

BIÓNICA FORMAL. LA NATURALEZA: MAESTRA DE DISEÑO

Autor: M.A.V. Adolfo Alberto Cervantes Baqué
Licenciado en Diseño Industrial *UAM-A, (Maestría en Artes Visuales, esp. Escultura UNAM,
ENAP Academia de San Carlos)
acbaque@yahoo.com
acb@correo.azc.uam.mx

En esta ponencia se analiza un ejercicio para la enseñanza de principios básicos de diseño denominado **Biónica Formal**, realizado durante el Curso Básico de la UAM-A en la materia Sistemas de Diseño para alumnos del segundo trimestre del Tronco General de Asignaturas.

A diferencia de la biónica funcional, en donde se buscan aplicaciones prácticas, aquí se explora un método para entender las respuesta formales de los organismos durante la adaptación a su entorno, regida por la evolución y, en esta vía, hacer una propuesta sobre posibilidades para generar nuevas formas en diseño.

Se inicia planteando una disertación entre las disciplinas que se relacionan en el estudio de la naturaleza, principalmente Biónica y la Biomimesis y se enuncian otras similares vinculadas al ámbito de estudio, como la Biomecánica, la Bioingeniería y, asimismo, concepciones erróneas en diseño como el término "forma orgánica", a fin de obtener distinciones para lograr la enseñanza óptima de los principios básicos de diseño.

Se plantea una tipología de los principales sistemas que utiliza la naturaleza, como categorías sistematizadas, para que los alumnos de diseño puedan entender la ley que rige en la naturaleza cuando usa estos sistemas (ramificaciones, espirales áureas, logarítmicas y de Fibonacci; meandros, retículas tridimensionales, alveolares, sistemas de empaquetamiento mínimo, etc.).

Con el advenimiento de las nuevas tecnologías digitales y un mayor acceso a la información a través de internet es previsible que la incursión al análisis de las formas de la naturaleza y su utilización para las diversas áreas de diseño, será cada vez más accesible, tanto para configuración y trazo, como para los nuevos medios de materialización (impresión 3-D) a nivel de modelos y prototipos, conducentes hacia su producción en serie.

BIÓNICA Y BIOMIMÉTICA: Conocimientos en Conflicto

El estudio de la naturaleza ha tenido y sigue presentando múltiples y diferentes implicaciones en el diseño y la innovación. Como forma de analizar los sistemas y para el establecimiento de modelos biológicos, Bertalanffy, desde la aproximación científica de la teoría general de los sistemas, ya apuntaba a la biónica como factor de innovación.¹

Carmelo Di Bartolo plantea el estudio de la naturaleza como estrategia de diseño y, así mismo, como herramienta docente². Este diseñador milanés, junto con el Maestro Fabricio Van der Broeck, impartieron hace ya varios años un curso de biónica que tuvo la suerte de presenciar.

¹ Von Bertalanffy, Ludwig, *Perspectivas en la teoría general de sistemas*. Alianza Universidad, Madrid, 1982, p. 95.

² Di Bartolo, Carmelo, *Strutture Naturali e Modelli bionici*. Departamento of Industrial Design, Instituto Europeo di Design, Milán, 1981.

El concepto de Biónica fue desarrollado por Jack Ellwood Steele, quien nació en Lacon, Illinois y estudió Ingeniería en general en la Universidad de Illinois y del Instituto de Tecnología de Illinois. Se enlistó en el Ejército de Estados Unidos a finales de la segunda Guerra Mundial en 1943 y hasta 1946. Recibió su doctorado de la Universidad Northwestern en 1950. Pasó un año como becario de Investigación y Docencia en neuroanatomía antes de unirse a la Fuerza Aérea de Estados Unidos en 1951, donde permaneció hasta su jubilación en 1971. Inicialmente, se desempeñó como oficial de la sala de Psiquiatría y Neurología hasta que se unió al Instituto Aerospace Medical Research Lab en 1953. Allí, investigó los efectos del estrés de movimientos, el sonido y los efectos del viento, pero su atención se centró en la biónica, un concepto que él acuñó en 1958. El término fue utilizado oficialmente en 1960 como el título de un simposio de tres días en septiembre de ese año.

