

# PROCESO DE CREATIVIDAD BIOARQUITECTÓNICA

**Ejemplo de aplicación:  
Diseño de edificio costero resistente a huracanes**

**Arq. Miguel Alberto Cano Lupián**  
e-mail: arqmiguel@yahoo.com

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA**



**PROGRAMA DE MAESTRÍA  
Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA**



**México, 2009**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

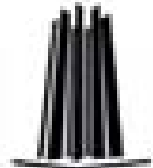
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA



PROGRAMA DE MAESTRÍA  
Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA



# PROCESO DE CREATIVIDAD BIOARQUITECTÓNICA

**Ejemplo de aplicación:  
Diseño de edificio costero resistente a huracanes**

Tesis que presenta:

**Arq. Miguel Alberto Cano Lupián**  
e-mail: [arqmiguel@yahoo.com](mailto:arqmiguel@yahoo.com)

Para obtener el grado de:

**Maestro en Arquitectura**

México, 2009

# *Jurado*

Director de Tesis: *Dr. Humberto Acedo Espinoza*

Sinodales: *M. en Arq. Francisco Reyna Gómez*  
*M. en Dis. Arq. Jan Van Rosmalen Jansen*  
*M. en Arq. Jorge Rangel Dávalos*  
*Dr. Carlos Alfredo Bigurra Alzati*

# *Agradecimientos*

## *A la UNAM*

Por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo de tesis, fruto de la beca otorgada a mi persona por la DGEP (Dirección General de Estudios de Posgrado), y de la información bibliográfica, la asesoría de diferentes profesores, y sobre todo por permitirme continuar con mi crecimiento personal y profesional en esta magnífica institución de la que me enorgullezco de formar parte.

## *A mis asesores*

A mi tutor **Humberto Manuel Acedo Espinoza**, por el inmenso apoyo que recibí de su parte, lleno de sabios consejos, sobre todo en los momentos más decisivos del desarrollo de esta tesis. Agradezco infinitamente el que me haya compartido muchas de sus experiencias, las cuales han representado una guía fundamental para el buen término de este trabajo.

A mis asesores **Francisco Reyna Gómez, Jan Van Rosmalen Jansen, Jorge Rangel Dávalos** y **Carlos Alfredo Bigurra Alzati**, por su valioso tiempo y la enorme paciencia que han tenido para la revisión de este trabajo. Gracias por demostrarme que la amabilidad y la sencillez siempre van de la mano y son dos de los más grandes atributos que posee todo hombre sabio.

A **Glafira Arines Angeles**, por su acertada asesoría, sobre todo en los tópicos referentes al desarrollo del aprendizaje y el nacimiento de la inteligencia en el ser humano, a los que hago referencia en algunas partes de este trabajo.

## *A mis familiares y amigos*

A mi **esposa**, ya que a pesar de la distancia, me ha infundido con sus ejemplos de tenacidad y perseverancia la fuerza necesaria para continuar superándome día con día. Gracias por ser la luz de mi inspiración.

A mi **mamá**, por ser siempre mi mejor amiga y representar un apoyo invaluable en los momentos más críticos de mi vida.

A mi **hermano**, por compartir conmigo muchos de los momentos más felices de mi infancia y juventud.

A mis tíos **Artemisa Cano** y **Rafael Buenrostro**, por preocuparse siempre de mi bienestar y por el cariño que en todo momento me han mostrado.

A toda mi **familia**, gracias por todo el apoyo que he recibido constantemente de ustedes y por su hermoso ejemplo de solidaridad, mis fieles compañeros, en este sendero llamado vida que vamos recorriendo juntos.

A mis **compañeros** de la Maestría, por los muchos gratos momentos en que he convivido con ustedes.

A mis **amigos** de toda la vida, por construir juntos gran parte de mis mejores experiencias.

Y primeramente, gracias a **Dios**, por darme la oportunidad de escalar en la montaña del conocimiento y permitirme llegar a esta meseta, en la que retomaré fuerzas para continuar mi ascenso.

*La motivación y la responsabilidad  
nacen de la luz que produce la sabiduría*



*El miedo y la inseguridad  
surgen de la oscuridad que origina la ignorancia*

*Miguel Ángel*

# Índice

<i>Propósito de este trabajo</i>	1
<i>La sabiduría de la naturaleza</i>	2
La naturaleza es un regalo de vida	2
Así se organiza la vida	2
Observemos la vida para diseñar con ella	7
<i>Proceso de diseño</i>	13
Los métodos tradicionales	13
La gran diferencia entre Proceso y Método	15
Trabajemos junto con otras disciplinas	17
Usemos la Creatividad Bioarquitectónica	18
Actividades del Proceso de Creatividad Bioarquitectónica (Esquema)	20
Divide y vencerás	21
En la entidad está el principio y el fin	22
Aprovechemos el legado de nuestros antecesores	23
Todo depende del cristal a través del que se mira	26
Así funcionan todas las cosas	33
Lo esencial es la verdadera piedra filosofal	36
Un diseño bien intuido	41
<i>En serio: La creatividad en serie</i>	47
Elaboración de fichas de reportes detallados	47
Utilicemos los bancos de información	53
<i>El factor humano es importante</i>	57
Escuchemos al niño que llevamos dentro	57
Si ya inventaron el hilo negro, podemos tejer con él	60
<i>Un ejemplo de aplicación</i>	62
Diseño de edificio costero resistente a huracanes	62
Ficha 1: El huracán	64
Ficha 2: El hexágono	85
Ficha 3: La proporción áurea	99
Ficha 4: Resortes	113
<i>Solución de diseño</i>	124
La conclusión del juego	124
Directrices de mi diseño	126
<i>Despertemos al futuro</i>	130
Realicemos nuestros sueños	130
<i>Referencias</i>	132
<i>Glosario de términos</i>	152



# *Propósito de este trabajo*

El presente trabajo de tesis ha sido inspirado en una inquietud personal. Desde hace mucho tiempo me he cuestionado la forma tradicional en que se realiza una investigación por medio del Método Científico.

Retomando sus paradigmas e implementando los propios, me es grato presentar mi Proceso de Creatividad Bioarquitectónica, con un ejemplo de aplicación: el diseño de un edificio costero resistente a huracanes.

En el primer capítulo, “La sabiduría de la naturaleza”, exploro el fantástico poder de adaptación que tienen los seres vivos a los diversos ambientes en los que se desenvuelven, y retomo de ellos su enseñanza con algunos ejemplos de aplicación en diversos campos de la ciencia.

En el segundo capítulo, “Proceso de Diseño”, tras realizar una semblanza de los métodos tradicionales de investigación, expongo la propuesta que he elaborado para el desarrollo de diseños verdaderamente útiles al hombre basados en los principios fundamentales de la naturaleza.

En el tercer capítulo, “En serio: La creatividad en serie”, expongo algunas técnicas para organizar la información que se va recabando durante el proceso de investigación.

El cuarto capítulo, se refiere a la importancia que tiene el factor humano en todo proceso de creación, ya que el matiz derivado de nuestra historia personal es lo que, a fin de cuentas, influye en el enfoque e interpretación que hace de cada obra bioarquitectónica, un producto único y original.

En el quinto capítulo, realizo la aplicación de este proceso de creatividad bioarquitectónica, expuesto en los capítulos anteriores, con un ejemplo en el que por medio de la elaboración de fichas de reportes detallados, organizo los elementos que me han servido de fundamento para el diseño de un edificio costero resistente a huracanes.

Agradezco de antemano al lector de estas líneas por su amable atención al presente trabajo, esperando que lo disfrute y aprenda tanto como su servidor.

Atentamente:

Miguel Alberto Cano Lupián.

# *La sabiduría de la naturaleza*

## *La naturaleza es un regalo de vida*

Durante 3,500 millones de años, la vida en el planeta Tierra ha evolucionado, desde moléculas de aminoácidos sin ninguna cubierta, pasando por organismos unicelulares, hasta organismos pluricelulares con células especializadas en órganos y tejidos, integrando individuos que forman parte de complejos ecosistemas (Wikimedia Foundation, 2008j).

Durante todo ese tiempo, los seres vivos hemos estado inmersos en un mundo donde lo único permanente es el cambio, por lo que para perdurar, cada especie ha tenido que adaptarse a las condiciones ambientales del lugar donde le ha tocado vivir, determinando modificaciones que la diferenciarán cada vez más, en el transcurso de varias generaciones, de otros integrantes de su especie que vivan en otras regiones. Por lo anterior, los seres vivos no están direccionados en su evolución y dentro de cada especie existen variaciones.

Es así como hay diferentes seres vivos que comparten un mismo origen genético, pero debido a que se han desplazado a otros ambientes con diferentes condiciones climáticas, han sufrido cambios en su estructura biológica como respuesta a estas nuevas condiciones, dándose origen a nuevos modelos o prototipos biológicos que después evolucionan en nuevas especies. Algunas han perdurado más tiempo y otras han desaparecido (Buican, 1995).

Con base en lo anterior, podemos afirmar que la evolución de los seres vivos se va delineando debido a la variabilidad existente en el medio en el que se desenvuelven, a las especies con las que conviven, a su vulnerabilidad y a la depredación.

## *Así se organiza la vida*

La presencia de determinadas estructuras, procesos, conductas, etc. en los seres vivos favorecen u obstaculizan la permanencia de éstos en los ecosistemas donde se han desarrollado, de este modo, la evolución de las especies ha avanzado en gran cantidad de direcciones. Como la naturaleza se encuentra en un ensayo constante de evolución, la vida representa un enorme abanico de soluciones



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



y respuestas a los estímulos positivos y negativos que recibe del medio ambiente, teniéndose como resultado una gran diversidad biológica. Esos estímulos han ayudado a generar en los seres vivos diversas características que les permiten desenvolverse eficazmente en su medio, entre las que se encuentran (Allen y Starr, 1982):

- ❖ **Materiales.** Como la madreperla, uno de los materiales naturales más duros que se conocen, cuya disposición laminar le confiere una gran fortaleza, ya que los esfuerzos que recibe del exterior, se distribuyen hasta su disipación entre las microseparaciones de esas laminillas. Otro material es la piel del tiburón, cuyas microescamas “acanaladas”, disminuyen la turbulencia que se genera durante su desplazamiento, reduciendo la fricción con el agua y permitiéndole ser uno de los animales nadadores más veloces (Biomimicry Institute, 2007).
- ❖ **Procesos.** Un ejemplo, es el proceso bioquímico de la obtención de energía, a partir del azúcar. También el proceso zoológico de la polinización entre la abeja y la flor, donde el polen se deposita en la cabeza y el dorso del insecto, mientras éste toma el néctar de una flor y viaja a otra para libar más néctar, depositando el polen en la segunda flor fecundándola; incluso tenemos al proceso evolutivo de la vida, donde van cambiando las condiciones ambientales y las especies se van optimizando, para explotar un ambiente particular en un tiempo determinado (Campbell, 2000).
- ❖ **Mecanismos.** Muchos protozoarios, como la Euglena, utilizan un mecanismo de locomoción a semejanza de un pequeño motor molecular, el cual consiste en un flagelo que hacen oscilar produciendo ondulaciones para poder desplazarse (Wikimedia Foundation, 2008i).
- ❖ **Estructuras.** Las alas de las libélulas tienen una conformación tal, que le permite al insecto permanecer en el aire totalmente estático y mantener gran estabilidad durante el vuelo.
- ❖ **Códigos.** El código genético es un código molecular que permite la transmisión de la información hereditaria; el código conductual de las abejas mantiene la integridad de la comunidad y les indica la distancia y dirección a la que se ubica el alimento, con relación a la posición del Sol y de la colmena (Otto y Towle, 1992).
- ❖ **Patrones.** De comunicación o identificación entre miembros de diferentes comunidades, como determinadas flores que sólo permiten que se alimenten de ellas las abejas o algunas especies de aves, porque favorecen la expansión y reproducción de su especie; algunas especies de anémonas marinas sólo conviven amistosamente con los peces payaso; también está el camuflaje de algunos insectos en el bosque, para mimetizarse con su ambiente (National Geographic, 2008b).
- ❖ **Conductas.** Debajo de la superficie del mar, varias ballenas jorobadas lanzan un chorro de aire para hacer un cerco de burbujas, donde el creel queda atrapado y sus compañeras lo atraviesan para comerse el alimento (I.C.B., 2008).

Con lo anterior se puede ejemplificar cómo la evolución de la vida en este planeta va presentando un sinnúmero de soluciones a una gran cantidad de problemas. Se puede decir que el mecanismo constructor de la vida es la evolución por selección natural, y sus bases son: la variación hereditaria, la supervivencia diferencial y la acumulación de características favorables (Maddison, 2005).



## Proceso de Creatividad Bioarquitectónica



Las principales características que definen a un ser vivo son las siguientes (Wikimedia Foundation, 2008n):

- ❖ **Se Reproduce.** Pueden reproducirse mediante la replicación de su material genético. Los virus no se consideran seres vivos, ya que utilizan las células de su anfitrión, inyectando en ellas su propia información genética de RNA, después toman el material genético de dichas células, destruyéndolo para replicar el suyo y así reproducirse usando las células y componentes genéticos de otro ser vivo.
- ❖ **Muestra evidencia de crecimiento y desarrollo.** El *crecimiento* es la acumulación de células y el aumento en sus proporciones, mientras que por *desarrollo* identificamos los cambios en la estructura y en el funcionamiento de un ser vivo. Los programas heredables del ADN autodirigen su propio patrón de crecimiento y desarrollo, por ello, los embriones del cerdo, del pollo e incluso del humano tienen el mismo desarrollo hasta la sexta semana, a partir de la que comienzan a desarrollarse de una manera diferente, a la vez que continúan su crecimiento.
- ❖ **Muestra evidencia de transferencia y utilización de energía.** Algunos la producen, otros la consumen, pero todos la transfieren. Los organismos toman energía, la almacenan y la transforman en diversas formas de trabajo. En las hojas de las plantas, el agua, el bióxido de carbono y la luz solar contribuyen a generar energía química para formar azúcares que le sirven a la planta para darle fortaleza y soporte, estructurándola, además de que lo anterior también aportará nutrientes a los seres vivos que de ella se alimenten.
- ❖ **Responde a los estímulos de su entorno.** Los seres vivos tenemos la capacidad de responder y protegernos, a nosotros mismos, de los estímulos externos para adaptarnos a un ambiente en particular. Por ejemplo, la aparición de una callosidad en la planta del pie representa una respuesta inmediata que no se heredará.
- ❖ **Es significativamente diferente al ambiente que lo rodea.** De la manera en que una especie se adapta, dependerán las características que desarrollará en el transcurso del tiempo, diferenciándose así de las otras especies y del medio en el que vive, manteniendo siempre su biología interna dentro de límites tolerables.
- ❖ **Intenta asegurar su autopreservación.** Con adaptaciones que hereda a las siguientes generaciones. Por ejemplo, el oso negro americano aprendió cuáles son las temporadas y los ríos donde se reproduce el salmón para desplazarse hasta ellos y poder cazar al pez, mientras éste remonta la corriente en su retorno desde el océano hasta el sitio en que nació.

Aunque en el estudio de la vida de este mundo se han encontrado miles de principios naturales, se han identificado once de ellos como principios conceptuales básicos, en el trabajo de la investigación biológica (Wikimedia Foundation, 2008b):

**1.- La vida está organizada en niveles estructurales.** En la naturaleza, los seres vivos se encuentran distribuidos de acuerdo a un cierto orden, mismo que se logra a partir de una jerarquización, la cual confiere características particulares a las diferentes estructuras que dan forma a los seres vivos, en todos los niveles, desde los más básicos hasta los más complejos (Bertalanffy, 1968). Los átomos se agrupan en moléculas, como las moléculas orgánicas (ADN), que



se unen a otras para formar células, mismas que se organizan en tejidos, los tejidos se asocian con otros para originar órganos, éstos se coordinan con otros órganos para formar sistemas, varios sistemas integran todo un organismo, los organismos o individuos se agrupan con otros de su misma especie para integrar una población, mientras que las poblaciones se asocian con otras, de diferentes especies, para llegar así a formar un ecosistema. Esta jerarquización le permite a los diferentes niveles de la naturaleza cambiar y autoadaptarse de acuerdo a las nuevas condiciones ambientales (O'Neill, de Angelis, Waide y Allen, 1986).

**2.- Cada nivel de organización biológica tiene propiedades emergentes.** Son propiedades que los componentes de un grupo, en determinado nivel de organización, NO pueden tener, mientras estén separados de otros conjuntos; es decir, en los seres vivos, conforme se avanza hacia los niveles superiores, en las jerarquías van apareciendo propiedades nuevas, que los componentes del nivel inmediato inferior no presentaban de manera aislada. Por ejemplo, un músculo es un grupo de tejidos muy *flexibles* que, en conjunto con otros músculos, no tienen ninguna función en particular, lo mismo sucede con un conjunto de huesos, que están formados por varios tejidos muy *duros*, pero si los unimos, músculos y huesos originarán articulaciones útiles, que le darán movimiento (flexibilidad) y soporte (dureza) al organismo que los contenga, dando forma a su sistema músculo-esquelético (Prigotine, 1980).

**3.-La célula es la unidad básica en estructura y función de todo ser vivo.** Es una organización particular de materia, rodeada por una membrana selectivamente permeable y capaz de autoreproducirse, sin la presencia de ningún otro ser vivo. Es la unidad más pequeña capaz de realizar funciones vitales. *Las células obedecen a las mismas leyes físicas y químicas que rigen a todo el universo.* Lo importante es descubrir cómo los seres vivos hacen uso de las mismas leyes de maneras muy diferentes, dándose así tanta diversidad entre las especies, ya que precisamente, no todos los organismos manejan igual sus conductas, estructuras, materiales, etc., debido a la evolución y a esta variabilidad entre las especies. Si se dejan caer dos seres vivos diferentes (como una hormiga y un elefante marino), se verán afectados por la misma ley de la gravedad y se precipitarán con la misma aceleración, aunque el golpe que se darán, será diferente debido a la masa corporal, la escala y la estructura de cada uno.

Las células (Wikimedia Foundation, 2008f):

- ❖ Obedecen a las leyes de la energética, ya que transforman energía en forma de calor o de trabajo.
- ❖ Están altamente estructuradas.
- ❖ Tienen un origen evolutivo.
- ❖ Efectúan procesos metabólicos (aprovechan los nutrientes y se autoadaptan mediante regulación metabólica). Mediante su metabolismo pueden regular su PH, su concentración de agua y minerales, etc.
- ❖ Se autoreplican.
- ❖ Se osmoregulan.
- ❖ Se comunican.
- ❖ Muestran movimiento.
- ❖ Crecen, se dividen y se diferencian (en los organismos multicelulares, según su función serán de distintos tipos).
- ❖ Mueren.



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

**4.- La continuidad de la vida está basada en información heredable en forma de ADN.** En todas las células se encuentra presente el ácido desoxirribonucleico, controlando el crecimiento y el desarrollo de las características de los seres vivos (excepto en algunas bacterias primitivas que sólo contienen ácido ribonucleico o ARN). La información hereditaria (o genética) se organiza en forma de paquetes con series de instrucciones llamados genes, los cuales se forman con tan sólo 4 sustancias o bases (Adenina, Timina, Citosina y Guanina. También se ha detectado una quinta base: el uracilo, pero sólo en un limitado número de bacterias protozoáricas), organizadas en un código redundante lo que permite la detección y reparación de errores en él, ya que durante la replicación (o reproducción celular), usualmente esos errores son autoreparados (Wikimedia Foundation, 2008a).

**5.- La estructura y la función están correlacionadas a todos los niveles de la organización biológica.** La Estructura es la manera en la que los componentes de un todo se interrelacionan. La Función es la operación de los distintos componentes individuales como parte de la estructura y de cuya conformación depende, es decir, la función depende de la estructuración que se tenga. Todos los seres vivos somos entidades estructuradas. *En cada nivel existen estructuras con jerarquías entre sus distintos componentes* (Allen y Starr, 1982).

**6.- Las estructuras biológicas cumplen, por lo regular, varias funciones al mismo tiempo.** En muchos componentes de los seres vivos se tiene una multifuncionalidad, lo que permite un ahorro, tanto de energía, como de espacio y se tiene un aprovechamiento óptimo de materiales. Por ejemplo, en el sistema músculo-esquelético de un organismo (estructura que da soporte, estabilidad y movimiento), algunos de sus huesos se encuentran huecos y en su interior contienen vasos sanguíneos y médula ósea (adicionalmente cumplen la función de hematopoyesis, generando células sanguíneas). Este principio es importante en la generación de productos prácticos, donde se desee ahorrar tanto en materiales, como en espacios y procesos (Allen y Starr, 1982).

**7.- Los organismos son sistemas abiertos que interactúan continuamente con su ambiente.** Y por ser abiertos, requieren de un mecanismo de termorregulación interna (Prigogine, 1980).

**8.- todos los seres vivos mantienen unas condiciones internas relativamente estables, en ocasiones muy diferentes a las del entorno.** Mediante la homeostasis, se tiene tanto una retroalimentación positiva como una negativa con el medio (Wikimedia Foundation, 2008n).

**9.- La diversidad y la unidad son características duales de toda la vida en la tierra.** Por ejemplo, existe *diversidad* en los tipos de locomoción que emplean diferentes especies de protozoarios, que usan sus cilios de manera helicoidal, oscilatoria, vibratoria, etc. sirviéndoles para moverse en el mismo medio pero de diferente manera, además, se tiene *unidad* al compararlos con los cilios del esófago y de la tráquea, que todos los mamíferos tenemos y que mueven el medio que los rodea (fluidos digestivos), impulsando los alimentos hacia el estómago. Ambos tipos de cilios, cuya función es diferente (unos se mueven en el medio y otros mueven el medio), tienen una estructura que, al analizarla con microscopio electrónico, es totalmente idéntica, formada en ambos casos por proteínas tubulares. La naturaleza suele llegar a la misma solución pero de maneras muy diferentes. Un insecto vuela, lo mismo que un pato o un murciélago, existe diversidad pero a la vez se tiene unidad, porque al fin y al cabo compartimos un ancestro común (Wikimedia Foundation, 2008j).

**10.- La evolución es un concepto central en la biología.** La variabilidad es la fuente y el motor que impulsa la especiación. A través del tiempo las especies se van diferenciando y se van transformando



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



en otras. Un mecanismo de evolución, es el principio de la selección natural y, actualmente, se acepta también a la deriva genética (cambios aleatorios en la frecuencia de los caracteres hereditarios de una generación a otra), como otro mecanismo fundamental implicado en este proceso. En una determinada especie, si algunos individuos de las nuevas generaciones presentan ligeras modificaciones, son un ejemplo de unidad, porque comparten características similares con los demás miembros de su especie, en tanto que también representan un ejemplo de diversidad, ya que cada miembro es ligeramente diferente a los demás (Wikimedia Foundation, 2008b).

**11.-Los seres vivos responden a un principio de diseño óptimo.** Por ejemplo, el tiburón casi no ha sufrido modificaciones desde su aparición hace 400 millones de años, ni en forma ni en dimensiones. Aunque actualmente existen 300 especies diferentes, la mayoría ha mantenido características similares a lo largo de su historia evolutiva: son grandes predadores marinos con un esqueleto cartilaginoso, múltiples branquias a los lados de la cabeza, dentículos dérmicos (especie de escamas en la piel, formadas con dentina de papilas cutáneas) cubriendo el cuerpo y varias hileras de dientes reemplazables en la boca. Incluso la relación diámetro-longitud se ha mantenido estable, la posición de su aleta dorsal y la forma de la nariz. Casi todas las especies de tiburón han mantenido el mismo Plan Corporal, aún cuando algunas de ellas han variado su forma de alimentación: el tiburón ballena se alimenta con plancton y creel; el tiburón saca-bocado suele extraer únicamente círculos de carne del cuerpo de sus presas, dejándolas con vida, etc. Pueden tener un cuerpo similar al de las otras especies, aún con pequeñas modificaciones, que van a optimizar lo ya logrado con el plan corporal original (Popescu, 1999).

Actualmente se conocen más de 3,000 millones de especies de seres vivos, incluyendo a las ya extintas. De todas ellas, son un poco más de la mitad, 1,700 millones, las especies de seres vivos conocidas que aún continúan presentes, en la primera década de este nuevo siglo XXI (Wikimedia Foundation, 2008b).

## *Observemos la vida para diseñar con ella*

Podemos entender el lenguaje de la naturaleza, descubrir qué nos quiere decir, comprender sus mensajes y aplicar su sabiduría. El acervo biológico que contiene la naturaleza es inmenso, y comprende miles de temas, entre ellos, como ya se ha mencionado: materiales, estructuras, procesos, conductas, etc. Los profesionistas e investigadores que nos dedicamos al diseño y a la resolución de diversas necesidades, podemos valorar la gran riqueza que existe a nuestro alrededor, estableciendo este diálogo entre la naturaleza y el hombre.

Tradicionalmente se nos ha enseñado que la biología es la ciencia que estudia a los seres vivos. La investigación biológica se realiza desde las nanoestructuras de la biología molecular (estudiando los componentes de los organismos), hasta la macrobiología de los grandes seres vivos. Entre las disciplinas que han aportado grandes conocimientos a la biología, se encuentra la paleontología, ya que la interrelación funcional de las especies extintas con el medio en el que vivían, a permitido a los



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



paleontólogos, a partir de claves osteológicas y restos fósiles, crear verdaderos modelos científicos del funcionamiento de los seres que vivieron hace mucho tiempo, los cuales representan potenciales respuestas a problemas de diseño.

El biodiseño trata sobre la aplicación de los principios biológicos a todo tipo de diseños, aunque compite con otras formas de investigar, ya que el ser humano también puede generar sus propias soluciones sin voltear hacia la naturaleza. Debemos saber que, si nos permitimos diseñar basándonos en la vida que nos rodea, nos podemos ahorrar mucho tiempo ampliando nuestro panorama y nuestra creatividad, al investigar en áreas que, sólo aparentemente, no están conectadas con lo que estamos desarrollando. Esta es una opción más para diseñar, no significa que sea la mejor, sólo es una opción que le puede brindar al investigador muchos beneficios, porque podemos aprovechar muchos millones de años de evolución en la naturaleza.

Es posible explicar cómo funciona el biodiseño a partir de tres enfoques distintos:

En el primero, se parte del Diseño hacia la Biología. Por ejemplo, en el caso de la creación de organismos con nuevas características que anteriormente no tenían, como las bacterias creadas por un ingeniero genético, a partir de un trozo del código hereditario de los ratones, que actualmente pueden sintetizar insulina y donde los diseñadores han participado, dando forma a estructuras hechas con polímeros encapsuladores, las cuales contienen dichas bacterias liberadoras de insulina (The A to Z of Nanotechnology, 2005).

En el segundo, se inicia desde la Biología hacia el Diseño, con la aplicación de los principios biológicos naturales en los procesos de producción creativa (Butler, 2007).

En el tercer enfoque, se retoman los dos sentidos anteriores. Como en la ingeniería biomédica, que estudia los principios del funcionamiento de un ser vivo (o parte de él), para después aplicarlos a él mismo, como en la generación de prótesis de rótulas, a partir del funcionamiento de la pierna y la rodilla humanas, donde se han estudiado los principios mecánicos y funcionales de ellas, para después generar un producto en base a esos principios, lo que no constituye una copia exacta, sino una optimización del modelo original. También otro ejemplo son las prótesis de pie, fabricadas para corredores, donde se han logrado aplicar los principios del funcionamiento de la naturaleza, en la creación de nuevos modelos perfeccionados (Wikimedia Foundation, 2008m).

