

# Diseño de sistemas estructurales por descubrimiento análogo

Carlos César Morales Guzmán\*

## Resumen

El origen conceptual del proyecto se produce en la reflexión análoga de la figura orgánica, en donde todo el documento hace mención de experimentos aproximados para un mayor entendimiento de la forma orgánica, pero este caso se utilizará para construir una metodología de diseño, el cual tenga como utilidad diseñar espacios más flexibles en la estructura, hallando y comprendiendo el sistema estructural de un punto de vista más integral, también se observa el desarrollo del espacio flexible, el cual forja una variación de figuras en su entorno.

Palabras clave: reflexión análoga, figura orgánica, metodología.

## Summary

The conceptual origin of the project takes place in the similar reflection of the organic figure, where the whole document mentions experiments brought near for a major understanding of the organic form, but this case will be used to construct a methodology of design, which takes as a utility designing more flexible spaces in the structure, finding and comprising the most integral structural system of a point of view, also there is observed the development of the flexible space, which forges a change of figures in his environment.

Key words: similar reflection, organic figure, methodology.

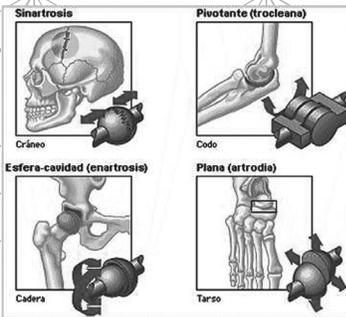


Figura 1. La articulación humana ayuda a crear un principio de diseño biónico que conduzcan a desarrollar una estructura más flexible y adaptable.

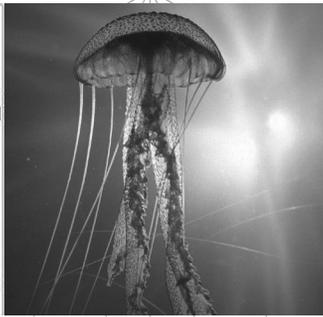


Figura 2. Las formas naturales como la medusa se adaptan a una situación extrema, pueden ser tan frágiles a simple vista, pero son resistentes en su entorno.



Figura 3. Aeropuerto de Lyon del arquitecto Santiago Calatrava, tiene principios estructurales con base en la biónica humana. Imágenes proporcionadas por Carlos César Morales Guzmán.

Como desarrollo experimental se elaborará un modelo iconográfico que se base en la experimentación de los conceptos, esto hará desarrollar un principio de diseño con sistemas tecnológicos más aptos para un contexto de clima intenso y variable en su entorno, generando pautas de composición y adaptación al entorno natural, éstas se aplican posteriormente a las propuestas del proyecto arquitectónico, que se fundamenta en las consideraciones sobre las formas y principios existentes en la naturaleza. Se realiza una observación en el comportamiento de las funciones y la morfología de las estructuras orgánicas; para proveer de nuevas ideas de diseño, éstas tendrán dos etapas definidas: la biónica y la bioforma como diseño.

La biónica nos apoyará a encontrar un principio de diseño de estructura flexible, el cual tendrá como origen la anatomía humana y de la naturaleza, esto favorecerá para tener esa articulación de movimientos dentro de un modelo, creando así un mejor sistema estructural y versátil; en cuanto a la bioforma, nos ayudará a descubrir una pauta de diseño adaptable al contexto, creando composiciones más coherentes y adaptables al contexto, así el espacio creado por este principio no alterará el entorno sino que se integrará de forma más natural al espacio.

Uno de los tópicos a abordar se remonta a la analogía orgánica; para entenderla y poder aplicar un modelo arquitectónico que se integre al contexto, se tienen que apreciar las formas de la naturaleza, en este caso las formas biónicas; un ejemplo son las articulaciones humanas que por su ligereza y resistencia pueden aguantar grandes cargas y mantener su equilibrio (figura 1), su articulación crea la forma de adaptarse a casi cualquier posición, lo que da versatilidad de movimiento.

Otra forma biónica es la medusa de mar (figura 2), su forma se integra al paisaje del mundo submarino, su cuerpo no contiene esqueleto, esto le proporciona ligereza para flotar e integrarse a su entorno.

Las formas orgánicas se pueden ver en la arquitectura contemporánea empleada como forma de expresión y adaptación, la cual es de mucha importancia ya que se integran a su entorno, generando una jerarquía nueva en la imagen de la ciudad. En cuanto a su principio estructural, los edificios están regidos por estos conceptos: simetría, equilibrio, resistencia, ligereza, adaptabilidad y articulación.

Un buen ejemplo de la arquitectura biónica es el arquitecto Santiago Calatrava, él aplica los conceptos orgánicos como una manera de expresión en la estructura del edificio, creando un espacio más acorde al contexto.

El aeropuerto de Lyon (figura 3) es una obra en donde Calatrava refleja los conceptos biónicos de una estructura articulada, su propia forma le da resistencia y la ligereza de mantener su peso equilibrado, el principio estructural de la edificación proviene de una estructura ósea, ya que su forma tiene una columna vertebral que une a toda la subestructura.