El término Biónica se incorporó al diccionario Webster en 1960, definido como "una ciencia que estudia la aplicación de los datos sobre el funcionamiento de los sistemas biológicos a la solución de problemas de ingeniería". Y el nuevo vocablo adquirió una nueva connotación cuando Martin Caidin hizo referencia al trabajo de Jack Steele en la novela *Cyborg* y, posteriormente, inspirada en esta novela, surgió la serie televisiva "The Six Million Dollar Man"³. Con este hecho, el término "Biónica" no tardó en estar asociado con "el uso de partes del cuerpo artificiales operadas electrónicamente" y "con poderes humanos extraordinarios con la ayuda de estos dispositivos", asumiendo así la implicación de fuerza sobrenatural y restándole credibilidad al interior de la comunidad científica. Siendo que, en realidad, los *Cyborg* que han tenido gran acogida en las novelas de ciencia ficción eran humanos ayudados con prótesis de desarrollo ingenieril, como émbolos hidráulicos y multitud de instrumentos y accesorios tecnológicos, no necesariamente inspirados en la naturaleza.

Paradójicamente, como pude intuirse de la biografía de Steele, pese a haber acuñado tan revolucionario término, no tuvo un especial y destacado desempeño en esta disciplina.

Tal vez por esto, recientemente el término "biomimético" ha ganado popularidad entre los científicos, tecnólogos y el público en general para definirse como un concepto que coincide con la Biónica. Su significado, sin embargo, no es universalmente aceptado ni coincide totalmente en su campo de acción.

Podríamos limitar la definición de "biomimético" a: "la imitación de los procesos biológicos".

Sin embargo, la mayor objeción hacia este término radica justamente en que el sentido de mimético en la naturaleza se utiliza para un concepto totalmente diferente.

Aunque etimológicamente está bien construido, pues dicho vocablo procede del griego *bios* (vida) y *mímesis* (imitación), la mimética en la naturaleza se refiere a los procesos (formales y a veces químicos) que hacen que un organismo se enmascarille en su ambiente para evitar el ataque de los depredadores, o bien, para habilitar a éstos para no ser fácilmente distinguibles por sus presas. Resulta entonces tan impreciso como si se usara el término "biocamuflaje".

Ésta es la razón por la cual muchos autores y, particularmente, el de esta ponencia, consideran más adecuado utilizar el término de "**Bio-inspirado**".

Las aplicaciones de la naturaleza abarcan muchos aspectos además de los formales, y así, las áreas del conocimiento humano se han visto influenciadas en varios campos al aprender del entorno natural y, de esta forma, la química, las ciencias sociales, la etiología, la genética e innumerables disciplinas más aprenden de la naturaleza y aplican satisfactoriamente estos hallazgos.

³ http://en.wikipedia.org/wiki/Jack_E._Steele (traducción)

"Biomimética" fue acuñada por el biofísico estadounidense y gran pensador Otto Schmitt en torno a la década de 1950. Fue durante su investigación doctoral que desarrolló el gatillo Schmitt mediante el estudio de los nervios en el calamar, tratando de diseñar un dispositivo que replicara el sistema biológico de la propagación de los nervios. Él siguió centrándose en los dispositivos que imitan los sistemas naturales, y para 1957, ya se había percatado de un concepto antagónico desde la visión estándar de la biofísica en ese momento, una visión que él vendría a llamar la biomimética.

El término biomimética apareció en el Diccionario Webster en 1974 y se define como "el estudio de la formación, estructura y función de las sustancias y materiales de origen biológico y los mecanismos y procesos biológicos, especialmente con el propósito de sintetizar productos similares por mecanismos artificiales que imitan a los naturales".

El término Biomimetismo fue popularizado por la científica, conferencista itinerante y autora literaria Janine Benyus en su libro de 1997 *Biomimética: Innovación Inspirada por la Naturaleza*. Biomimetismo se define en este libro como "una nueva ciencia que estudia los modelos de la naturaleza e imita o se inspira en estos diseños y procesos para resolver problemas humanos". Benyus sugiere buscar a la Naturaleza como "un modelo, la medida, y mentor" y hace hincapié en la sustentabilidad como un objetivo sustantivo de la biomimética.

