible modelo fluido-dinámico computacional (corte sagital), para evaluar la curvatura frontal y aquella de la cubierta superior del vehículo, con el objeto de disminuir el coeficiente de fricción que regula la fuerza de arrastre.

https://en.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_Bionic

Tabla 1.1.7 Ficha del Tren Skinkansen desde el enfoque biomimético proyectual. Elaboración propia.

Figura en tabla: <https://www.structuralia.com/blog/redes-de-alta-velocidad-japonesa>

Figura 1.11 Detalle del ángulo del pico del Martín Pescador

<https://www.diariouno.com.ar/mundo/criaturas-inspiradoras-20110615-n81865.html>

Tabla 1.1.8 Ficha de la prótesis Cheetah desde el enfoque biomimético proyectual.

Elaboración propia

Figura en tabla: <https://www.ossur.com/prosthetic-solutions/products/sport-solutions/cheetah-xtreme>

Figura 1.12 Detalle de la secuencia de funcionamiento de la prótesis Cheetah Xtreme

<https://forum.bodybuilding.com/showthread.php?t=147072743&pagenumber=1>

PARTE 2

2.1.1 Presentación de marcos teórico-metodológicos de diseño biomimético

Figura 2.1 Secuencia para la resolución de problemas (TRIZ).

Huang, G, Yong, K, (2005), *The triz journal, Creative conceptual design ideas can be gotten with TRIZ methodology*, trizjournal, School of Mechanical Engineering, Shandong University, China.

Traducción y elaboración del gráfico propia.

Figura 2.2 Elementos esenciales de los Lentes de diseño de la biomimética. Benyus, J., (1997, 2002), *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, Perennial, Nueva York.

Figura 2.3 Lente de diseño. Áreas biomiméticas.

Benyus, J., (1997), *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, Perennial, Nueva York.

Figura 2.4 Lente de diseño. Posibles caminos metodológicos.

Benyus, J., (1997), *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, Perennial, Nueva York.

Figura 2.5 Etapas de desarrollo en la metodología *DesignLens*.

Benyus, J., (1997), *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, Perennial, Nueva York.

Figura 2.6 Las dos aproximaciones estratégicas para integrar a la biónica en el desarrollo tecnológico.

Neurohr, R., Dragomirescu, C., (2007) *Bionics in Engineering – Defining new goals in engineering at University of Bucharest*, Bucharest.

Traducción y gráfico de elaboración propia.

Tabla 2.1 Matriz comparativa de las características de las metodologías biomiméticas analizadas. Elaboración propia

Tabla 2.2 Mapa general indicativo de las experiencias proyectuales realizadas. Elaboración propia

Tabla 2.A Resumen de la Experiencia A. Elaboración propia

Figura 2.6.A Secuencia metodológica desde el enfoque DA “de abajo hacia arriba”

Neurohr, R., Dragomirescu, C., (2007) *Bionics in Engineering – Defining new goals in engineering at University of Bucharest*, Bucharest.

Traducción y gráfico de elaboración propia.

Tabla 2.A.1 Características del Caso A1. Elaboración propia

Figura 2.8 Detalle de la estructura de la planta Victoria Amazónica.

<http://matemolivares.blogia.com/2015/051901-victoria-amazonica-un-canto-a-la-belleza-geometrica-vegetal..php>

Figura 2.9 Módulo desarrollado a partir de las características estructurales de la planta.

Proyecto Emerge. Render realizado por el grupo de alumnos: Alfagame, Martín Martín, Salzman. Workshop Biomimetismo, Cátedra Simonetti, FADU, UBA, 2010.

Figura 2.10 Detalle de la configuración propuesta aprovechando la estructura que presenta la planta acuática.

Proyecto Emerge. Render realizado por el grupo de alumnos: Alfagame, Martín Martín, Salzman. Workshop Biomimetismo, Cátedra Simonetti, FADU, UBA, 2010.

Figura 2.11 Propuestas de alternativas para diferentes usos y contextos del sistema modular.

Proyecto Emerge. Render realizado por el grupo de alumnos: Alfagame, Martín Martín, Salzman. Workshop Biomimetismo, Cátedra Simonetti, FADU, UBA, 2010.

Figura 2.12 Uso del sistema modular en situaciones de emergencia y rescate y uso del sistema modular en situaciones recreativas.

Proyecto Emerge. Render realizado por el grupo de alumnos: Alfagame, Martín Martín, Salzman. Workshop Biomimetismo, Cátedra Simonetti, FADU, UBA, 2010.

Figura 2.13 Proyecto Emerge. Referencias naturales tomadas para el desarrollo del producto.

Render realizado por el grupo de alumnos: Alfagame, Martín Martín, Salzman. Workshop Biomimetismo, Cátedra Simonetti, FADU, UBA, 2010.