Muchas veces se ha hablado del biodiseño, presentando únicamente anécdotas sobre el producto final y casi no se menciona cómo se llegó a éste, no obstante, es posible encontrar una metodología clara y práctica para diseñar, extrayendo de la naturaleza la información necesaria.

Podemos darnos cuenta que, gran parte de los objetos que utilizamos en nuestra vida cotidiana, están basados en los principios que la naturaleza ha desarrollado durante muchísimo tiempo. La utilización de los principios naturales por el ser humano, se ha dado desde hace miles de años, como en el empleo del fuego, donde para crearlo se hacía uso, de manera inconsciente, del principio de la generación de calor por medio de la fricción de dos cuerpos.





# Proceso de Creatividad Bioarquitectónica

Muchos siglos después, entre los primeros investigadores que intentaron, de manera intuitiva, la aplicación de estos principios, se encuentra Leonardo Da Vinci (1452-1519), inventor de muchos aparatos basados en la observación de los seres vivos, como una de sus máquinas voladoras ideada a partir de las alas del murciélago. Da Vinci transportó los elementos fundamentales de las alas del murciélago a una estructura que él esperaba fuera propulsada por un ser humano, para hacerlo volar (Lisa, Taddei y Zanon, 2006).

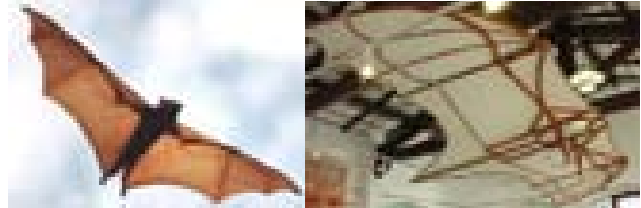


Fig. 1.1 y 1.2.- Máquina voladora de Leonardo Da Vinci basada en las alas del murciélago, construida según sus dibujos originales para la exposición "Los inventos de Leonardo Da Vinci" de junio de 2006 en Palma de Mallorca, Baleares, España.

Este sueño fue hecho realidad, por vez primera, hasta 1890 por el francés Clément Adler (1841-1925), quien para el diseño de su máquina voladora también se basó en la forma de las alas del murciélago, pero cambió el principio de propulsión por un motor a vapor con hélices, logrando volar una distancia de 50 metros, lo que impresionó al ejército francés, que lo comisionó para perfeccionar su máquina. Con un siguiente prototipo, alcanzó una distancia un poco mayor, pero fue bastante errático su vuelo no pudiendo conservar la estabilidad, por lo que le fue retirado el apoyo, lo que desanimó al inventor, dejando su idea en el olvido (Spartacus Educational Website, 2008).

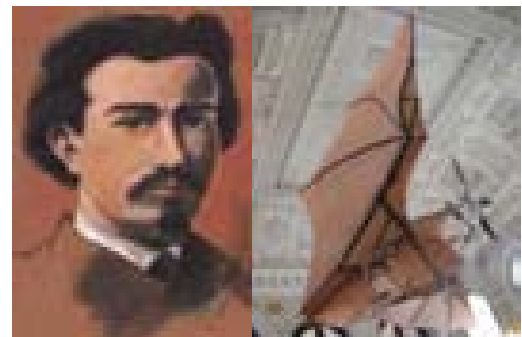


Fig. 1.3 y 1.4.- Clément Adler y una de sus máquinas voladoras exhibidas en París, Francia.

El problema de Leonardo Da Vinci en esa máquina voladora estribó en las escalas, ya que se puede copiar la morfología de un ser vivo que realiza determinado trabajo, pero si se requiere incrementar su tamaño, hay que considerar que sus proporciones se modificarán según el principio natural de escalamiento, el cual indica que, si se duplican las dimensiones de un cuerpo, la longitud de su tamaño total se multiplicará sólo dos veces, mientras que las áreas de sus superficies o tejidos aumentarán cuatro veces y su volumen se incrementará ocho (Tate y Domb, 2006). Debido a esto, al incrementar el tamaño de un murciélago, su volumen corporal aumenta en proporción mucho mayor a lo que aumenta su masa muscular, y la relación entre la fuerza necesaria para elevar el cuerpo y el área de los músculos también se modifica, haciéndolos a estos mucho menos efectivos para cargar el peso del nuevo volumen, y si ahora comparamos el volumen del cuerpo de un murciélago agrandado con el de un ser humano, nos daremos cuenta que el cuerpo del murciélago tiene una masa y tamaño mucho menores y sus alas son apenas suficientes para cargar con su peso, más reducido que el del ser humano promedio.

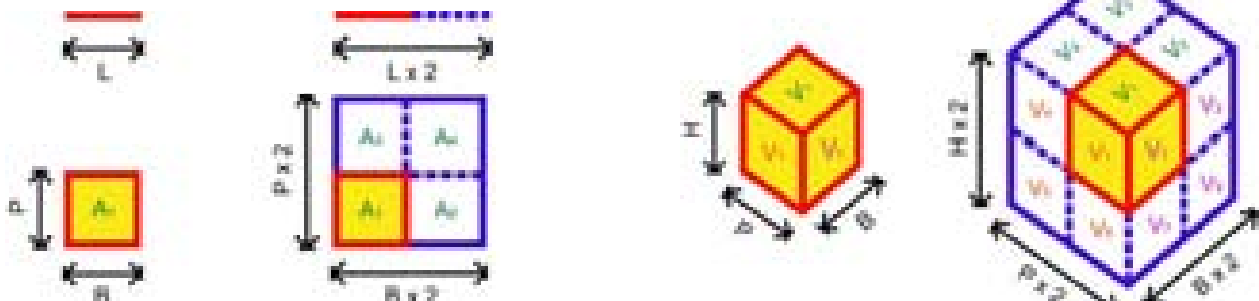


Fig. 1.5.- El principio natural de escalamiento indica que si se duplica una longitud, esta aumentará sólo dos veces, mientras que si se duplican las dimensiones de un área (Base y Profundidad) esta incrementará cuatro veces su tamaño, y al duplicar las dimensiones de un volumen (Base, Profundidad y Altura), éste multiplicará ocho veces su tamaño.

En la máquina de Adler, también se usa la misma forma de las alas del murciélago, aunque al cambiar el principio de propulsión, la función de las alas cambia, ya que en vez de propulsar, ahora sólo generarán sustentación.

Otro ejemplo de aplicación de los principios naturales, en el diseño de objetos para beneficio del ser humano, lo tenemos en el Palacio de Cristal, diseñado por Joseph Paxton (1803-1865), y presentado en asociación con los contratistas Fox y Henderson a concurso para la construcción del edificio principal de la Exposición Universal de Londres de 1851. Paxton había sido jardinero en Chatsworth, al servicio del Duque de Devonshire y había construido ahí grandes invernaderos de hierro y vidrio, por lo que pudo aplicar sus conocimientos al palacio con resultados asombrosos (Benévolo, 1979). El proyecto de Paxton fue elegido por varias razones: era la propuesta más económica y se podía ejecutar rápidamente, además conjugaba la resistencia y durabilidad de la construcción, con la facilidad en el montaje. Paxton pudo inspirarse, en la estructura orgánica de la Victoria amazónica, un género de lirios acuáticos gigantes, principalmente en las nervaduras de la cara inferior de las hojas, que les permiten a éstas soportar el peso de un niño pequeño (Wikimedia Foundation, 2008o).



**Figs. superiores 1.6 y 1.7.-** Un bebé sobre una hoja del lirio acuático Victoria amazónica y la cara inferior de una de estas hojas donde se aprecia la forma de sus nervaduras. **Fig. inferior 1.8.-** Fachada principal del Palacio de Cristal en 1851.

La belleza de las líneas estructurales, su simplicidad y gran tamaño, junto a la excelente luminosidad interior, originaron una revolución en el arte de la construcción. Más de ochenta mil metros cuadrados de vidrio se usaron para recubrir el armazón metálico. El resultado fue genial, sencillo y eficaz. Llamó



**Fig. 1.9.-** Interior del Palacio de Cristal durante la Exposición Universal de Londres, Inglaterra.

tanto la atención de otros diseñadores y arquitectos que, a partir de entonces, se Empezaron a plantear el uso a gran escala de los nuevos materiales que la industria, en aquel entonces, empezaba a poner en sus manos, más allá del tabique. El acero y el vidrio comenzaron en este histórico lugar su reinado que perdura hoy en muchos rascacielos. Después de la clausura de la Exposición, el edificio fue trasladado al sur de Londres donde fue usado como espacio para exhibiciones hasta su destrucción por un incendio en 1936 (Polanco, 2006).



## Proceso de Creatividad Bioarquitectónica



Dentro del Biodiseño se han destacado, entre otras, dos corrientes: La Biónica y la Biomimética.

**Biónica.**- Esta disciplina se originó con la unión de otras dos: la biología y la electrónica, posteriormente, de esta unión se derivó el nacimiento de la cibernética.

Entre las definiciones más recientes de la biónica se menciona que es el arte de aplicar el conocimiento instintivo de los seres vivos a la solución de los problemas técnicos. También se ha definido a la biónica como la asociación de prototipos biológicos en el diseño de sistemas artificiales, e incluso, se ha dicho que es la ciencia que trata de los sistemas artificiales, que poseen algunas características comunes con los sistemas naturales o que son análogos a éstos.

La biónica se caracteriza por (Wikimedia Foundation, 2008e):

- ❖ *Estudiar los sistemas vivientes*
- ❖ *Descubrir procesos biológicos y principios naturales* (no sólo estudia las estructuras y los materiales)
- ❖ *Intentar comprender el conocimiento instintivo de los seres vivos*
- ❖ *Desarrollar prototipos biológicos*
- ❖ *Estudiar las propiedades de los sistemas biológicos*
- ❖ *Analizar los principios estructurales y el funcionamiento de los seres vivos*

Todos los elementos mencionados en los incisos anteriores son resultado de la evolución biológica.

Para la biónica, el mismo proceso de evolución puede ser fuente de inspiración del diseño, ya que esta evolución biológica y los principios naturales han dado por resultado (Horta, 2005):

- ❖ Morfología
- ❖ Estructura
- ❖ Materiales
- ❖ Procesos
- ❖ Conductas
- ❖ Comportamientos, etc.

Por lo anterior, para la biónica, las especies de seres vivos de más reciente aparición se consideran prototipos que requieren *perdurar*, por medio de la adaptación a su medio, y *reproducirse*, para asegurar su descendencia. Estas dos necesidades nos conducen, a todos los seres vivos, a crear de manera innata todo un acervo de soluciones naturales, lo cual nos hace ser tan diferentes y variados en la aplicación de las leyes de la física universal. Al ser humano le corresponde encontrar, basado en ese enorme acervo, las soluciones de diseño que le permitan facilitar su vida y resolver sus problemas cotidianos.

En suma, la biónica se ocupa de la aplicación sistemática de las investigaciones en los seres vivos, haciendo uso formal de los resultados de estas investigaciones en el campo biológico, para satisfacer requerimientos en los procesos de diseño.

Al comentar sobre *Biónica* se está hablando en términos del estudio de los *seres vivos*.

**Biomimética.**- Esta palabra surge con la unión de dos vocablos: Bios, que significa “vida” y Mimesis, que es “imitación”. Este término surge entre los años 1950 y 1960, fue acuñado por Otto Schmitt



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



mientras trabajaba en la oficina de investigación de la Base Aérea Wright Patterson, en Dayton, de la Fuerza Aérea Norteamericana. Su objetivo es, según se definió en ese tiempo, determinar los posibles aportes de la biología en términos de diseño y procesamiento de materiales. Esto significa que la biomimética busca desarrollar nuevos materiales, basándose en los materiales encontrados en la naturaleza (Wikimedia Foundation, 2008d).

El interés de la biomimética, ha sido la gran versatilidad de los materiales naturales y sus características de multifuncionalidad, derivadas de su estructura jerarquizada, ya que se enfoca en el estudio de las estructuras biológicas y sus funciones para el desarrollo de sistemas artificiales en alguna rama del diseño.

Algunos investigadores le llaman Biomímica y mencionan que es una disciplina en la cual imitamos la interacción de los diseños y procesos de la naturaleza, para resolver problemas humanos, mediante el estudio de la estructura y su función, de los materiales y los sistemas biológicos.

La biomimética se caracteriza por (Biomimicry Institute, 2008):

- ❖ *Identificar las rutas de síntesis en los seres vivos.* Descubrir cómo logran los seres vivos efectuar sus funciones, a una temperatura y presión ambiente, para lograr durante los procesos industriales, un mayor ahorro de energía y una menor contaminación.
- ❖ *La innovación inspirada en la naturaleza.* No basta con copiar o sólo imitar.
- ❖ *Usar la Abstracción.* Es la base de la inspiración, es la herramienta que nos permite el alejamiento idóneo de la copia directa.

Actualmente, la Biomimética se aleja cada vez más de los biomateriales, tomándolos sólo como fuente de inspiración y se acerca a los materiales sintéticos como objetivo.

Si antes se consideraba tan sólo a la naturaleza como fuente de recursos naturales, a partir de la biomimética, la naturaleza es revalorada como fuente de ideas inspiradoras. La biomimética es altamente multidisciplinaria ya que engloba aspectos relacionados con la física, química, biología, sociología, etc. estudiando en los seres vivos sus materiales, propiedades mecánicas, estructuras, conductas, etc.

Conforme se han desarrollado, tanto biónica como biomimética han enfocando, poco a poco sus objetivos hacia una misma meta: el bienestar del ser humano, y los diseñadores que basan su trabajo en una observación y análisis profundo de la naturaleza y de los seres vivos pueden identificarse, actualmente, tanto con biónicos como con biomiméticos, ya que al fin y al cabo, el resultado final de sus esfuerzos es producto del biodiseño.

# *Proceso de diseño*

## *Los métodos tradicionales*

La ciencia ha extendido sus límites a innumerables campos de acción. Con los resultados de sus avances, las nuevas técnicas y la evolución tecnológica, se ha desarrollado una extrema profundización en la observación de los fenómenos naturales, misma que ha conducido a una gran especialización, originado disciplinas en campos muy específicos de la investigación científica, como la biología molecular o la veterinaria forense; no obstante, los científicos continúan compartiendo prácticas comunes, la mayoría de ellas comprendidas dentro del *Proceso de Investigación Científica*, que utiliza métodos dentro de su trabajo; muchas veces se le ha conocido como “*Método Científico*”, ya que un método es un camino o procedimiento viable para conseguir un fin propuesto.

¿Por qué seguir un método?, porque se asegura un mejor control de las variables lo que permite tener un mejor reporte de datos y una mayor veracidad en los resultados obtenidos; se puede repetir un mismo experimento muchas veces, lo que es muy importante para la comprobación del mismo; se pueden detectar errores o fallas durante el desarrollo de la investigación y todo el proceso o parte de él puede ser comunicado con organización y claridad a otros especialistas para permitir el trabajo interdisciplinario.

El método utilizado en nuestra investigación no debe ser rígido, puede variar, lo importante es ser riguroso.

Usualmente, las etapas de la investigación científica son (Cuberos, 2007):

- 1.- Observación de un fenómeno.
- 2.- Formulación de preguntas que delimitan al fenómeno.
- 3.- Elaboración de una hipótesis sobre el fenómeno.
- 4.- Comprobación experimental o fundamentación bibliográfica.
- 5.- Reporte de resultados.
- 6.- En ocasiones, un paso siguiente es la integración de estos resultados con los de otras investigaciones relacionadas con el fenómeno.
- 7.- Varias hipótesis comprobadas forman lo que es una teoría.

Para ejemplificar lo anterior, comentaré el proceso de investigación que se realizó sobre la piel de la ballena llamada comúnmente “Ballena piloto” o “Calderón de aleta larga” (*Globicephala melas*).

## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

Un grupo de investigadores se dio cuenta que los ejemplares de esta especie no presentan ningún tipo de acumulación de material orgánico en su superficie, manteniendo su piel tersa y limpia todo el tiempo (Baum, Meyer, Stelzer, Fleisher y Siebers, 2001). También otros científicos encontraron que algunas otras especies de seres vivos muy diferentes presentaban esta misma propiedad de pulcritud aunada a una microrugosidad o nanorugosidad en su superficie, como ciertos escarabajos y las hojas de algunos vegetales; entre ellos las hojas de la flor de loto (Peppas y Lauger, 1994).



**Fig. 2.1.-** Ballena piloto o Calderón de Aleta Larga (*Globicephala melas*).

Con base en estos hallazgos y los reportes de otros equipos de investigación, el primer grupo de investigadores intentó delimitar el fenómeno formulando varias preguntas (Baum et al, 2001), como:

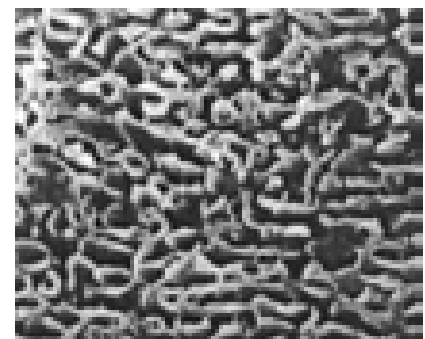
- ❖ ¿qué relación tendrán la temperatura, densidad y composición del agua con la limpieza de la piel de esta ballena?
- ❖ ¿será la conformación rugosa de la piel lo que la mantiene tan limpia a pesar de mantenerse en un ambiente tan fértil para la reproducción de microorganismos?
- ❖ ¿cómo afecta esta rugosidad al comportamiento dinámico de la ballena durante su desplazamiento en el agua?
- ❖ ¿existe algún mecanismo de autolimpieza que el animal utilice para mantener su piel libre de partículas contaminantes?

Para responder, a la primera interrogante, descubrieron que la población de calderones se distribuye en casi todos los océanos, con condiciones acuáticas muy disímiles, y todos presentan la piel libre de biocontaminantes, por lo que no existe ninguna relación entre los factores del agua y la limpieza de la piel.

Al cabo de cierto tiempo, los investigadores reunieron suficientes elementos para elaborar la siguiente hipótesis: “Existen mecanismos de autolimpieza en la piel del calderón de aleta larga, los cuales están relacionados con su estructura interna.”

Para comprobarlo, tomaron varias muestras de piel de algunos individuos y mientras unas las congelaron para su posterior análisis bajo el microscopio de barrido electrónico, otras las conservaron en diferentes compuestos para luego someterlas a una digestión líquida de proteínas con una enzima llamada tripsina, que es un inductor de descamación para los tejidos de animales marinos a mediano plazo.

Al final se descubrió, mediante estos procedimientos, la existencia en la superficie de la piel del calderón, de una microrugosidad formada por una nanovellosidad, y entre estos pequeñísimos vellos se encontró un gel que cubría el espacio existente entre ellos, dejando sólo las puntas de estos al descubierto. Este gel se desprende continuamente de la piel del calderón por un proceso natural de descamación, llevándose con él, en la corriente de agua, los biocontaminantes que pudiera tener adheridos, los cuales se desprenden fácilmente de la piel del calderón (Baum et al, 2001).



**Fig. 2.2.-** En esta nanofotografía se aprecian las crestas de las vellosidades que sobresalen en la piel del Calderón de Aleta Larga.



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



**El reporte de resultados en la investigación científica.** Cada reporte de resultados tiene algunas pequeñas diferencias o particularidades, pero generalmente, se ajustan a uno de estos dos tipos que se describen a continuación (Mari, 2008):

**1.- Reporte de proyecto.** Se elabora para informar a las personas e instituciones involucradas en el desarrollo de una investigación, sobre los resultados con ella obtenidos. Suele consistir de:

- ❖ Introducción.
- ❖ Justificación.
- ❖ Hipótesis.
- ❖ Material y método.
- ❖ Resultados.
- ❖ Discusión o análisis de resultados.
- ❖ Conclusiones o propuestas.
- ❖ Referencias o literatura citada.

**2.- Artículo científico.** Constituye una manera de mantener informada a la comunidad científica sobre los resultados de las investigaciones que otros grupos de científicos realizan en distintas partes del mundo; en ocasiones resulta útil para lograr asociaciones entre diversos científicos que investigan sobre un mismo tema. La mayoría de las veces está conformado por:

- ❖ Resumen o Abstract.
- ❖ Palabras clave o Keywords.
- ❖ Introducción.
- ❖ Material y método.
- ❖ Resultados.
- ❖ Discusión.
- ❖ Conclusiones.
- ❖ Referencias o literatura citada.



## *La gran diferencia entre Proceso y Método*

Es importante diferenciar un *Proceso* de un *Método*. Un Proceso es una serie de *FASES* (Las fases son etapas en sucesión, una después de otra, pero no en un sentido muy riguroso, ya que se puede cambiar su orden, suprimirse o adicionar algunas), para lograr un fin. Cada Fase puede contener Métodos diversos.

En un Método se siguen *PASOS*. En un Proceso se pueden tener las Fases de Inspiración, o de Investigación, o de Requerimientos, y se pueden ir utilizando o volverse a retomar cuando se necesiten.

En un Método se siguen Pasos rígidos y con un orden secuencial que, si se altera, ya no se alcanzará el objetivo deseado: un Método se parece en su estructura a una receta de cocina.



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



Como ya mencioné, un proceso es una serie de Fases que se utilizan para llegar a una meta, sin importar tanto el orden, que depende más de las condicionantes del caso de estudio o de la propia experiencia o intuición del investigador. Un Proceso es más general, y los procesos suelen utilizar, para lograr sus fines, dentro de las fases que los integran, métodos, que atienden aspectos muy particulares de manera menos flexible.

Un proceso es lo que utiliza todo aquel que se dedica a investigar, porque permite emplear distintas fases, moverlas, quitarlas, agregar nuevas o reordenarlas; es más flexible y en las diferentes fases, dentro de cada una, pueden llegar a utilizarse metodologías particulares. El hecho de que usemos un proceso no tiene por qué limitar nuestra creatividad.

A lo que comúnmente le llamamos Método Científico, en realidad es, un Proceso, ya que se siguen pasos, y dentro de esos pasos se pueden utilizar uno o más métodos o pruebas que siguen un orden riguroso, el que si se llega a variar, puede dar un resultado fallido o inexacto en determinado paso que no reflejaría fielmente la realidad.

En ocasiones, los diseñadores e investigadores hemos seguido un proceso que utiliza métodos; por eso podemos desarrollar un proceso de investigación y diseño en donde se efectúen determinados métodos para abstraer los principios naturales que posteriormente se aplicarán en nuevas soluciones a los problemas que se planteen.

Por ejemplo, dentro de un Proceso de Diseño Arquitectónico, podemos tener una Fase de Investigación de Requerimientos, y el Método a seguir dentro de esa Fase puede ser, si se va a diseñar una clínica rural, la aplicación de encuestas para conocer las necesidades de los posibles usuarios, o si se diseñará la cocina de una residencia, el Método adecuado sería una entrevista personal con el cliente o usuario de ese espacio. Dependiendo del tipo de Diseño Arquitectónico a realizar, en la Fase de Investigación de Requerimientos convendrá usar determinado método. Para elaborar y aplicar una encuesta es adecuado llevar cierta metodología, mientras que en una entrevista personal se puede ser más libre, aunque también es favorable tomar notas durante la misma.

Es posible desarrollar un proceso de investigación que se podrá utilizar muchas veces, aunque también se puede ser flexible y variarlo cada vez durante su ejecución, ya que cada proyecto tiene sus propias características y necesidades, lo que lo hace diferente. Por ello, si un arquitecto se pregunta, en determinado problema que se le presente, a cuál de las dos partes del binomio forma-función le debería dar más importancia, su respuesta dependerá de las condicionantes y la problemática del proyecto que se esté desarrollando, porque a veces *el desarrollo de una forma determinada puede llegar a optimizar la funcionalidad que tendrá el objeto, o viceversa.*

El biodiseño puede entrar en diferentes fases del proceso de investigación, como por ejemplo durante la fase conceptual, al observar las formas, los materiales, las estructuras de algún organismo y tratar de retomar de él los principios de su funcionamiento; o también durante la definición de los materiales, los mecanismos, etc. ya que los seres vivos nos pueden servir de ejemplo en la aplicación de los miles de principios naturales que aún no han sido descubiertos por el hombre.

Lo importante es analizar si podemos integrar el biodiseño en nuestro proceso personal de investigación arquitectónica y cómo lo haríamos. Entre más experiencia se vaya teniendo, se contará





## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



con una mayor capacidad para abstraer nuevos principios de la naturaleza que podrán ser aplicados en muy diversos proyectos.

### *Trabajemos junto con otras disciplinas*

Actualmente, son escasos los grupos de trabajo de investigación, con profesionistas de un solo campo de estudios; la mayoría son interdisciplinarios y cada uno maneja sus propios conocimientos, hallazgos, teorías y proyectos. Por lo anterior, cada disciplina ha tenido que estandarizar sus propias maneras de construir su realidad para poder compartir sus conocimientos con profesionistas de otros campos de la ciencia, y a su vez, comprender los que ellos generan.

La interdisciplina no es sólo la intersección entre varios campos del conocimiento, sino que a través del trabajo conjunto, se pueden construir conceptos nuevos a partir de los conocimientos de cada uno. El trabajo interdisciplinario tiene un marco común y objetivos definidos que tienden a un resultado que va más allá de lo que cada disciplina pudiera haber logrado aisladamente.

La Interdisciplina:

- ❖ Construye conocimiento.
- ❖ Crea “contactos” interdisciplinarios.
- ❖ Permite el “préstamo” de Procesos y Métodos.
- ❖ Permite ampliar los límites de un punto de vista parcial.
- ❖ Exporta conocimientos de una disciplina a otra.

Existen dos factores de importancia para el logro de toda investigación:

- ❖ La comunicación interdisciplinaria.
- ❖ El ámbito personal y la comunicación interpersonal.

Para lograr la comunicación entre dos disciplinas que utilizan códigos de comunicación y lenguajes técnicos muy diferentes, se puede usar un lenguaje comprensible para ambas al manejar conceptos que, aunque estén presentes en una sola de las disciplinas, se definan en el lenguaje técnico de la otra; incluso también se pueden transportar conceptos a un lenguaje común. En el trabajo de grupo, se necesita apertura a otras formas de observar y apreciar el entorno.

Cuando un investigador llega a un punto en donde ya no hay más información en la literatura sobre el tema que se está estudiando, puede acudir a otros especialistas y proponerles trabajos de investigación conjunta.

Para trabajar en investigaciones colaborando con otros científicos, de manera personal, podemos inscribirnos como estudiantes en Institutos de Investigación e interesarnos en algún proyecto de investigación o en estudios de maestría o doctorado; también podemos entrevistar a algún científico, de nuestro Instituto o Universidad que se especialice e interese en el mismo tema de investigación.