Uno de los primeros ejemplos de aplicación de la naturaleza al diseño fue el estudio de las aves para permitir el vuelo humano. Aunque nunca tuvo éxito en la creación de una "máquina voladora", Leonardo da Vinci fue un agudo observador de la anatomía y el vuelo de las aves, e hizo numerosas notas y trazos en sus observaciones, así como bocetos de "máquinas voladoras". Los hermanos Wright, consiguieron hacer volar el primer avión más pesado que el aire en 1903, inspirándose en la observación de las palomas en vuelo.

La biomecánica, la bioingeniería, la ingeniería biológica, ingeniería biomédica, ingeniería de biosistemas y otras disciplinas ayudan a crear confusión al definir la Biónica y sus alcances.

Cada organismo de la naturaleza es el resultado de millones de años de evolución y representan respuestas formales que han resultado exitosas ante la competencia de innumerables organismos que luchan por los recursos y su supervivencia en nichos de un sistema ecológico sustentable o evidenciando la supervivencia ante multitud de depredadores, sin excluir las enfermedades y los cambios climáticos adversos.

En muchas ocasiones los patrones de comportamiento de la naturaleza, organizados como respuestas tipo, se van depurando a través de los años y, en muchas ocasiones, se encuentran soluciones que se repiten sin tener una relación genética cercana, como en el caso de la convergencia evolutiva.

Por eso es de vital importancia que el diseñador entienda este tipo de comportamientos y respuestas en la naturaleza y distinga la innumerables soluciones de diseño categorizadas en tipologías, tales como las que más adelante se detallan y ejemplifican.

El proceso del diseñador se asemeja, asimismo, y en cierta medida, a los de la evolución. Cuando surge una idea, se atrapa como una propuesta de solución que luego, ante las pruebas que el diseñador impone a estos bocetos, a través de su imaginación, principalmente, va generando escenarios imaginarios o premisas de prueba que pueden contrastarse con la opinión de usuarios expertos u otras pruebas a las que se someta el diseño.

Estos recursos los puede hacer con bocetos dibujados, prototipos y modelos de prueba y, en todo caso, hay una evolución formal que cada vez se adapta más a las circunstancias del

medio en el que el objeto eventualmente tendrá un mejor desempeño de acuerdo al conjunto de premisas-inteligencia del diseño, puestas en práctica en esta disciplina.

Ejemplos de diseño Biónico o Bioinspirado

Tal vez uno de los ejemplos más ilustrativos de cómo debe ser un procedimiento para inspirarse en la naturaleza es el caso de la invención del velcro. En 1941, el ingeniero suizo Georges de Mestral descubrió lo difícil que resultaba desenganchar de sus pantalones y del pelo de su perro los frutos de algunos cardos *Arctium bardana* (*Arctium lappa* y *Arctium minus*) Tras comprobar la existencia de un gancho en el final de sus púas o espinas, se puso manos a la obra e inventó un sistema de cierre con dos cintas: el velcro.⁴



Izquierda: *Arctium lappa*, semilla del cardo que inspiró el velcro. Centro: detalle de las cintas. Derecha: detalle del agarre del velcro.

La enseñanza de la Biónica y la Biomimesis

Observar y aprender de la naturaleza es una actitud y competencia que debe incentivarse en la enseñanza de las carreras de Diseño. A través de *“la utilización de prototipos biológicos en el diseño de sistemas sintéticos creados por el hombre, o sea, se trata de estudiar los principios fundamentales de la naturaleza y llegar a la aplicación de principios y procesos a las necesidades humanas”*.⁵

Normalmente, en el currículum de enseñanza de las carreras de diseño industrial, la biónica, y tal vez más recientemente, la biomimética, representan un curso aislado puesto a prueba, donde se desarrolla uno o varios ejercicios de diseño en los que el alumno, inspirado en la naturaleza, trata de lograr algún resultado satisfactorio. Se trata de una materia que implica un gran conocimiento sobre los principios de la naturaleza así como de la multitud de materiales y las técnicas de realización de modelos y prototipos.