Figura 2.14 Proyecto Emerge. Aplicaciones, características y usos del sistema modular.

Render realizado por el grupo de alumnos: Alfagame, Martín Martín, Salzman. Workshop Biomimetismo, Cátedra Simonetti, FADU, UBA, 2010.

Tablas 2.A.2 Características del Caso A2. Elaboración propia.

Figura 2.15 Detalle de las espinas del caparazón del erizo de tierra. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Braunbrustigel_Stacheln_050725.jpg

Figura 2.16 Propuesta de mochila desarrollada a partir de la observación de las características extraídas del erizo de tierra.

Figura 2.17 Esquema de cómo del referente biomimético (erizo de tierra) mostrado arriba a la izquierda, se pasa a las características de su armadura defensiva (figura central) y se concibe un producto (la “Mochila izzo”), a la derecha abajo.

Proyecto Izzo. Panel realizado por el grupo de alumnos: Berrino, Carrizo, De la Orden y Diaz Cazaux, Workshop Biomimetismo, Cátedra Simonetti, FADU, UBA, 2010.

Figura 2.18 Propuesta de tecnologías aplicadas para lograr la transferencia de las características del referente natural. a) sistema de púas plegadas; b) sistema de púas activadas; c) sensor de huella digital; d) detalle de la activación del sensor.

Panel realizado por el grupo de alumnos: Berrino, Carrizo, De la Orden y Diaz Cazaux, Workshop Biomimetismo, Cátedra Simonetti, FADU, UBA, 2010.

Figura 2.19 Presentación de las diferentes situaciones de uso cotidiano propuestas para el objeto. a) en tránsito, b) en reposo c) en posición activada.

Proyecto Izzo. Panel realizado por el grupo de alumnos: Berrino, Carrizo, De la Orden y Diaz Casaux, Workshop Biomimetismo, Cátedra Simonetti, FADU, UBA, 2010.

Tabla 2.A.3 Características del Caso A3. Elaboración propia.

Fig. 2.20 Detalle de la superficie del referente natural.

<https://www.ecured.cu/Guaicán>

Fig. 2.21 Propuesta de calzado desarrollado a partir de la observación de las características observadas y extraídas del pez rémora. Proyecto Sticky. Render realizado por el grupo de alumnos: Torres, Ortiz, Estevez y Heredia, Workshop Biomimetismo, Cátedra Simonetti, FADU, UBA, 2010.

Fig. 2.22 Panel 1. Presentación del calzado *Sticky* y su referente tomado de la naturaleza. Proyecto Sticky. Panel realizado por el grupo de alumnos: Torres, Ortiz, Estevez y Heredia, Workshop Biomimetismo, Cátedra Simonetti, FADU, UBA, 2010.

Fig. 2.23 Panel 2. Detalles de la implementación del objeto al aplicar las características del pez rémora. Proyecto Sticky. Panel realizado por el grupo de alumnos: Torres, Ortiz, Estevez y Heredia, Workshop Biomimetismo, Cátedra Simonetti, FADU, UBA, 2010.

Figura 2.24 Panel 3. Presentación de la propuesta, situaciones de uso y de contexto. Proyecto Sticky. Panel realizado por el grupo de alumnos: Torres, Ortiz, Estevez y Heredia, Workshop Biomimetismo, Cátedra Simonetti, FADU, UBA, 2010.

Tabla 2.B Resumen de la Experiencia B. Elaboración propia.

Figura 2.6.B Secuencia metodológica desde el enfoque DA “de abajo hacia arriba”
Neurohr, R., Dragomirescu, C., (2007) *Bionics in Engineering – Defining new goals in engineering at University of Bucharest*, Bucharest.

Traducción y gráfico de elaboración propia.

Tabla 2.B.1 Características del Caso B1. Elaboración propia.

Figura 2.25 Propuesta de resolución a partir de la estructura de la piña.

Figura montada a partir de imágenes propias.

Tabla 2.B.2 Características del Caso B2. Elaboración propia.

Figura 2.26 Propuesta de resolución a partir de la estructura de la flor de loto.

Figura montada a partir de imágenes propias.

Tabla 2.B.3 Características del Caso B3. Elaboración propia.

Figura 2.27 Propuesta de resolución a partir del bicho canasto.

Figura montada a partir de imágenes propias.

Tabla 2.B.4 Características del Caso B4. Elaboración propia.

Figura 2.28 Propuesta de resolución a partir de la estructura de una colmena. Figura montada a partir de imágenes propias.

Figura 2.29 Finalización del workshop y presentación de las maquetas resultantes. Imagen propia.

Tabla 2.C Resumen de la experiencia C. Elaboración propia.

Tabla 2.C.1 Características del caso C1. Elaboración propia.