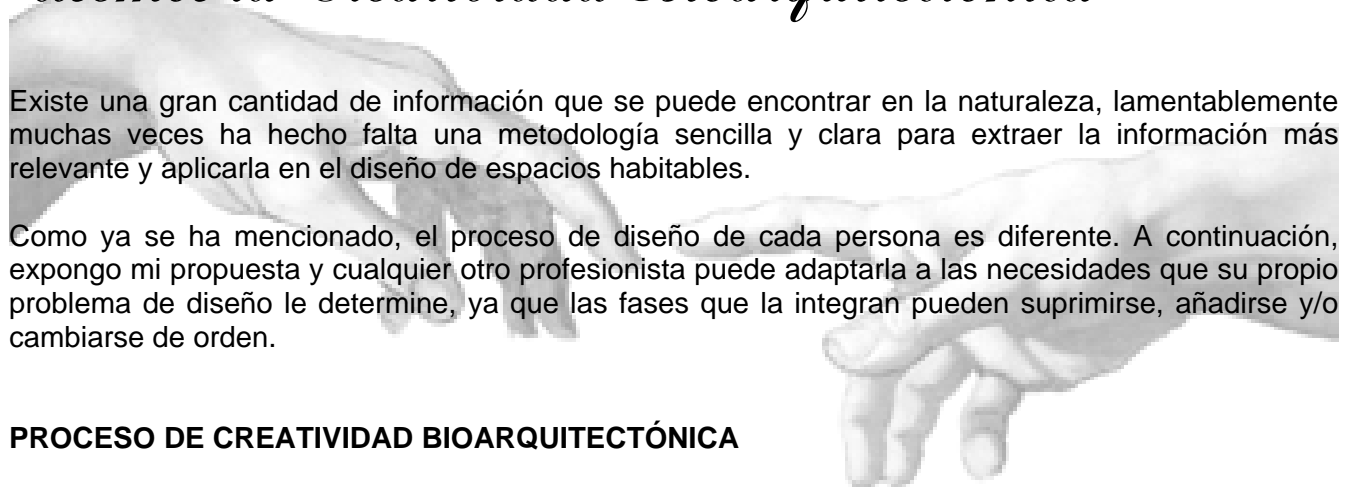
## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



A nivel interinstitucional, si se trabaja en una institución científica o educativa, se puede solicitar la colaboración del investigador con el que quieras trabajar, perteneciente a otro instituto, entrevistándose primero con él para que nos pueda indicar con qué funcionario de su institución hay que hablar, para elaborar un convenio de colaboración entre ambos institutos, o poder trabajar bajo el amparo de un acuerdo previamente establecido.

A nivel privado, también se puede trabajar por contrato (al contratar los servicios de un laboratorio) o por consultoría (contratando a un consultor).

## *Usemos la Creatividad Bioarquitectónica*



Existe una gran cantidad de información que se puede encontrar en la naturaleza, lamentablemente muchas veces ha hecho falta una metodología sencilla y clara para extraer la información más relevante y aplicarla en el diseño de espacios habitables.

Como ya se ha mencionado, el proceso de diseño de cada persona es diferente. A continuación, expongo mi propuesta y cualquier otro profesionalista puede adaptarla a las necesidades que su propio problema de diseño le determine, ya que las fases que la integran pueden suprimirse, añadirse y/o cambiarse de orden.

### **PROCESO DE CREATIVIDAD BIOARQUITECTÓNICA**

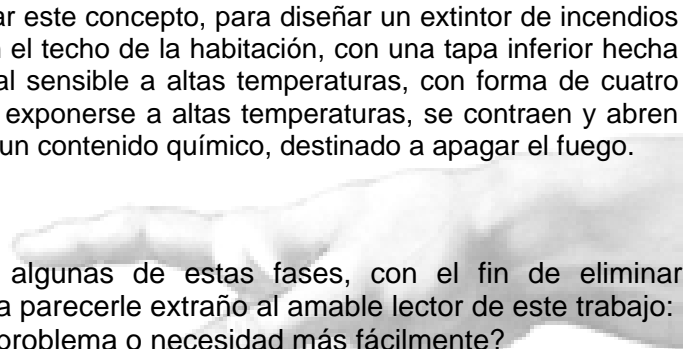
<b>Fases</b>	<b>Ejemplo</b>
1. Se tiene un problema o necesidad inicial.	Se requiere diseñar un empaque con apertura “inteligente”, que contenga una sustancia extintora de incendios y responda a las condiciones del entorno para abrirse o cerrarse por sí solo.
2. Revisión de fuentes en busca de una entidad para analizar.	Revisión de investigaciones propias hechas con anterioridad, bibliográfica, de publicaciones especializadas, de entrevistas personales, de investigaciones de otros investigadores, etc.
3. Elección de la o las entidades (biológicas o inanimadas) más adecuadas.	Se eligió a la flor de la amapola, por el comportamiento de los materiales biológicos que la componen, durante sus distintas etapas de vida.
4. Investigación en varias fuentes de información, observaciones y análisis personales e interpretación de los datos.	Se estudian varios especímenes de amapola, en diferentes estadios de su desarrollo. Después de haberse secado la flor y habérsele desprendido todos sus pétalos, la amapola dispersa sus semillas.



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



5. Identificación de uno o más Modelos Funcionales. Se analiza cómo en la amapola, el reservorio de semillas se abre por desecación y contracción de los materiales de su tapa, y aquellas, debido a su disposición dentro del reservorio, se dispersan al sacudir la planta o al paso del viento, ya que éste crea un microvacío que succiona la semilla, para que salga del reservorio y así pueda arrastrarla.
6. Abstracción. Existen materiales en la naturaleza que pueden contraerse y cambiar de forma, al perder la humedad que contienen.
7. Solución de diseño intuitiva. Utilizar el principio de contracción y cambio de forma del material, por pérdida de la humedad del mismo, e investigar sobre los materiales idóneos que cumplan esta función, en un diseño cuya forma permita que el recipiente abra o cierre, de acuerdo a las condiciones de humedad o temperatura del ambiente en que se encuentre, para permitir o no la salida del contenido.
8. Aplicación de diseño a detalle. Se puede usar este concepto, para diseñar un extintor de incendios que se fija en el techo de la habitación, con una tapa inferior hecha de un material sensible a altas temperaturas, con forma de cuatro gajos, que al exponerse a altas temperaturas, se contraen y abren dejando salir un contenido químico, destinado a apagar el fuego.

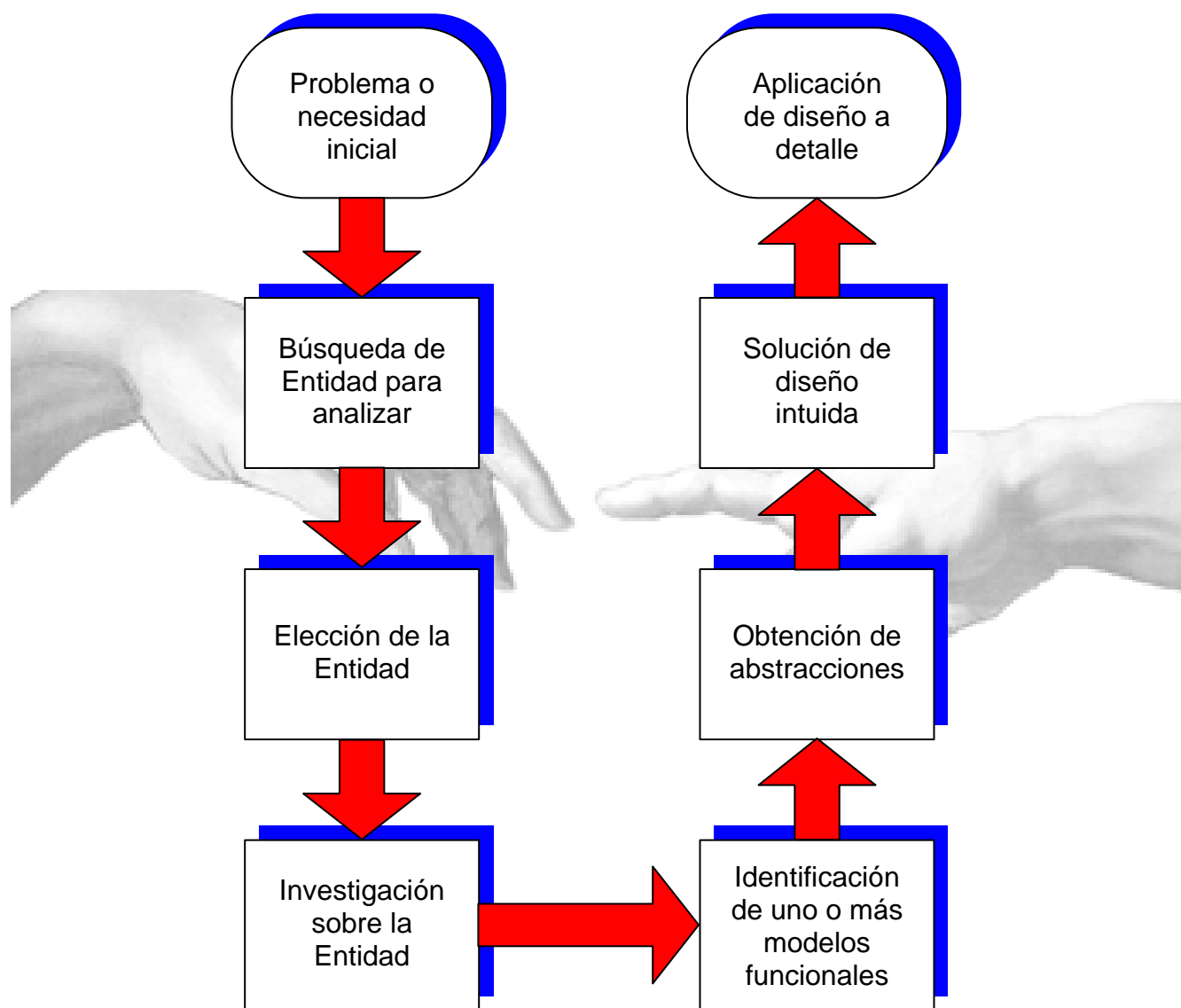


Considero necesario aclarar el significado de algunas de estas fases, con el fin de eliminar confusiones, respecto de algún término que pueda parecerle extraño al amable lector de este trabajo:

- ❖ ¿Cómo podemos entender y enfrentar un problema o necesidad más fácilmente?
- ❖ ¿Qué cosa es una Entidad, biológica o inanimada y para qué me puede servir?
- ❖ ¿De qué manera, más rápida y fácilmente, puedo acceder a la información que realmente me será de utilidad?
- ❖ ¿Qué es un Modelo Funcional y cómo lo puedo identificar?
- ❖ ¿Por qué me refiero a la Abstracción, qué es y cómo se abstrae?
- ❖ ¿Qué diferencia existe entre una Solución de Diseño y una Aplicación de Diseño?
- ❖ ¿Cómo es posible desarrollar fácilmente una Aplicación de Diseño, verdaderamente útil y novedosa?
- ❖ ¿Qué es un Reporte Detallado y para qué me sirve elaborarlo?

También deseo comentar, que pueden replantearse o modificarse los nombres de las fases de este “Proceso de creatividad bioarquitectónica” (o proceso de investigación y diseño arquitectónico), por otros más adecuados a las preferencias del usuario, para el caso de que fuera adoptado por especialistas de otra área de estudio o campo de conocimiento, para el desarrollo de alguna otra investigación. Por ejemplo, en vez de “Entidad”, podríamos renombrarla como “Entidad en estudio” o “Elemento de origen”, para definir mejor nuestras “Observaciones personales”, podemos llamarlas “Análisis propio” o “Estudio original”, y en lugar de “Modelo Funcional” tal vez sería más adecuado decir “Función básica” o “Modelo lógico-funcional”.

ACTIVIDADES DEL PROCESO DE CREATIVIDAD BIOARQUITECTÓNICA (ESQUEMA)



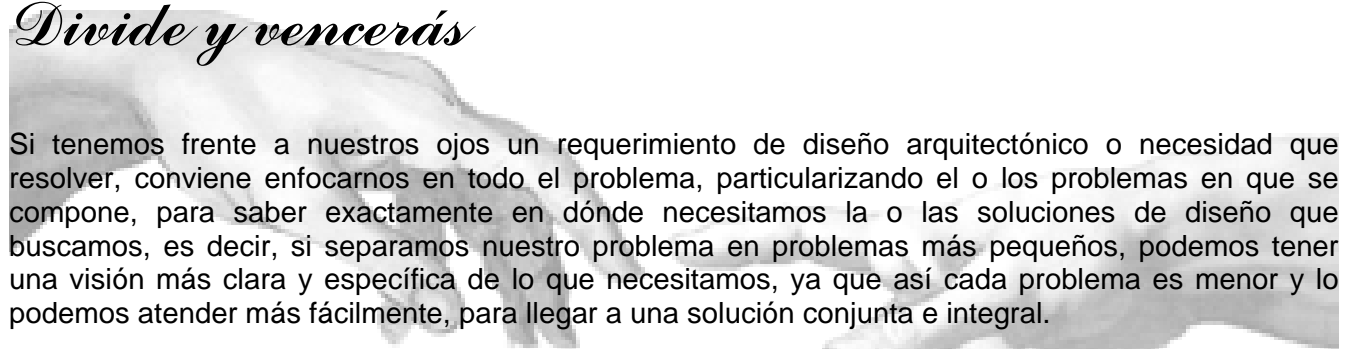


## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



Por el momento, intentaré desmenuzar en qué consisten las fases de este proceso, respetando los términos con los que las he nombrado inicialmente. Primeramente explicaré, lo más claramente posible, lo que es el problema de diseño inicial y cómo fragmentarlo. Continuaré con lo que es una Entidad, para qué sirve y cómo realizar la búsqueda de la entidad idónea para ser analizada. Más adelante, veremos en qué consiste un Modelo Funcional, qué es Abstracción y cómo se abstrae, para luego llegar a lo que es la Aplicación de Diseño requerida. Finalmente, aprenderemos para qué nos puede servir, en este proceso de diseño arquitectónico, elaborar un reporte detallado de nuestra investigación personal y bibliográfica, estandarizando toda la información y conclusiones a las que lleguemos, dentro de un formato que nos será de utilidad en la creación de una Base de Datos.

### *Divide y vencerás*



Si tenemos frente a nuestros ojos un requerimiento de diseño arquitectónico o necesidad que resolver, conviene enfocarnos en todo el problema, particularizando el o los problemas en que se compone, para saber exactamente en dónde necesitamos la o las soluciones de diseño que buscamos, es decir, si separamos nuestro problema en problemas más pequeños, podemos tener una visión más clara y específica de lo que necesitamos, ya que así cada problema es menor y lo podemos atender más fácilmente, para llegar a una solución conjunta e integral.

Es mejor trabajar en pequeño y luego sumar las soluciones, que trabajar con un problema enorme. Por ello es importante, primeramente, extraer del problema inicial, el sistema de funcionamiento que subyace dentro de él, resaltando sus elementos funcionales básicos, definiendo y acotando el problema.

De este modo tendremos un mapa más detallado de todo el problema, donde podremos clarificar cuáles son los objetivos que buscamos obtener de nuestro diseño arquitectónico, estableciendo las funciones que deseamos que nuestra solución efectúe y fijando lo que se necesita para cumplir dichas funciones.

Así, ya estamos separando nuestro problema inicial en objetivos y funciones, desglosándolo en varios pasos que tenemos que requisitar, para que nuestro producto se materialice. De este modo, podemos generar varias alternativas para dar respuesta a cada una de esas funciones, que en conjunto forman una solución para todo el problema. Como de problemas parciales daremos soluciones parciales, enseguida evaluaremos las alternativas por separado y adecuaremos los detalles para dar una solución integral, que también puede ser evaluada en conjunto.

Esta es sólo una forma de definir el problema. Existen muchas otras maneras que, como esta, han sido ideadas para dar solución a todo tipo de necesidades que la vida nos presenta a diario.

## *En La Entidad está el principio y el fin*

Una Entidad, como su propio nombre indica, puede ser cualquier individuo, considerándolo de manera integral e incluyendo todas las partes que lo componen, aunque también podemos identificar, a nuestra Entidad, con tan sólo una parte del individuo o también puede ser un grupo de individuos.

La Entidad puede ser un individuo vivo o inanimado, ya que sólo precisamos que interactúe de algún modo con el medio en el que se desenvuelve, realizando para ello algunas acciones o funciones, ya que son, en última instancia, éstas acciones o funciones las que nos interesan para obtener nuevos conceptos de diseño útiles en la solución de nuestro requerimiento o necesidad arquitectónica.

A nuestra entidad la podemos localizar en nuestros recuerdos, preferencias y experiencias previas, o incluso por la observación de algún fenómeno en particular, del que nos percatemos que podemos obtener algo relevante.

Esta Entidad, biológica o inanimada, tal vez pueda identificarse, dentro de algunas otras metodologías o procesos de diseño, con el objeto de estudio. Puede ser lo mismo un animal, un vegetal, un mineral, un edificio, una máquina, una comunidad (humana, animal o vegetal), o tan sólo alguna parte de una de las posibilidades anteriores. También nuestra entidad puede ser: un proceso, una conducta, un código, un patrón, un material, un mecanismo, una estructura o un sistema, ya que cualquiera de estas entidades efectúan acciones o funciones que les permiten interactuar con su entorno.

Como una entidad puede ser todo un individuo, tan sólo una porción de él o un grupo de ellos, podemos por ejemplo, al intentar localizar en un hospital a nuestra posible entidad, y dependiendo de cuál es nuestra necesidad o problema específico a solucionar, escoger a todos los edificios y áreas auxiliares que integran la planta de conjunto hospitalaria, o tan sólo al área de quirófanos, o tal vez nos enfoquemos más en el consultorio del cardiólogo o en el del pediatra. Dependerá del tipo de requerimiento que se nos plantee, la o las entidades que necesitaremos analizar.

Por fortuna, tenemos un universo entero de posibles entidades. Aunque estas palabras pueden parecer un poco abrumadoras o temerarias para algunos (podríamos haberlo tomado por el lado negativo, iniciando este párrafo así: por desgracia), nos podemos servir de herramientas muy útiles para encontrar fácil y rápidamente, la o las mejores entidades que nos ayudarán a solucionar nuestro requerimiento de diseño arquitectónico, como veremos en los siguientes párrafos de este trabajo.

## *Aprovechemos el legado de nuestros antecesores*

La revisión de fuentes de información, durante la búsqueda de una entidad para analizar, nos servirá para tener más elementos y poder elegir, de manera adecuada y fundamentada, la o las entidades que se requerirán, para el posterior desarrollo de un diseño de aplicación arquitectónica.

Si por alguna razón, se nos dificulta encontrar alguna entidad biológica o inanimada de estudio viable para, en base a su análisis, llegar a la solución de nuestro problema, contamos con una opción en la búsqueda de esta entidad idónea: *establecer analogías*. Tenemos dos maneras de hacerlo:

- ❖ *Establecer analogías directas.*
- ❖ *Establecer analogías por medio de palabras clave funcionales.*

Por el momento, pospondré un poco la explicación de cómo *establecer analogías directas*, exponiendo primeramente los pasos a seguir para *establecer analogías por medio de palabras clave funcionales*, con el fin de mostrar cómo efectuar una adecuada revisión a las diferentes fuentes de información, en busca de nuestra entidad de estudio. Los pasos a seguir en este procedimiento son:

- ❖ *Definir las palabras clave funcionales.* Se precisan al extraer la o las funciones implícitas en el problema o necesidad inicial.
- ❖ *Identificar sinónimos de esas palabras clave.* Para ampliar el abanico de opciones de búsqueda.
- ❖ *Seleccionar la o las fuentes iniciales de información.*
- ❖ *Seleccionar las vías de relación.*
- ❖ *Buscar las palabras clave y los sinónimos en las vías de relación.*
- ❖ *Seleccionar la o las entidades biológicas o inanimadas relevantes.*

Para apreciar mejor lo anterior, presento el siguiente ejemplo:

En los últimos años, se ha notado un notable incremento en el número de huracanes que azotan a las costas de muchos países en casi todo el planeta, así como también se ha apreciado un aumento considerable en la duración e intensidad con la que estos fenómenos inciden en esas regiones; muchos de ellos han propiciado enormes desastres en el endeble equilibrio ecológico de estas áreas y ocasionado gran pérdida de vidas humanas y animales, sobre todo cuando impactan en lugares densamente poblados.

Actualmente, a pesar del gran avance en el desarrollo de nuevas técnicas para la predicción del tiempo, aún resulta prácticamente imposible predecir con total certeza cómo va a evolucionar un huracán que ya se encuentre en formación y cuál será su trayectoria e intensidad en las siguientes 24 horas (Butikov, 2002-October).

Todo lo anterior, aunado a las paupérrimas condiciones en las que muchas personas autoconstruyen sus viviendas, se conjuga para que cada vez existan más lugares en los que, tras el paso de un huracán, queden vastas regiones en las que reinan la desolación y el desamparo, con cientos o en ocasiones miles de personas damnificadas y sin hogar.



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



Con lo anterior en mente, nuestro **problema inicial** es: *Diseñar un edificio costero verdaderamente resistente a huracanes, el cual pueda ser fácilmente armado o autoconstruido por cualquier persona, que pueda adaptarse sin dificultad a cualquier entorno y satisfaga eficientemente las necesidades básicas de vivienda de sus usuarios.*

Desglosando nuestro **problema inicial** en su objetivo o función más básico, quedaría: “*Edificio Resistente a huracanes*”.

Para encontrar una entidad biológica o inanimada de la cual obtengamos un modelo funcional viable, a partir del que desarrollaremos nuestra aplicación de diseño, efectuamos su búsqueda con ayuda del procedimiento que describimos en los párrafos anteriores: *establecer analogías por medio de palabras clave funcionales*:

❖ *Definir las palabras clave funcionales.* En nuestro **problema inicial**, identificamos las siguientes:

✓ Resistencia, huracán, autoconstrucción, adaptación.

❖ *Identificar sinónimos de estas palabras clave:*

✓ Amortiguar, ciclón, abaratamiento en la construcción, modulación.

❖ *Seleccionar la o las fuentes iniciales de información:*

✓ Podemos comenzar a buscar en libros, páginas serias de Internet, artículos científicos, entrevistas con científicos, etc.

❖ *Seleccionar las vías de relación y buscar las palabras clave y los sinónimos en ellas:*

✓ En los libros, si buscamos en su índice analítico (aparece al final del libro, no en el índice de contenido, índice general o temario, que casi siempre están al inicio) encontraremos un listado con todas las palabras relevantes que contiene el libro y las páginas en las que aparecen, abrimos en las páginas anotadas y las leemos para saber si nos servirá esa información; también nos resultará de utilidad buscar en el glosario de términos del libro.

✓ En Internet, podemos buscar artículos científicos relacionados con nuestras palabras clave, consultando en las Bases de Datos de Journals, que son esencialmente publicaciones periódicas con colecciones de resúmenes o abstracts indizados, mismos que los investigadores pueden leer y así decidir si les conviene obtener algún artículo completo; también es de suma utilidad buscar en el Google Académico.

✓ También podemos buscar en algún glosario biológico información relacionada con las palabras clave (y sus sinónimos) que estamos empleando. Para encontrar un glosario biológico en Internet, simplemente tecleamos en un Buscador de Páginas, como por ejemplo en el de Google: “Biology Glossary” y enseguida seleccionamos alguna de las ligas que aparecen, para acceder a otras páginas, entre las que encontraremos varios portales donde la información está organizada por abecedario; igualmente podemos hacer búsquedas abiertas, utilizando nuestras palabras clave en diversos buscadores de páginas, como Google, Altavista o Yahoo, entre otros.



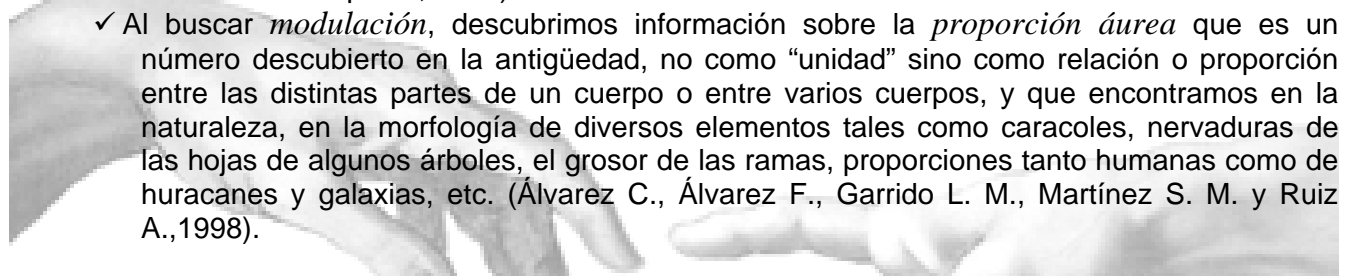


## Proceso de Creatividad Bioarquitectónica



Como resultado de nuestra búsqueda efectuada con las palabras clave y sus sinónimos, es claro que una de las entidades que identificamos enseguida es *huracán*, y en las vías de relación anteriores, encontramos datos interesantes relacionados con esta entidad, además de otros relevantes referidos a las palabras *amortiguar* y *modulación*:

- ✓ Sobre el *huracán* hallamos que es el nombre más común que se da a los vórtices atmosféricos terrestres más grandes. Son tormentas caracterizadas por vientos muy fuertes (mayores a 120 km/h) que, en trayectorias espirales, mueven grandes cantidades de agua alrededor de un centro común conocido como el ojo del huracán (The Florida State University, 2002).
- ✓ Al investigar sobre *amortiguar*, encontramos la palabra *resiliencia*, que es la capacidad que tienen los *resortes* metálicos de resistir el impacto de una presión deformadora y recobrar su estado cuando ya no existe dicha presión; los *resortes* pueden ser elongados al ser sometidos a estiramiento y al soltarse recobran su estado original (Enciclopedia Libre Universal en Español, 2008).
- ✓ Al buscar *modulación*, descubrimos información sobre la *proporción áurea* que es un número descubierto en la antigüedad, no como “unidad” sino como relación o proporción entre las distintas partes de un cuerpo o entre varios cuerpos, y que encontramos en la naturaleza, en la morfología de diversos elementos tales como caracoles, nervaduras de las hojas de algunos árboles, el grosor de las ramas, proporciones tanto humanas como de huracanes y galaxias, etc. (Álvarez C., Álvarez F., Garrido L. M., Martínez S. M. y Ruiz A., 1998).



❖ *Seleccionar la o las entidades biológicas o inanimadas relevantes.* Hasta aquí hemos reunido información sobre tres entidades biológicas: el *huracán*, los *resortes* y la *proporción áurea*. Estas tres entidades pueden aportar información muy interesante, aunque la primera de ellas sea considerada como un proceso climático en el que son transportadas grandes cantidades de aire y agua a través de varios grados de latitud, la segunda sea un utensilio creado por el hombre para trabajar como parte de algún mecanismo y la última sea en realidad un patrón de crecimiento u organización que han adoptado distintos organismos vivos y entidades inanimadas en el universo. ya que como en párrafos anteriores hemos comprendido, tanto procesos como mecanismos y patrones también pueden ser considerados entidades de las que podemos obtener nuevos conocimientos y principios naturales.

Es así como llegamos, en primera instancia, a la selección de estas tres entidades biológicas relevantes y enseguida hacemos una investigación detallada de cada una de ellas, con la revisión de toda la literatura e información científicas a nuestro alcance y nuestras observaciones originales (o personales), para llegar a interpretar cómo funciona lo que encontremos en ellas. Si hubiéramos seleccionado más entidades biológicas, también efectuaríamos una investigación a fondo con cada una de éstas.

## *Todo depende del cristal a través del que se mira*

Antes de hacer un análisis directamente sobre la entidad biológica o inanimada en estudio, con la descripción realizada por nosotros mismos acerca de todo lo que podemos observar detalladamente, es favorable que nos apoyemos en la literatura existente, para considerar alguna información que no tengamos en cuenta y que nos ayudará a comprender mejor los procesos que desarrolla dicha entidad.