*“Es el estudio de sistemas vivientes para aplicar a las tecnologías sus principios técnicos y procedimientos. Es particularmente apta para estimular la capacidad de captar los detalles tridimensionales y los principios formales que los estructuran, así como para incrementar la capacidad de transformación, es decir, cuando se examina y analiza un objeto análogo.”*⁶

La formación del diseñador debe estar enfocada a la generación de nuevas ideas para lograr productos enmarcados en la innovación. Karl Ludwig von Bertalanffy fue un biólogo y filósofo austriaco, reconocido fundamentalmente por su teoría de sistemas, donde afirmaba que

⁴ <http://es.wikipedia.org/wiki/Velcro>

⁵ Papanek, Viktor, *Diseñar para el mundo real*. Mermann Blume, Madrid, 1977, p. 191.

⁶ Bonsiepe, Gui, *Teoría y práctica del diseño industrial*, Gustavo Gili, Barcelona, 1975, p. 132.

*desde la aproximación científica de la teoría general de los sistemas, ya apuntaba la biónica como factor de innovación.*⁷

El diseñador debe desarrollar una empatía con el problema que tiene la vida en general y cada organismo en particular, tal como lo resuelve en el ejemplo arriba citado de los cardos, en que la planta se encuentra irremediamente fija a un lugar en el piso a través de una raíz y ha resuelto el problema de dispersar su descendencia haciendo que sus semillas se fijen a otros organismos con la capacidad de movilidad para que encuentren lugares propicios a la distancia. Otras plantas han librado el obstáculo sirviéndose del aire para distribuir sus genes desde muy lejos. Los dientes de león, con filamentos radiales que hacen volar las semillas en el viento o las semillas del árbol del arce que tienen forma de hélice y giran al viento alejándose del árbol que las generó.

Una problemática adicional para el estudio con finalidades de aplicaciones biónicas es el acceso a los organismos, dado que en muchas ocasiones sólo están disponibles estructuras naturales de fácil acceso, tales como: ramas, semillas, y donde el alcance de muestras reales como organismos marinos o de ecosistemas externos resulta muy difícil.

Es muy común hacer análisis simplistas y determinar que las soluciones formales redondeadas y faltas de un rigor en sus proporciones dará por resultado una aplicación biónica pues es cierto que existen soluciones formales denominadas orgánicas en donde la forma se aleja de esquemas geométricos rectilíneos. En los análisis formales que hace Gyorgy Doczi en su importantísimo libro para este tema “El Poder de los Límites” demuestra que tanto para la forma de innumerables ejemplos de organismos y diseños humanos la atención a las proporciones y la geometría cuidadosamente racionalizada existen constantes que a través de la percepción se logren cualidades estético-formales positivas independientemente de su funcionalidad.

Si bien el enorme acceso a la información que se tiene a través del Internet ha, en parte, matizado esta dificultad, es aún muy difícil aproximarse a los organismos para tener una real experiencia en la forma y características de sus materiales y estructuras.

La duración de un curso normalmente dispone de tiempo muy reducido para experimentar la teoría con varios ejercicios, sobre todo por el hecho de que una verdadera aplicación de la biónica implica una aplicación práctica, es decir, que el ejercicio debe de funcionar, resistir desempeñar una función, etc. Para el caso específico del planteamiento de un ejercicio de biónica formal no será necesario que el modelo o prototipo se haya comprobado en cuanto una función, dado que, en este caso, basta con entender los aspectos estético-formales que fueron retomados de la naturaleza con el propósito de hacer un planteamiento exclusivamente formal, dado que el objetivo es verificar que, principios de diseño, tales como: sucesión de planos proporcionados, ritmo, flujos, alineación, abstracción, etc., pueden ser constatados en los ejemplos de la naturaleza. Y a través de una red combinatoria, generar propuestas formales nuevas inspiradas en los tipos de manifestación formal del entorno natural.

Forma, color y textura son también manifestaciones básicas de los organismos. Aunado a esto, aparecen ritmos y, desde luego, reglas estrictas de proporción.

El ejercicio propuesto en esta ponencia se propone como reto la posibilidad de generar un nuevo organismo que, desde luego, no tendrá que reproducirse o enfrentar a depredadores, sino simplemente tener una configuración formal estrictamente inspirada en uno o varios principios combinados que la naturaleza utiliza.

⁷ Von Bertalanffy, Ludwig, *Perspectivas en la teoría general de sistemas*. Alianza Universidad, Madrid, 1 982, p. 95.