Figura 2.30 Referencia Natural: Rana.

https://es.wikipedia.org/wiki/Saco_vocal

Figura 2.31 Producto propuesto: Jarra

Imagen propia de la maqueta realizada por los alumnos: Aguirre, Muñoz, Reyes, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.32 Maqueta de representación del producto.

Imagen propia de la maqueta realizada por los alumnos: Aguirre, Muñoz, Reyes, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.33 Dibujos con avances y desarrollos de la propuesta planteada.

Imagen propia de la maqueta realizada por los alumnos: Aguirre, Muñoz, Reyes, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.34 Desarrollo del proyecto para la realización de una jarra a partir de las referencias naturales tomadas de las características estructurales de la rana.

Imagen propia de la maqueta realizada por los alumnos: Aguirre, Muñoz, Reyes, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Tabla 2.C.2 Características del caso C2. Elaboración propia.

Figura 2.35 Referencia Natural: Caña de Bambú.

newplanhome.com/propiedades-del-bambu.html

Figura 2.36 Producto propuesto: Preparador de infusiones.

Render realizado por los alumnos: Cañoles y Vasches, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.37 Preparador de infusiones y dibujos con avances y desarrollos de la propuesta planteada.

Imagen propia de los dibujos y paneles realizados por los alumnos: Cañoles y Vasches, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.38 Desarrollo de un proyecto para la realización de un preparador de infusiones a partir de las referencias naturales tomadas de la característica estructural de la caña de bambú.

Imagen propia de los dibujos y paneles realizados por los alumnos: Cañoles y Vasches, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Tabla 2.C.3 Características del caso C3. Elaboración propia.

Figura 2.39 Referencia Natural: Esponja Vítrea.

<https://io9.gizmodo.com/5085064/giant-deep-sea-sponges-evolved-fiber-optic-exoskeletons>

Figura 2.40 Producto propuesto: Escurreidor de platos

Render realizado por los alumnos: Bari y Lastra, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.41 Panel de Entrega. Producto: Escurreidor de platos Referencia natural: Esponja vítrea. Panel realizado por los alumnos: Bari y Lastra, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.42 Desarrollo de la parte teórica del seminario. Imagen propia.

Figura 2.43 Desarrollo de la parte práctica del seminario. Imagen propia.

Tabla 2.D Resumen de la Experiencia D. Elaboración propia.

Figura 2.44 Lupas de Diseño. Etapas en el desarrollo de la metodología. Imagen propia.

Tabla 2.D.1. Características del Caso D1. Elaboración propia.

Figura 2.45 Referencias metodológicas y características del elemento de la naturaleza en el que se basará el proyecto.

Panel realizado por los alumnos: Alcucero y Lastra, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.46 Aplicación de las etapas planteada por la metodología: Lupas de diseño.

Panel realizado por los alumnos: Alcucero y Lastra, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.47 Propuesta de pala y rastrillo tomando características del referente natural *raya marina*.

Renders realizado por los alumnos: Alcucero y Lastra, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Tabla 2.D.2 Características del Caso D2. Elaboración propia

Figura 2.48 Referencias y características del elemento de la naturaleza en el que se basará el proyecto. Panel realizado por los alumnos: Paz Barceló, Melo y Castaño, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.49 Aplicación de las etapas planteada por la metodología: Lupas de diseño.

Panel realizado por los alumnos: Paz Barceló, Melo y Castaño, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.50 Propuesta de pala tomando características de un referente natural. Renders realizados por los alumnos: Paz Barceló, Melo y Castaño, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.51 Propuesta de rastrillo tomando características de un referente natural. Renders realizados por los alumnos: Paz Barceló, Melo y Castaño, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Tabla 2.D.3 Características del caso D3. Elaboración propia.

Figura 2.52 Referencias y características del elemento de la naturaleza en el que se basará el proyecto. Panel realizado por el alumno: Tempo, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.53 Aplicación de las etapas planteada por la metodología: Lupas de diseño. Panel realizado por el alumno: Tempo, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.54 Propuesta de pala tomando características del referente grillo topo. Renders realizados por el alumno: Tempo, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Figura 2.55 Propuesta de rastrillo tomando características del referente grillo topo. Renders realizados por el alumno: Tempo, Carrera de Diseño Industrial, UNRN.

Tabla 2.E Resumen de la Experiencia E. Elaboración propia.

Figura 2.56 Primeras propuestas surgidas de la definición y análisis de posibles referentes observados en la naturaleza.

Renders realizados por alumnos del primer año de la Carrera de Terciario de Diseño Industrial, ORT.

Figura 2.57 Primeras propuestas surgidas de la definición y análisis de posibles referentes observados en la naturaleza.

Renders realizados por alumnos del primer año de la Carrera de Terciario de Diseño Industrial, ORT.