Continuando con el ejemplo anterior, donde hemos identificado al *huracán*, la *proporción áurea* y los *resortes* como entidades relevantes para la solución de nuestro problema, en base a la información disponible de otras fuentes y a nuestras propias observaciones encontramos, entre otros, los siguientes datos:

En la investigación detallada que he efectuado sobre el *huracán*, además de estudiar el efecto Coriolis y la escala Saffir-Simpson, me ha llamado mucho la atención el hecho de que los huracanes se encuentran compuestos tan sólo por agua y aire, los fluidos más comunes que existen en la naturaleza. Completar nuestra descripción y comprensión del comportamiento de los fluidos representa una imperiosa necesidad para entender el funcionamiento de los huracanes (Perala-Fabi, 1993), ya que desde hace muchos años el ser humano ha desarrollado sorprendentes técnicas con el fin de predecir los cambios climáticos terrestres, y en ocasiones, incluso se ha tenido la esperanza de algún día desarrollar tecnologías capaces de poder modificar el clima.

Es importante que nos demos cuenta de que nunca podremos cambiar los patrones climáticos; en vez de tratar de combatir a las fuerzas de la naturaleza, debemos comprender cabalmente cómo funcionan para poder construir nuestro entorno de acuerdo a este funcionamiento, y no en contra de él. Para analizar cómo interactúan los fluidos frente a diversos cuerpos sólidos, se suelen utilizar túneles de viento en donde son creadas lo que se llama *líneas de corriente* o *de flujo*. En cada punto de éstas el vector velocidad (cada línea) es paralela. En donde las líneas de corriente tienden a juntarse la velocidad es mayor que en aquellas donde parecen separarse.

En la práctica, lo que se acostumbra es suspender en el fluido partículas reflectoras de luz (hojuelas de aluminio) que al ser iluminadas son captadas por una cámara, como se aprecia en la figura 2.3. La exposición debe ser tan breve como para que las trazas dejadas en la película sean segmentos rectos. Las partículas suspendidas en el fluido se mueven con éste sin alterar el flujo, de modo que las fotografías nos revelan las líneas de corriente y sus velocidades.

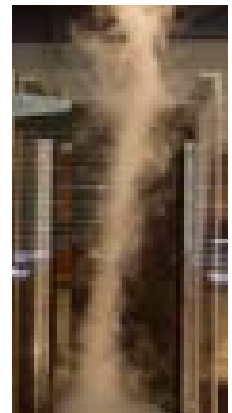


Fig. 2.3.

Entre los factores que inciden en los efectos del viento huracanado sobre las construcciones, se encuentran la localización de éstas y las obstrucciones del entorno. La ubicación de una edificación frente al embate de fuertes vientos, así como la presencia de otros edificios de menor tamaño pueden contribuir a acelerar la velocidad del viento y suscitar turbulencias que afectan tanto la fachada frontal como la fachada posterior de la edificación (Comarazamy, 2005).



## Proceso de Creatividad Bioarquitectónica



Por lo anterior, es imprescindible poner atención a la fluidez que caracteriza a las fuerzas que componen al huracán: viento y agua, para que los edificios cercanos a las costas puedan ser construidos con características aerodinámicas e hidrodinámicas, a saber, formas sinuosas con suaves perfiles, utilizando líneas semicurvas y evitando en lo posible el diseñarlos con ángulos rectos entre sus diversos paramentos.

En este momento de la investigación, cabe mencionar que he estado hallando bastante información sobre el agua y el viento, y he podido observar que también es necesario profundizar en el estudio de la forma estructuralmente hexagonal que adopta el agua al congelarse, por lo que he decidido incorporar una entidad más a las tres inicialmente seleccionadas: el *hexágono*, para averiguar porqué la naturaleza se manifiesta, muchas veces, estructurándose con esta forma.

Investigando sobre el *hexágono*, encontré que en muchos lugares de la naturaleza se presenta un tipo característico de orden hexagonal, tanto si buscamos a nivel atómico, en células vivas, dispositivos artificiales o colonias de abejas. Se le llama "empaquetamiento compacto" y es de hecho el más efectivo para meter el mayor número de objetos isotrópicos, con igual forma y tamaño, en un mínimo espacio, aunque a diferencia de la esfera, donde se tiene el mayor volumen recubierto por la menor superficie posible, el volumen definido por este ordenamiento hexagonal tenderá a desarrollarse ajustándose al sistema de referencia ortogonal convencional, ya que todas las agrupaciones de hexágonos sólo pueden ser planas, como en las baldosas de un piso de cerámica (Wikimedia Foundation, 2008t).

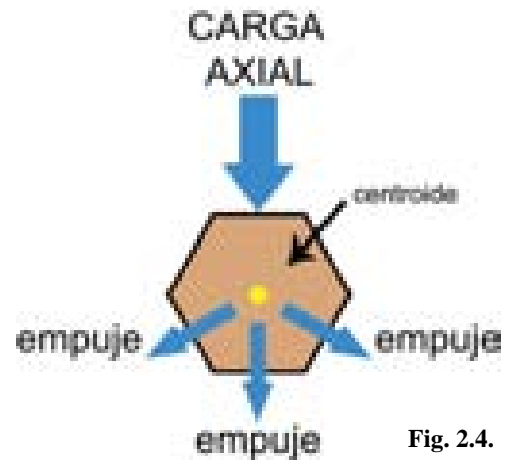
Los matemáticos y cristalógrafos usan el término "eje de orden 6" para describir este tipo de simetría hexagonal, ya que se puede relacionar con la estructura atómica y molecular del agua, debido a que es el resultado de cómo se enlazan los átomos de oxígeno e hidrógeno para formar estas moléculas y de como se ordenan unas con otras en el hielo sólido y en los cristales de nieve. Es la geometría impuesta por los enlaces químicos en la red de hielo (Gómez-Moreno, 1999c).

Es necesaria la interpretación geométrica de los diferentes elementos que dan forma a una estructura y de su relación con algunos conceptos, como el momento de inercia, el módulo de elasticidad y el módulo de sección, para poder optimizar su comportamiento ante las diferentes fuerzas con las que tendrá que interactuar durante su funcionamiento o utilización por el ser humano.

Para que un edificio sea consistente, estructuralmente hablando, debe tener capacidad de carga y estabilidad. Lo mismo sucede con un boxeador, que al estar mal parado, puede tener capacidad de carga pero no estabilidad, por lo que si es empujado con fuerza, puede llegar a perder el equilibrio y caer. También es de suma importancia el conservar, en la medida de lo posible, el balance energético existente entre el módulo de elasticidad de los materiales con los que están hechos los objetos y su forma o geometría. En muchos casos, se puede modificar la geometría que presenta determinada pieza o elemento estructural, de acuerdo a las necesidades particulares de cada proyecto, optimizando así su diseño para mejorar la respuesta estructural de todo el objeto o edificio (Singer Ferdinand, 1985).

Tomando en cuenta lo anterior, si hemos de diseñar una estructura capaz de resistir impactos de fuerzas descomunales, como los vientos huracanados que suelen golpear a los edificios prácticamente en cualquier dirección, es muy importante considerar tanto la forma que tendrá la envolvente de los elementos que integren la mencionada estructura, como también el comportamiento geométrico que tendrá toda la estructura en su conjunto.

Podemos, a cada elemento base o módulo que integre una estructura muy resistente, pero a la vez flexible, darle una forma hexagonal, porque de esa manera multiplicamos por seis el número de direcciones en las que es posible enfrentar directamente el impacto del viento, permitiendo que la misma geometría de nuestro módulo divida la carga axial que recibe en tres fuerzas de empuje, aprovechando así la resistencia al cortante que presentan, por su forma hexagonal, las tres caras contiguas opuestas al lado que está recibiendo el golpe huracanado.



Debido únicamente a la forma hexagonal de cada módulo, la transmisión de la carga que lo golpea por un lado, se dividirá en tres caminos, debilitándola eficientemente. Conforme este

empuje se va transmitiendo a los hexágonos adyacentes, éstos contribuyen a dividir en tres cada vez más la energía de la carga inicial hasta que, gracias al gran número de piezas hexagonales de que consta la estructura, sea disipada, ya que literalmente esta estructura tendrá la capacidad de absorber la energía de las grandes fuerzas o empujes que incidan en ella, prácticamente sin sufrir daño alguno, al diseminarse exponencialmente alrededor del área de afectación, al tiempo que se transmiten hacia la base, a la que llegarán ya muy debilitadas y siendo fácilmente soportadas por una mayor extensión de terreno. Entre más elementos hexagonales contribuyan a frenar la fuerza que los golpea, se incrementará la resistencia de la estructura.

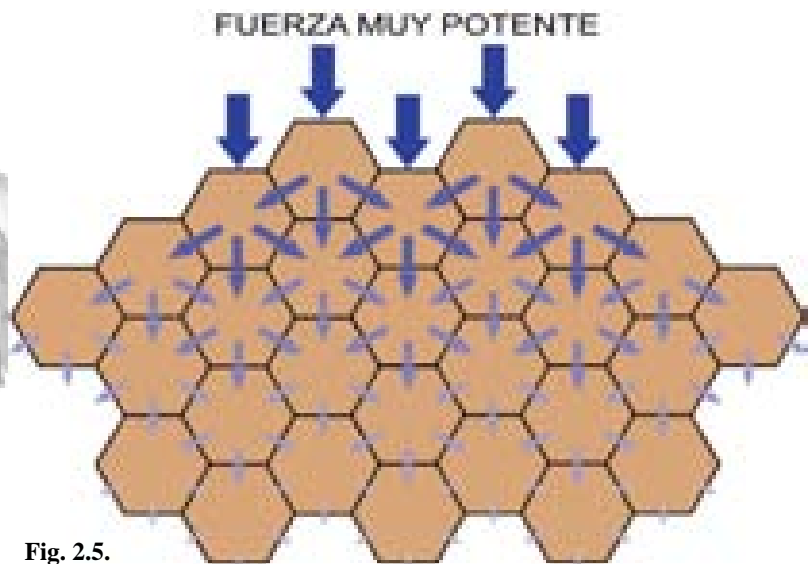


Fig. 2.5.

Además, otra característica de las formas hexagonales, es que si ponemos muchos hexágonos iguales, uno junto al otro, conformaremos una especie de retícula en la que cada elemento se mantiene en su posición muy bien "anclado" a los demás, ya que no pueden deslizarse de su posición hacia ninguna dirección, debido a que los lados contiguos al hexágono, integrados por las piezas adyacentes, le forman una especie de hueco en el que permanecerá "encajonado".

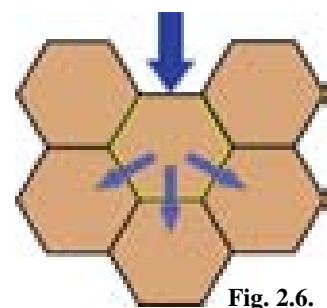


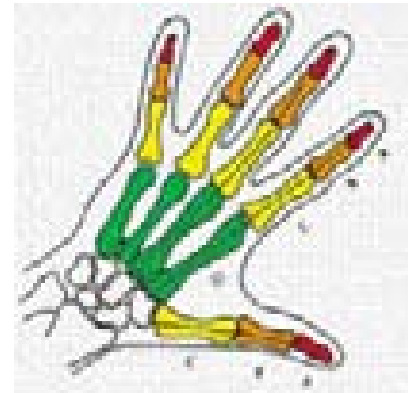
Fig. 2.6.

En la investigación que realicé sobre la *proporción áurea*, aprendí que es una relación o proporción entre las distintas partes de un cuerpo o entre dos o más cuerpos y es igual a: 1.61803398... pudiendo ser observada muchas veces en la naturaleza: en el crecimiento de las plantas, en las piñas de los pinos, en la distribución de las hojas en un tallo, o en la formación de los caracoles (Wikimedia Foundation, 2008s).

Ya desde la época de los griegos se conocía esta proporción del ordenamiento de la naturaleza como la Sección Dorada y ellos la usaron extensivamente para la belleza y el balance en el diseño del Partenón y otras obras. El Partenón nos muestra la necesidad del hombre por vincularse con la naturaleza imitando sus formas. Su diseño está totalmente basado en la sección dorada, su ancho, su altura y su profundidad están dentro de esta proporción, lo mismo que la distribución de sus columnas y detalles.

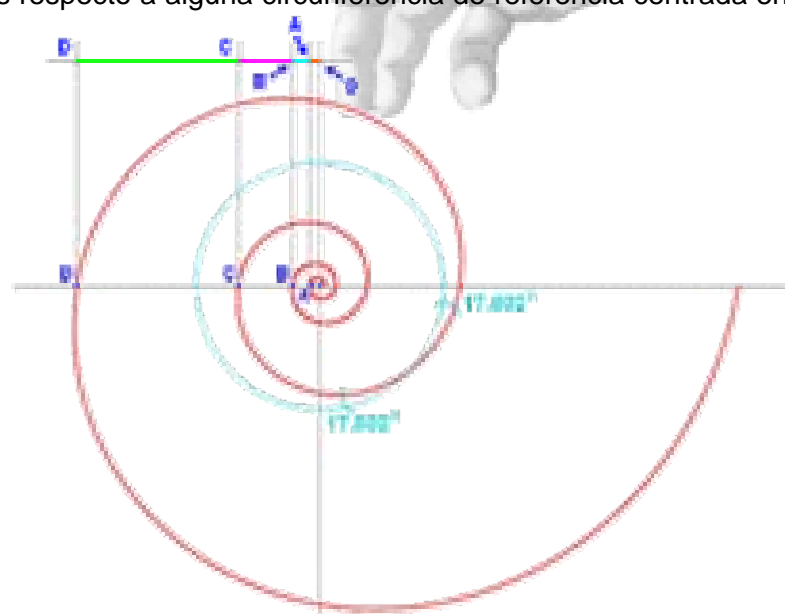
La proporción áurea tiene presencia en muchos otros ámbitos, tales como la trigonometría (donde se encuentra un triángulo áureo) y la música (en muchos ritmos existe una gran cantidad de relaciones armónicas), ya que representa una fuente inagotable de relaciones que existen a nuestro alrededor y de las cuales muchas veces ni siquiera estamos concientes (Porta Paulo, 2007).

Una característica particular de muchas entidades que se presentan en la naturaleza, es su crecimiento singular en forma de expansión, adoptando formas de espirales, mismas que se han llegado a clasificar en cinco variedades distintas. Todas estas espirales han sido descubiertas en nuestro entorno natural, aunque la espiral logarítmica es la que con mayor frecuencia puede llegar a ser observada (Arte y Matemáticas, 2008), ya que es de tipo “estático”, entendiéndose con esto que su forma y proporciones suelen mantenerse sin alteraciones aparentes durante largos períodos de tiempo (Wikimedia Foundation, 2008v).



**Fig. 2.7.-** En la mano humana, se observa la proporción áurea existente en los huesos de los dedos: entre la tercera falange **A** y la segunda **B**, entre éste hueso y la primera falange **C**, y entre ésta última y el hueso metacarpiano **D**.

En una espiral logarítmica la separación entre sus sucesivas espiras aumenta desde el centro hacia fuera en una progresión geométrica, y el grado de crecimiento de la espiral es el ángulo constante que la espiral mantiene en sus espiras respecto a alguna circunferencia de referencia centrada en su origen, por ello, también se le conoce como espiral de crecimiento equiangular. Una espiral logarítmica con grado cero de crecimiento sería un círculo, mientras que una con grado 90 es una línea recta trazada desde su centro. Aunque existen muchos organismos que se desarrollan siguiendo patrones espirales logarítmicos con distintos grados de crecimiento, todos constituyen un ritmo dinámico que se manifiesta, en su mayoría, con espirales logarítmicas con un grado de crecimiento angular igual a 17.03239, que corresponde al desarrollo armónico que tiene una espiral logarítmica con proporción áurea (Wikimedia Foundation, 2008w) y a la simetría pentagonal que se deriva de ella.



**Fig. 2.8.-** En la espiral logarítmica con proporción áurea las distancias entre el origen y los puntos A, B, C, D... crecen en razón dorada, al igual que las longitudes entre los segmentos sucesivos OA, AB, BC, CD...

## Proceso de Creatividad Bioarquitectónica

Basándose en lo anterior, puede afirmarse que la más común de todas las espirales que pueden apreciarse en la naturaleza es la logarítmica, y casi la totalidad de éstas mantienen proporciones áureas al presentar el mencionado grado de crecimiento angular.

Para comprobar que este crecimiento se encuentra en muchos vegetales y organismos marinos, como las medusas o las estrellas de mar, adoptando la forma de la espiral logarítmica de proporciones áureas, podemos trazar una línea recta que tenga inicio en el punto central (o de Origen) de la espiral y dirigirla hacia su exterior en cualquier dirección, enseguida nombraremos con letras A, B, C... los puntos en los que dicha línea cruza con la espiral en su trayecto hacia el exterior, y así observaremos que las distancias entre los puntos OA, OB, OC... aumentan en progresión geométrica con una proporción áurea (se incrementan sucesivamente 1.618 veces), y las longitudes en esa misma línea recta, entre las espiras contiguas, definidas por los puntos OA, AB, BC... también crecen geoméricamente con el mismo patrón dorado.

Es así como resulta totalmente evidente la presencia de una Ley de Crecimiento Natural en la espiral logarítmica con proporción áurea, por lo que también se le llamó: "La espiral del crecimiento", al ser descubiertas sus propiedades por Descartes y estudiada posteriormente por varios investigadores, entre ellos Jacob Bernoulli, quien la nombró: *Spira Mirabilis*, "la espiral maravillosa" (Ghyka, Matila C., 1992).



Fig. 2.9.- Sistema de baja presión que está dando origen, el 4 de septiembre de 2003, a un huracán, en el Estrecho de Dinamarca, entre Groenlandia e Islandia. Tiene forma de espiral logarítmica con proporción áurea.

Todos los huracanes, una vez consolidada su forma, se mantienen siempre con este mismo patrón geométrico durante su crecimiento y evolución, hasta que se disipan por completo (Livio Mario, 2002).

También puedo comentar que al profundizar en esta investigación sobre la proporción áurea, me he percatado de que todo volumen rectangular (o paralelepípedo), que mantenga proporciones áureas,

dispuesto en sentido vertical, es más inestable ante alguna fuerza que incida en su contra, que otra forma con las mismas dimensiones y situada en sentido horizontal, ya que al tener, el segundo volumen, una mayor área de contacto con su plano de sustentación, contará con una mayor resistencia ante cualquier empuje, no pudiendo ser derribado.

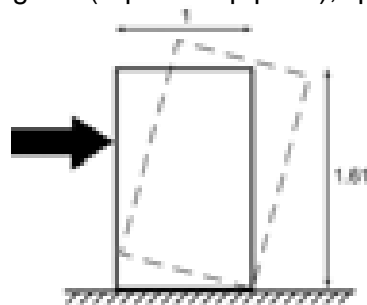
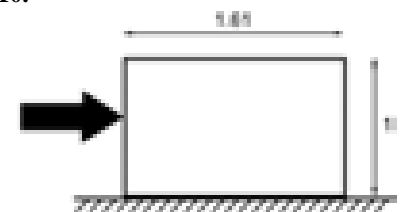


Fig. 2.10.



La estabilidad que le confiere, a una forma rectangular o volumen tipo paralelepípedo con proporciones áureas, su disposición en sentido horizontal, es lo que le ha permitido, por ejemplo, a la gran pirámide de Keops mantenerse en pie, prácticamente sin mella, durante casi cinco mil años, resistiendo al embate de muchas tormentas de arena, tan comunes en el desierto.

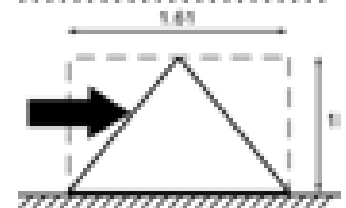


Fig. 2.11.



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



Para conferirle una mayor estabilidad a los proyectos y construcciones, en los que se desea utilizar la proporción áurea, es conveniente diseñarlos en un sentido horizontal, es decir, preferentemente manteniendo una relación de al menos 1.6 veces más anchura y longitud que altura.

En referencia a la última entidad analizada, los *resortes*, encontré que si consideramos que en un ambiente determinado se tiene un material sólido sujeto a fuerzas cortantes, éste se deformará hasta cierto límite, reordenando sus elementos estructurales (átomos), al generar una fuerza igual en magnitud y en dirección opuesta a la aplicada, para así quedar en equilibrio, ya que en última instancia, los átomos ligados entre sí por fuerzas de origen electromagnético se ven obligados a cambiar sus posiciones relativas hasta balancear exactamente la fuerza aplicada. La deformación se detiene en el preciso momento en que esto se logra. Decimos que un material es elástico si al retirar las fuerzas aplicadas recupera su forma inicial. Le llamamos plástico si no recupera su estado original y guarda cierta “memoria” (o conserva las huellas) de las fuerzas que sufrió (ITESM, 1996).

Al hablar de elasticidad y de la recuperación de la forma inicial, no podemos dejar de mencionar qué cosa es la resiliencia: este vocablo viene del latín “resilio” que significa volver atrás, volver de un salto, resaltar, rebotar. El concepto de resiliencia parte de la física y se refiere a la capacidad de los metales de resistir el impacto de una presión deformadora y recobrar su estado cuando ya no existe dicha presión; un ejemplo de ello son los resortes metálicos, los cuales tienen la capacidad de elongar al ser sometidos a estiramiento y al soltarse recobran su estado original. (Enciclopedia Libre Universal en Español, 2008).

La propiedad de resiliencia de determinados materiales nos indica la capacidad que tienen de absorber energía elástica mientras está sometido a una fuerza de deformación, y devolver esta energía cuando se deja de aplicar. En otras palabras, es la capacidad de un material de volver a su forma original, tras dejar de aplicarle la fuerza que lo deformaba.

La resiliencia es una propiedad relacionada directamente con materiales elásticos, como el acero, que se usan por ejemplo para la fabricación de muelles y resortes, donde su estructura formal contribuye a proporcionarles la flexibilidad que requerirán durante su vida útil manteniendo al mismo tiempo una gran resistencia a todo tipo de fuerzas que los comprimirán, tensionarán e impactarán.

Los resortes metálicos están fabricados con materiales que cuentan con un alto módulo de resiliencia, lo que les permite soportar altas cargas de energía sin producirseles deformaciones permanentes (Pontificia Universidad Católica de Chile, 1999).

Una vez que hemos terminado la investigación y recopilado la información que nos parece más relevante, sobre nuestra o nuestras entidades biológicas o inanimadas de estudio, el siguiente paso será elaborar un modelo funcional o descriptivo, pero antes de explicar en qué consiste eso, deseo comentar sobre otro interesante ejemplo de una investigación original, realizada a una entidad biológica, en el que un grupo de investigadores de la Universidad de Bonn, dirigidos por el Dr. Wilhelm Barthlott, desarrolló el concepto del Efecto Lotus o “Lotus Effect”, a partir de una propiedad con la que cuentan las hojas de la flor de loto: siempre se mantienen impecablemente limpias y secas, aunque crezcan en medio de un pantano o vivan en una región muy lluviosa, lodosa o polvosa (Lotus-Effect, 2008).

## Proceso de Creatividad Bioarquitectónica

Cuando cae agua sobre las hojas de esta planta, al contacto con su superficie, el líquido se convierte en gotas que resbalan suavemente sin mojar a las hojas, incluso estas gotas arrastran el polvo que ha caído en la hoja, llevándoselo junto con ellas.

Este grupo de investigadores, encontró que la superficie de las hojas está estructurada por nanoprotuberancias que sólo permiten una adherencia mínima, por lo que las gotas de agua y los contaminantes no pueden penetrarlas y son removidos fácilmente, como en la piel del calderón de aleta larga.

Por otro lado, en un vaso con agua, las moléculas del líquido se atraen unas a otras en todas direcciones, sin un orden aparente, lo que les permite adoptar fácilmente la forma del recipiente que las contiene, incluso las moléculas superficiales, en el líquido dentro del vaso, sólo se atraen unas a otras en sentido horizontal, dando origen al principio natural de la tensión superficial, ya que aún si se genera un pequeño empuje sobre estas moléculas hacia abajo, como están bien adheridas gracias a esa tensión, tenderán a mantenerse en su lugar, gracias a que también están siendo sostenidas y atraídas por las moléculas que están justo debajo de ellas; por el contrario, las moléculas de líquido que están aisladas y suspendidas en el aire, como en el rocío, tienden a formar gotas con forma esférica debido a la fuerzas de cohesión existentes entre ellas, tendientes todas hacia un mismo punto central, lo que también contribuye a mantener la uniformidad en su tensión superficial, debido al principio de superficies mínimas, en el que la superficie de una esfera constituye la menor área posible con la que se puede englobar una mayor cantidad de volumen.

En la flor de loto, las gotas de cualquier líquido sólo se pueden adherir a las puntas de las nanoprotuberancias superficiales, ya que si el ángulo en el que se encuentran estos puntos de adherencia, fuera menor a  $180^\circ$ , las moléculas de la gota, al tener varios puntos de contacto, se

podrían adherir a la superficie, pero al ser mayor a los  $180^\circ$ , se impide que la gota tenga más de dos puntos de contacto a un mismo tiempo para adherirse, resbalando sin poder cohesionarse a la superficie ni mojarla. Por lo mismo, las partículas de polvo y cualquier otra impureza, tampoco se quedan adheridas a la superficie de la hoja de la flor de loto.

Para ejemplificar mejor lo que pasa con las gotas y las hojas de la flor de loto, podemos imaginarnos que si una persona patea una pelota desinflada, esta rodará con dificultad, porque se deforma y tiene una mayor superficie de contacto y fricción con el piso, además el área de la pelota en contacto con el piso está aplanada y tiene que volver a elevarse, para tomar de nuevo una forma redondeada con la que pueda continuar rodando la pelota; en cambio, si esa pelota está inflada, sólo tendrá una pequeña área de contacto con el piso y le será más fácil desplazarse por él.

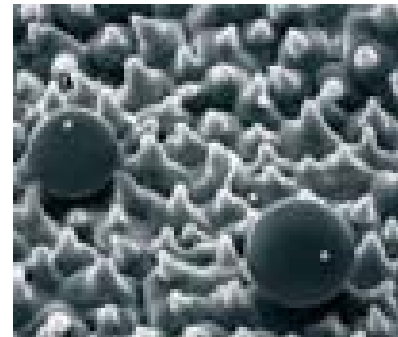


Fig. 2.12.- Nanofotografía que muestra gotas de agua resbalando sobre una hoja de la flor de loto.

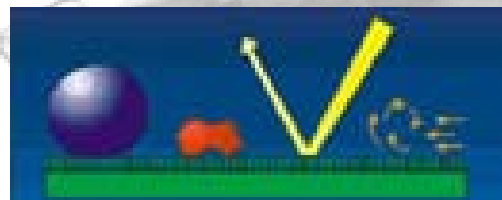


Fig. 2.13.- La hoja de la flor de loto presenta varias funciones: es impermeable, anticontaminante, aprovecha la luz y permite el intercambio gaseoso de  $\text{CO}_2$  y oxígeno.



Fig. 2.14.- La capacidad de absorción de humedad de un sólido lo determina su ángulo de tensión superficial en contacto con las gotas del líquido, un ángulo de  $180$  grados significa total impermeabilidad.





## Proceso de Creatividad Bioarquitectónica



Esto es lo que pasa con las hojas de la flor de loto, al mantenerse esféricas, las gotas de cualquier líquido que cae encima de la planta, se deslizan fácilmente debido a la inclinación natural que tienen las hojas, arrastrando consigo a todos los microorganismos, que también llegan a adherirse a la hoja, como ya se ha explicado, en tan sólo uno o dos puntos (Lotus-Effect, 2008).