La dinámica de trabajo implica que el alumno elija un organismo de fácil acceso directo, que puede ser desde una semilla, una hoja, una fruta, una planta, etc. y, con la ayuda del asesor, reconozca qué principios de la naturaleza fueron aplicados, así como los criterios de generación formal o los aspectos básicos de diseño que son aplicables en esta manifestación formal.

Por lo general, siempre hay un módulo bidimensional que se desplaza y se ejercita en las posibilidades de simetría para generar una forma tridimensional. Este procedimiento es el que la mayoría de los programas de diseño 3D utilizan en sus herramientas de generación de la forma. Fenómeno curioso que se ha dado paralelamente a través de los años, de manera que los programas de diseño tridimensional, conforme han avanzado, proporcionan al diseñador cada vez mayores recursos para generar la forma de una manera sistematizada, concepto que coincide por sí mismo con la enseñanza de los principios básicos de diseño.

Es, desde luego, el ejercicio más avanzado del curso y siempre se presenta al final como una práctica de síntesis en donde previamente se han realizado alrededor de once opciones de generación formal, tales como: sucesión de planos, estructuras laminares, sólidos de revolución, ritmo tridimensional, disección de primitivos geométricos, morfogénesis (en donde se introducen deformadores de primitivos geométricos tales como: torsión, compresión, estiramiento, etc.).

Retomando la restricción en cuanto a los programas de generación formal y su coincidencia con estos procesos de obtención de la forma, cabe mencionar problemas o programas tales como Maya Cinema 4D y Zbrush (este último con generadores de la forma mucho más orgánicos y amigables con el concepto de modelado de la forma).

TIPOLOGÍA DE ALGUNOS PRINCIPIOS DE LA NATURALEZA

Son comportamientos distintivos de que se vale la naturaleza en la expresión de la vida:

Retículas Alveolares.- Son estructuras que permiten contener al interior tejido celular, nutrientes o simplemente líquido o aire.



Izquierda.- Esponjilla *Lappa Opeculata*

Derecha.- *Euplectela*
Esponja marina llamada "Cesta de Venus"



Izquierda.- Estructuras producidas con impresión 3d esterolitografía.

Con las técnicas tradicionales de producción, antes era muy difícil concebir aplicaciones como las que muestra la imagen, pero con las impresiones tridimensionales se vislumbra mayor alcance al diseño de estas aplicaciones.

Crecimientos en Espirales.- Manifestaciones de la naturaleza que habilitan el crecimiento continuo. Son estructuras muy resistentes al impacto o la presión de las profundidades. Muchas veces, siguiendo el patrón de las espirales áureas, logarítmicas o de la serie Fibonacci.



Arriba.- *Haliotis escalaris*. Concha de gasterópodo australiano



Arriba.- *Spirobranchus giganteus* del Caribe

Contrafuertes.- Son estructuras que refuerzan perpendicularmente una pared o un núcleo, utilizado mucho por los corales de esqueleto calcáreo para resistir los embates de peces que se alimentan de pólipos y también en hongos para reforzar sus inflorescencias y esparcir sus esporas.



Arriba.- Hongo *Agrocybedura xanthophylla*

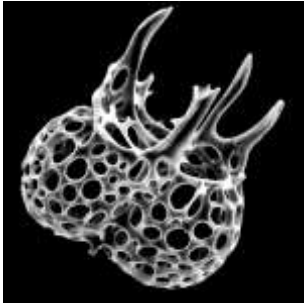


Arriba.- Monasterio románico cisterciense de Irache, (Navarra).

Superficies de interconexión mínima.- Muy vinculadas a las superficies regladas, son interconexiones de trazo económico que le proporcionan una gran resistencia con un espesor mínimo (como los cascarones arquitectónicos). La naturaleza la usa en los exoesqueletos de crustáceos e insectos.



Izquierda.- Escarabajo rinocerocoleóptero de la familia *Dynastinae*
Centro.- Mantis religiosa
Derecha.- Sillas en una exposición de la Feria de Milán 2001



Redes poliédricas orgánicas.- Estructuras envolventes externas que cubren a organismos, generalmente microscópicos, como algas diatomeas y radiolarios. A partir de las diatomeas, Richard Buckminster Fuller creó las geodésicas y al final de este texto se muestra un ejemplo del autor.

