

Aplicaciones de ingeniería y diseño arquitectónico empleando modelos biológicos

Eddie Armendáriz, José Rodríguez, Pablo Carbo, Enrique Martínez, Juan López y Enrique Rocha

E. Armendáriz, J. Rodríguez, P. Carbo, E. Martínez, J. López y E. Rocha
Universidad Politécnica de Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, 87138 México
erochar@upv.edu.mx

M. Ramos., V. Aguilera., (eds.) .Ciencias Naturales y Exactas, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2013.

Abstract

The biomimetic word; derives from the BIO word that means life and mimetic word that means imitate. It is a new science that deals with the application of methods and natural systems to engineering and technology, through this concept it has developed a number of innovations far superior to that the human mind alone have conceived. The central idea is that nature, imaginative by necessity, has already solved many of the problems that we try to solve. The animals, plants, microbes are accomplished engineers. They have found what works, what is appropriate, what lingers on earth. This is the real novelty of biomimetics; after 3.8 billion years of research and development (evolution), failures are fossils now! All surrounds us is the secret of survival. Thus, many scientists, designers, engineers, biologists, chemists, etc. have used this way of thinking to find effective solutions to real-world problems. In this paper a brief review of the use of this new concept in architectural design applications is analyzed.

5 Introducción

La aplicación al diseño mediante la inspiración en cosas vivas y las tendencias de diseño contemporáneas alrededor del mundo parecen apuntar hacia un norte común: la tecnología como acelerador de nuevas tipologías. Y es que ciertamente la ciencia y la tecnología en los últimos años han sufrido un marcado progreso hacia dimensiones antes inimaginables. La biología sintética, la nanotecnología y la biomimética comprenden tres de las diez tecnologías emergentes del 2013 según The World Economic Forum Global Agenda Council on Emergent Technologies. Las tres especializaciones científicas se han encargado de difuminar las barreras entre el diseño sintético y las cosas vivas. Materiales regenerativos, capaces de crecer o moverse, órganos sintéticos, y superficies que imitan el proceso de fotosíntesis son algunos avances tecnológicos que guían un nuevo concepto de diseño que emula la adaptación y el proceso morfo genético de las cosas vivas. La ciencia contemporánea es capaz de generar tecnología que antes era solo concebida como parte de la ciencia ficción. La arquitectura no está ajena a todos estos cambios que implican una innovación, no de estilo, sino de la propia definición¹.

La naturaleza puede inspirar las soluciones del diseño de la ingeniería, y que son eficientes, prácticas y sostenibles y tienen además el potencial para descubrir nuevas tecnologías, nuevos materiales y nuevos procesos. El diseño, significa el trazado o delineación de un edificio, instrumento o forma, generalmente de modo armonioso, apuntando a un fin determinado o solucionando alguna necesidad. Por lo que nos hacemos algunas preguntas como: Qué parámetros de diseño definen la forma de las cosas vivas?, Cómo funcionan los diseños de la Naturaleza?. Estas interrogantes conforman la base teórica de la biomimética, una filosofía que ha incursionado en muchas firmas de diseño y arquitectura emergentes. Arquitectos destacados y Diseñadores Industriales en el mundo imaginan edificaciones dinámicas capaces de cambiar su configuración en respuesta a cambios del contexto. Cuánto más seguro sería un edificio si su estructura imitara la mecánica de un esqueleto que puede cambiar su configuración para mantener el balance?, Cuánto más segura y saludable sería nuestro entorno urbano si las superficies de las edificaciones y cosas que utilizamos pudieran similar las estructuras naturales mecánicas y aerodinámicas dando la fuerza para la aplicación en nuestra vida cotidiana?, Cuánto más ecológicas serían las estructuras si fueran concebidas como parte del ecosistema natural?