Tabla 2.E.1 Características del caso E1. Elaboración propia.

Figura 2.58 Referencia natural: Raíces.

<http://cienciasoscar.blogspot.com.ar/2010/05/tipos-de-tallos-hojas-y-raices.html>

Figura 2.59 Productos propuestos: pala y rastrillo. Maquetas realizadas por el alumno: Alonso, Carrera de Terciario de Diseño Industrial, ORT. Imagen propia.

Tabla 2.E.2 Características del caso E2. Elaboración propia.

Figura 2.60 Referencia Natural: Flores.

<http://ecoosfera.com/2015/10/son-estas-las-flores-mas-exoticas-del-mundo/>

Figura 2.61 Referencia Natural: Flores.

<http://ecoosfera.com/2015/10/son-estas-las-flores-mas-exoticas-del-mundo/>

Figura 2.62 Productos propuestos: pala y rastrillo. Maquetas realizadas por el alumno: Curzel, Carrera de Terciario de Diseño Industrial, ORT. Imagen propia.

Tabla 2.E.3 Características del caso E3. Elaboración propia.

Figura 2.63 Referencia Natural: Plantas.

https://es.wikipedia.org/wiki/Yucca_filamentosa

Figura 2.64 Referencia Natural: Plantas.

<http://www.plantsrescue.com/codiaeum-variegatum/>

Figura 2.65 Productos propuestos: pala y rastrillo. Maquetas realizadas por el alumno: Pacheco, Carrera de Terciario de Diseño Industrial, ORT. Imagen propia.

Tabla 2.F Resumen de la Experiencia E. Elaboración propia.

Figura 2.66 Panel 1. Primeras construcciones propuestas a partir del análisis de posibles referentes observados en la naturaleza.

Panel realizado por los alumnos: Riera, Bermudez y Stanislavsky

Figura 2.67 Panel 2. Primeras construcciones propuestas a partir del análisis de posibles referentes observados en la naturaleza.

Panel realizado por los alumnos: Riera, Bermudez y Stanislavsky

Figura 2.68 Panel 3. Primeras construcciones propuestas a partir del análisis de posibles referentes observados en la naturaleza.

Panel realizado por los alumnos: Riera, Bermudez y Stanislavsky

Tabla 2.F.1 Características del Caso F1. Elaboración propia.

Tabla 2.F.1.1 Sección de la Matriz BioTriz con los parámetros y principios seleccionados

Figura 2.69 Kit de Jardinería: Pala-Cultivador-Trasplantador. Maquetas realizadas por los alumnos: Berecoechea, Vidal y Beranger. Imagen propia.

Figura 2.70 Panel 1. Desarrollo del objeto pala a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz. Panel realizado por los alumnos: Berecoechea, Vidal y Stanislavsky.

Figura 2.71 Panel 2. Desarrollo del objeto pinza a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz. Panel realizado por los alumnos: Berecoechea, Vidal y Stanislavsky.

Figura 2.72 Panel 3. Desarrollo del objeto tijera a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz. Panel realizado por los alumnos: Berecoechea, Vidal y Stanislavsky, Cátedra Simonetti, FADU.

Tabla 2.F.2 Características del caso F2. Elaboración propia

Tabla 2.F.2.2 Sección de la Matriz BioTriz con los parámetros y principios seleccionados

Figura 2.73 Kit de Jardinería: Serrucho-Tijera-Weeder. Maquetas realizadas por los alumnos: Mastrosimone y Lavaselli, Cátedra Simonetti, FADU.

Figura 2.74 Panel 1. Desarrollo del objeto serrucho a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz. Panel realizado por los alumnos: Mastrosimone y Lavaselli, Cátedra Simonetti, FADU.

Figura 2.75 Panel 2. Desarrollo del objeto tijera a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz.

Panel realizado por los alumnos: Mastrosimone y Lavaselli, Cátedra Simonetti, FADU.

Figura 2.76 Panel 3. Desarrollo del objeto weeder a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz.

Panel realizado por los alumnos: Mastrosimone y Lavaselli, Cátedra Simonetti, FADU.

Tabla 2.F.3 Características del caso F3. Elaboración propia.

Tabla 2.F.3.3 Sección de la Matriz BioTriz con los parámetros y principios seleccionados

Figura 2.77 Kit de Jardinería: Cultivador-Pala-Trasplantador. Maqueta realizada por los alumnos: Giebert, Jonte y Longo, Cátedra Simonetti, FADU.

Figura 2.78 Panel 1. Desarrollo del objeto cultivador a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz.

Panel realizado por los alumnos: Giebert, Jonte y Longo, Cátedra Simonetti, FADU.

Figura 2.79 Panel 2. Desarrollo del objeto pala a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz.