Las bioformas se basarán directamente de la figura orgánica, en este ejemplo se ven en los principios celulares, con los cuales se realizará un sistema de redes y ritmos espaciales, los cuales tendrán la labor de dimensionar y adaptar el área del espacio, integrando un sistema estructural flexible pero estandarizado, para comprender el fenómeno de la bioforma, se analizarán las agrupaciones celulares (figura 4), esto para crear el sistema modular dentro del modelo iconográfico; como ejemplo, tenemos la célula madre que vista en planta es una red espacial donde su traza parte de un nodo retórico, el cual en tres dimensiones provocan crecimiento rítmico agrupado para adaptarse a un cuerpo grande, esta forma de agrupación deja como principio de diseño generar una traza reticular abstracta de la célula madre.

Estas analogías se pueden ver en la arquitectura contemporánea, un ejemplo de ello es la Torre Sur de Nueva York (figura 5), este diseño hecho por Calatrava tiene como principio la agrupación celular, el edificio está sujeto a un

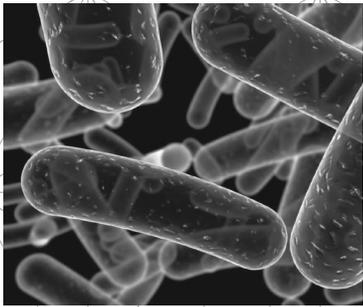


Figura 4. Las formas orgánicas en el diseño establecen un principio espacial en el modelo, sus agrupaciones tridimensionales crean una composición de adaptación al medio.



Figura 5. Proyecto Torre Sur de Nueva York, del arquitecto Calatrava, edificación conformada de cubos habitacionales sujetos sobre un poste principal, el cual ayuda a estabilizar la forma del edificio.

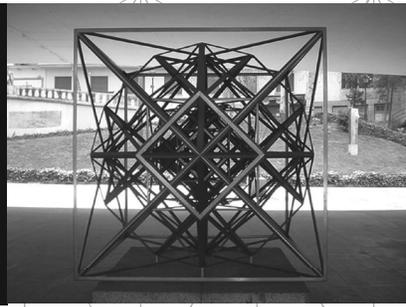


Figura 6. Estructura hiperpoliédrica, hecha por el arquitecto Rafael Leoz, las subdivisiones geométricas del cubo, tiende a generar más caras en el interior, marcando límites espaciales de crecimiento.

eje central donde se agrupan los cubículos, el eje estabiliza y simetriza la traza vertical del sistema estructural-espacial, sus segundos ejes soportan los cantiliver de los cubos habitacionales, éstos sujetos a unas armaduras tubulares que se anexan en los soportes secundarios.

En consecuencia de los análisis anteriores se elaborarán ensayos que contengan los principios conceptuales que se han propuesto para la proyección del modelo iconográfico final a seguir, ya que éste es más aproximado al proyecto arquitectónico.

### Planteamiento del problema

El impacto que tiene el modelo iconográfico conceptual final, se implementará por los conceptos orgánicos de la biónica y bioforma, este desarrollo orgánico trae como consecuencia la comprensión del crecimiento de las formas naturales, la biónica genera la estructura articulada que se requiere para un sistema flexible y la bioforma la adaptación del espacio en el contexto, juntando esto nos deja un principio de diseño para crear un sistema de redes espaciales, las cuales tendrán un ritmo integral en el modelo conceptual; los conceptos de diseño nacerán por todas estas aplicaciones conceptuales, las cuales provienen de células orgánicas, así, este modelo experimental debe de adaptarse a su contexto pero de forma congénita al ambiente en que se desarrolle.

Estos estudios se inclinan a la observación de redes naturales como la estructura celular de una molécula, su forma de crecimiento ayuda a formar una red espacial y flexible que se acople a su entorno, generando conceptos de sistemas estructurales de desarrollo progresivo, en las cuales el espacio es manipulado constantemente por esta expansión del espacio, comprendiendo la naturaleza de crecimiento progresivo se aplicarán los conceptos respectivos a los modelos.

Una referencia de este concepto de sistemas de redes y ritmos se ve con el arquitecto Rafael Leoz, con su estructura hiperpoliédrica del espacio (figura 6), esta red sistémica busca la flexibilidad del espacio optimizando toda la estructura, dicha práctica nació por la experimentación de las subdivisiones geométricas del espacio, en la cual el cubo es el principal volumen para esta modulación, estas subdivisiones están hechas para comprender los límites del espacio dentro de un entorno.

Esta comprensión analógica experimental del espacio nos da como resultado que la estructura es la base principal de los experimentos, y como su sistema estará compuesto de conceptos orgánicos y geométricos dará paso a la generación de pautas de diseño en el modelo final del proyecto, creando la adaptabilidad del espacio en un contexto natural, esto implica que el desarrollo del modelo iconográfico será basado en una geometrización orgánica y estandarizada, en donde la adaptabilidad climática del entorno influye en el modelo final para el proyecto.