La biomimética implica traducir diseños biológicos en estrategias de tecnología que permitan resolver un problema determinado. Pero, ¿qué problemas enfrentamos en aparte de los asociados al consumo energético y contaminación ambiental?; huracanes, terremotos, inundaciones, deslizamientos y tsunamis son algunos de los problemas o potenciales problemas, por falta de una adaptación mejor, podrían potenciar desastres de gran magnitud. Desde el 2011, en la Escuela de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica de Puerto Rico, el taller de diseño “BioTectonicAnalogues in Architecture” investiga diversos diseños biológicos para definir estrategias de diseño arquitectónico mejor adaptado. Inspirado por palmas, cavernas, bambú, hojas, corales, mangles y hasta fibras del tejido de las arañas sirven como modelos de estudio para mejorar la tecnología de edificaciones capaces de responder a las eventualidades, así como también mejorar los diseños de las cosas cotidianas que utilizamos en nuestro entorno.

Su campo se extiende a sistemas de ingeniería y arquitectura tratandola relación forma/función y entrando en el dominio de la morfología funcional, definiéndola en el campo de la construcción como biomorfica. Por ejemplo, el bambú podría potenciar el diseño de mejores estructuras antisísmicas. La superficie de una palma es capaz de manejar grandes cargas de viento por la flexibilidad de su tronco lo que inspira a estudiantes a diseñar arquitectura más apta a manejar fuerzas de vientos. El estudio del patrón microscópico de una hoja promete una estructura donde las estructuras puedan ser más fuertes y flexibles al mismo tiempo. Más aún, el estudio de proteínas elásticas y la morfología de nuestras cavernas sirven para proponer un tipo de arquitectura que, en el futuro. El estudio de las fibras y formas del tejido de las arañas sirven como modelos para reforzar esfuerzos mecánicos y soportar grandes pesos como carga y podría reajustar su configuración estructural para manejar mejor fuerzas extremas de la Naturaleza.

5.1 Métodos

En la catalogación de ejemplos se insertan elementos presentes en el mercado que se aplican a la edificación y nuevos productos que se están desarrollando. Como vemos, en términos generales, siguen el principio de la optimización del uso y comportamiento del material empleado. Otros incorporan el desarrollo de nuevos materiales y/o de los procesos de fabricación. La relación con la naturaleza es una práctica que desde hace un siglo está presente en forma explícita en el desarrollo de la tecnología humana, por eso encontramos ejemplos que forman parte de nuestra vida cotidiana.

Al pasar al objeto construido como es un edificio u objeto, hay un incremento de la complejidad en términos generales. Por una parte hay que considerar el factor de escala que incide entre el ejemplo natural y la dimensión humana. Además una construcción es un sistema complejo que afecta múltiples funciones y necesidades.

En relación al sistema estructural en la optimización del comportamiento para cubrir grandes luces, reducir el uso del material, etc. En un contexto donde la analogía entre estructura y sistema natural aparenta tener una relación privilegiada debido a un largo recorrido histórico.

En relación al ahorro energético que se analiza respecto a la producción de energía ya la reducción del gasto energético. En este último caso se involucra tanto la reducción del consumo propiamente eléctrico como en términos más generales una mirada hacia la reutilización o reciclaje de material como comportamiento sostenible propio de los seres vivos.

En relación a una visión dinámica que responde a cambios de necesidades que varían en un determinado plazo de tiempo, a los tiempos de uso y transporte del objeto arquitectónico. Un concepto que se entrelaza entre los ejemplos es el de “multifuncionalidad”. Tanto en la arquitectura como en la naturaleza hay elementos que sirven para responder a más de una necesidad o función.