Panel realizado por los alumnos: Giebert, Jonte y Longo, Cátedra Simonetti, FADU.

Figura 2.80 Panel 3. Desarrollo del objeto trasplantador a partir de la implementación de referencias naturales aplicando la metodología BioTriz.

Panel realizado por los alumnos: Giebert, Jonte y Longo, Cátedra Simonetti, FADU.

Tabla 2.3 Cuadro comparativo de herramientas de jardinería desarrolladas con enfoque biomimético y tradicional.

Figura 2.2.1 Metodología propuesta a partir del desarrollo de una matriz general

Figura 2.2.2 Ejemplo de la metodología propuesta para la aplicación en el primer año de la carrera

Figura 2.2.3 Ejemplo de la metodología propuesta para la aplicación en el segundo año de la carrera

Figura 2.2.4 Ejemplo de la metodología propuesta para la aplicación en años avanzados de la carrera

Anexo

Metodología BIOTRIZ

- Tablas con listado y definición de los 39 parámetros propuestos por la metodología TRIZ distribuidos en los seis campos de operación planteados por la metodología BioTriz.
- Tabla con listado y definición de los 40 principios inventivos (IP's) propuestos por la metodología TRIZ.
- Tabla BIOTRIZ

Tablas con los 39 parámetros distribuidos en los 6 CAMPOS DE OPERACIÓN

SUSTANCIA	1. Peso del objeto en movimiento La masa del objeto en un campo gravitacional. La fuerza que el objeto ejerce sobre su soporte o suspensión.
	2. Peso del objeto estacionario La masa del objeto en un campo gravitacional. La fuerza con la que el objeto interactúa en su soporte o suspensión, en la superficie sobre la que se colocó.
	23. Pérdida de sustancia La pérdida de sustancia puede ser parcial o completa, permanente o temporal. La tasa de efectividad del uso de sustancias disponibles.
	26. Cantidad de sustancia Cantidad de sustancia / la materia. Gastos de materiales de un sistema o disponibilidad a partir de otras sustancias de sistemas (súper-sistemas). Cantidad de sustancias, que pueden cambiar total o parcialmente, de forma permanente o temporal durante el tiempo de funcionamiento.
	10. Intensidad Fuerza o energía ejercida; causa de movimiento o cambio. En TRIZ, fuerza es la intensidad de la interacción que está destinada a cambiar una condición de objeto (característica). En este caso, 'fuerza' se usa como término tecnológico, pero no exactamente en el sentido físico.

ESPACIO	3. Longitud del objeto en movimiento Cualquier dimensión lineal de objeto. No es necesariamente la dimensión más larga.
	4. Longitud del objeto estacionario Cualquier dimensión lineal del objeto se considera en conflicto. No es necesariamente la dimensión más larga.
	5. Área de objeto en movimiento La superficie incluida dentro de un conjunto de líneas. Esta es una característica geométrica de una extensión particular de espacio o superficie que cumple una función especial, como parte de la superficie del objeto móvil en el par de conflicto.
	6. Área de objeto estacionario La superficie incluida dentro de un conjunto de líneas. Esta es una característica geométrica de una extensión particular de espacio o superficie que cumple una función especial, como parte de la superficie del objeto inmóvil en el par de conflicto.
	7. Volumen del objeto en movimiento La cantidad de espacio ocupado por un objeto tridimensional (se puede medir en unidades cúbicas). Esta es la característica geométrica del objeto móvil en el par de conflicto.
	8. Volumen del objeto estacionario La cantidad de espacio ocupado por un objeto tridimensional (se puede medir en unidades cúbicas). Esta es la característica geométrica del objeto inmóvil en el par de conflicto.
	12. Forma La configuración de la superficie característica de un objeto en el par de conflicto. Una forma definida y distintiva de la zona operacional durante el tiempo de operación.