Ramificaciones.- Las ramificaciones son recursos formales que la naturaleza usa lo mismo para conectar las ramas de un árbol que sus raíces, o las venas que conducen sangre o las interconexiones o axones que interconectan las neuronas. Tiene como función conectar desde un centro hacia un área periférica en sus diversas posibilidades.

Ramificaciones Bilaterales.- Son una variante de la anterior que se distribuye simétricamente hacia ambos lados de un eje central.



Ramificaciones radiales.- También definidas como explosiones radial, las prolongaciones de la forma parten de un punto y se distribuyen hacia el exterior.

Estos principios son sólo algunos de los modelos que presenta la naturaleza. Por la extensión de esta ponencia, no se han enlistado algunos, pero procede mencionarlos sucintamente. Principios como: **Empaquetamiento Mínimo de las Espirales encontradas de Fibonacci, Sucesión de anillos de crecimiento, los Meandros, y los Patrones flujos laminares los patrones Fractales**, además de ciertas soluciones que se presentan en la naturaleza pero no en organismos, como los Agrietamientos, los Cristales minerales entre otros.

MUESTRAS DE LOS EJERCICIOS DE ALUMNOS Y UNA APLICACIÓN EN PRODUCTO EN EL TEMA DE FORMA BIÓNICA:

A continuación, se mostrará una selección de trabajos de alumnos siguiendo esta propuesta. Cabe destacar que es un ejercicio final de síntesis que pretende se apliquen todos los principios de diseño en los seis meses primeros de sus carreras. En promedio, se contó con dos semanas para su ejecución.



Trabajo de Arturo López Hernández quien inició con una estructura ramificada a partir de corales de la especie *Acrófora palmata* para cubrir todo con una tela textil flexible de nylon a manera de las cubiertas de conexión mínima de los exoesqueletos de coleópteros que posteriormente se endureció con pegamento blanco e impartió textura con papel teñido.



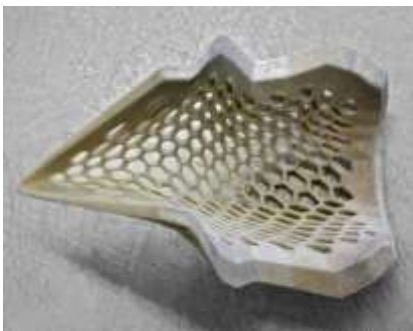
Trabajo del alumno Cesar Alberto Olea López utilizando los principios de ramificación en el asiento y el respaldo (aunque faltó un poco de precisión en la adaptación antropométrica del respaldo lumbar y dorsal) y una base inspiradas en las patas de una rana dando atención a la forma de las falanges terminales que aumentan el apoyo y estabilidad. Normalmente no se les solicita una aplicación funcional.



Trabajo de la alumna María Teresa Rico Galindo inspirada en las distribuciones radiales de las plantas cactáceas y la manifestación de las espinas en explosión radial. Ha utilizado también principios de diseño como ritmo de puntos y teoría del color gamas cromáticas



Trabajo del alumno Luis Alberto Ríos Medina quien analizó la forma de la aleta dorsal del delfín cuello de botella y sus múltiples coincidencias con las proporciones áureas y generó dos módulos que unió perpendicularmente como un núcleo que después envolvió en un textil flexible de nylon que luego endureció con pegamento de cloruro de polivinilo para dar una textura con pedazos de papel de china teñidos con anilina



Trabajo del alumno Luis Ángel Guerrero Pacheco Quien a partir de las retículas hexagonales de los paneles de abejas y avispas hizo una deformación utilizando el programa de diseño tridimensional Rhinoceros 3D y logró hacer una impresión tridimensional a base de estriado en las instalaciones de la Universidad para alumnos mas avanzados.



Dos de los prototipos diseñados por el autor de la ponencia, fruteros que fueron diseñados para el aniversario 40 de la Universidad Autónoma Metropolitana. Está integrada por 4 aspas circunscritas en el perfil de espirales áureas. Se utilizó las estructuras reticuladas inspiradas en los radiolarios la estructura refleja un crecimiento dinámico que permite ir añadiendo elementos en un crecimiento coherente como el que se aprecia en múltiples ejemplos de la manifestación formal de la naturaleza.