5.2 Ejemplos de aplicaciones de diseño en ingeniería y arquitectura

Hemos comentado como la forma fractal consigue optimización en la función de nuestros pulmones o sistema circulatorio. La naturaleza está llena de consideraciones semejantes. Por ejemplo, la ramificación en los árboles no es arbitraria. Las hojas de los árboles captan la luz solar para efectuar la fotosíntesis, proceso indispensable para mantener vivo al organismo. Para optimizar energéticamente este proceso de absorción, el árbol emplea la ramificación. La relación entre el tronco y las ramas de un árbol tampoco es arbitraria. Observando que la suma del área de las secciones de todas las ramas de un árbol a una determinada altura, se mantiene constante en todo el árbol (Fig.5.1). El paso de la savia, los nutrientes, desde las raíces (también ramificadas para proporcionar optimización en absorción y estabilidad) hasta las hojas debe mantenerse a un flujo constante independientemente de las ramificaciones, esto permite mantener un cuerpo al diseño rígido y a su vez flexible con gran fuerza mecánica, en base a lo anterior Richard Rogers & Partners plasman su diseño de la Terminal 4 en el aeropuerto de Madrid en Barajas (Fig. 5), inspirado en la estructura y soporte mecánico del ramal de un árbol.

Figura 5 Richard Rogers & Partners, Terminal 4 Aeropuerto de Madrid Barajas

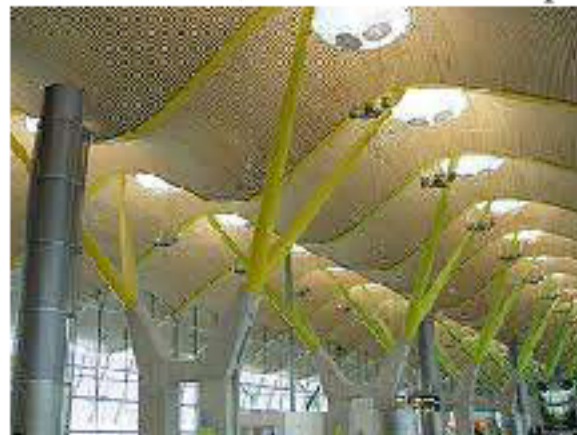


Figura 5.1 Estructuras de un árbol con sus ramificaciones



El capullo de mariposa se denomina crisálida (Fig.5.4). La crisálida o capullo, es producida por dos glándulas que forman una sustancia fibrosa parecida al pegamento, que se hila alrededor del cuerpo de la oruga y luego se endurece con el aire. La crisálida no tiene cobertura de seda y se torna dura y lisa, como la mariposa monarca se hace transparente así tomó la estructura y luminosidad al parque de relajación Torrevieja en Alicante, España (Fig.5.2) que toma la misma estructura que un capullo y transparente desde su interior (Fig. 5.3).

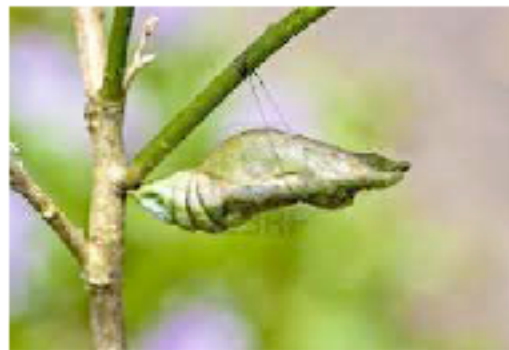
Figura 5.2 Toyo Ito & Associates, Parque de la relajación, Torrevieja Alicante, España



Figura 5.3 Estructura del Interior del parque



Figura 5.4 Capullo de mariposa



Las abejas construyen sus panales con celdas con la forma de un prisma esto se describiría como como una obra de arte de ingeniería en la que se minimiza mano de obra y material y una demostración del principio de selección natural (Fig.4b). Más allá de su belleza innegable, Qué lo hace tan especial?, Si se trata de economizar perímetro para maximizar área, es bien sabido que la solución es un círculo, y para economizar área para maximizar volumen una esfera.

Pero en esta construcción las piezas se ensamblan perfectamente sin espacios perdidos que no se puede lograr con círculos y esferas.

Esto se conoce en matemáticas como un embañosado y en el caso periódico es la misma figura geométrica la que se repite una y otra vez para generarlo.