Debido a lo anterior, para los hindúes la flor de loto representa el símbolo de la pureza. Es interesante acceder a la página electrónica de Lotus Effect, donde puede encontrarse toda la investigación que se le hizo a esta planta.

La investigación que efectúes, a las entidades biológicas o inanimadas de estudio, que para ti son más relevantes para llegar a la solución de tu problema de diseño arquitectónico, te puede llevar por caminos muy diversos, y dentro de ellos también hay especializaciones, donde puedes profundizar cada vez más, por lo que es importante efectuar una búsqueda objetiva, siendo favorable desarrollar nuestra inquietud por investigar, ya que existe mucha información verdaderamente interesante y de gran utilidad, disponible para cualquiera y no sólo para la comunidad científica, gracias a todo tipo de fuentes científicas, serias y al alcance de todos.



*Así funcionan todas las cosas*

El modelo funcional es la manera *concreta* como actúa el fenómeno que se está estudiando. Al Modelo Funcional lo podemos definir como la síntesis descriptiva de determinado proceso de acción o funcionamiento, que hemos identificado en la entidad u objeto de estudio.

Es importante hacer una investigación a fondo sobre la entidad biológica o inanimada de estudio, ya que en base a la información que encontremos, vamos a identificar e interpretar concretamente lo que a nosotros nos interesa de su funcionamiento, dándonos por resultado uno o varios modelos funcionales, de los que más tarde podremos abstraer los principios básicos que nos servirán para, en una siguiente fase, generalizar su uso y de ahí originar una aplicación de diseño arquitectónico.

Durante toda nuestra vida, los seres humanos nos encontramos en un “taller experimental” llamado planeta Tierra, conviviendo con otros organismos vivientes y entidades inanimadas, por lo que podemos descubrir los mecanismos a través de los cuales funcionan e interactúan con el medio, para desarrollar a través de su observación y conceptualización, diseños de aplicación en diversas áreas del conocimiento, como arquitectura, diseño industrial o ingeniería.

Para identificar e interpretar adecuadamente un Modelo Funcional, en medio de toda la información relevante que hemos reunido sobre nuestra entidad de estudio, diremos que la palabra *interpretar* equivale a explicar acciones, comentarios o sucesos en razón de fenómenos del entorno que pueden ser entendidos de diferentes modos. Entre más experiencia e información se tienen sobre el objeto de estudio, se contará con más herramientas para realizar una interpretación equilibrada. Al interpretar, estamos tratando de identificar un sentido o significado que subyace a un acto proveniente de un



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



cierto tipo de lenguaje. En este sentido, al identificar e interpretar un Modelo Funcional, intentamos expresar lo que la naturaleza nos muestra con su actuar cotidiano, en un lenguaje más comprensible y útil para nosotros.

Nuestra interpretación o descripción funcional, puede ser corta o podemos irle añadiendo elementos según nuestros intereses. El mencionar la frase descriptiva del modelo funcional y la abstracción que de él se hará en una fase siguiente, son la verdadera clave que evitará que nos dispersemos.

De cada entidad biológica o inanimada seleccionada, tras la exhaustiva investigación que efectuemos, obtendremos uno o varios modelos funcionales o descriptivos, de los que posteriormente elegiremos uno o los que más nos convengan. Podemos buscar modelos funcionales que nos sean de utilidad en objetos u organismos que pueden ser, incluso, muy diferentes entre sí.

Para esclarecer mejor lo que es un Modelo Funcional, continuaré con el ejemplo de la investigación que dejamos pendiente en el apartado anterior de este documento, en donde he identificado al *huracán*, el *hexágono*, la *proporción áurea* y los *resortes* como las entidades biológicas idóneas para analizar. Al haber completado los análisis personales y la investigación bibliográfica y por Internet, se puede pasar a la elaboración de los siguientes modelos descriptivos (o redacción descriptiva de lo que se identificó e interpretó):

En lo referente a la información analizada sobre el *huracán*, he detectado varios posibles modelos de funcionamiento, a continuación expongo el que he subrayado como más importante, para posteriormente redactarlo de una manera más concreta:

- ✓ Es imprescindible poner atención a la fluidez que caracteriza a las fuerzas que componen al huracán: viento y agua, para que los edificios cercanos a las costas puedan ser construidos con características aerodinámicas e hidrodinámicas.

Sobre el *hexágono*, de los posibles modelos de funcionamiento detectados, presento los siguientes tal y como fueron redactados inicialmente, definiéndolos con mayor precisión un poco más adelante:

- ✓ Debido a la forma hexagonal de cada módulo, la transmisión de la carga que lo golpea por un lado, se dividirá en tres caminos, debilitándola eficientemente.
- ✓ Entre más elementos hexagonales contribuyan a frenar la fuerza que los golpea, se incrementará la resistencia de la estructura.

Durante la investigación sobre la *proporción áurea*, identifiqué el siguiente modelo, al que sólo le falta un poco de afinación:

- ✓ Para conferirle una mayor estabilidad a los proyectos y construcciones, es conveniente diseñarlos en un sentido horizontal, manteniendo una relación de al menos 1.6 veces más anchura y longitud que altura.

Finalmente, en la investigación efectuada a la cuarta entidad, los *resortes*, he resaltado lo siguiente:

- ✓ Los resortes metálicos están fabricados con materiales que cuentan con un alto módulo de resiliencia, lo que les permite soportar altas cargas de energía sin producirseles deformaciones permanentes.



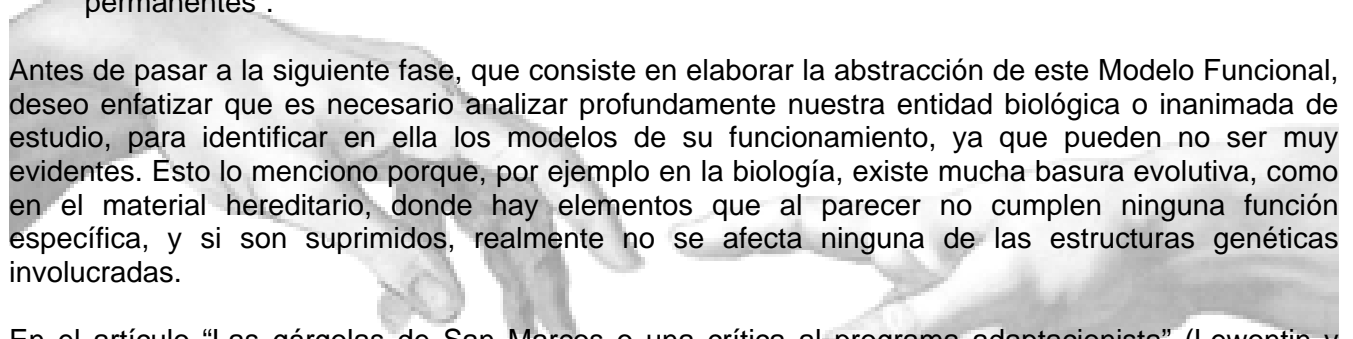


## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



Los Modelos Funcionales identificados en estas cuatro entidades analizadas, ya con una redacción más puntual, han quedado así:

- ❖ “La fluidez caracteriza a las fuerzas que componen al huracán: viento y agua. Por ello es imprescindible que los edificios cercanos a las costas sean construidos con características aerodinámicas e hidrodinámicas”.
- ❖ “Debido a la forma hexagonal de cada módulo, la transmisión de la carga que lo golpea por un lado, se dividirá en tres caminos, disipándose eficientemente”.
- ❖ “Entre más elementos hexagonales contribuyan a frenar la fuerza que los golpea, se incrementará la resistencia de la estructura”.
- ❖ “La horizontalidad en proyectos y construcciones les confiere más estabilidad, con al menos 1.6 veces más anchura y longitud que altura”.
- ❖ “Los resortes metálicos están fabricados con materiales que cuentan con un alto módulo de resiliencia, lo que les permite soportar altas cargas de energía sin producirse deformaciones permanentes”.



Antes de pasar a la siguiente fase, que consiste en elaborar la abstracción de este Modelo Funcional, deseo enfatizar que es necesario analizar profundamente nuestra entidad biológica o inanimada de estudio, para identificar en ella los modelos de su funcionamiento, ya que pueden no ser muy evidentes. Esto lo menciono porque, por ejemplo en la biología, existe mucha basura evolutiva, como en el material hereditario, donde hay elementos que al parecer no cumplen ninguna función específica, y si son suprimidos, realmente no se afecta ninguna de las estructuras genéticas involucradas.

En el artículo “Las gárgolas de San Marcos o una crítica al programa adaptacionista” (Lewontin y Gould, 1979), se expone que antiguamente los naturalistas creían que todo, en los seres vivos, servía para algo y tenía una función. En este artículo se hace un paralelismo con la Catedral de San Marcos, en Venecia, que contaba con unas gárgolas que durante mucho tiempo se pensó tenían una función estructural, hasta que un día se tuvieron que remover y se dieron cuenta que, en realidad, al ser construidas las arquerías de la Catedral, les quedaron unos huecos que fueron rellenos con dichas figuras y no cumplían ninguna función estructural.

Del mismo modo, en los organismos vivos, a través del proceso evolutivo, se va acumulando tanta información y características genéticas que, en ocasiones, algunas de ellas ya han dejado de prestar alguna función, por lo que poco a poco se va sumando algo de esa “basura evolutiva” en diversas especies. Es por eso que a veces no podemos identificar fácilmente la función de todas las características de los seres (vivos o inanimados).

Refiriéndome a esta “basura evolutiva”, puedo comentar que en la raza humana, el pelo tiende a desaparecer y es probable que en algunas generaciones ya no tengamos nada, actualmente mucha gente comienza a tener muy pequeñas las uñas, por ejemplo las de los pies que ya han perdido su utilidad, los lóbulos de la oreja tampoco tienen ninguna función y hay muchas personas que nacen sin ellos, las muelas del juicio a muchos individuos se les tienen que extraer, lo mismo que el apéndice. Existen muchas estructuras en el cuerpo humano que ya han perdido su utilidad, puesto que hemos resuelto los problemas, para las que ellas nos ayudaban, de otras maneras, por lo que la selección natural ha empezado a eliminarlas.



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



Para otras especies, según la biología orgánica (parte de la biología dedicada al estudio de los seres vivos como organismos completos), es necesaria la coadaptación de todas las partes que conforman al ser vivo, para que su diseño funcione adecuadamente, por ejemplo, en un tiburón, su estructura bucal le permite arrancar un pedazo de su presa, además necesita un cuerpo veloz para poder alcanzarla, y también requiere un eficiente aparato sensorial olfativo para poder detectar su alimento a gran distancia; en este animal se coadaptan varias piezas para que su diseño funcione adecuadamente, si se le quita una o se le modifica algo, el diseño del tiburón cambiaría y podría empezar a fallar, o tal vez, a mejorar; básicamente, esto es la evolución.

Para encontrar uno o varios Modelos Funcionales, realmente útiles, conviene informarse suficientemente sobre lo que sucede en otros tipos de objetos u organismos, como por ejemplo, en muchas especies de animales invertebrados marinos, que en sus primeras etapas de vida son larvas de un tamaño muy pequeñito, cuyas formas son muy caprichosas: espinas, picos, patas, etc. y durante muchos años, se pensó que tenían esas formas para aumentar más la superficie corporal, con respecto al volumen que contienen, facilitando así su flotabilidad y evitando que cayeran al fondo; recientemente se descubrió experimentalmente, modelando esas mismas formas en tamaños mayores, que no flotaban igual, y que realmente las larvas y los huevecillos de erizos, crustáceos, caracoles, etc. flotan debido a su diminuto tamaño, no a su forma, ya que esto les permite integrarse al plancton circundante y dispersarse, al ser transportados pasivamente, aumentando así sus probabilidades de supervivencia y conservando toda su energía para emplearla en crecer.

*En la naturaleza todo buen diseño se copia al infinito* (Popescu, 1999), y el caso anterior constituye un buen ejemplo de convergencia evolutiva, ya que todas estas especies utilizan diseños corporales diminutos, en esas primeras etapas de su vida, porque les conviene ahorrar energía mientras son diseminadas pasivamente en el agua.

Generalmente, se piensa que entre más hijos se llega a tener, y entre más genes se deja a la siguiente generación, se es más exitoso evolutivamente, aunque esto no siempre es cierto, por ejemplo en las jaibas, cada pareja de jaibas produce en promedio un millón de huevos por puesta y si todos llegaran a sobrevivir, en dos meses el mundo quedaría cubierto de jaibas. Para mantener la estabilidad en el número de individuos de una especie, en promedio sólo sobreviven dos ejemplares por cada millón de huevos. Tal vez podría pensarse que el reducido tamaño de sus huevecillos, les ayuda a aumentar la fecundidad y a lograr tener un gran número de huevos, pero es sólo para favorecer su dispersión.

## *Lo esencial es la verdadera piedra filosofal*

Si en algún momento, se nos pidiese a un grupo de personas que trabajáramos cada una por separado, analizando un mismo objeto y lo describiéramos en menos de diez palabras, cada uno de nosotros eliminaría, de toda la información que el objeto estudiado nos proporciona, lo que menos nos parece de utilidad de acuerdo a nuestros objetivos personales, experiencias de trabajo previas o



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



preferencias, por lo que la información que iríamos depurando sería diferente en cada caso, y aunque el objeto que analicemos sea el mismo, cada uno podrá abstraer de él información distinta. Cada uno de nosotros, aislaremos diferentes conceptos, todos válidos y ninguno mejor o peor que los demás, abstrayéndolos de acuerdo a nuestra propia manera de ser y de pensar.

Según la Real Academia de la Lengua Española, la definición de *abstraer* es: separar por medio de una operación intelectual las cualidades de un objeto, para considerarlas aisladamente, o para identificar al mismo objeto en su pura esencia o noción.

El ser humano tiene la capacidad de hacer una abstracción de los principios empleados por la naturaleza en un área determinada, y usarlos para encontrar soluciones a problemas en otro entorno diferente. Los resultados encontrados en estas abstracciones, pueden representar la transferencia de conocimiento e información útil, para dar soluciones a múltiples problemas del diseño, puesto que esta transferencia es la adaptación al diseño de los lenguajes naturales.

Conforme más nos alejemos conceptualmente del objeto, y más general sea nuestra abstracción y definición del mismo, podremos dar soluciones más diversas y tendremos un mayor campo de aplicación, sin encasillarnos con sólo una idea.

Existen diferentes grados de abstracción, de extracción y de aplicación de los principios naturales originales, lo importante es evitar hacer una simple copia o imitación de la naturaleza. Para hacer una buena investigación, es importante realizar una observación a detalle, analizando e interpretando toda la información que se pueda obtener, para luego realizar una abstracción, que permita descubrir la correcta aplicación de los principios naturales en nuevos diseños, para realmente favorecer el desarrollo del ser humano y su adaptabilidad a la vida en este planeta.

En toda investigación verdaderamente científica se deberían utilizar dos herramientas fundamentales: La Profundización y la Abstracción. Hasta este momento, hemos analizado cómo sumergirnos en los conocimientos y la información existente, para enseguida obtener uno o más modelos de funcionamiento; ahora continuaremos utilizando la herramienta de la abstracción para poder sintetizar, de toda esa información, lo que más nos interesa. Abstraer es denotar propiedades y características que separamos de la información que no nos parece útil. A algunas personas les parecerá más útil determinada información y para otras tendrá más importancia alguna distinta. Dependiendo de los intereses de cada quien, serán los caminos que tomen nuestras investigaciones, y por ello serán diferentes las soluciones que cada investigador encontrará.

Por lo anterior, es importante practicar, siempre que nos sea posible, profundizando en toda información que caiga en nuestras manos y abstrayendo lo que más importante nos parezca de ella, para encontrar cómo la podemos aplicar en nuestra vida.

*La abstracción es la herramienta más importante* que podemos emplear para obtener buenos resultados y aplicaciones en cualquier trabajo de investigación científica.

La base del trabajo es, para el biodiseño, la correcta identificación y utilización de todo lo que la evolución ha logrado, a través del diseño eficiente de la naturaleza, mediante la aplicación de diferentes grados de abstracción, donde partimos de la entidad biológica hasta llegar al diseño de una aplicación casi totalmente desligada del entorno que le dio origen.



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



Mientras más abstracto es un concepto, es más adaptable a otras circunstancias, ya que si nos alejamos linealmente del origen o copia fiel, será más poderoso dicho concepto porque se ampliará su rango de acción. Principalmente, puede decirse que existen tres grados de abstracción:

- ❖ La copia total o fiel de lo que estamos estudiando.
- ❖ La copia parcial, en la que sólo se realizan algunas adaptaciones a la entidad observada.
- ❖ La abstracción total, también llamada inspiración, en la que sólo algunos conceptos o principios esenciales han sido retomados para su uso posterior.

Continuemos con el ejemplo donde hemos identificado algunos Modelos Funcionales al investigar sobre el *huracán*, el *hexágono*, la *proporción áurea* y los *resortes*. Abstraeremos lo más importante de estos modelos funcionales descriptivos, denotando cada concepto básico que realmente hace funcionar a las entidades y que nos pueden llegar a servir para otras aplicaciones, como la resolución de nuestro problema.

Para facilitar el desarrollo de esta fase del proceso, he agrupado los modelos funcionales a la izquierda de la siguiente tabla y a la derecha, aparecen sus correspondientes abstracciones:

<i>No.</i>	<i>Modelos funcionales:</i>	<i>Abstracciones:</i>
1.	“La fluidez caracteriza a las fuerzas que componen al huracán: viento y agua. Por ello es imprescindible que los edificios cercanos a las costas sean construidos con características aerodinámicas e hidrodinámicas”.	Diseñar los inmuebles costeros con características aerodinámicas e hidrodinámicas.
2.	“Debido a la forma hexagonal de cada módulo, la transmisión de la carga que lo golpea por un lado, se dividirá en tres caminos, disipándose eficientemente”.	En el hexágono las cargas se disipan con eficacia.
3.	“Entre más elementos hexagonales contribuyan a frenar la fuerza que los golpea, se incrementará la resistencia de la estructura”.	Al agrupar varias piezas hexagonales se obtiene un conjunto más resistente.
4.	“La horizontalidad en proyectos y construcciones les confiere más estabilidad, con al menos 1.6 veces más anchura y longitud que altura”.	La horizontalidad confiere estabilidad, con mínimo 1.6 veces más anchura y longitud que altura.
5.	“Los resortes metálicos están fabricados con materiales que cuentan con un alto módulo de resiliencia, lo que les permite soportar altas cargas de energía sin producirseles deformaciones permanentes”.	Los resortes soportan altas cargas energéticas sin sufrir deformaciones permanentes.

En el siguiente apartado de este trabajo se verá cómo se puede desarrollar una o varias aplicaciones de diseño a partir de las abstracciones que hasta el momento se han obtenido.

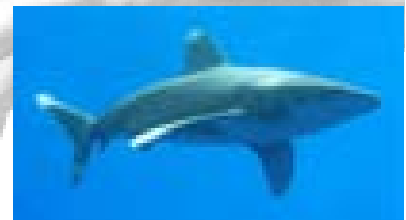
De una sola entidad puede identificarse uno o varios modelos funcionales e igualmente, de cada modelo funcional podrá obtenerse una o varias abstracciones, por lo que inclusive podríamos haber extraído más modelos funcionales, con sus abstracciones correspondientes, de estas mismas entidades y de las otras entidades biológicas y palabras clave que ya habíamos identificado: resistencia, autoconstrucción, adaptación, amortiguar, ciclón, abaratamiento en la construcción o modulación.

## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

Tal vez a un investigador le interese conocer más, estudiando sobre una misma entidad, acerca de los materiales que conforman su superficie y cómo realizan sus procesos de permeabilidad, intercambio de fluidos, transpiración u ósmosis; o quizás nos interese investigar más sobre algunas de sus articulaciones, cómo se mueven, cuáles son sus ángulos de rotación, cómo ayudan al desplazamiento de la entidad completa, o a la transmisión del peso del cuerpo hacia los planos inferiores. Cada investigador puede encontrar modelos funcionales distintos y abstraer de éstos conceptos esenciales diferentes con muy diversas aplicaciones en otras tantas áreas de la vida cotidiana. Mientras más se abstrae, más vas a aportar de tus propias ideas y de tus conocimientos sobre diferentes campos del conocimiento.

Para entender mejor cómo podemos integrar a la abstracción en nuestro proceso de investigación y diseño, veremos otro ejemplo: en las competencias de natación, se requieren mejoras muy importantes y, a la vez, sutiles, ya que los resultados entre unos y otros participantes presentan diferencias de apenas unas décimas de segundo. Debido a lo anterior, un equipo de investigadores de una empresa australiana fabricante de trajes de natación, fundada en 1910, Speedo International Ltd., se dio a la tarea, en la década de 1990, de diseñar un traje de baño con características hidrodinámicas, que realmente ayudara al usuario a mejorar sus marcas de competición, para lo cual comenzó a buscar una entidad que sirviera como base para este diseño.

Identificaron al tiburón como uno de los animales marinos que nadan más rápido, convirtiéndolo en la entidad biológica de estudio. En las investigaciones descubrieron que uno de los factores que contribuye a la velocidad de desplazamiento de este animal, es la forma de su cuerpo, ya que compararon la relación entre su diámetro y su longitud, con las relaciones de otros animales que tienen otras proporciones, encontrando que la relación entre el diámetro y la longitud del tiburón es de 0.25 (25%) y la relación ideal para que un cuerpo se desplace en el agua es de 0.26 (26%), evitándose que se separen las corrientes de agua que fluyen a lo largo del cuerpo, desde la cabeza hasta la cola, recorriéndolo con líneas de flujo paralelas; si la relación entre diámetro y longitud del tiburón fuera mayor, estas corrientes se separarían demasiado formando turbulencias entre ellas y frenando el avance del pez, por lo que éste tiene uno de los coeficientes de arrastre de agua más bajos que hay, y sólo considerando la forma de su cuerpo, sin intervenir otras variantes como la forma de las aletas, la textura de la piel, etc (Powerhouse Museum Collection, 2004).



**Fig. 2.15.-** Con sus más de 300 especies, el tiburón se distingue de los demás peces por su esqueleto cartilaginoso.

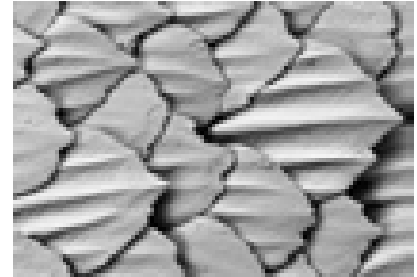
De esta información, obtuvieron el siguiente modelo funcional: Tener una forma oblonga, con una relación entre diámetro y longitud de aprox. 0.26 (26%) mantiene muy baja la fricción con el agua.

La piel del tiburón contiene fibras de colágeno elástico en sus capas interiores, con forma de pequeñas mangueras entrecruzadas, que le confieren un reservorio de energía, ya que para impulsarse el tiburón, genera ondas con su cuerpo (similares al desplazamiento de las serpientes al reptar sobre la arena), y en cada movimiento, estira un costado de su cuerpo mientras contrae el opuesto, y las micromangueras que corresponden al costado que se estira, también se elongan y si se contrae el costado, recuperarán su longitud, por lo que ayudan con su movimiento al desplazamiento del animal incrementando la energía potencial y reduciendo el trabajo de sus músculos, ahorrando energía y aumentando la velocidad y potencia de sus movimientos (American Museum of Natural History, 2002).

## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

Este es un segundo modelo funcional: las fibras de colágeno entrecruzadas representan un reservorio de energía potencial.

El cuerpo de los tiburones está cubierto exteriormente por escamas cortas, cuya estructura está recorrida por unas microranuras, las cuales dirigen el flujo del agua hacia la cola del animal, evitando que se forme turbulencia alrededor del pez y minimizando así la fricción con el agua. Este es un tercer modelo funcional (Biomimicry Institute, 2007).



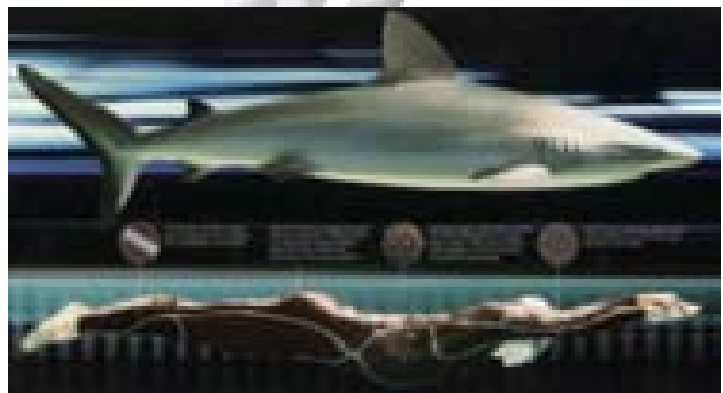
**Fig. 2.16.-** Las microescamas del tiburón tienen ranuras que las cruzan longitudinalmente.

Así encontraron, como mínimo, tres modelos funcionales en el tiburón, que lo hacen ser muy eficiente en sus desplazamientos en el agua. De cada uno de estos, es posible realizar una o más abstracciones.

En el primer modelo funcional, la abstracción es: una forma oblonga con diámetro igual a una cuarta parte de la longitud. En el segundo, pueden obtenerse dos abstracciones: Un entramado elástico radial con fibras de colágeno entrecruzadas alrededor de su cuerpo, o bien, un cilindro de tensión formado con fibras entrecruzadas. En el tercer modelo funcional, la abstracción es: Una superficie microacanalada longitudinalmente.

De las cuatro abstracciones obtenidas, es obvio que la primera es inoperante en la confección de un traje de baño. La segunda y tercera abstracciones servirían en la fabricación de un traje de baño para usarse en los estilos de nado que involucran movimientos ondulatorios, como en el nado de mariposa o en el de pecho. La cuarta abstracción obtenida, a partir del tercer modelo funcional, fue la que se eligió para reducir la turbulencia y aumentar la velocidad de desplazamiento. Enseguida se continuó con este trabajo, iniciándose las fases de investigación de materiales y desarrollo de la primera aplicación de diseño.

Como resultado de todos estos esfuerzos, para los Juegos Olímpicos de Sydney, Australia en el año 2000, en las competencias de natación 28 de los 33 ganadores de medallas utilizaron los trajes hidro-dinámicos creados por este grupo de investigadores, cuyo modelo se llamó "FastSkin" (Piel veloz), lo cual representó que el 84% de los medallistas se beneficiaran con esta tecnología (Speedo, 2008).



**Fig. 2.17.-** El traje FastSkin I debajo del animalito que lo inspiró.

Conforme pasó el tiempo, en etapas posteriores de esta investigación se descubrieron más datos relevantes sobre los tiburones, lo que contribuyó a perfeccionar los trajes, lanzándose al mercado una nueva línea, "FastSkin II", misma que se usó en muchas competencias internacionales, incluyendo los Juegos Olímpicos de Atenas en 2004 (Speedo, 2008).



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

Resumiendo, el camino a seguir en este proceso de diseño, cuyo fruto fue el desarrollo de un objeto útil para el ser humano, inició con el problema que se les planteó a estos investigadores, continuó con una revisión detallada de una gran cantidad de fuentes especializadas de información, luego se identificó a la entidad que podría aportar nuevos conocimientos a esta investigación, posteriormente se le estudió a fondo y se identificaron en dicha entidad tres modelos funcionales, que más tarde desembocaron en algunas abstracciones que contribuyeron a la creación de los materiales clave, con los que se pudo, finalmente, obtener una solución de diseño que representó una respuesta adecuada y eficiente al problema inicial.