### Hipótesis teórica conceptual

Para desarrollar el proceso de diseño experimental se generan los principales conceptos estructurales en el diseño biónico mediante el dibujo, el análisis análogo de la forma orgánica de algunos seres vivos (pez globo, manta raya, lagartija y escorpión), con ellos se experimentarán sus características de adaptación al medio ambiente, llegando a la conclusión de que son formas ligeras, sencillas y equilibradas, que a la vez son resistentes, flexibles y adaptables, que permiten generar nuevas ideas de diseño para el modelo arquitectónico de este trabajo; comprendiendo esta fase conceptual se genera, por medio del proceso de diseño conceptual, la utilización de herramientas de ensayos como el dibujo y modelo tridimensionales, puesto que por medio de un modelo iconográfico se comprenderá la

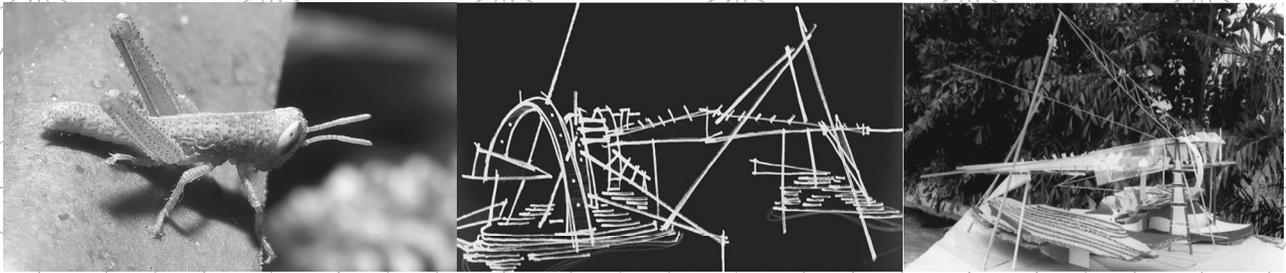


Figura 7. La observación de la forma biónica en el grillo genera un modelo conceptual de estructura, la cual aplica principios de flexibilidad y fragilidad que se pueden aterrizar en un modelo experimental de diseño.

aplicación de procesos al proyecto final, generando una guía de experimentaciones análogas de la forma para la elaboración de un sistema estructural versátil.

Para desarrollar este proceso se tomaron tres figuras biomecánicas: la estructura orgánica del grillo, los huesos de las aves y el embrión humano, ya que cada una de estas formas biónicas tiene como principio la flexibilidad de adaptarse en contextos variables, éstos desarrollan un crecimiento estructural versátil para lograr su integración al entorno.

El primer análisis a desarrollar es la estructura orgánica del grillo, así como su comportamiento en su hábitat natural. Interpretación de las patas en la estructura de desplazamiento que propone operar mediante la tecnología del sistema telescópico, con amortiguamientos generados por una serie de resortes y pivotes que le permiten al edificio estar desplazado del terreno a manera de palafito (flotando).

Se genera un bosquejo para comprender la forma ligera del grillo (figura 7), el cual nos brinda una estructura fácil de elaborar con principios de adaptabilidad al contexto, toda esta interpretación nos deja como conceptos la fragilidad, la esbeltez, la ligereza, la adaptación y el mimetismo con su contexto, esto nos crea un modelo conceptual tridimensional de sistemas flexibles naturales, gracias a la ligereza de esta forma estructural grillo, ya que su fragilidad nos genera el concepto de adaptabilidad e integración a su entorno por medio de su exoesqueleto, el que nos

brinda la estabilidad de todo el modelo, su propia ligereza nos da como base la flexibilidad de poder transformar su estructura, en donde también crea la protección necesaria por medio de paneles situados de manera diagonal, así se podrá prevenir en zonas críticas climáticas, dejándonos un principio de diseño estructural biónico transformable en su entorno.

Otras estructuras orgánicas flexibles y ligeras son las formas de los huesos de las aves, ya que el interior de ellas es hueco y están llenos de aire, lo que los hace ser muy livianos; a su vez son muy fuertes y muchos de ellos están fusionados, lo que crea un esqueleto rígido, su forma genera conceptos como ligereza, flexibilidad, adaptación, fragilidad; a partir de esta serie de conceptos y elementos que se derivan del ave se generan ideas de diseño, haciendo metáforas y analogías aplicadas a las características de la estructura que se requieren en el modelo arquitectónico. En los dibujos se estudia el vuelo de los pájaros, en donde el aleteo muestra la característica referida.

Se hace la interpretación del esqueleto del ave para entender cómo trabaja esta estructura y poder llevarla a un modelo arquitectónico. Se crea el modelo tridimensional en donde se propone la estructura del ave como principio de diseño (figura 8), el cual genera una estructura versátil y ligera la cual se basa en las patas que constituyen apoyos articulados que sostienen la estructura completa, las

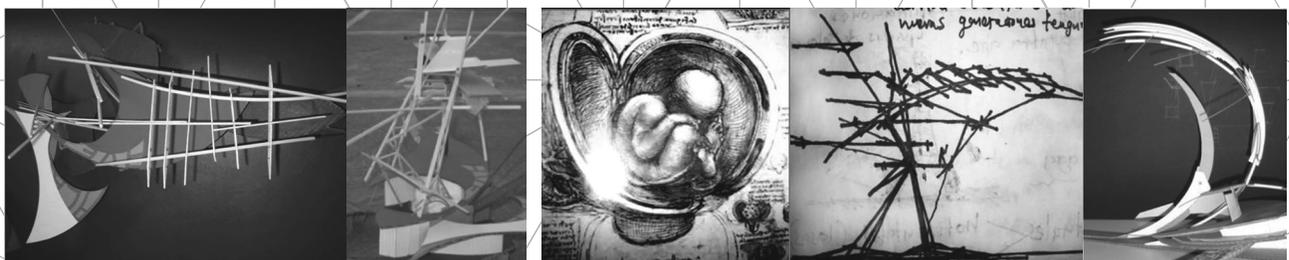


Figura 8. Los principios estructurales de huesos de las aves tienen la propiedad de ser ligeros y resistentes, que ayudan a generar principios estructurales versátiles, que generan conceptos experimentales de diseño.