Conclusiones.-

Este ejercicio es un buen factor para incentivar el interés en la naturaleza y como se manifiestan sus propuesta formales de manera sistematizada y siguiendo muchos principios que se comparten con el diseño Básico requiere de mucha asesoría especializada en los sistemas de manifestación formal de la naturaleza pero incentiva la generación de formas innovativas.

Referencias Bibliográficas

- 1.-Von Bertalanffy, Ludwig, *Perspectivas en la teoría general de sistemas*. Alianza Universidad, Madrid.
- 2.-Di Bartolo, Carmelo, *Strutture Naturali e Modelli bionici*. Departamento of Industrial Design, Istituto Europeo di Design, Milán, 1981.
- 3.- <http://es.wikipedia.org/wiki/Velcro>
- 4.-Papanek, Viktor, *Diseñar para el mundo real*. Hermann Blume, Madrid, 1977, p. 191.
- 5.-Bonsiepe, Gui, *Teoría y práctica del diseño industrial*, Gustavo Gili, Barcelona, 1975, p. 132.

Bibliografía.-

Asimow, Morris, **Introducción al Proyecto**. Herreros Hnos. S. A., México 1968.

Bar-Cohen, Yoseph **Biomimetics: Biologically Inspired Technologies** 2 nov 2005 Editorial CRC Press (2 de noviembre de 2005).

Benyus, Janine M. **Biomimicry: Innovation Inspired by Nature** sep 2002
Editorial William Morrow

Bonsiepe, Gui, **Teoría y práctica del diseño industrial**, Gustavo Gili, Barcelona, 1975.

Di Bartolo, Carmelo, **Strutture Naturali e Modelli bionici**. Departamento of Industrial Design, Istituto Europeo di Design, Milán, 1981.

Di Bartolo, Carmelo, conferencia en Encuentros de Diseño, Impiva, Alicante, julio de 1985.

Gordon, William, Sinética: **El desarrollo de la capacidad creadora**, Herreros Hnos. S. A., México, 1965

Gyorgy Doczi, **“El Poder de los Límites”** Editor: Troquel (2 de junio de 1997)

Jones, Christopher, **Métodos de diseño**. Colección GC. Diseño, Gustavo Gilí, Barcelona, 1977

Pearce, Peter, **Structure in Nature is a Strategy for Design**, MIT Press, Cambridge, 1978. Stevens, Peter, **Patrones y pautas en la naturaleza**. Biblioteca Científica Salvat, Barcelona, 1986.

Lecuona, M., y Songel, C, **Design Research and Design Management**, Ponencia en el Fifth International Forum on Design Management, Research and Education, Sloan School of Management, MIT Boston, 1993.

Manzini, Ezio, **“The Material of Invention: Materials and Design”**. A. Shugaar (Traductor) Editorial Design Council (1 de enero de 1989).

Otto, Frei, **“Natürliche Konstruktionen”**, Deutsche Verlaganstalt. Stuttgart.

Papanek, Viktor, **Diseñar para el mundo real**. Herman Blume, Madrid, 1977.

Schmitt, Otto (1969): **“Some interesting and useful biomimetic transforms”**. Proceedings of Third International Biophysics Congress. Boston.

Songel, Gabriel, **“Estudio metodológico de la biónica aplicada al diseño industrial”**, tesis doctoral, ETSI Industriales, Universidad Politécnica de Valencia, mayo de 1991

Woodson, Thomas, **“Introduction to Engineering Design”**, McGraw Hill, Inc., Nueva York, 1966, p. 81. Alger J. R. H., y Hays, C, V., **Creative Syntbesis in Design**, Prentice Hall, Inc., Nueva Jersey, 1964.

Vincent, Julian; Bogatyreva, Olga; Bogatyrev, Nikolaj; Bowyer, Adrian; Pahl, Anja (2006): **“Biomimetics: its practice and theory”**, Journal of the Royal Society Interface.

Schmitt, Otto Herbert, 1913 -1998. **“Physics in Perspective”**. Vol. 4.