Recientemente, el mismo equipo de investigadores encontró que los tiburones tienen, a nanoescala, diferentes tamaños en sus escamas y microcanales, según la región de su piel donde se localizan y dependiendo de qué tanta fricción enfrentan con el agua en cada área de su cuerpo, por lo que se lanzó al mercado nuevos modelos de trajes con diferentes distribuciones de texturas, dependiendo del estilo de nado para el cual cada traje ha sido diseñado. A esta línea se le ha llamado Speedo LZR Racer y ha contribuido a imponer 67 récords mundiales. Incluso estos trajes han sido utilizados en las Olimpiadas de Beijing, China en 2008 por algunos competidores, entre ellos Michael Phelps, ganador de 8 medallas de oro (Speedo, 2008).



Fig. 2.18.- El traje Speedo LZR Racer.

### *Un diseño bien intuitivo*

Deseo reiterar que tanto el o los modelos funcionales que detectamos como las abstracciones que de éstos obtenemos, pueden ser distintos de los que detectarían y obtendrían otros investigadores, aún analizando una misma entidad; esto dependerá, en una gran medida, de los intereses, preferencias, experiencias y bagaje cultural que cada quien posea.

Y es precisamente debido a toda esta información que vamos acumulando a lo largo de nuestra vida, por lo que a partir de una o de varias de las abstracciones que hemos obtenido, como cada uno de nosotros embonará las piezas de manera diferente en este hermoso rompecabezas llamado creatividad.

Me explico: para lograr crear algo, a partir de nuestras abstracciones ya obtenidas, es necesario que pongamos a funcionar toda esa información vivencial que a través de aprendizajes y experiencias hemos ido acumulando durante muchos años, y por medio del uso de la *intuición* dejar que afloren las ideas, anotarlas y después, adaptarlas a un diseño útil y novedoso; pero, ¿a qué me estoy refiriendo?

Se ha llegado a decir que la intuición es, para la psicología, el conocimiento e información relacionados con las experiencias previas del individuo que éste almacena en su cerebro en forma de vivencias, ideas y significados. Todo lo que para uno tiene sentido, va formando parte de su



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



vocabulario simbólico-mental y se va acumulando en su memoria inconsciente. En un determinado momento, se tiene acceso a esa reserva de información simbólica y se obtiene una respuesta a través del procesamiento rápido de dicha información, que debido a su gran velocidad, puede confundirse con un impulso para hacer algo; esta respuesta se puede presentar en forma de una imagen, sensación, o sonido, y generalmente representa una valiosa solución de cuya procedencia no somos conscientes, ya que, en apariencia, la intuición no sigue un camino racional para su construcción y formulación (Enebral, 2004).

En ocasiones se ha pensado que la esencia de la intuición consiste en la forma como nuestros conocimientos se van organizando, lo que permite su rápida identificación y transformación en conocimiento explícito. Los investigadores también han descubierto que la intuición está directamente relacionada con el nivel de conocimiento que tenga una persona sobre el tema de estudio, e influye en la manera en que se elaboran estructuras tan racionales como el pensamiento científico.

Por lo anterior se puede asegurar que, así como podemos relacionar a la *abstracción* con la información esencial de los principios naturales, que podemos extraer de la naturaleza y de todo lo que está a nuestro alrededor, también podemos relacionar a la *intuición* con nuestra información más interna y personal, que hemos acumulado aunada a nuestras experiencias durante toda nuestra existencia.

Al haber concluido nuestra investigación y haber obtenido nuestras abstracciones, podemos comenzar a imaginarnos las soluciones de diseño a las que estas abstracciones nos van conduciendo, y es precisamente enseguida, cuando empezaremos a tener intuiciones: imágenes, frases o ideas, que debido a la gran velocidad y brevedad con la que se nos presentan, es necesario registrarlas en la memoria, pues pueden disiparse después de algunos minutos.

La intuición creadora parece exigir, por así decirlo, que estemos en resonancia con el problema que tenemos que resolver, o sea, que hayamos comprendido bien toda la información con la que se relaciona. Si las ideas tardan en surgir, es recomendable darnos un respiro, un pequeño descanso o distracción, ya que se ha visto que las ideas intuitivas es más probable que surjan en los momentos de calma, precisamente cuando menos lo esperamos. En ocasiones, al tomar una ducha, nos llegará a la mente la inspiración creadora, otras veces las ideas inspiradoras surgirán durante el sueño, y nos despertaremos con la necesidad de anotarlas para evitar olvidarlas.

Una vez que la solución, presentada en nuestra mente a través de la intuición, ha aparecido y hemos podido registrarla o tomar nota de ella, es el turno de la razón analítica, su complemento perfecto. Debemos evaluar las señales intuitivas, las soluciones que se nos ofrecen, evitando rechazarlas o admitirlas a priori, pues es necesario asegurarnos lo más que podamos de la factibilidad de llevar a cabo estas, nuestras nuevas soluciones de diseño.

Después, tan sólo habrá que adaptar estas nuevas soluciones de diseño a las condicionantes específicas y más detalladas del problema que estamos tratando de resolver, para con ello, haber desarrollado una aplicación de diseño totalmente útil y realizable.

Retomando la investigación que nos ha servido como eje para la exposición de este proceso de investigación y diseño, tenemos que nuestra necesidad inicial la habíamos definido como el *diseñar un edificio costero verdaderamente resistente a huracanes, el cual pueda ser fácilmente armado o*

## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

autoconstruido por cualquier persona, que pueda adaptarse sin dificultad a cualquier entorno y satisfaga eficientemente las necesidades básicas de vivienda de sus usuarios, y tras una profunda investigación hemos ya identificado los siguientes Modelos Funcionales, junto con las abstracciones que de ellos se derivan:

No. Modelos funcionales:

1. “La fluidez caracteriza a las fuerzas que componen al huracán: viento y agua. Por ello es imprescindible que los edificios cercanos a las costas sean construidos con características aerodinámicas e hidrodinámicas”.
2. “Debido a la forma hexagonal de cada módulo, la transmisión de la carga que lo golpea por un lado, se dividirá en tres caminos, disipándose eficientemente”.
3. “Entre más elementos hexagonales contribuyan a frenar la fuerza que los golpea, se incrementará la resistencia de la estructura”.
4. “La horizontalidad en proyectos y construcciones les confiere más estabilidad, con al menos 1.6 veces más anchura y longitud que altura”.
5. “Los resortes metálicos están fabricados con materiales que cuentan con un alto módulo de resiliencia, lo que les permite soportar altas cargas de energía sin producirseles deformaciones permanentes”.

Abstracciones:

- Diseñar los inmuebles costeros con características aerodinámicas e hidrodinámicas.
- En el hexágono las cargas se disipan con eficacia.
- Al agrupar varias piezas hexagonales se obtiene un conjunto más resistente.
- La horizontalidad confiere estabilidad, con mínimo 1.6 veces más anchura y longitud que altura.
- Los resortes soportan altas cargas energéticas sin sufrir deformaciones permanentes.

Ahora utilizaremos los conceptos básicos que contiene una, varias o todas estas abstracciones, para que junto con nuestras experiencias de vida, intuyamos el diseño de una solución, o quizás varias propuestas con diferentes posibles respuestas, que nos permitirán, mediante su posterior detallado, obtener una o varias aplicaciones de diseño que satisfagan nuestra necesidad inicial.

Los siguientes principios los he elaborado basándome en las abstracciones obtenidas como fruto de esta investigación y, junto con ellas, me han servido de guía para intuir una solución de diseño:

1. Si toda *fuerza fluye*, es importante darle cauce y permitir que continúe su camino.
2. La *unión* de los elementos incrementa la *resistencia* del conjunto.
3. El *orden* ayuda a mantener la *estabilidad*.
4. Al igualar la *rigidez* y la *flexibilidad*, se logra el *equilibrio*.

La solución de diseño que he intuido consiste en una cubierta estructural con formas curvas y suaves, como una loma o cerro desgastado por la erosión del viento, que servirá para proteger a los edificios ubicados en su interior.

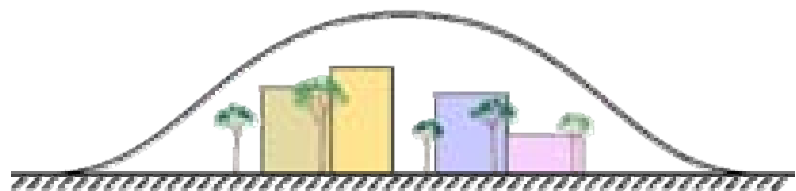


Fig. 2.19.- Perfil exterior de la cubierta estructural propuesta.

## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

Debido a su propia forma, el tamaño que desarrolle en planta esta estructura será cuando menos 1.6 veces más largo y ancho que alto, y gracias a su carácter modular, podrá incrementarse la superficie que cubra, siempre manteniendo la anterior relación largo-alto.

Esta cubierta estará constituida por módulos hexagonales, a manera de una cúpula geodésica autosoportante, aunque cada uno de ellos estará unido a los demás por resortes especialmente calculados que absorberán la energía dinámica de los vientos huracanados.

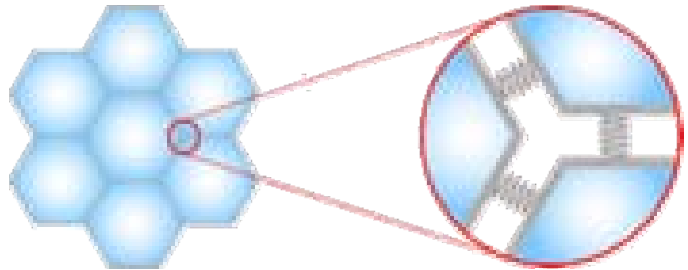


Fig. 2.20.- Detalle ampliado de la unión entre los módulos.

El desarrollo, paso a paso, de la investigación realizada y la solución de diseño a la que llegué con este ejemplo del Proceso de Creatividad Bioarquitectónica que estoy exponiendo, pueden ser consultados en los capítulos finales de este trabajo.

Cuando hayamos percibido los conceptos de diseño intuitivos que necesitamos, para resolver el problema del cual partimos, habremos efectuado la mayor parte del trabajo creativo y de investigación, tan sólo requeriremos desarrollar y afinar un poco más estas soluciones iniciales, para llegar a una aplicación de diseño detallada y eficiente, que responda adecuadamente al entorno en el que dará servicio.

Considero oportuno explicar un inciso que dejé pendiente en páginas anteriores de este documento, en el tema *aprovechemos el legado de nuestros ancestros*, me refiero a cómo podemos establecer analogías directas entre sistemas naturales y artificiales, para encontrar, en base a una serie de preguntas que podemos hacernos, la o las entidades biológicas o inanimadas viables para ser analizadas en busca de la solución a nuestro problema. Entre otras, estas son algunas de las interrogantes que podemos plantearnos:

- ❖ *¿En la naturaleza quién hace lo mismo?*
- ❖ *¿Quién realiza las mismas funciones de la mejor manera en cada nivel de organización?*
- ❖ *¿Qué tipo de procesos biológicos realizan las mismas funciones?*
- ❖ *¿Bajo qué condiciones opera el sistema?*

Supongamos que, por ejemplo, requerimos diseñar un sistema de propulsión para un submarino, podemos responder a la primera pregunta, *¿en la naturaleza quién hace lo mismo?*, así:  
*¿Quién en la naturaleza se mueve en el agua? Un pez, una mantarraya, una medusa.*

O en el caso de que necesitemos un sistema de autoreparaciones, podemos buscar entidades con las palabras clave: autoreparación y autotomía, que aunque son sinónimos nos pueden dar dos respuestas distintas:

*¿Quién en la naturaleza se autorepara? Los organismos se autoreparan a sí mismos por procesos biológicos, como en el proceso de cicatrización de la piel y los tejidos internos).*

*¿Quién en la naturaleza efectúa procesos de autotomía? Las lagartijas, las arañas, los cangrejos.*

## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

Para responder a la segunda pregunta, *¿quién realiza las mismas funciones de la mejor manera en cada nivel de organización?*, buscaremos entre los organismos de cada nivel, a los que realicen las mismas funciones de la mejor manera, es decir, entre los organismos unicelulares, pluricelulares, invertebrados, vertebrados, etc.

Retomando el ejemplo del sistema de propulsión del submarino, la tercera pregunta, *¿qué tipo de procesos biológicos realizan las mismas funciones?*, quizá no pueda aplicarse en la resolución de este problema, por no implicar éste ninguna función que pueda relacionarse con algún proceso biológico.

Para responder a la cuarta pregunta, *¿bajo qué condiciones opera el sistema y cómo lo hace?*, es obvio que el sistema de propulsión de un submarino funciona en el agua, por lo que comenzamos a investigar, cuáles organismos acuáticos nos interesa más estudiar y porqué: los que se desenvuelven bajo la superficie del agua o los que viven sobre ésta.

Para esclarecer mejor cómo podemos *establecer analogías directas*, entre sistemas naturales y artificiales, con el fin de encontrar una entidad viva o inanimada para ser estudiada, voy a exponer más ejemplos, donde daré respuesta a una serie de problemas y necesidades de diseño muy diversos, utilizando estas mismas preguntas:

### ❖ *¿En la naturaleza quién hace lo mismo?*

Supongamos que nuestro problema es el diseño de un sistema de navegación muy estable, que sea casi insumergible. En la naturaleza podemos encontrar ejemplos de lo que necesitamos en:

- ✓ La Fragata Portuguesa, que al navegar se llena de aire y no se voltea, debido a toda la masa corporal que tiene en su parte inferior.
- ✓ La Ballena Jorobada, que incluso en ocasiones navega con una aleta al aire, al girar su cuerpo 90 grados sin voltearse.
- ✓ El Mosquito deslizador del agua, que flota en ella gracias al principio de la tensión superficial y al diseño tubular de sus patas.

Una aplicación desarrollada a partir de esta última entidad, el mosquito deslizador, fue un diseño robótico que flota con ayuda de la tensión superficial del agua, con detectores para entrar a lugares inundados con sustancias contaminantes (como en los derrames de petróleo), donde por alguna razón las embarcaciones comunes no pueden entrar, y diseminar en ellos sustancias bioreductoras de la contaminación (Mulet, Vidal y Gómez, 2002).



**Figs. 2.21 y 2.22.-** El mosquito de las charcas y el modelo robótico desarrollado a partir de él.

### ❖ *¿Quién realiza las mismas funciones de la mejor manera en cada nivel de organización?*

Si por ejemplo deseamos diseñar un vehículo subacuático propulsado, tenemos que investigar cuáles son las formas de propulsión más idóneas, como:

- ✓ el *movimiento helicoidal*, con el que se mueve a través de sus flagelos, la bacteria *Esterichia coli*.
- ✓ el *movimiento ondulatorio periférico continuo* que hace que se mueva, en toda su periferia, la babosa marina (*Discodoris atromaculata*)

## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

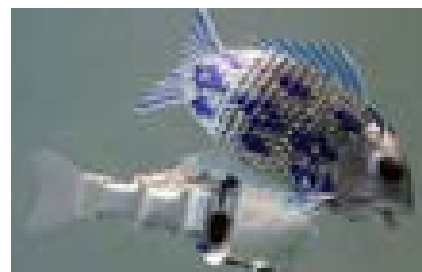
- ✓ El movimiento ondulatorio axial, horizontal o vertical, como en el atún.

Con esta inquietud, el diseño de un vehículo subacuático propulsado y usando estos mismos conceptos sobre el movimiento, se creó el nanorobot de Behkam, en la Univ. Carnegie Mellon de Pennsylvania, EE.UU., que puede diseminarse en un gran número, a través de las arterias de un organismo, para llegar a alguna región de éste inaccesible quirúrgicamente, y liberar sustancias que ayuden a repararlo. A estos nanorobots se les agregó, en su parte posterior, un arreglo de bacterias inofensivas, que se mueven helicoidalmente con ayuda de sus flagelos y producen su desplazamiento (The A to Z of Nanotechnology, 2005).




**Figs. 2.23 y 2.24.-** A la izquierda aparece la bacteria *Esterichia coli* y a la derecha el nanorobot de Behkam impulsado con bacterias inofensivas.

Se ha desarrollado, con base en estos mismos principios naturales, por parte del Instituto Tecnológico de Massachussets (M.I.T., por sus siglas en inglés), el primer atún robot operado por radio control, que se desplaza en el agua con movimientos ondulatorios axiales horizontales (Butler, 2007).



**Fig. 2.25.-** Atunes robóticos con y sin su recubrimiento final.

### ❖ *¿Qué tipo de procesos biológicos realizan las mismas funciones?*

Suponiendo que deseamos desarrollar un mecanismo o sistema de distribución muy preciso, esta pregunta podríamos reformularla así: ¿qué tipo de proceso biológico realiza la misma función de distribución? Para darle respuesta, nos enfocaremos en los fractales, donde con esta forma →  que cuenta con una entrada para sustancias, en su parte superior y dos salidas en la inferior, se divide el flujo que pasa por su interior exactamente a la mitad, y conforme se van reproduciendo estos fractales, se reduce su tamaño en un 50%, conectándose a cada salida del elemento fractal inicial la entrada de un nuevo elemento fractal, igual al anterior pero con la mitad de su tamaño. Ésta forma es, precisamente, como los alvéolos pulmonares van dividiendo el aire que respiramos, de manera fractal y siempre a la mitad, hasta hacerlo llegar a un nivel microscópico, donde el oxígeno contenido en el aire puede pasar fácilmente al torrente sanguíneo. Utilizando este mismo concepto, el grupo Amalgamate Research, diseñó un sistema de atomización dosificable, para poder graduar microscópicamente, la cantidad exacta de gotas de color, de un mismo tamaño, que necesitan para la fabricación de sus pinturas (Amalgamated Research Inc., 2008).

### ❖ *¿Bajo qué condiciones opera el sistema?*

En el caso que necesitaríamos trabajar en ambientes extremos, sometidos a muy alta presión, podríamos buscar en la naturaleza qué organismos pueden resistir estas condiciones, como el cachalote, que puede sumergirse hasta los 2,500 metros de profundidad para buscar su alimento, lo que representa resistir una presión de 250 ton/pie<sup>2</sup>, sin sufrir daño alguno gracias a sus adaptaciones, como sus pulmones, que para evitar su colapso, están recubiertos en sus paredes internas por una capa de mucosa, impidiendo que se peguen y aumentando su densidad (I.C.B., 2008). Estos conocimientos nos pueden servir, por ejemplo, en la construcción de implementos útiles, como el proyecto del robot que la Agencia Espacial Europea planea enviar a Júpiter, el cual podrá funcionar en un ambiente sometido a presiones tan grandes, como las que el cachalote resiste, prácticamente, a diario.

## *En serio: La creatividad en serie*

### *Elaboración de fichas de reportes detallados*

Con este proceso general de investigación y diseño, podemos aplicar la esencia de los principios biológicos en la solución de un problema particular. Para trabajar ordenadamente, es de suma utilidad realizar un *Reporte Detallado* de toda nuestra investigación personal y bibliográfica, estandarizando toda la información, para identificar fácilmente los diferentes pasos del modelo de funcionamiento, de la abstracción y las soluciones de diseño a las que llegamos, dentro de un formato que posteriormente nos pueda ser de utilidad en la creación de un Banco de Datos.

Esta es una manera muy práctica de trabajo, que podemos utilizar para registrar nuestras investigaciones sobre las entidades biológicas o inanimadas que estemos analizando. Reuniremos toda la información relevante que obtengamos de nuestros propios análisis y los de otras personas, en los diversos incisos y campos que para el efecto hemos organizado dentro del referido formato, con lo que estaremos integrando una ficha por cada entidad analizada, lo que nos permitirá, en cualquier momento, una fácil y expedita localización de toda la información recabada por nosotros mismos u otras personas, sobre cualquier tipo de ser vivo o inanimado, y cuando ya nuestro acervo fichas se haya sido enriquecido suficientemente, podremos elegir la entidad que, a nuestro juicio, pueda ser la más idónea en la búsqueda de Modelos Funcionales y Abstracciones, para utilizarlos en la generación de nuevas y eficientes soluciones de la necesidad o requerimiento de diseño que se nos presente.

A continuación describo, uno a uno, los incisos del formato de fichas de Reporte Detallado que estoy proponiendo y cómo habremos de llenarlos:

1. En el primer inciso de nuestras fichas, anotaremos una “Clave” para facilitar su localización. Para ello, podemos utilizar un sistema de clasificación similar al empleado en los servicios bibliotecarios convencionales, en el que integraremos esta clave con cuatro secciones, cada una separada del resto por un punto, donde anotaremos las diferentes abreviaturas que emplearemos para ordenar cada entidad. Es conveniente utilizar el idioma inglés en la elaboración de esta clave, facilitando así la localización de nuestras fichas a los investigadores que hablen otros idiomas.

En la primera sección, utilizaremos una letra para definir el tipo de ambiente o entorno en el que interactúa el organismo u objeto que deseamos estudiar. Para ello usaremos las siguientes iniciales:

Tipo de Ambiente	Clave a emplear
Acuático	<b>W</b> (Water)



## Proceso de Creatividad Bioarquitectónica



Aéreo	<b>A</b>	(Air)
Terrestre	<b>E</b>	(Earth)
Interno (al interior de otra entidad)	<b>I</b>	(Intern)
Común (existe en diferentes ambientes)	<b>C</b>	(Common)
Mixto (puede utilizar varios ambientes)	<b>M</b>	(Mixed)

En la segunda parte de la clave, anotaremos con una letra, si la entidad tiene vida, o si se trata de un objeto inanimado, para lo cual pondremos:

Entidad Animada (o parte de un ser vivo)	<b>A</b>	(Animated)
Objeto sin vida (o parte de él)	<b>I</b>	(Inanimate)

En la tercera sección emplearemos tres letras para abreviar si la entidad involucrada es un(a):

Individuo (vivo o inanimado)	<b>IND</b>	(Individual)
Porción de un individuo	<b>PAR</b>	(Part)
Grupo o comunidad de individuos	<b>GRO</b>	(Group)
Material	<b>MAT</b>	(Material)
Proceso	<b>PRO</b>	(Process)
Mecanismo	<b>MEC</b>	(Mechanism)
Estructura	<b>STR</b>	(Structure)
Código	<b>COD</b>	(Code)
Patrón	<b>PAT</b>	(Pattern)
Conducta o comportamiento	<b>CON</b>	(Conduct)
Sistema	<b>SYS</b>	(System)



Finalmente, en la cuarta parte utilizaremos números para ordenar consecutivamente, con la cantidad de cifras necesaria, las fichas que según nuestro sistema vayan teniendo una misma clasificación. De este modo, siempre anotaremos un número uno al clasificar una entidad cuya clave no se haya empleado previamente, pudiendo incrementarse esta numeración tanto como se requiera.

Una vez que hayamos anotado la clave que identifica nuestra ficha, un poco más a la derecha apuntaremos el significado de las abreviaturas empleadas en su elaboración, para facilitar con su continua lectura, el aprendizaje de este sistema de clasificación por parte de cualquier nuevo usuario.

Para evitar que en algún momento llegara a desordenarse alguna de las hojas que componen nuestras fichas, siempre deberá aparecer la clave de la entidad a la que pertenecen, en un recuadro ubicado en la esquina superior derecha de todos sus pliegos, incluyendo el primero, aún cuando ya la hayamos anotado en el primer inciso de nuestro formato, y justo debajo de ella, anotaremos la numeración consecutiva de las páginas que integran la ficha.

2. Dentro del rubro "*Entidad biológica o inanimada*", en términos generales, especificaremos qué es lo que estamos estudiando, si sólo trabajamos con parte de un organismo u objeto, se pondrá: ojo de la mosca doméstica; si trabajamos con la totalidad, se especifica: mosca doméstica.

3. En el inciso de "*Revisión en distintas fuentes de consulta*" verteremos todos los datos que nos parezcan más relevantes sobre nuestra entidad de estudio, obtenidos como resultado de nuestra búsqueda en diferentes fuentes de información. Podemos incluir todas las fotografías, dibujos y





## Proceso de Creatividad Bioarquitectónica



esquemas que complementen estos datos. Procuraremos trabajar siempre de lo más general a lo más particular.

4. Dentro del apartado “*Observaciones personales*” pondremos nuestras observaciones y descripciones fruto del análisis que uno ha realizado sobre la entidad estudiada y que nos ayudará a comprender mejor los procesos que desarrolla dicha entidad. También podremos complementarlas con nuestros propios dibujos y fotografías.

5. Después, identificaremos subrayando, de entre los datos del texto incluido en los apartados 3 y 4, el o los “*Modelos funcionales*”, los que un poco más tarde redactaremos para integrar este inciso 5, describiendo cómo el organismo u objeto efectúa determinada actividad o interacción con su ambiente.

6. Enseguida generaremos y escribiremos una o varias “*Abstracciones*” de cada Modelo Funcional.

7. A continuación anotaremos nuestra o nuestras “*Soluciones de diseño*”, y si es posible, abundaremos en cómo a partir de una primera solución de diseño, podemos llegar a la aplicación definitiva.

8. Posteriormente, enlistaremos en nuestras fichas las “*Referencias*” empleadas. Podemos dividir este apartado de nuestra ficha en dos tablas, la primera de ellas titulada: “Bibliografía y medios electrónicos” nos servirá para indicar los documentos, libros, artículos de revistas científicas y páginas de Internet que revisamos, las entrevistas que efectuamos y cualquier otro tipo de fuentes de información que consultamos y utilizamos en nuestra investigación.

Para mencionar información obtenida de páginas de Internet, hay que anotar, además de la dirección de la misma, al responsable, la organización o el autor que patrocinan esa página. Las citas de páginas de Internet se pueden organizar así:

Renglón o columna 1: Autor, Año (de última actualización), título.

Renglón o columna 2: Disponible en: <http://...>

Renglón o columna 3: Fecha del último acceso: 29/11/2008.

Podemos citar en el cuerpo de nuestra ficha, la información obtenida durante la entrevista que sostuvimos con un especialista, mencionando ésta junto con las demás fuentes, así:

Galindo, Andrés. Comunicación personal, 2008.

O si se transcribe de manera textual un comentario, se anota dentro del párrafo del texto:

...y las cúpulas geodésicas son autosoportantes (Andrés Galindo, comunicación personal, 2008).

La segunda tabla: “Imágenes e ilustraciones” sólo la incluiremos en caso de haber anexado este tipo de elementos en nuestra ficha sobre la entidad estudiada, con el fin de indicar el origen del cual obtuvimos las fotografías, dibujos o esquemas que acompañan a nuestra investigación, pudiendo éste ser, entre otros, libros, artículos de revistas científicas o páginas de Internet.

9. Finalmente, es muy importante que apuntemos varias “*Palabras clave*” que identifiquen el contenido de la ficha, ya que los resultados de estos modelos funcionales y abstracciones que obtengamos, se podrán reunir en un banco de datos, facilitándonos en el futuro el acceso a esta información, tanto a nosotros como a otros investigadores.

Vamos a ver un ejemplo de la elaboración de este “*Reporte Detallado*”, para ello, se incluirá en este formato de fichas, una investigación en la que un equipo de diseñadores de tablas de windsurf, de la empresa WindWing fundada en Oregon, EE.UU. en 1982, tenía la inquietud de mejorar o renovar los diseños de sus productos, por lo que se enfocó en la búsqueda de nuevos conocimientos a raíz del estudio del ala del murciélago.