La tapa hexagonal está soportada por seis trapecios y en su base inferior nos encontramos con una base de 3 rombos iguales que permiten que se encajen para no dejar espacios vacíos. El sistema en celdas hexagonales de las colmenas y avisperos (Fig. 5.4), es uno de los ejemplos naturales empleado en los paneles de madera y cartón permitiendo una importante reducción del peso sin perder resistencia en el diseño del proyecto Eden, (Fig.5.3).

Figura 5.3 Nicholas Grimshaw Architects, Eden Project, Cornwall UK



Figura 5.4 Estructura Eden Project



Figura 5.5 Estructura de gotas de agua



Los sistemas reticulares optimizan el comportamiento estructural y permiten la realización de superficies complejas, donde su inspiración se basa para el diseño de la llanta sin aire tomando la estructura de sistema en celdas hexagonales (Fig.5.6).

Figura 5.6 Diseño de estructura de una llanta sin aire, X-Tweel,Michelin en prototipo



Figura 5.7 Estructura de un panal de abeja



Si observamos la estructura interna de los huesos similares en distintos animales podemos descubrir que cuando cambian las dimensiones, la naturaleza recurre a determinados mecanismos formales que atenúan la variación de la relación entre el peso propio y el área de las secciones resistentes.

Cuanto mayor sea el tamaño del hueso o cuanto mayor carga deba soportar, parecería ser mayor el volumen del hueso o cuanto mayor deba soportar, parecería ser mayor el volumen óseo ocupado por la cavidad medular y por el hueso esponjoso.

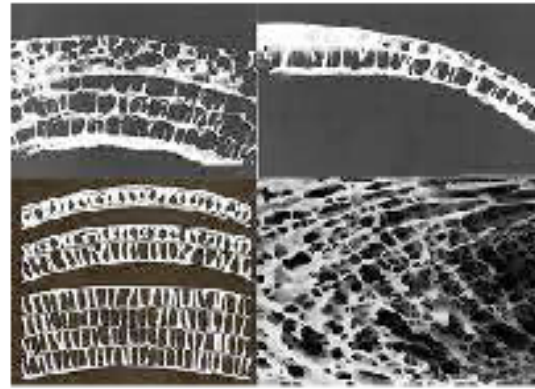
Los huesos de todos los mamíferos se forman a partir de los mismos componentes, fundamentalmente el colágeno tipo I, (Fig.), de modo que la naturaleza debe ingeniarse para diseñar estructuras de distintos tamaños con el mismo material.

La optimización del peso del esqueleto es aún más sofisticada en los vertebrados capaces de volar.

Los huesos largos de las aves de gran tamaño poseen huesos rellenos de aire y no de medula ósea, llamados huesos neumáticos, que están reforzados en su interior con estructuras espaciales triangulares al estilo de viga Warren.

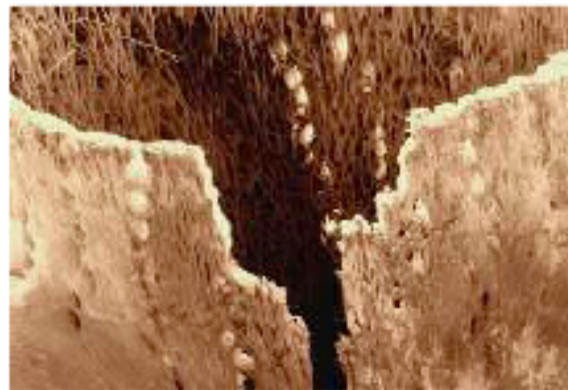
Esta configuración geométrica les otorga propiedades excepcionales de ligereza y de resistencia en las estructuras óseas así, como también en los cuerpos de algunas plantas como los cactus que también tienen la configuración interior geométrica triangular (Fig.5b).