TIEMPO	9. Velocidad	La velocidad de un proceso, o acción (movimiento) en un tiempo. Velocidad. Cambios de características del objeto en el par de conflictos en el tiempo.	
	15. Duración de la acción del objeto en movimiento	Duración de la acción de un objeto en movimiento. El tiempo que el objeto movible en el par de conflictos puede realizar la acción sin fallar.	
	16. Durabilidad de la acción del objeto estacionario	Duración de la acción por un objeto inmóvil. El tiempo que el objeto inmóvil en el par de conflicto puede realizar la acción sin fallar.	
	25. Pérdida de tiempo	Pérdida de tiempo. Mejorar 'la pérdida de tiempo' significa reducir el tiempo necesario para proporcionar la actividad necesaria.	
	39. Productividad	Este es el tiempo necesario para realizar las funciones, operaciones o productos. La salida por unidad de tiempo, o el tiempo de gasto por unidad de salida.	
ENERGIA	14. Fuerza	La cualidad de ser fuerte. El poder de resistir la tensión o el estrés. Durabilidad o resistencia a la rotura.	
	11. Estrés o presión	Una fuerza ejercida cuando un cuerpo o parte del cuerpo presiona, tira, empuja o tiende a comprimir o torcer otro cuerpo o parte del cuerpo. Fuerza por unidad de área. Tensión.	
	17. Temperatura	La condición térmica del objeto o sistema. La temperatura se usa para estimar los parámetros de transición de calor para el sistema analizado.	
	18. Intensidad de la iluminación. Brillo	La característica de los colores de la fuente de luz por la cual la luz es emitida se ordena continuamente de la luz a la oscuridad en correlación con su intensidad. Flujo de luz por unidad de área.	
	19. Uso de energía moviendo el objeto	Uso de energía moviendo el objeto. La energía es el resultado de la acción de la fuerza en el tiempo por la distancia. Por otro lado, la energía es la medida del objeto móvil para realizar alguna función.	
	20. Uso de energía por objeto estacionario	Uso de energía del objeto inmóvil. La energía es el resultado de la acción de la fuerza en el tiempo de la distancia. Por otro lado, la energía es la medida del objeto inmóvil para realizar alguna función.	
	21. Poder	La velocidad a la que se realiza el trabajo, comúnmente se mide en unidades como el vatio y la potencia. La tasa de uso de energía en el tiempo. La potencia disponible restringe la efectividad del objeto para realizar la función necesaria.	
	22. Pérdida de energía	Pérdida de energía La reducción del desperdicio de energía generalmente requiere diferentes técnicas para mejorar el uso de la energía. La tasa de efectividad del uso de energía disponible.	
	ESTRUCTURA	13. Estabilidad de la composición del objeto	Estabilidad de la composición del objeto. La integridad o integridad del sistema; la relación de los elementos del sistema durante el tiempo operacional. El desgaste, la descomposición química y el desmontaje son todas las disminuciones en la estabilidad del objeto.
		29. Precisión de fabricación	La cercanía de los parámetros fabricados (por ejemplo, dimensiones, dureza, etc.) al valor requerido de una propiedad de un sistema. Reducir la precisión requerida de la fabricación disminuye el costo de los equipos tecnológicos.
32. Facilidad de fabricación		Eficiencia de fabricación. El grado de facilidad, comodidad o facilidad en la fabricación o fabricación del objeto / sistema. El valor de esta característica depende de las tecnologías utilizables (disponibles) para la fabricación específica.	
36. Complejidad del dispositivo		La cantidad y variedad de elementos e interrelaciones de elementos del sistema. El sistema complejo generalmente tiene más de siete partes independientes o interrelaciones.	

24. Pérdida de información

Puede ser parcial o completa, permanente o variable, o pérdida temporal de datos o acceso a datos en o por un sistema. Con frecuencia incluye datos sobre la medición del objeto.

27. Confiabilidad

La capacidad del sistema para realizar sus funciones previstas de manera predecible, en condiciones y durante el tiempo necesario.

28. Precisión de medición

La cercanía del valor medido al valor requerido de un parámetro de un sistema. La reducción de los errores en una medición aumenta la precisión de la medición.

30. Factores perjudiciales afectados por el objeto

El daño externo afecta el objeto. Susceptibilidad de un sistema a los efectos nocivos generados externamente.

31. Factores dañinos generados por los objetos

Efectos secundarios nocivos. Un efecto dañino es aquel que reduce la eficiencia o la calidad del rendimiento del objeto o sistema. Estos efectos nocivos son generados por el objeto o sistema como parte de su operación.

33. Facilidad de operación

Conveniencia de uso. El proceso no es conveniente si requiere una gran cantidad de personas, una gran cantidad de pasos en la operación, necesita herramientas especiales, conocimientos adicionales, etc. El proceso fácil de operar tiene mejor capacidad de control y alto rendimiento.

34. Facilidad de reparación

El grado de facilidad, comodidad, simplicidad de conveniencia en la reparación de fallas / defectos de restaurar elementos rotos en un sistema.

35. Adaptabilidad o versatilidad

La medida en que un sistema / objeto responde positivamente a los cambios de las condiciones de trabajo. Además, un sistema que se puede usar de múltiples maneras bajo una variedad de circunstancias.

37. Dificultad para detectar y medir

Complejidad de control. El alcance de las dificultades para medir, controlar o monitorear el sistema durante el trabajo. Esta característica se puede estimar por el costo, el tiempo requerido y la complejidad de las relaciones entre los componentes que interfieren entre sí para proporcionar las funciones de control.

38. Alcance de la automatización

Nivel de automatización El grado en que un sistema / objeto realiza sus funciones sin asistencia humana.