Este organismo se clasificará como: **A.A.PAR.1** (donde la primera **A** significa ambiente aéreo, la segunda **A** es entidad Animada, **PAR** quiere decir que es una porción de un individuo y **1** es el número consecutivo, correspondiente a esta entidad, de todas las que hemos estudiado y comparten esta misma *Clave*), y en el Rubro de *Entidad biológica o inanimada* especificamos “Ala de Murciélago”.

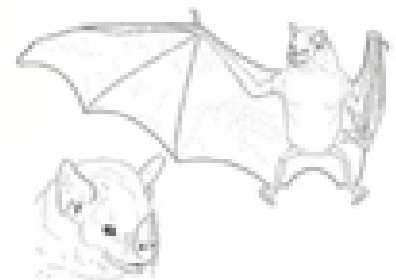


**Fig. 3.1.-** Tabla de windsurf tradicional que consta de una tabla deslizadora y una vela unida a ella.

Enseguida, dentro de *Revisión en distintas fuentes de consulta*, se incluirán los datos, relacionados con la entidad en estudio, que durante la investigación fueron encontrados en las diferentes fuentes científicas consultadas. Todas estas descripciones podemos acompañarlas de los croquis, dibujos e imágenes que complementen las observaciones e información recabadas.

En este inciso se mencionarán los datos arrojados por una investigación previa, que muestren que el ala del murciélago tiene un patrón básico semejante al de un animal aparentemente muy lejano: el mono; y aunque ambos animales comparten un mismo origen genético (los dos son mamíferos y la estructura de sus brazos es la misma, presentan antebrazo y muñecas y cuatro de los cinco dedos son alargados), tienen distintas funciones en sus extremidades superiores, debido a que en el murciélago, el ala es una delgada membrana llamada patagio que une al brazo, antebrazo y los cinco dedos formando una superficie de sustentación.

Además se indicará en otra fuente que en el ala del murciélago, los huesos del brazo son ligeros y delgados permitiéndole al animal tener soporte y manipular la membrana, misma que se estira entre los dedos, conecta los miembros delanteros y posteriores, e incluso se estira entre las piernas incorporando también la cola del murciélago. La membrana básicamente se compone por dos capas, una frontal y una posterior, con gran cantidad de nervios, tendones y vasos sanguíneos. También está formada por fibras de elastina, proteína elástica que mantiene la forma del ala, aumenta la flexibilidad y almacena energía en cada aleteo.



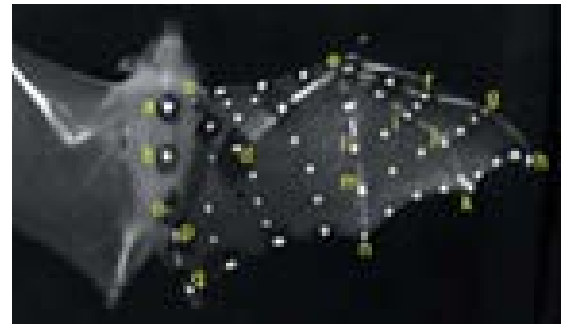
**Fig. 3.2.-** Constitución del ala del murciélago en casi todas sus 925 especies.

El borde superior o delantero del ala está compuesto por el patagio, el segundo dedo y el segundo hueso proximal del tercer dedo, mientras que el borde inferior del ala no cuenta con ningún apoyo, por lo que tiene un perfil flexible y aerodinámico que puede combarse en su parte posterior, ya que si el animal contrae un poco los dedos durante el vuelo, el ala forma un arco que resulta muy útil para volar a bajas velocidades, generando mayor fuerza de sustentación y evitando el desplome del murciélago (American Museum of Natural History, 2003).

## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

La mayoría de los huesos del ala son huecos y tienen una sección transversal con forma oval, lo que reduce la fricción del viento y aligera su estructura general, permitiéndole a este mamífero volar veloz y planear durante el vuelo.

Dentro del inciso de *Observaciones personales*, podremos resumir todo el análisis y los descubrimientos a los que llegaron estos investigadores, a través de distintos tipos de experimentos, como el que las alas del murciélago producen grandes combas en su geometría en cada movimiento de aleteo, mientras que las alas de las máquinas aeronáuticas producidas por el hombre son rígidas y con una curvatura constante que no puede modificarse. Se encontró que, al efectuar el murciélago, durante el vuelo, una pequeña modificación en la forma y curvatura de sus alas, logra hacer cambios sustanciales en su comportamiento aerodinámico (BendWeekly, 2007).



**Fig. 3.3.-** Foto obtenida durante el vuelo del murciélago, tomada con cámara ultrarrápida en la que se observan los marcadores ubicados en una de sus alas para analizar sus movimientos.

Después de esta revisión a la información existente sobre el ala del murciélago, y del análisis a las observaciones y experimentos efectuados, se desarrollaron los tres *Modelos funcionales* siguientes:

- ❖ El ala del murciélago es una estructura, articulada por los dedos de las extremidades en su conjunto y cuenta con una membrana flexible entre ellos que contiene nervios, vasos sanguíneos y fibras elásticas.
- ❖ El perfil óseo es oval y hueco en su mayoría, lo que le da gran resistencia al viento conservando su ligereza.
- ❖ El ala en su extremo superior está delimitada por hueso y cartílago y en su extremo inferior es totalmente flexible, esto le permite modificar su geometría (al generar combas), incrementando su maniobrabilidad y manteniendo una óptima sustentación, aunque cambien bruscamente las condiciones del desplazamiento aéreo.

Los investigadores sabían por experiencia que las tablas de windsurf normales cuentan, en su mayoría, con una única vela con una geometría fija que requiere abarcar una gran superficie, lo que representa una gran resistencia a los vientos fuertes, sobre todo en la parte superior del velamen, requiriendo gran esfuerzo en su manejo, dificultando mantenerla estable para evitar la volcadura de la tabla. Por lo anterior, como *Abstracción* de lo que les pareció más importante en el último modelo funcional, conservaron sólo lo siguiente: *la geometría modificable (combas) permite mantener una óptima sustentabilidad* al ala del murciélago (Riskin et al, 2008).

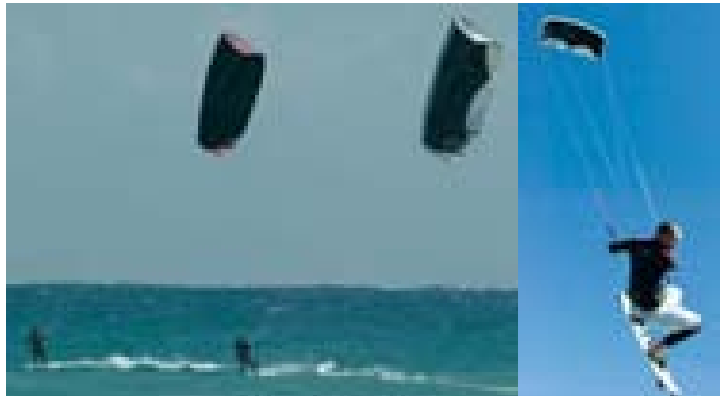
Si se elaboraran con posterioridad, a partir de esta revisión de la información relacionada y de su investigación original, más modelos funcionales y abstracciones, para desarrollarlos en esta u otras aplicaciones de diseño, podríamos agregarlos en páginas adicionales dentro de los incisos correspondientes de la ficha.

En el rubro de *Solución de diseño*, se anotará el resultado de diseño obtenido. En este caso los investigadores lograron el diseño de una vela de geometría variable, basada en la estructuración del ala del murciélago que, en vientos fuertes, al ser combada por el tripulante, se convierte en una vela más aerodinámica y en vientos ligeros, puede ser usada más extendida, aprovechando así todo tipo

## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

de corrientes de aire, ya que si son muy fuertes, el navegante reduce la altura hacia donde dirige la vela, haciendo que su centro de carga descienda, facilitando la navegación y disminuyendo el riesgo de volcadura (WindWing, 2008).

Para terminar la ficha de este tipo de Reporte Detallado, faltaría apuntar las *Fuentes de consulta* empleadas en la investigación que se hizo sobre esta entidad, y como *Palabras clave* podrían incluirse: geometría variable, sustentación, maniobrabilidad ligera, comba variable, velaje, propulsión eólica.



**Figs. 3.4 y 3.5.-** Modelo de tabla deslizador, llamado “Batwing” por estar basado en el ala del murciélago. Su desarrollo se logró a principios del año 2007.

Cabe mencionar que, nuevas investigaciones de la empresa WindWing, a este y otros animales voladores, han impulsado más desarrollos en otros de sus productos.

Resumiendo: Para elaborar una ficha con este tipo de Reporte Detallado, anotaremos:

1. Clave y Número de páginas de la ficha
2. La entidad biológica o inanimada estudiada
3. Los datos que obtuvimos, en otras fuentes científicas de consulta e información, relacionados con dicha entidad.
4. Nuestras observaciones y análisis personales efectuados sobre esta entidad.
5. Los modelos funcionales que hemos detectado y subrayado en la información de los puntos 3 y 4.
6. La abstracción o abstracciones de cada modelo
7. La solución de diseño a la que llegamos
8. Las fuentes de consulta utilizadas
9. Las palabras clave que identifican el contenido de la ficha

En este tipo de investigación y diseño, en el que partimos de un problema específico, elaboraremos una ficha por cada entidad biológica o inanimada que analicemos. Aunque al inicio del estudio no sabemos qué rumbo tomará éste, conforme vamos obteniendo la información y vamos descubriendo cosas, estaremos esclareciendo los modelos de funcionamiento que utiliza cada entidad para efectuar diversas actividades, y al abstraerlos, intuiremos también las diversas aplicaciones de diseño que podríamos darles a esos modelos.

En el ejemplo de los diseñadores de Windsurf, al empezar a estudiar el ala del murciélago no se sabía cuál sería el resultado final y durante la investigación se descubrieron tres modelos funcionales que podrían, cada uno de ellos, haber desembocado en una solución de diseño totalmente distinta, por ello, es importante enfatizar que el camino que vaya tomando nuestra investigación dependerá, en gran medida, del tipo de preparación, experiencias previas e intereses que tenga el investigador o el grupo de científicos que desarrolle un estudio de este tipo, ya que al fin y al cabo, el factor humano de la creatividad es determinante a la hora de saber interpretar, o no, los mensajes e ideas que nuestro entorno nos inspira.



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



Este tipo de proceso de investigación y diseño también se podría apoyar en la técnica de la lluvia de ideas, sobre todo en las fases de detección de modelos funcionales, abstracción de cada modelo y generación de soluciones y aplicaciones de diseño; además las fichas de reporte detallado que a partir del estudio de los organismos u objetos se van generando, nos podrán servir, como ya se mencionó al principio de este tema, para crear un acervo de datos que más tarde puede ser consultado por nosotros u otros investigadores.

El uso de un formato de Reporte Detallado nos ayuda a establecer un orden en las fases de nuestro proceso de investigación y diseño, ya que así será sólo cuestión de seguir una secuencia. Además, es una forma de compartir nuestros conocimientos para que cualquier otro investigador, incluidos nosotros mismos después de algún tiempo, al revisar nuestro modelo funcional y nuestra abstracción, los podamos comprender cabalmente y entender de dónde y cómo se obtuvo el diseño o aplicación final, e incluso también esas otras personas, puedan identificar sus propios modelos y elaborar nuevas abstracciones de estos o de los ya anteriormente obtenidos, para desarrollar distintas aplicaciones de diseño.

Durante las fases de revisión de la información relacionada y de nuestro análisis original, podemos encontrar aspectos muy interesantes que tienen que ver con muchas disciplinas y campos del conocimiento humano.

Es muy posible que hallemos gran cantidad de información con un enorme potencial de aplicación creativa, tan sólo necesitamos profundizar un poco más en algunos detalles que nos parezcan más interesantes, para de ahí abstraer conceptos más generales y aplicables a muchas áreas diferentes de la vida diaria. Es como abrir un baúl que contiene muchas cosas que vamos a ir sacando y después de analizarlas, las podremos aprovechar, desechar o acomodar como más nos convenga.

Con esta herramienta también podemos trabajar en conjunto con otras personas, intercambiando información, ligas de páginas de Internet, bibliografía, etc. y si llevamos todos un mismo esquema de organización, como el aquí planteado con las fichas, podemos trabajar de modo más fluido, y seguir en cualquier momento el mismo sendero de investigación que se ha recorrido previamente, ya sea por nosotros mismos o por nuestros compañeros, e inclusive se puede ir más allá, planteando nuevos modelos funcionales, abstracciones y aplicaciones de diseño que, tal vez, no se habían dilucidado antes.

## *Utilicemos los bancos de información*

El avance científico en muchas áreas del saber humano ha alcanzado un nivel notable. Innumerables proyectos han redundado en la ampliación del conocimiento, nuevas aplicaciones y grandes perspectivas hacia el futuro. Todo esto ha llevado a mejorar el nivel de vida del hombre, y al desarrollo de nuevas formas de proteger el medioambiente, gracias a, en gran parte, los adelantos que se han tenido en las tecnologías de la información (López 2006).

## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

La difusión de estos desarrollos tecnológicos ha sido posible gracias a la globalización, en la que la red mundial de computadoras, Internet, ha sido una protagonista muy especial. La Web ha permitido conocer y aprovechar muchos de los avances científicos, donde el biodiseño y las ecotecnologías no han sido la excepción (Wikimedia Foundation, 2008g).

Los nuevos avances han generado que varias disciplinas de la investigación científica se interrelacionen, como la medicina, la genética, la biología, la bioquímica, la biotecnología, la ingeniería, el diseño industrial, la robótica, el biodiseño y la computación entre otras. Cuando los resultados a los que hemos llegado, durante nuestra investigación a la entidad u objeto de estudio, no los analizamos a la luz de lo que otros han obtenido, podemos perder la perspectiva del entorno, con el riesgo de caer en errores o inconsistencias.

En este apartado de mi trabajo, intento motivar un acercamiento del amable lector de estas líneas, o de quien este interesado en el conocimiento y desarrollo de nuevos diseños basados en la vida que nos rodea, hacia las herramientas informativas que se encuentran en Internet, incentivando su curiosidad por explorarlas y desarrollar, de este modo, la habilidad de analizar y correlacionar la información que obtengamos en nuestra propia investigación, con la de otras personas, en cualquier parte del mundo, que pueden estar compartiendo en este momento nuestros mismos intereses.

Es así como, hoy por hoy, no podemos estudiar y comprender una entidad, viva o inanimada, únicamente desde un solo punto de vista, es necesario documentarnos acerca de las diferentes investigaciones y avances tecnológicos, por medio de las publicaciones científicas que se encuentran en Internet, ya que poseen las ventajas de que su información es presentada de una manera sencilla y completa, la cual es almacenada por un tiempo variable, pues es actualizada continuamente. Por lo anterior, es aconsejable que visitemos y estudiemos periódicamente los sitios que administran estos recursos. Entre los más relevantes, se pueden mencionar los *Bancos de publicaciones* periódicas o revistas científicas y las *Bases de datos*.

**Bancos de publicaciones.** Las diferentes revistas científicas se han agrupado en varios bancos, para facilitar el acceso a la información que cada investigador necesite, ya que se clasifican en ellos según su temática, autor u otros factores, lo que unido a poderosos buscadores nos facilita enormemente su localización y manejo. Generalmente, estos bancos nos permiten acceder a sus publicaciones mediante un pago por artículo (en promedio 30 dólares), casi siempre con cargo a tarjeta de crédito, aunque en algunos casos, podemos tener acceso al artículo de nuestro interés sin restricción, después de 6 meses de su primera aparición en los mencionados bancos. También tenemos la opción de afiliarnos, por un periodo de tiempo determinado, durante el que podremos acceder a todas las revistas que ese banco clasifique. Asimismo, existen en Internet editoriales, por medio de las cuales es posible adquirir textos específicos del tema de nuestro interés, como por ejemplo Amazon.

Algunos ejemplos de *Bancos de Publicaciones* que nos pueden ser de utilidad, son:

Patrocinador	Contenido del Banco de Publicaciones	Dirección Web
National Center for Biotechnology Information (NCBI).	Banco de publicaciones periódicas (revistas científicas) del NCBI con gran cantidad de ligas a artículos sobre investigaciones médicas y de la salud, y también sobre otros campos.	www.pubmed.org

Reed Elsevier plc group Publica 1500 revistas, libros y bases de datos científicas.	Abarca recursos de gran variedad de temas. Contiene ligas a catálogos, libros, revistas, bibliografía especializada y noticias científicas destacadas.	www.elsevier.com
Reed Elsevier plc group.	Acceso a revistas, libros y artículos científicos sobre información de tecnología, ingeniería, química, biología y medicina.	www.sciencedirect.com
American Society for Microbiology.	Presenta noticias y acceso a revistas y artículos científicos, biológicos y médicos.	www.asm.org

**Bases de datos.** El gran avance de la ciencia, ha generado una gran cantidad de datos que es necesario poner a disposición de todos los investigadores, para enriquecer el conocimiento de la humanidad en su conjunto, analizando la nueva información que continuamente se genera y estableciendo correlaciones útiles y provechosas. Por ello, desde la década de los años 80 se inició la construcción de modernas bases de datos, donde los investigadores podían enviar sus descubrimientos y además tener acceso a los logros de terceros. Inicialmente, estas bases sólo se ocupaban del almacenamiento de la información, pero con el tiempo se han convertido en sitios que, aparte de lograr una eficiente organización de los datos científicos, tienen una gran cantidad de recursos que nos ayudan a su análisis. Las bases de datos son sitios de almacenamiento de información científica y tecnológica de acceso libre. Los responsables de su administración estructuran e indexan su contenido, jerarquizándolo para crear un árbol de conocimientos, lo que nos permite una fácil localización de la información. Estas bases son enriquecidas y actualizadas periódicamente, gracias a las continuas aportaciones de los propios investigadores, poseen referencias cruzadas (hipervínculos) con otras bases de datos y el almacenamiento de la información se hace por medio de texto plano o tablas vinculadas (flat file and relational data base). Las bases de datos pueden ser primarias si contienen solamente datos experimentales, o secundarias si poseen información obtenida a partir de la que administra una base de datos primaria.

Existen muchas páginas Web con *Bases de datos* que se han creado para compartir, con los investigadores de todo el orbe, los reportes de los estudios que continuamente se efectúan sobre todo tipo de entidades; algunas de las más importantes son:

<b>Patrocinador</b>	<b>Contenido de la Base de Datos</b>	<b>Dirección Web</b>
National Center for Biotechnology Information (NCBI).	Integra más de 30 bases de datos públicas, investiga en biología computacional, difunde información biomédica, posee entre otros, el GenBank, banco de secuencias genómicas más grande del mundo.	www.ncbi.nlm.nih.gov
European Molecular Biology Laboratory.	Dirige investigación en biología molecular, desarrolla nuevas herramientas para la investigación. Integra varias bases de datos biológicos.	www.embl.org
Lone Star College System, Houston, TX.	Amplia información sobre química, bioquímica y biología celular.	http://science.nhmccd.edu/biol/rchute.html
Sullivan, J. A., Consultant, Univ. of Virginia, USA	Animaciones y descripciones de las funciones de distintas estructuras, organismos y células. Incluye muchos enlaces.	www.cellsalive.com
Facultad de Biología, Univ. De Murcia, Esp.	Aula virtual de biología con muchos recursos sobre distintos temas relacionados.	www.um.es/molecula
European Space Agency (ESA).	Base de datos sobre los últimos descubrimientos espaciales y adelantos tecnológicos sobre este tema.	www.esa.int/esaCP/index.html



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



Biomimicry Institute, Montana, USA.	Base de datos en Internet sobre biología y sus aplicaciones al diseño, al estilo de Wikipedia.	<a href="http://biomimicryinstitute.org/design-challenge">biomimicryinstitute.org/design-challenge</a>
ZERI Foundation & Biomimicry Institute, USA.	Avances más actuales en la investigación biomimética.	<a href="http://N100best.org/index.html">N100best.org/index.html</a>
TreeHugger, NY, USA.	Investigaciones biológicas y avances tecnológicos aplicados a nuevos productos de consumo diario.	<a href="http://www.treehugger.com">www.treehugger.com</a>

Considero que la utilización de Internet, debería ser una obligación para todo buen investigador, puesto que podemos buscar en estos tipos de sitios y quizá encontremos ya un artículo que mencione alguna aplicación o modelo funcional existente basado en nuestra entidad de estudio, e incluso podríamos desarrollar un concepto de diseño totalmente diferente, utilizando una nueva abstracción a partir de ese mismo modelo funcional con base en nuestra experiencia personal.

Existen muchos recursos muy útiles en innumerables sitios de la Web. Para todos los que deseemos conocer más de estos sitios es imprescindible navegar para descubrirlos, y utilizarlos para conocer sus ventajas y deficiencias, de acuerdo a nuestros intereses particulares.

En la actualidad el arquitecto debe ser capaz de desenvolverse en variados ámbitos, sin dejar de ser experto en un área concreta, como asimismo estar listo para trabajar en grupos multidisciplinarios que permitan abordar una temática desde varios frentes, para conseguir así más y mejores avances, además de nuevas aplicaciones.

También estimo que es importante darle la oportunidad, al estudiante de arquitectura, de conocer las herramientas que en este apartado se exponen, desde el principio de su enseñanza a nivel profesional, para que en base al hábito, también él mismo, vaya construyendo su propia base de datos, a los que pueda acceder cada vez que lo desee y pueda compartirlos con todo aquel que lo requiera, además insisto, se pueden organizar, con el formato de fichas de Reportes Detallados que he expuesto, de modo que en todo momento cualquier persona puede seguir el mismo camino que se emprendió al investigar determinado organismo, conociendo a la vez, la literatura relacionada y las fuentes que se consultaron desde el principio de cada investigación.



# *El factor humano es importante*

## *Escuchemos al niño que llevamos dentro*

Desde pequeños, todos los seres humanos desarrollamos un proceso de aprendizaje muy personalizado, que nos lleva a conocer, comprender y asimilar el mundo que nos rodea. Es así como vamos adquiriendo experiencias, que nos permiten tomar decisiones a lo largo de nuestra vida y ampliar nuestro conocimiento del mundo.

Mientras más experiencias tenemos, más aprendizajes vamos acumulando del mundo, más formas adquirimos para movernos en él y más estrategias para aplicar nuestro conocimiento en las diferentes situaciones que se nos van presentando, lo cual incrementará, a su vez, nuestras experiencias y nuestro aprendizaje.

Es como cuando damos nuestros primeros pasos, a cada paso, podemos aplicar el conocimiento de los pasos anteriores e incrementar nuestras experiencias, mientras vamos aprendiendo a caminar con mayor seguridad, estabilidad, fuerza y agilidad.

Desde nuestra más tierna infancia, en cada experiencia vamos estableciendo una relación entre nosotros mismos y los objetos que nos rodean, cambiando nuestras conductas y estableciendo nuevos conocimientos de lo que está frente a nuestros ojos. Al tener una nueva *experiencia*, o se modifica nuestra conducta o se refuerza.

Podemos definir a la palabra *experiencia* como el proceso de sentir, experimentar y percibir el mundo que nos rodea incluyendo nuestras reacciones ante él. Nuestra experiencia de una puesta de sol, de una charla o de unas vacaciones está directamente relacionada con nuestra percepción personal de estos acontecimientos, así como con nuestra participación en los mismos (Piaget, 1994).

Nuestras experiencias se construyen a partir de la información sobre el medio externo que recibimos a través de nuestros órganos sensoriales, junto con los recuerdos, las fantasías, las sensaciones y las emociones asociadas que emergen de nuestro propio interior.

También utilizamos el término *experiencia* para referirnos al conocimiento que vamos acumulando a lo largo de nuestra vida. Toda la información que percibimos a través de nuestros sentidos es constantemente codificada o envuelta en conocimiento precedente. De esta manera, nuestra experiencia constituye la materia prima a partir de la cual creamos nuestro propio modelo personal del mundo.



## Proceso de Creatividad Bioarquitectónica

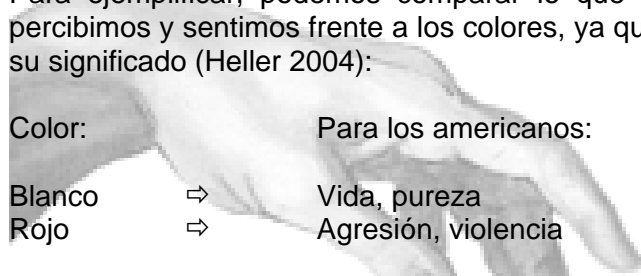


Entre más experiencias vamos acumulando, se va ampliando nuestro abanico de opciones para actuar en relación a un objeto. El ser humano es, por naturaleza, curioso. Si algo nos llama la atención, nos acercamos y vamos descubriendo nuevas características de ese objeto, y después de conocerlo, lo adaptamos y asimilamos a nuestra propia vida, lo interiorizamos y pasa a formar parte de nuestras experiencias que vamos acumulando a lo largo de los años.

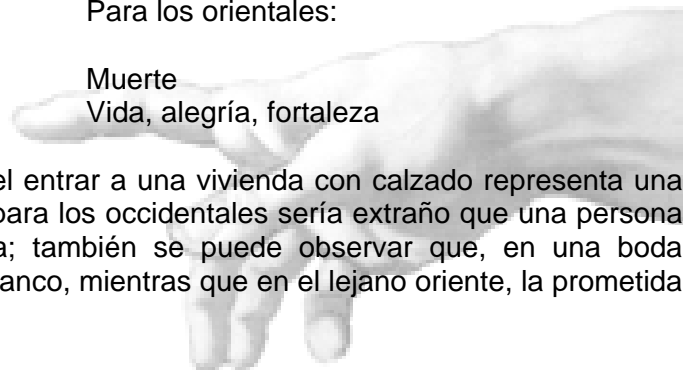
Es así como, basándonos en nuestras experiencias previas, variará sutilmente nuestra comprensión y la relación que establecemos hacia los objetos, pudiendo abstraer de ellos un conocimiento distinto del que extraerían otras personas, ya que cada uno de nosotros le daremos, inconscientemente, un significado ligero o radicalmente diferente a una misma cosa.

Dependiendo del conocimiento o significado que le damos a un objeto en particular (lo que para nosotros simboliza o representa), podemos establecer una relación, conducta o aplicación diferente hacia él, debido en gran parte al bagaje cultural y la información vivencial que hemos acumulado.

Para ejemplificar, podemos comparar lo que los habitantes del lejano oriente y los americanos percibimos y sentimos frente a los colores, ya que para cada uno variará, en este caso enormemente, su significado (Heller 2004):



Color:	Para los americanos:	Para los orientales:
Blanco	⇒ Vida, pureza	Muerte
Rojo	⇒ Agresión, violencia	Vida, alegría, fortaleza



Es así como, para algunas culturas del oriente, el entrar a una vivienda con calzado representa una invasión al espacio, una agresión, mientras que para los occidentales sería extraño que una persona se quitara los zapatos para entrar a una casa; también se puede observar que, en una boda occidental, la novia se ataviará casi siempre de blanco, mientras que en el lejano oriente, la prometida se vestirá de rojo con dorado.

Asimismo, la concepción de una adecuada organización urbana es diferente para cada cultura, en América, el ordenamiento de las ciudades es casi siempre reticulado, mientras que en Europa generalmente es radial y en Japón es, para nosotros los americanos, un tanto enredado, ya que depende principalmente de la antigüedad de las construcciones (Hall, 2005).

Todo lo anterior es reflejo de las diferencias entre las distintas culturas y su muy particular manera de apreciar el mundo. Son ejemplos de cómo los seres humanos podemos utilizar y aplicar, según nuestros propios conocimientos, una misma realidad de muy distintas maneras.