Figura 5.8 Sección de un hueso metacarpiano del ala de un buitre, hueco y reforzado



Interiormente a modo de viga Warren. Imagen extraída de “On growth and form” (Thompson, 1945, p. 981)

Figura 5.9 Construcción anatómica del Cactus



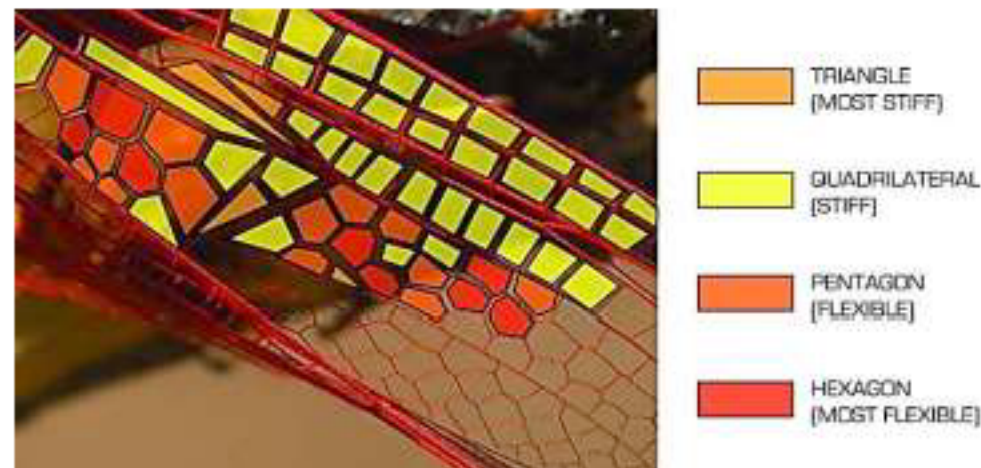
Uno de los patrones más complejos es el de la libélula la ramificación en sus alas y las formas de células en las alas es una respuesta evolutiva a la fuerza del flujo durante su vuelo.

La rigidez y la flexibilidad son determinadas por los lados y número de las formas de célula que tiene en las alas, además de la profundidad y el grosor de las paredes de esas formas de células.

La región de la parte superior del ala de la libélula exhibe haz como rigidez denotado por cuadriláteros, mientras que la región inferior tiene que flexionarse para permitir que el ala y se compone de células pentagonales y hexagonales (Fig.5.10). En general un aumento en el número de lados de una célula tiende a producir regiones con flexibilidad, mientras que una disminución de área inevitablemente conduce a miembros rígidos.

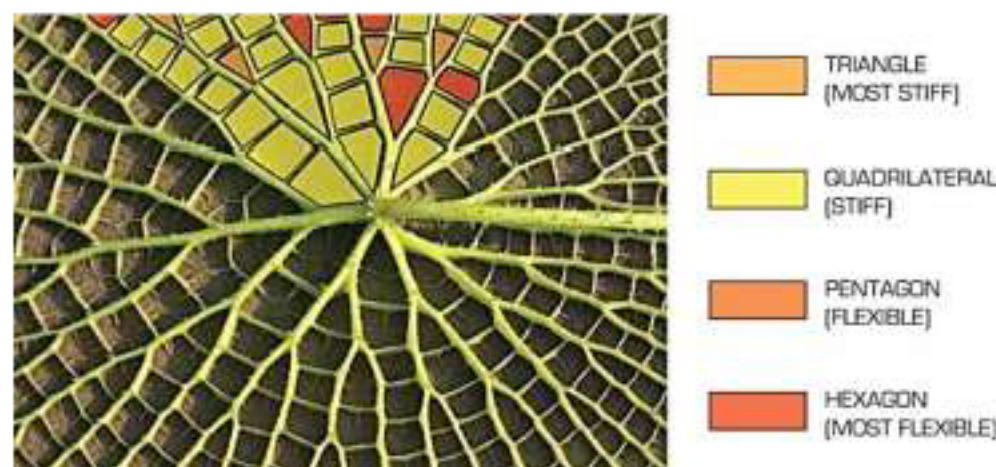
El patrón sigue a las fuerzas de tracción generales expuestas por las bandas, y las diversas formas de llevar la responsabilidad de determinar el importe de la rigidez o flexibilidad en esa zona. Su tipología general se puede describir como viga y la membrana.