Figura 9. El embrión humano proporciona un sistema estructural adaptable pues dado que su forma geodésica ayuda a proteger el interior, esto nos da como principio de diseño la generación de una estructura curva que protege y transforma su espacio para adaptarse a su entorno.

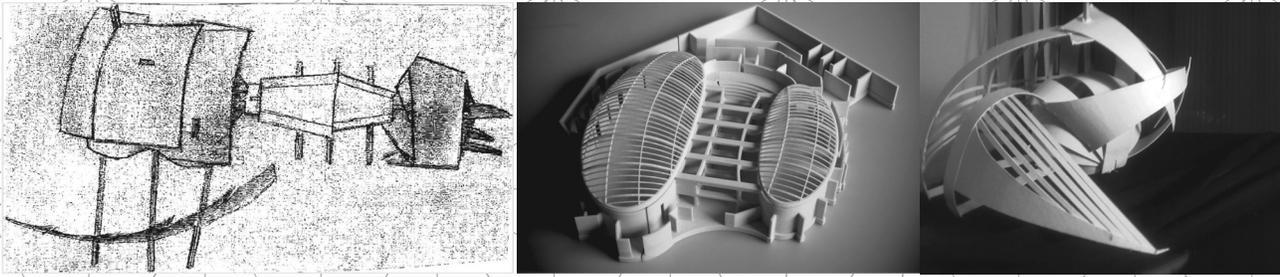


Figura 10. Ensayos de experimentación que producen un principio de estructura adaptable a su contexto, el modelo experimental es un principio conceptual de la forma biónica en la estructura y muestra cómo puede evolucionar hasta adaptarse a su entorno.

costillas complementan la estabilidad de la estructura con sus uniones esbeltas, las alas y el pico generan el espacio dentro de la estructura y las plumas sirven como protección al modelo, obtenidas por planos colocados estratégicamente para proteger el espacio, con ello generamos una analogía biónica adaptable a un entorno.

Otro ejemplo de diseño biónico es el embrión humano, el cual desarrolla la idea de diseño mediante el trazo de la forma curva geodésica (figura 9), la cual precisamente por su forma, tiene estabilidad y una geometría adecuada para ello, con esto buscamos los significados biónicos en la forma del feto para que tengan una aplicación al modelo experimental, en el cual encontramos conceptos como fluidez, ligereza, curva geodésica, protección y adaptabilidad a su ambiente; todos estos principios de diseño se aplicarán al proceso de diseño estructural embrionario, el cual tiene la forma articulada del feto humano, adquiriendo jerarquía estructural por medio de la figura del embrión.

Su desarrollo experimental comienza mediante el dibujo de la forma del embrión, en donde se detecta su red geométrica y su imagen de crecimiento sistemático en la estructura; este desarrollo prepara la aplicación a un modelo tridimensional, utilizando las formas curvas de la placenta del embrión, que servirán para proteger el espacio interior del modelo; al igual se desarrollan sobreestructuras de protección para adaptarse a su contexto, la sobreestructura se sostiene por una curva principal que sirve como cordón umbilical de la forma biónica, creando un modelo iconográfico biónico.

Comprendiendo que la naturaleza brinda principios de diseño estructural, desarrollaremos un sistema estructural que se pueda adaptar a formas naturales; aplicando la analogía biónica que realizamos en los ensayos, encontramos que la estructura ósea humana es la más resistente y delgada, pero por su propiedad porosa, hace que su estructura se adapte a un sistema estructural más flexible, haciendo que su integración sea menos agresiva a una convencional, aporta una mejor calidad de espacio al modelo.

En cuanto a la estructura, se forma un principio estructural biónico dinámico (figura 10), éste se desarrolla por la integración de sus espacios al entorno, la geometrización de las partes irregulares, y forma una traza geométrica irregular, sus espacios se articulan con una línea rectora que le da un eje principal al modelo.

Adaptamos la forma del modelo a un esqueleto estructural en donde sus partes se integren a un cuerpo de manera simple, éste se desarrollará en un contexto extremo donde la subestructura proteja a la edificación con dobles pieles, y composiciones coherentes a un entorno natural.

Reinterpretando los procesos de diseños anteriores dedujimos un principio de diseño que tuviera todos los alcances de una estructura flexible y adaptable a su entorno, estas aplicaciones se realizan en dos etapas (figura 11), la estructural y la subestructural.

La primera etapa es la estructural, tiene un principio de diseño de la articulación humana, las partes que lo componen son ligeras, su forma crea un sistema estructural de espacios continuos y cambiantes que hacen una composición arquitectónica,

La segunda etapa es la piel de la estructura, la cual se va sobreponiendo de acuerdo al entorno del lugar; la subestructura crea una doble piel en el modelo, esto lo protege de fenómenos externos que se puedan ocasionar en el sitio.