Tabla con listado y definición de los 40 Principios Inventivos (IP's)

1. Segmentación			
a. Divide un objeto en partes independientes	b. Hacer un objeto fácil de segmentar	c. Aumentar el grado de segmentación de un objeto	
2. Extracción			
a. Extraer (eliminar o separar) una parte o propiedad "perturbadora" de un objeto.	b. Extraer solo la parte o propiedad necesaria		
3. Calidad local			
a. Transición desde una estructura homogénea de un objeto o entorno / acción exterior a una estructura heterogénea.	b. Tener diferentes partes del objeto para llevar a cabo diferentes funciones.	c. Colocar cada parte del objeto en las condiciones más favorables para su funcionamiento	
4. Asimetría			
a. Reemplazar una forma simétrica con una forma asimétrica.	b. Si un objeto ya es asimétrico, aumentar el grado de asimetría		
5. Combinar			
a. Combinar en el espacio objetos homogéneos u objetos destinados a operaciones contiguas.	b. Combinar en el tiempo operaciones homogéneas o contiguas		
6. Universalidad			
a. Hacer que el objeto realice múltiples funciones, eliminando así la necesidad de otro(s) objeto(s)			
7. Anidamiento			
a. Contener el objeto dentro de otro y que, a su vez, se coloque dentro de un tercer objeto.	b. Pasar un objeto a través de una cavidad de otro objeto		
8. Contrapeso			
a. Compensar el peso de un objeto al unirlo con otros objetos que provean una mayor fuerza.	b. Compensar el peso de un objeto mediante la interacción con un entorno que proporciona fuerzas aerodinámicas o hidrodinámicas		
9. Anti-acción previa			
a. Realizar una anti-acción por adelantado.	b. Si el objeto está (o estará) bajo tensión, proporcionar anti-tensión por adelantado		
10. Acción previa			
a. Llevar a cabo la totalidad o parte de la acción requerida por adelantado.	b. Arreglar los objetos para que puedan entrar en acción en un momento oportuno y desde un lugar y posición conveniente.		
11. Pensar por adelantado			
a. Compensar la fiabilidad relativamente baja de un objeto mediante contramedidas tomadas previamente			
12. Equipotencialidad			
a. Cambiar las condiciones de trabajo para que no sea necesario subir o bajar un objeto.	b. Cambiar condiciones operativas		
13. Inversión			
a. En lugar de una acción dictada por las especificaciones del problema, implementar una acción opuesta.	b. Hacer que una parte móvil del objeto o el entorno exterior sea inamovible y que tenga partes removibles.	c. Poner el objeto al revés	
14. Curvatura			
a. Reemplazar las partes lineales o superficies planas con curvas. Reemplazar formas cúbicas con formas esféricas.	b. Utilizar rodillos, bolas, espirales y cúpulas.	c. Reemplazar un movimiento lineal con movimiento giratorio; utilizar una fuerza centrífuga.	
15. Dinámica			
a. Hacer que un objeto o su entorno se ajusten automáticamente para un rendimiento óptimo en cada etapa de la operación.	b. Dividir un objeto en elementos que puedan cambiar de posición uno con respecto al otro.	c. Si un objeto es inamovible, hacerlo móvil o intercambiable.	
16. Acciones parciales o exageradas			
a. Si es difícil obtener el 100% del efecto deseado a partir de una solución dada, utilizar una parte de la solución dada para poder simplificar el problema.			
17. Pasando a una nueva dimensión			
a. Mover un objeto en un espacio de dos o tres dimensiones.	b. Usar un conjunto de objetos de varias capas en lugar de utilizar una sola capa.	c. Inclinar el objeto o ponerlo de lado.	
18. Vibración mecánica			
a. Lograr que un objeto oscile o vibre.	b. Aumentar su frecuencia (inclusive hasta llegar a un ultrasonido).	c. Utilizar la frecuencia resonante del objeto.	d. Usar vibraciones ultrasónicas junto con un campo electromagnético
19. Acción periódica			
a. Reemplazar una acción continua con acciones periódicas.	b. Si una acción ya es periódica, cambiar su frecuencia o magnitud.	c. Utilizar pausas entre los impulsos para proporcionar acción adicional	
20. Continuidad de una acción útil			
a. Realizar una acción de forma continua (es decir, sin pausas), donde todas las partes de un objeto operan a plena capacidad.	b. Eliminar movimientos inactivos e intermedios.		