Figura 5.10 Estructura del ala de una libélula.



En la vida acuática, también el patrón de las pistas de lirio debe permanecer rígido en el agua o se quedan destruidas por las fuertes corrientes. El gigante amazónica Victoria Cruziana (Fig.7), puede alcanzar los 9 metros de diámetro y soportar el peso de un adulto. Su morfología estructural consiste sobre todo en cuadriláteros regidos por la lógica híbrida de ramificación y estructura celular, similar a la observada en el ala de libélula. La anchura y la profundidad de los miembros de la almohadilla de lirio disminuyen a medida que se acercan al borde de la superficie. Esta disminución de la anchura y la profundidad, mientras que se produce la modulación de cuadriláteros agudos a cerca de cuadriláteros en ángulo recto como aumento de la rigidez que se necesita hacia el borde para compensar su falta de profundidad. La estructura ha evolucionado para proporcionar flotabilidad y la rigidez a su cuerpo. Esta tipología puede ser categorizada como una superficie y pliegues desde la capacidad y la composición general entre la superficie y la estructura, dando una amplia inspiración en el Diseño, la Arquitectura y creación de resistencias mecánicas en implementaciones físicas al bien de la humanidad.

Figura 5.11 Estructura del cuerpo de Lirio



Las propiedades de la seda de las arañas son espectaculares. Con un grosor menor al de un cabello humano puede llegar a ser más resistente que una fibra de acero del mismo espesor, aparte de ser cientos de veces más elástico. Por esta razón, muchos científicos en el mundo están buscando la forma de sintetizarla en el laboratorio y reproducirla en diseños estructurales. En la naturaleza de la telaraña, los hilos radiales y los espirales tienen distintas propiedades mecánicas.

Los radiales son más gruesos y rígidos y son los encargados de aumentar la capacidad de carga y dar soporte a la red, mientras que los espirales son más elásticos y viscosos y se encargan de la captura (Fig.5. 12)². Ciertas arañas tejen telas en forma de embudo, otras en forma de hoja e incluso, otras tejen las telas espirales que son comúnmente asociadas con el orden. Estas telas pueden ser hechas con seda pegajosa de captura, o con seda "peluda" de captura, dependiendo del tipo de araña. Dichas telas contienen filamentos curvos suspendidos en el pegamento utilizado para atrapar sus presas. De este modo reducen el riesgo de quebrar la telaraña al atrapar insectos de gran tamaño ya que el filamento curvo se expandirá en el momento del impacto absorbiendo la tensión desencadenada (Fig.8c), enfocada a la inspiración al diseño de Centre Pompidou Metz (Fig.5.12, 5.13).

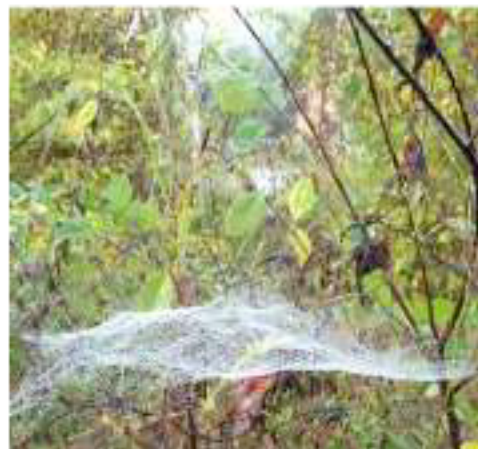
Figura 5.12 Shigeru Ban, Centre Pompidou Metz, Francia



Figura 5.13 Estructura interna del Centro Pompidou Metz.