Su techumbre tiene formas cónicas, las cuales sirven para proteger de la incidencia solar y para captar vientos, esta adaptación orgánica en la subestructura genera varios tipos de fachadas, las cuales están diseñadas para protección y composición arquitectónica del modelo iconográfico.

En todo el desarrollo se encontraron conceptos estructurales biónicos que se pueden aplicar a un sistema estructural, en el mejor de los casos la adaptación del modelo en un entorno extremo es uno de los principios que se aplican al proyecto, también la generación de protección por medio de la subestructura generó principios conceptuales aplicables al proyecto arquitectónico.



Figura 11. El proceso de ensamblaje del modelo dejó un principio de sistemas estructurales, ésta se adecua cuando muta para adaptarse al entorno, dando como resultado un modelo iconográfico de adaptación orgánica en el contexto extremo.

## Filosofía del proyecto de investigación

Para desarrollar el proceso de diseño experimental se generan los principales conceptos estructurales en el diseño biomórfico mediante el dibujo, en donde se analiza la geometría orgánica de algunas agrupaciones celulares (figura 12), cuyo crecimiento ayuda a generar conceptos de adaptación al terreno variable, esto permitirá generar nuevas ideas de diseño para el modelo arquitectónico de este trabajo; comprendiendo esta fase conceptual, se genera por medio del proceso de diseño conceptual la utilización de herramientas mediante ensayos como el dibujo y modelos tridimensionales, ya que por medio de un modelo iconográfico se comprenderá la aplicación del proceso al proyecto final.

Generamos una guía de estudio para la elaboración de un sistema estructural versátil; en el desarrollo de este proceso se tomaron dos figuras orgánicas: la primera, la célula vegetal como desarrollo de crecimiento espacial geométrico, en donde podremos generar un sistema de redes y ritmos espaciales de manera natural; la segunda, la estructura orgánica de la célula, nos ayudará a generar una estructura versátil en el espacio rítmico, en consecuencia se mostrará de manera análoga cómo se desarrolla una célula en un ambiente variable.

Partiendo de los referentes empíricos anteriores se analizará cómo se podría simular una geometría natural aplicada a una analogía organicista del crecimiento celular geométrico (figura 13), éste desarrolla un sistema de redes espaciales, podemos observar que el diseño más

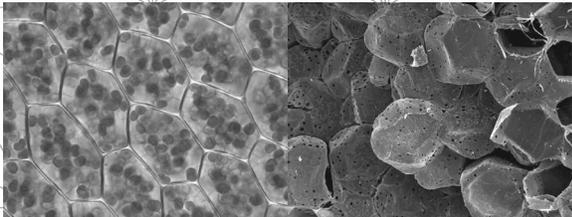


Figura 12. Red de núcleos celulares de desarrollo continuo la generación de espacios flexibles que provocan estructuras cambiantes.

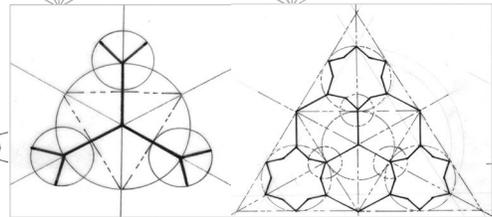
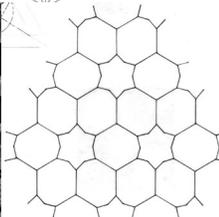


Figura 13. Unión de tres células formando un nodo geometrizado (generador de crecimiento) y polígono irregular esquematizado en un triángulo equilátero (formación de agrupaciones en la traza).

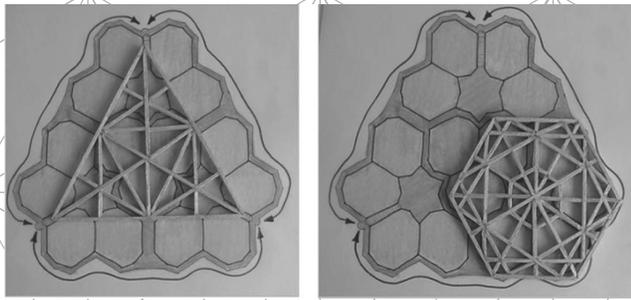


Figura 14. La red se subdivide en trazos triangulares en donde se desarrolla espacios versátiles.

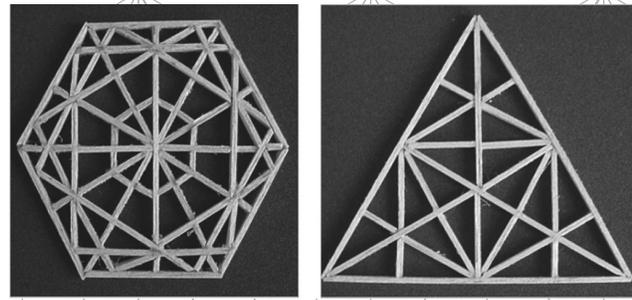


Figura 15. Dentro de la red también se encuentran otras formas y trazos que ayudan a hacerla más flexible.

coherente para generar principios conceptuales de diseño se puede obtener de la geometría celular ya que permite entender cómo un "organismo" resultante de una agregación de unidades elementales se agrupan en estructuras cada vez más complejas: el análisis parte de las unidades más elementales y se analizan posteriormente las formas de crecimiento, agrupación, división, densificación y transformación; a su vez se estudia el tejido estructural a través de sus paredes y sus encuentros nodales (aristas) fundamentales para unir los puntos importantes.