21. Saltar pasos			
a. Conducir un proceso, o alguna de sus etapas (por ejemplo, operaciones peligrosas, destructivas, etc.) a alta velocidad.			
22. Convertir el daño en beneficio			
a. Utiliza factores dañinos o efectos ambientales para obtener un efecto positivo.	b. Eliminar un factor dañino al combinarlo con otro factor dañino.	c. Aumentar la cantidad de acción dañina hasta que deje de ser perjudicial.	
23. Retroalimentación			
a. Presentar una retroalimentación para mejorar un proceso o acción.	b. Si la retroalimentación ya existe, modificarla para cambiar su magnitud o influencia.		
24. Intermediario			
a. Usar un objeto intermediario para transferir o llevar a cabo una acción. b. Combinar temporalmente un objeto con otro (que luego sea fácil de eliminar).			
25. Autoservicio			
a. Lograr que el objeto funcione a partir de incorporar funciones auxiliares.	b. Hacer uso del material y energía desperdiciados.		
26. Copia			
a. Usar copias simples y económicas en lugar de un objeto complejo, caro, frágil o inconveniente para operar.	b. Reemplazar un objeto o proceso con copias óptica o imágenes.	c. Si ya se usan copias ópticas visibles, reemplazarlas con copias infrarrojas o ultravioletas.	
27. Objeto barato y de corta vida útil por uno costoso y duradero			
a. Reemplazar un objeto costoso por una colección de productos baratos, renunciando a alguna de las propiedades (por ejemplo, vida útil del producto).			
28. Reemplazo de un sistema mecánico			
a. Reemplazar un sistema mecánico por un sistema óptico, acústico u olfativo.	b. Usar un campo eléctrico, magnético o electromagnético para interactuar con el objeto.	c. Reemplazar campos 1) Campos estacionarios con campos en movimiento 2) Campos fijos con aquellos que cambian en el tiempo	d. Usar campos en conjunto con partículas ya activadas en el campo.
29. construcción neumática o hidráulica			
a. Reemplazar las partes sólidas de un objeto por gas o líquido.			
30. Membranas flexibles o películas delgadas			
a. Reemplazar las construcciones tradicionales con las realizadas con membranas flexibles o delgadas películas. b. Aislar un objeto de su entorno con membranas flexibles o películas delgadas.			
31. Uso de materiales porosos			
a. Hacer un objeto poroso o agregar elementos porosos (inserciones, cubiertas, etc.).	b. Si un objeto ya es poroso, utilizar esos poros para introducir alguna sustancia o función.		
32. Cambios de color			
a. Cambiar el color de un objeto o de su entorno.	b. Cambiar el grado de translucidez de un objeto o de su entorno.		
33. Homogeneidad			
a. Hacer que los objetos que interactúan con un objeto primario salgan del mismo material o material que está cerca de él en su comportamiento.			
34. Rechazar y regenerar partes			
a. Después de haber completado su función o volverse inútil, rechazar o modificar (por ejemplo, descartar, disolver, evaporar) un elemento de un objeto.	b. Restaurar inmediatamente cualquier parte de un objeto que esté agotado.		
35. Transformación de los estados físicos y químicos de un objeto			
a. Cambiar el estado físico de un objeto	b. Cambiar la concentración o la densidad de un objeto.	c. Cambiar el grado de flexibilidad de un objeto.	d. Cambiar la temperatura de un objeto.
36. Transiciones de fases			
a. Implementar un efecto desarrollado durante la transición de fase de una sustancia (por ejemplo, durante el cambio de volumen, o en la liberación o absorción de calor).			
37. Expansión térmica			
a. Usar un material que se expande o contrae con el calor.	b. Usar varios materiales con diferentes coeficientes de expansión de calor.		
38. Oxidantes fuertes			
a. Reemplazar el aire normal con aire enriquecido.	b. Reemplazar el aire enriquecido con oxígeno puro.	c. Exponer un objeto en el aire o en el oxígeno con radiación ionizante.	
39. Atmósfera inerte			
a. Reemplazar un entorno normal con uno inerte.	b. Llevar a cabo el proceso en el vacío.		
40. Materiales compuestos			
a. Reemplazar un material homogéneo por uno compuesto			

ESTRUCTURA	SUSTANCIA										TIEMPO										ENERGIA										INFORMACION																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39											
EMPEÑAR	MEDIO AEREO										ESPACIO										TIEMPO										ENERGIA										INFORMACION									
	Peso del objeto										Espacio										Tiempo										Energía										Información									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39												
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39													
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39														
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39															
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																	
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																		
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																			
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																				
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																					
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																						
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																							
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																								
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																									
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																										
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																											
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																												
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																														
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																															
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																																
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																																	
	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																																		
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																																			
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																																				
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																																					
	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																																						
	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																																							
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																																								
	31	32	33	34	35	36	37	38	39																																									
	32	33	34	35	36	37	38	39																																										
	33	34	35	36	37	38	39																																											
	34	35	36	37	38	39																																												
	35	36	37	38	39																																													
	36	37	38	39																																														
37	38	39																																																
38	39																																																	
39																																																		