Figura 5.14 Estructura de la telaraña



Una de las estructuras o formas aplicadas al diseño es la pompa de jabón, una espuma del panel cúbico bitruncado. Se trata de un panel uniforme convexo formado por un octaedro truncado, un poliedro que llena el espacio con 14 lados (un tetracaidecaedro): Seis lados cuadrados y ocho hexagonales (Fig.5.16). Para adecuarse a las leyes de Plateau que gobiernan las estructuras de las espumas, las caras hexagonales están ligeramente curvadas que es la estructura de Weaire-Phelan⁵. (Obtenido mediante el aplanamiento de las caras y el enderezamiento de las aristas), dando a la creación basada del Centro acuático en Pekín, China (Fig.5. 15).

Figura 5.15 PTW Architects, CSCEC International Design y Arup, Centro Acuático Nacional Water Cube, Pe-kín, China



Figura 5.16 Espuma de weaire phelean

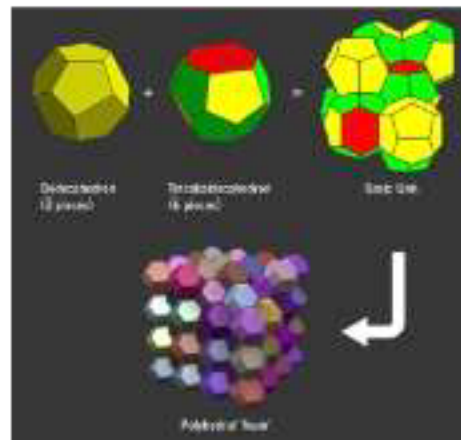
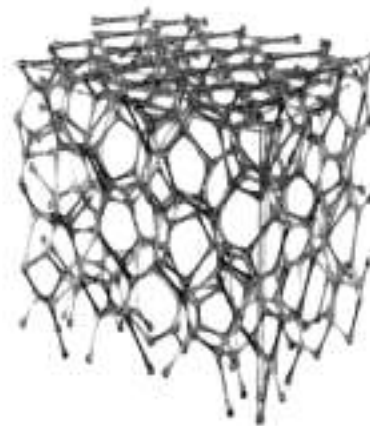


Figura 5.17 Malla esquelética de barras del CANWCP



5.3 Conclusión

Como se puede observar la biomimética es un instrumento que ayuda en el diseño de toda índole de desarrollos arquitectónicos. En su actual representación permite a los diseñadores presentes y futuros tener un enfoque moderno basado en la antigua práctica de la imitación de la naturaleza. La biomimética sigue los principios de la vida; los principios de la vida instruyen a: construir de abajo hacia arriba, el autoensamble, optimizar en lugar de maximizar, usar procesos y materiales amigables de la vida, entablar relaciones simbióticas y mejorar la biosfera, considerar la basura como un recurso, usar energía eficientemente.

Siguiendo los principios que utiliza la vida, se pueden encontrar soluciones efectivas a los problemas del mundo real.

5.4 Referencias

- Información en <http://www.arquitecturacritica.com.ar/2013/04/arquitectura-inspirada-por-las-cosas.html>.
- Cranford, S., Tarakanova, A., Pugno, N., & Buehler, M. (2012). Nonlinear material behaviour of spider silk yields robust webs *Nature*, 482, 72-76. DOI: 10.1038/nature10739.
- Weaire, D., & Phelan, R. (1994). A counterexample to Kelvin's conjecture on minimal surfaces. *Phil. Mag. Lett.*, 69, 107-110.
- Thomson, W. (1887). On the division of space with minimum partitional area. *Philosophical Magazine*, 24 (151), 503.
- Pauling, L. (1960). *The Nature of the Chemical Bond* (3rd edition). Cornell University Press, 471.
- Llorens, J. I. (2008). Zoomorfismo y bio-arquitectura: Entre la analogía formal y la aplicación de los principios de la naturaleza, II Jornadas de Investigación en Construcción, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Madrid, España.
- McQuaid, M. (2005). *Extreme textiles, designing for high performance*. Princeton Architectural Press. New York, EUA.