Para desplazar las fuerzas ejercidas por la misma célula que pasa a dar acceso a más espacio, con el crecimiento de sus conexiones convierte su entorno en un cuerpo más complejo, esta adaptación al entorno se geometriza por triángulos y puntos de encuentro; al realizar el análisis de una célula vegetal, se encontró que la forma recurrente son las envolventes poligonales de las múltiples aristas, siendo las más comunes las de seis aristas.

Estos cuerpos constituyen la base en la que se desarrolla el crecimiento de la célula y la cual se estabiliza. Éstas se identifican por la traza reticular que generan a la hora de desarrollarse en su espacio, seleccionamos un patrón recurrente en estas uniones de las células y se procede a geometrizar sus trazos, las cuales en sus puntas originan los triángulos, con esta forma direccional del perfil hexagonal de la célula, podemos observar que el patrón también tiene como figura el punto radial (figura 14), en la cual es proporcional al triángulo y al hexágono.

Con esta forma básica, se generan las subsiguientes buscando todos los posibles ensambles y acomodos, siguiendo siempre los ejes que se definieron en la primera geometrización. Por la deliberación de dar al segmento básico ejes a 90, 30 y 150 grados (figura 15), se observa que las figuras resultantes se encuentran esquematizadas dentro de sistemas triangulares.

Así pues, aunque las formas específicas parecieran polígonos irregulares, la forma genérica básica es el triángulo equilátero, incluso en el hexágono. Una de las propiedades de los triángulos regulares es su modulación y el

consecuente desarrollo de formas contiguas que pueden generar una red o sistema. Si bien el segmento generador tiene una geometría muy simple, la red generada puede llegar a ser muy compleja, así que es necesario definir los límites en que el desarrollo de la red será suficiente para satisfacer la organización y función que se busca aplicar.

Se opta por la utilización de tres células hexagonales sobrepuestas en dos de sus secciones cada una. Para entender la unidad celular independiente, desde un punto de vista geométrico, se procede a encontrar los trazos reguladores del sistema.

Básicamente es una agrupación triangular conformada por tres formas hexagonales sobrepuestas en una sección. Al analizar las relaciones existentes entre los ejes y puntos "clave" de las figuras internas, se desarrollan sistemas de triangulación interna muy peculiares. Mediante la geometría triangular (figura 16), se puede traducir una forma visualmente irregular –como los polígonos celulares– a sus formas genéricas más simples, en las cuales estas redes pueden llegar a ser más grandes y acoplarse como un sistema de red espacial, generando pautas y ritmos en el espacio; ya construida la red geométrica triangular, es posible someterla a una aplicación de formas que se pueden agrupar en los espacios.

Siguiendo con la misma analogía celular, se desarrolla una estructura celular orgánica dentro de una red triangular; generando una geometría en donde la forma estructural simulará la forma de la estructura natural de una célula, delimitamos el espacio interior de esta traza triangular, tomaremos un sistema estructural simple y con esto recurrimos a formas modulares simples de triángulo; adoptamos como modelo el icosaedro, esto nos brinda un sistema estructural resistente (figura 17), y una modulación triangular que ayude a delimitar el espacio, para estructurar el sistema descomponemos el icosaedro en sus líneas de unión y nodos.

Principalmente se trata de dos cinturones principales, dando forma a un pentágono cada uno de ellos; luego cada uno se une a un punto vértice formando dos pirámi-

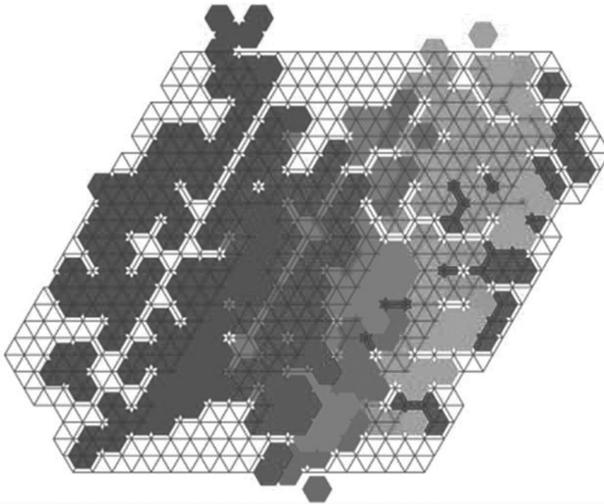


Figura 16. Se generan sistemas de redes y ritmos espaciales que ayudan a crear una base de crecimiento celular.

des y finalmente se unen a la unión de cada punto de las bases de las pirámides. La intención es que el modelo responda específicamente a las necesidades de la función, el espacio, la forma y la estructura.

Con esta geometría pentagonal y triangular se trabajará como esqueleto estructural a base de principios que utilizarán elementos de la estructura para delimitar su espacio con la idea de llevar a una industrialización, éste podría ser un sistema estructural fácil de armar en sitios muy accidentados o de difícil acceso.

Se busca un sistema ligero y resistente; las cargas se disiparán a través del esqueleto estructural (figura 18), así los muros podrán ser más ligeros y construir espacios más flexibles y adaptables. Estos muros o paneles se sujetarán a la estructura y en un sistema similar al cancel, a modo de que permita el movimiento o abatimiento de ciertos paneles en búsqueda de movimientos constantes, para permitir una mejor adaptación en su entorno. Debido a la ligereza que le brindan los muros, se propondrá una cimentación de elementos aislados, o una losa de cimentación.

Así tendrá como principio un modelo formado a partir de planos que mantengan movimiento, de modo que su estructura le dé la capacidad de adaptarse a su ambiente aprovechando los recursos naturales, como colectar el viento o protegerse contra el asoleamiento.

El modelo será soportado totalmente por la geometría de la estructura, traveses y columnas, permitiendo así trabajar una caja estática, que empiece a presentar movimiento y transformación de planos a vanos de absorción de energía. Los elementos sobre estructurales ayudarán a un mejoramiento en el control térmico (figura 19), adaptados

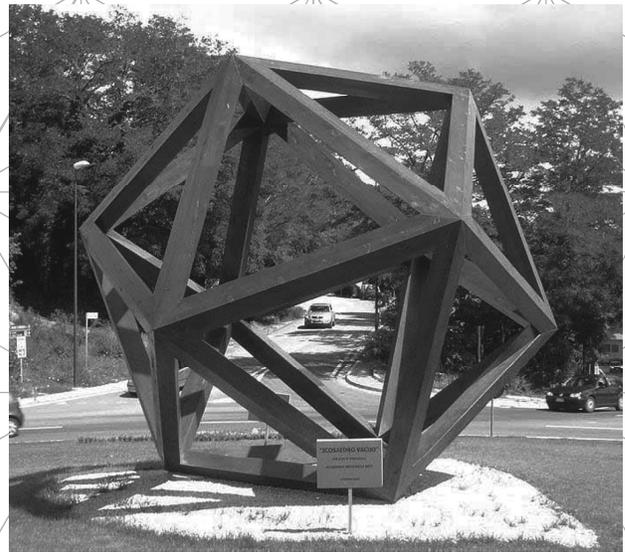


Figura 17. El icosaedro es una de las figuras geométricas más resistentes en sus uniones nodales.

sólo como principio en los elementos del modelo, sus propios planos abatibles, dobles muros y doble techumbre (figura 20), aunque emplearemos sistemas reticulares que nos permitan un mejor aprovechamiento de los recursos naturales como las corrientes, y un menor calentamiento térmico.

Éste podrá ser emplazado en cualquier situación, y por medio de su estructura se podrá disponer dentro de un complejo estructural urbano, o adosar otros módulos para crecer el espacio.

## Conclusión

El estudio crítico de los fundamentos teóricos se desarrollará con base en la experimentación de conceptos en los cuales se espera que la metodología ayude a determinar la secuencia de las acciones de un proceso de diseño arquitectónico, en el cual se apliquen los conceptos de flexibilidad estructural y espacial, detonamos con principios de diseño en donde se captura de forma análoga, y se aplican a un modelo experimental en donde se puedan conseguir las características principales de una metodología en la cual podamos aplicar al proyecto final, consiguiendo un diseño más acorde al contexto.

La estrategia para abordar este problema de espacio y estructura se realizará por medio de ensayos experimentales, éstos se elaboraran por medio de extrapolación de conceptos detonantes de experimentos a realizar y por formas de principio estructural en la arquitectura, tomando un modelo de diseño que servirá de guía para la propuesta de diseño final.

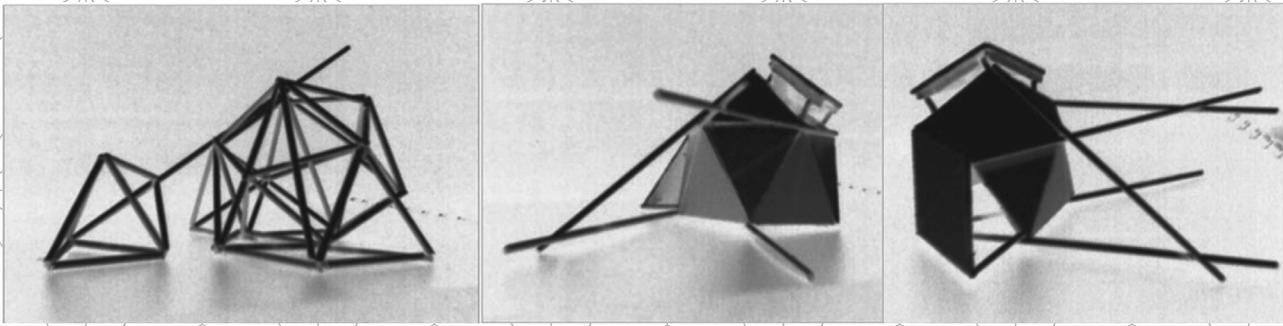


Figura 18. Cuando la geometría se vuelve estructura y se transforma, se adapta y crea diferentes tipos de formas para integrarse a su contexto.

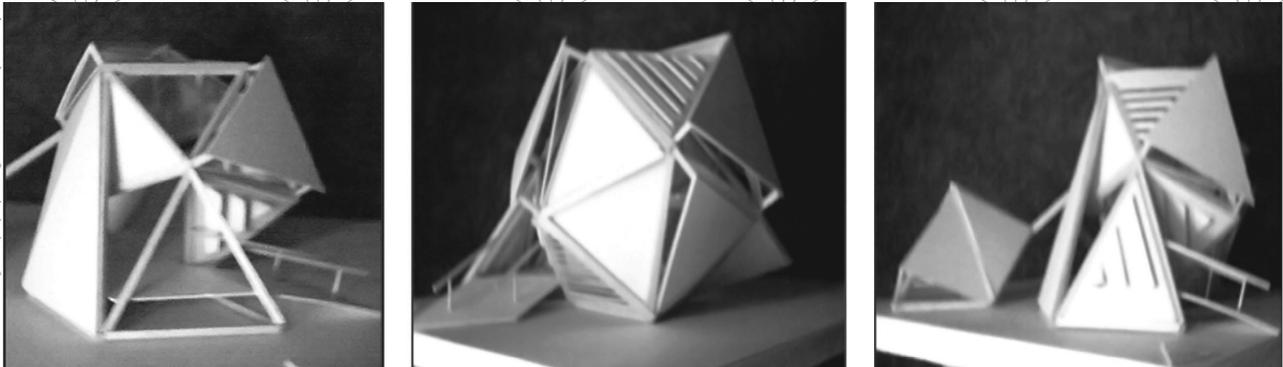


Figura 19. La transformación de su forma crea aditamentos en la estructura que ayudan a integrarse a su ambiente; la delimitación del espacio y la forma, hace más versátil su espacio y su sistema estructural.

Figura 20. La formación de paneles triangulares que son utilizados como dispositivos de protección y regulación dentro del modelo; los espacios de ventilación se forman por medio de chimeneas térmicas, esto provoca movimiento continuo en la figura del modelo.

El desarrollo estratégico experimental nos marcará el desarrollo de diseño que debe tener la construcción de un sistema estructural flexible en el espacio arquitectónico, el cual llevará a la observación de las analogías experimentadas a un proyecto; su principal aplicación es proponer una alternativa de diseño, se buscará que de una u otra forma provoquen la motivación de experimentar nuevos procesos de diseño para descubrir nuevas soluciones de espacios arquitectónicos en las ciudades, desde un punto de vista de crecimiento natural con el contexto y no sólo el hecho de amontonarla en un espacio determinado, sino realmente establecer una directriz que ligue, de orden y coherencia, mediante un sistema estructural elaborado con diferentes principios conceptuales y estructurales, el cual se determinaría en un proceso de diseño; cabe decir que este proceso se implementará para el descubrimiento de nueva tecnología a través de la extrapolación de los conceptos de diseño a un proyecto, dando como resultado diseño geométrico estructural flexible en el espacio arquitectónico ☺

#### Fuentes de consulta:

- Banham, Reyner, *Mega estructuras: futuro urbano del pasado reciente*, Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 2ª. ed., 2001.  
Benévolo, Leonardo, *Historia de la arquitectura moderna*, Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 8ª ed., 1998.

- Behling, Sophia y Stefan, *Sol power. La evolución de la arquitectura sostenible*, Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 2002.  
Doczi, György, *El Poder de los límites*, México, Editorial Gustavo Gili, S.A de C.V., 7ª ed., 2002.  
Flores, Cecilia, *Ergonomía para el diseño*, México, Designio D.R. Librería, 2001.  
Fonseca, Xavier, *Las Medidas de una casa (antropometría de la vivienda)*, México, Editorial Concepto, 2002.  
Glancey, Jonathan, *Historia de la arquitectura*, Madrid, Grupo Planeta Dorling Kindersley, 2001.  
Leoz, Rafael, *Redes y ritmos espaciales*, Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 3ª ed., 1982.  
Montaner, Josep María, *Arquitectura y crítica*, Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 3ª. ed., 2002.  
———, *La Modernidad Superada*, México, Editorial Gustavo Gili, 1997.  
———, *Después del movimiento moderno. Arquitectura de la segunda mitad del siglo XX*, Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 5ª ed., 2002.  
———, *Las Formas del siglo XX*, Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 2002.  
Moore, Fuller, *Compresión de las estructuras en la arquitectura*, USA, Traducción en México, Editorial Interamericana McGraw-Hill, 2000.  
Morales Guzmán, Carlos César, *Sistemas Flexibles en la Vivienda*, México, Impresión Propia, Universidad Cristóbal Colón 2007. Tesis  
———, *Diseño de Sistemas Estructurales Flexibles en el Espacio*, México, Impresión Universidad Nacional Autónoma de México, 2009.  
Pople, Nicolás, *Casas experimentales*, México, Ediciones G. Gili, 2001.  
Thompson, D'arcy, *Sobre el crecimiento y la forma*, Madrid, Hermann Blume, 1980.

#### Datos del autor:

**Catedrático investigador, Titular "C" de la Universidad Veracruzana. k\_the\_best@hotmail.com**