Pero, ¿de qué nos sirve toda esta información que, aparentemente, poco o nada tiene que ver con el proceso de investigación y diseño que he expuesto en este trabajo?, y ¿qué tiene que ver todo esto con los edificios costeros resistentes a huracanes?

En el presente proceso de investigación y diseño, se han empleado tres herramientas que, a mi parecer, son fundamentales en la creación de todo tipo de implementos útiles e innovadores, que pueden ser totalmente coherentes con su entorno al adaptarse eficientemente a él. Me refiero a la obtención de *Modelos de Funcionamiento*, a partir de las entidades que interactúan con el entorno, a la *Abstracción* que cada uno de nosotros podemos hacer de esos Modelos, para revelar sus



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



verdaderos principios básicos, y a la generación de nuevas soluciones y aplicaciones de diseño con ayuda de la *intuición*, en beneficio nuestro y de todo lo que nos rodea.

Y precisamente, si abstraemos de nuestro entorno los principios naturales básicos que norman el funcionamiento del universo, todos podemos dejar impreso nuestro sello personal, ya que como cada uno puede ver el mundo con una perspectiva diferente, aplicaremos nuestras propias interpretaciones en nuevas soluciones de diseño, dejando en ellas parte de nosotros mismos, de nuestra personalidad, marcando así con nuestras huellas este camino, llamado vida, que nos ha tocado recorrer.

Además, lo mejor es que una de estas herramientas la hemos utilizado desde hace mucho tiempo de manera inconsciente, y ahora podremos emplearla con todo conocimiento de causa: Abstraer. Por ejemplo, cuando alguien nos pregunta qué nos pareció o de qué trata una película, abstraemos las características del filme que, a nuestro parecer, son las más importantes, quitando lo superfluo y dejando sólo el mensaje esencial, para que, aunque realmente la proyección de la película transcurre durante unas dos horas, la podamos comentar en tan sólo cinco o diez minutos.

Al poner un anuncio en el periódico solicitando alguien que nos ayude para efectuar determinado trabajo, nos vemos forzados a resumir en tan sólo diez palabras todas las características que buscamos en esa persona, además de incluir nuestro nombre y número telefónico.

Con el advenimiento del Internet, también han aumentado nuestras oportunidades de realizar abstracciones, ya que cada vez que hacemos uso de un sitio de búsqueda, para encontrar las ligas a las páginas que contienen la información que necesitamos, habremos de condensar en unas pocas palabras la idea que tenemos de esa entidad u objeto, y dependiendo de qué tanta información requiramos, nuestra búsqueda podrá ser más exigente y será más fácil que encontremos algo, pero cuidado, como en todo caso de abstracción, es necesario mantener el equilibrio, ya que entre más exigencias tengamos en nuestra búsqueda, se reducirá el número de resultados obtenidos que se ajusten a todas ellas.

Por lo anterior, es importante saber qué tanto es conveniente abstraer al usar cualquier sistema de búsqueda (o proceso de investigación), qué tan general o qué tan particularizada se hará; no obstante, con un poco de práctica, desarrollaremos cada vez más la habilidad de efectuar abstracciones más objetivas y equilibradas.

Si el factor humano es determinante en la obtención de nuestros modelos funcionales, también dependerán de él, las abstracciones a las que lleguemos y las soluciones de diseño que generemos.



## *Si ya inventaron el hilo negro, podemos tejer con él*

El proceso de investigación y diseño aquí expuesto, en realidad es una adaptación personal del que desde hace unas décadas, han comenzado a utilizar los especialistas de algunas ramas del saber; disciplinas que, como la biomimética, la ingeniería industrial o la robótica han tenido un despegue y desarrollo sorprendente en tan sólo pocos años, ¿cuál ha sido su secreto? darse cuenta que la manera más efectiva de lograr sus objetivos es encarar a la naturaleza y descifrar su lenguaje.

La ciencia moderna vive de la abstracción, aunque no siempre fue así. Nos llevó muchos siglos descubrir que la forma ideal de entender y describir la naturaleza, no es tomar en cuenta todos los detalles que rodean a un fenómeno, sino al contrario, eliminar los que están de más, destacando al mismo tiempo los aspectos que a cada uno nos parezcan, como seres humanos, más importantes, situando así al hombre como lo que en realidad es, un habitante de éste planeta, en el que tiene que convivir y compartir en armonía con todo lo que le rodea (Winner, 1987).

Mi principal motivación al escribir este trabajo, ha sido el dar a conocer esta manera de investigar y diseñar dentro del ámbito de la arquitectura, ya que también los integrantes de esta profesión, que es una de las más antiguas e importantes del mundo, podemos participar, conjuntamente, en el trabajo creativo que desarrollan equipos de investigación multidisciplinaria, utilizando los medios electrónicos de intercambio global de información, que están al alcance de casi todos.

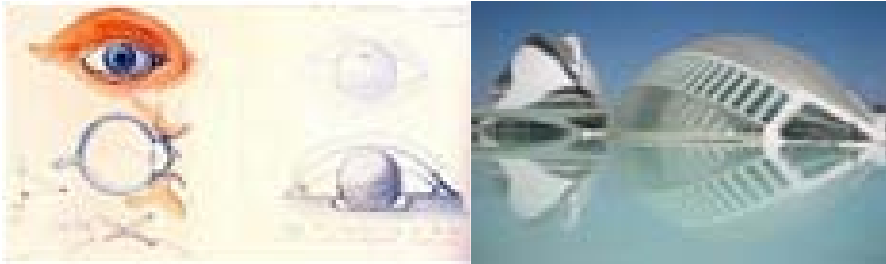
Se ha dicho que, a finales del siglo XX el mundo había entrado a la era de la información. Ya es necesario darnos cuenta que, gracias al avance, en realidad desmedido, de dicho periodo, muchas disciplinas han desarrollado nuevas estrategias que les han permitido, en muy pocos años, trascender más allá, y ahora están entrando a una nueva etapa, la era de la creación, de la innovación. Los innovadores van kilómetros adelante de los que siguen aferrados a los viejos paradigmas. Como algunos enamorados de la vida han llegado a pensar, el final de un buen amor es tan sólo el principio de uno mejor.

El mundo está ávido de ideas originales, de nuevas creaciones que resuelvan los problemas y necesidades de sus habitantes y que lo transformen en un mejor lugar para vivir. Si seguimos el ejemplo de estas disciplinas innovadoras, empleando los procedimientos y herramientas de investigación y diseño que ellas han utilizado, también los arquitectos podremos ayudar a recrear eficientemente nuestro entorno.

Reconozcamos, ante la naturaleza, nuestra humildad como arquitectos, y trabajemos para y con ella. Seamos como Miguel Ángel, maestro de arquitectos, y miremos a ese David dentro de cualquier entidad, viva o inanimada, clamando para que lo saquemos a relucir en toda su perfección y hermosura. Explotemos ese enorme potencial de creatividad que está, allá afuera en la vida que nos rodea (abstrayéndola), y también dentro de nosotros mismos, en nuestras experiencias y aprendizajes (intuyendo nuevas soluciones).

Actualmente, podemos contar con los dedos de las dos manos, los arquitectos que han sabido integrar equipos de investigación y diseño que, trabajando cada uno independientemente del resto, se están dando cuenta de todo esto, y las innovaciones a las que están llegando son realmente sorprendentes.

Tenemos el caso del Arq. Santiago Calatrava Valls, que al frente de su equipo, ha estudiado numerosas osamentas de animales y, entre otras partes del cuerpo humano, su sistema de soporte músculo esquelético, para basarse en las abstracciones que de todo ello obtiene, reinterpretándolas en diversas estructuras metálicas y de concreto armado, logrando así construir muchos importantes puentes y edificios (Henry Art Gallery, 2004).



**Figs. 4.1 y 4.2.-** Abstracciones que del ojo humano realizó el Arq. Calatrava para diseñar el edificio del Hemisferio, dentro de la Ciudad de las Artes y las Ciencias en Valencia, España.



**Figs. 4.3 y 4.4.-** Dibujos del Arq. Calatrava sobre el soporte músculo esquelético humano para diseñar el “Turning Torso” en Malmö, Suecia.

También contamos con el ejemplo del Arq. David Fisher, que ha desarrollado desde mediados de 2008, tres proyectos de edificios que se mueven gracias a la ligera acción del viento, llamados “Rotating Towers”, uno para Moscú, otro para Dubai y el tercero para Nueva York. En el proyecto de Moscú, ese mismo año se concluyó la etapa constructiva de la cimentación (Dynamic Architecture Group, 2008).

Los tres proyectos están basados en la forma triangularmente equilibrada de la manta raya, ya que cada planta de esos edificios tendrá esa forma, enganándose a una columna circular central, alrededor de la que girará y por la que se transportarán los habitantes hacia el exterior. Entre un piso y otro habrá un espacio vacío, donde se albergarán generadores eólicos, para lograr la sustentabilidad eléctrica del edificio y cumplir con la función de convertir y acumular la energía del viento en energía cinética, con la que cada planta podrá moverse independientemente de las demás y a una velocidad regulada todo el día, aún cuando ya no sople el viento, a semejanza de un antiguo reloj de cuerda, al que el usuario le daba cuerda una vez al día, y en el que se almacenaba esa energía cinética, para liberarla poco a poco durante las 24 horas.



**Fig superior 4.5.-** Rascaeielos rotatorio de David Fisher para Moscú. **Figs inferiores 4.6, 4.7 y 4.8.-** Se observa la forma triangular de la manta raya y la de cada planta, además de los generadores eólicos ubicados entre cada piso.



A principios del siglo XXI, la raza humana ha involucrado al planeta en un desequilibrio que comprende muchos aspectos de la vida, como el social, económico o ecológico, por lo que es urgente que abramos bien los ojos y aprendamos otras maneras de encarar nuestros problemas. Las soluciones ya existen, están ahí, en la naturaleza que nos rodea, tan sólo debemos encontrarlas y aplicarlas adecuadamente en nuestra vida cotidiana.

## *Un ejemplo de aplicación*

### *Diseño de edificio costero resistente a huracanes*

Con estas líneas estoy dando inicio a la elaboración detallada del ejemplo de aplicación de este Proceso de Creatividad Bioarquitectónica, para el que he elegido, como se ha indicado en capítulos previos de este trabajo, el diseño de un edificio costero resistente a huracanes.

Para lograr proyectar un inmueble con semejantes características, me propuse estudiar a fondo sobre varios de los aspectos que giran en torno al tema de los huracanes, principalmente los que a mi parecer pudieran influir más eficientemente en un diseño de este tipo, por lo que utilicé el proceso de investigación y diseño previamente expuesto y lo integré al formato de Fichas de Reporte Detallado que he explicado en el capítulo anterior. Con lo anterior, intento mostrar un ejemplo de cómo se puede describir claramente y paso a paso, al amable lector de este trabajo, de dónde y cómo surgieron mis soluciones y aplicaciones de diseño.

Considero que los arquitectos podemos encontrar, en casi cualquier lugar, un buen motivo para investigar y crear. Los límites, uno mismo se los pone, como también la manera de encontrar los mejores resultados, ya que de cada uno dependerá mirar las dificultades como pequeños retos por superar, o como enormes obstáculos insalvables.

En un capítulo anterior de este trabajo, afirmo que es mejor dividir un problema muy grande en varios más pequeños, para evitar que su tamaño nos abrume y encontrarle una solución integral más fácilmente, como en el proyecto del primer viaje del hombre a la luna, donde subdividieron el problema, y al final fueron sumando e incorporando las soluciones, con lo que obtuvieron el éxito ya conocido por todos.

A través del tiempo, los investigadores de todo el mundo han ido recogiendo y organizando datos sobre la naturaleza, para que poco a poco podamos ir formando una imagen más comprensible de nuestro entorno, como en un rompecabezas de tres dimensiones, donde hay ciertas piezas que embonan en grupos y algunos de estos grupos se ensamblan unos con otros. Para poder aprovechar equilibradamente todo lo que nos rodea, necesitaremos tener la mayoría de las piezas unidas entre sí, apartando sólo las que estén a la espera de ser probadas.

El reto de participar en el juego de comprender y explicar los fenómenos conocidos, predecir nuevos o descubrir otros, sigue abierto. Es un juego colectivo en el que los participantes, que somos todos, heredamos la experiencia de los anteriores y tras ampliarla, la turnamos a los que siguen aumentando las oportunidades. Depende de nosotros el evitar que la solución o soluciones posibles



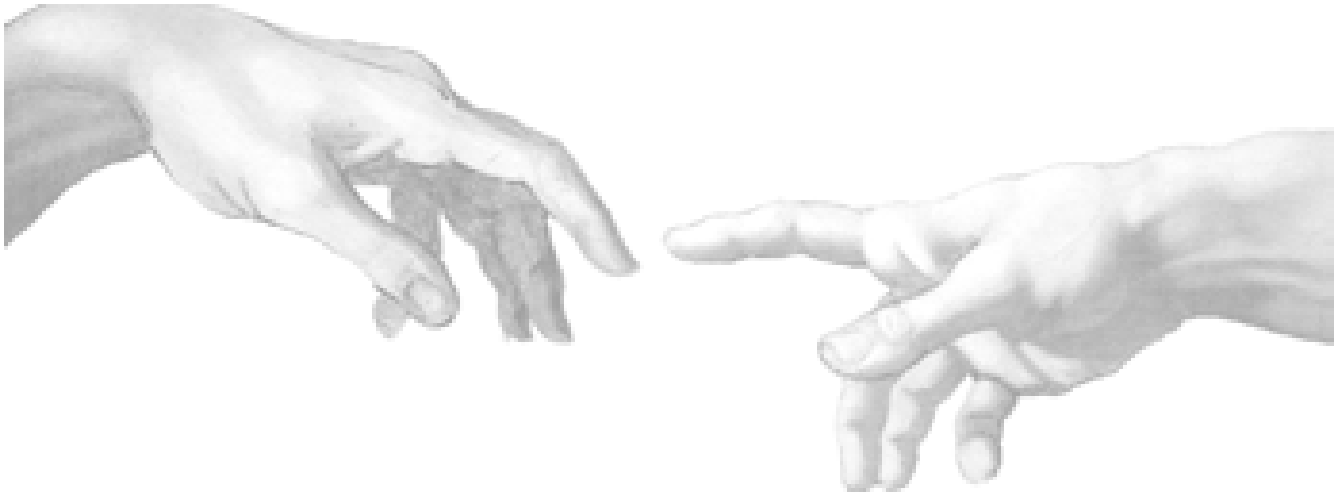
## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



nos eludan, como lo hace el agua con nuestros esfuerzos por retenerla en las manos, escurriéndose entre los dedos.

En el presente capítulo, estoy iniciando formalmente la aplicación del procedimiento de investigación y diseño que he expuesto en este trabajo, para lo cual he incluido una ficha por cada entidad que estudié y analicé. En ellas, he destacado los modelos funcionales que identifiqué en cada entidad, subrayándolos, y tras redactar, en una subsecuente fase las descripciones de dichos modelos, realicé la abstracción de sus conceptos esenciales.

En cada ficha individual he omitido, después de indicar las abstracciones derivadas de mi proceso de investigación, una solución de diseño particular, ya que en el siguiente capítulo de mi trabajo, titulado: "Solución de diseño", he conjuntado esas abstracciones en una solución de diseño integradora de todos los principios básicos naturales que previamente he identificado.



## *Ficha uno: El huracán*

**M.I.PRO.1**  
Página 1

1. *Clave:* **M.I.PRO.1** Tipo de ambiente: Mixto (puede utilizar varios ambientes)  
Entidad Inanimada; Proceso

2. *Entidad biológica o inanimada:* Huracán.

3. *Revisión en distintas fuentes de consulta:*

### **Los Huracanes.**

La palabra Huracán viene de “furacán”, que escuchó Cristóbal Colón de los nativos durante su segundo viaje; es el nombre más común que se da a los vórtices atmosféricos terrestres más grandes. Son tormentas caracterizadas por vientos muy fuertes (mayores a 120 km/h) que, en trayectorias espirales, se mueven hacia un centro común conocido como el ojo del huracán. En el hemisferio norte el giro es invariablemente ciclónico, es decir, en contra de las manecillas del reloj, y en el hemisferio sur al contrario. Llamados también tifones y ciclones, entre otros muchos nombres, se empezaron a registrar en forma regular a partir del descubrimiento de América.

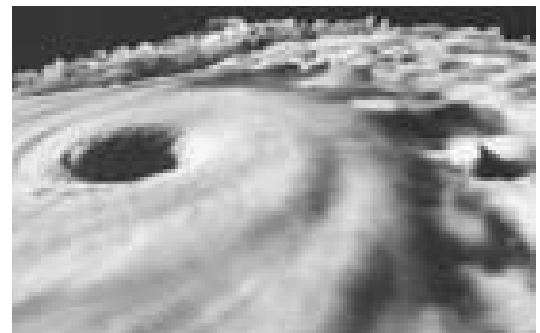
La historia de muchos de estos fenómenos usualmente va acompañada de tragedias: vastas inundaciones, numerosas embarcaciones desaparecidas, incalculables daños materiales e incontables pérdidas de vidas humanas sellan los recuentos del paso de los huracanes.

Kamikazi, el “viento divino”, es el nombre que recibió el tifón que en 1281 acabó con las aspiraciones de Kublai Khan para invadir el Japón. La flota completa, con más de 100 000 soldados chinos, mongoles y coreanos, desapareció en la Bahía de Hakata, Japón.

En términos de vidas humanas, las mayores catástrofes registradas fueron en 1737, cerca de Calcuta, India; en 1881 en Haifong, Vietnam, y en 1970 en la Bahía de Bengala, Bangladesh; se estima que más de trescientas mil personas perdieron la vida en cada caso (Butikov, 2002-October). La presencia de intensas lluvias, de hasta decenas de centímetros cúbicos en unas horas, aunadas a una marejada que supera los 10 m de altura, ha dado lugar a las inundaciones que cobran la mayoría de las víctimas.

Con una extensión que puede llegar a los 2 000 Km. de diámetro, los huracanes viajan con velocidades relativamente bajas e irregulares que oscilan entre los 10 y los 50 km/h. La duración de uno de estos ciclones también es muy variable, pues puede ser de unas horas hasta varias semanas, y recorrer distancias de hasta 2 000 Km.

Los vientos en la espiral alcanzan velocidades cercanas a los 350 km/h en la vecindad del ojo, dentro del cual una calma desconcertante aparece abruptamente, ya que en tan sólo unos minutos el viento pasa de una feroz violencia a una muy leve brisa.



**Fig. 1 (M.I.PRO.1).**- Huracán Diana fotografiado desde un satélite de la NASA



En el ojo del huracán, cuyo diámetro varía entre los 20 y los 100 Km., la presión atmosférica alcanza los valores más bajos que se hayan registrado en la superficie de la Tierra.

El hecho de que transportan grandes cantidades de agua a través de varios grados de latitud y que se estima que un huracán maduro transporta entre 2,000 y 4,000 millones de toneladas de aire por hora, los convierte en elementos importantes para la circulación y transporte atmosféricos globales en la Tierra. El calor que llevan de zonas tropicales a latitudes más frías y las lluvias que dejan a su paso son parte de los beneficios que traen consigo (The Florida State University, 2002).

### **Efecto Coriolis.**

Para tener una idea sobre los elementos que contribuyen a la formación, estructura y sostén de un huracán, es necesario tomar en cuenta que todo lo vemos desde la superficie giratoria de la Tierra, lo que complica un poco las cosas.

El primero en estudiar el movimiento de cuerpos desde un sistema de referencia en rotación fue Gustave-Gaspard Coriolis (1792-1843). En 1835, Coriolis publicó un trabajo en el que mostraba que si un objeto se mueve sobre una superficie que gira, aparece una fuerza perpendicular a la dirección de su movimiento. Esta fuerza, conocida ahora como la Fuerza de Coriolis, da lugar a una trayectoria curva, vista desde la superficie.

Para apreciar mejor el efecto vamos a imaginar la siguiente situación: Un simpático joven tiene una pelota en la mano y está parado en la parte interior de un carrusel que gira; es el que recoge los boletos. Un niño da vueltas sobre uno de los caballitos de la orilla (nada cambia si los caballos se sustituyen por otros mamíferos). La hermana mayor del niño los observa girar desde la orilla, pues teme subirse. El joven se percata de la hermana al verla pasar periódicamente y decide que la próxima vez que se encuentre cerca le va a lanzar la pelota al niño para congraciarse con ella. Cuando los tres están alineados, lanza la pelota al niño y ésta va a caer en las manos de otra sorprendida muchacha.

Analicemos lo ocurrido. Desde el punto de vista del niño y el joven, lo que ocurrió es que la pelota siguió una trayectoria extraña; en lugar de viajar en línea recta entre los dos, una fuerza extraña pareció desviarla y fue a dar a las manos de una muchacha que iba pasando. Por su parte, la hermana ve a la pelota seguir una trayectoria recta y directa a la otra joven, sintiéndose incómoda por haber creído, como el niño, que era la futura poseedora de una pelota. Al niño sin pelota y al joven sin la hermana, sólo les queda invocar la existencia de fuerzas extrañas o de agentes invisibles para explicarse el suceso.

En la Tierra, que rota hacia el este, un objeto que es lanzado de sur a norte seguirá una trayectoria curva; en lugar de viajar directo al norte se desviará hacia la derecha, en el hemisferio norte, y hacia la izquierda en el hemisferio sur, abajo del ecuador. Por otra parte, la velocidad de giro depende de la latitud, siendo cada vez más pequeña al acercarse a los polos y máxima en el ecuador; quien se encuentra más lejos del eje de rotación recorre mayor distancia en menos tiempo (va más rápido), como saben los que han practicado las "coleadas". Así, la magnitud de la fuerza de Coriolis depende del movimiento del objeto (su velocidad y dirección), de la rotación terrestre y de la latitud (UCAR, 2005).

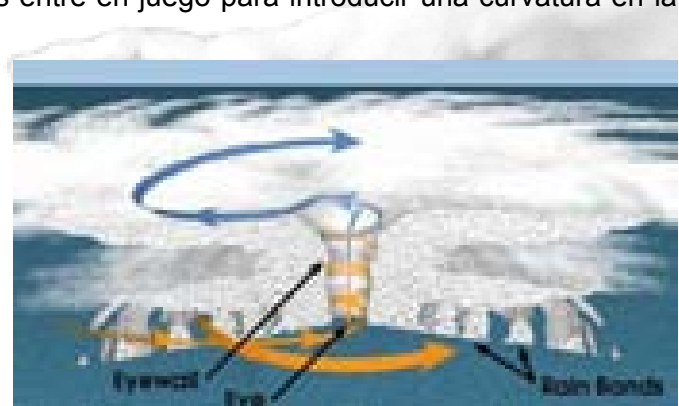
Con la guía de Coriolis podemos ahora resumir las condiciones que se requieren para la formación de los huracanes. Una es que la fuerza de Coriolis sea mayor que cierto valor mínimo. Como ésta es cero en el ecuador y empieza a crecer con la latitud; los vórtices que nos ocupan se generan fuera de un cinturón de aproximadamente 7° de latitud, al norte y al sur del ecuador (como de 1 300 km de ancho). La dirección del giro de los huracanes se debe únicamente a esta fuerza. Dentro de esta banda los posibles huracanes al no saber en qué dirección podrían girar, prefieren no existir.



**Fig. 2 (M.I.PRO.1).**- Efecto Coriolis debido a la rotación terrestre.

Otra condición necesaria es la presencia de una superficie extensa de agua, con una temperatura mínima de 27°C, que dé al aire circundante grandes cantidades de vapor para generar y mantener una tormenta tropical. Bajo estas circunstancias, la zona se encuentra en un estado tal que pequeñas perturbaciones pueden amplificarse y dar lugar a movimientos de grandes masas de aire húmedo, especialmente si se presentan corrientes horizontales (chorros) de aire. La convección resultante (movimiento de masas de aire) se hace tumultuosa en un tiempo relativamente corto, reforzándose los vientos y permitiendo que el efecto de Coriolis entre en juego para introducir una curvatura en la corriente, organizándose la estructura ciclónica.

Una vez iniciado el fenómeno, se sostiene por periodos que van de unas horas hasta varias semanas, gracias al mecanismo que se describirá esquemáticamente a continuación: En una zona de unos centenares de metros sobre la superficie del agua, llamada capa de Ekman, el aire húmedo se mueve horizontalmente y en espiral hacia el centro de giro. Al llegar cerca del ojo del huracán cambia abruptamente su dirección y asciende varios kilómetros en una especie de chimenea hueca, que limita la zona del ojo. En este movimiento de subida, que no es otra cosa que una consecuencia del principio de Arquímedes, el aire caliente se expande y se va enfriando. En consecuencia, la humedad se condensa, liberándose energía (calor latente) en grandes cantidades. Las gotas de agua condensada forman las torrenciales lluvias y la energía disponible es empleada en reforzar los vientos y trasladar el ciclón.



**Fig. 3 (M.I.PRO.1).**- Corte transversal de un huracán donde se aprecia su estructura interna: ojo, pared del ojo, bandas de lluvia periféricas y corrientes de aire caliente y frío que le dan forma.

Esta es la razón por la que se habla de una máquina térmica cuando se refiere uno al mecanismo físico que mantiene a un huracán. Al llegar a tierra firme pierde su fuente más importante de energía y se debilita, disipándose en cuantiosas lluvias. La clave está en el hecho de que cuando el vapor de agua se condensa, juntándose en gotas, se libera energía (National Weather Service, 2008).

De acuerdo con la Organización Mundial Meteorológica, las perturbaciones meteorológicas de baja presión se clasifican con distintos nombres, dependiendo de su intensidad. A la curva que resulta de unir los puntos en donde la presión es la misma se le llama isobara; se dice que es abierta si no forma una curva parecida a un círculo. En su estado inmaduro, con vientos ligeros en rotación y con isobaras abiertas, se les llama perturbaciones tropicales (NOAA, 2008a).

Cuando los vientos en rotación han aumentado, sin exceder los 63 km/h, y aparecen algunas isobaras cerradas en el mapa meteorológico, se dice que se ha desarrollado una depresión tropical. Se convierten en tormentas tropicales cuando los vientos, claramente en rotación, son mayores a 63 km/h pero menores a 120 km/h y las isobaras son cerradas en su mayoría.



Fig. 4 (M.I.PRO.1).- De derecha a izquierda, las etapas del desarrollo de un huracán.

Se reserva el nombre de huracán para los casos en los que los vientos son superiores a los 120 km/h. El verdadero bautizo ocurre cuando una depresión tropical se convierte en una tormenta. En ese momento se les pone un nombre (de mujer y de hombre, en forma alternada) por orden alfabético. Por ejemplo, el primero puede ser Aspergencia, el segundo Bugambilio, y así sucesivamente hasta Zuperman; el siguiente será Agapita y se vuelve a dar vuelta al alfabeto, dado que en promedio se producen cerca de 60 tormentas tropicales y huracanes cada año en todo el mundo.

### **Escala Saffir-Simpson.**

Es importante mencionar la escala de los huracanes ideada por Saffir-Simpson, ya que clasifica los huracanes según la intensidad del viento, y fue desarrollada en 1969 por el ingeniero civil Hervert Saffir y el director del Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos, Bob Simpson.

La escala original fue desarrollada por Saffir mientras pertenecía a una comisión de las Naciones Unidas dedicada al estudio de las construcciones de bajo coste en áreas propensas a sufrir huracanes. En el desarrollo de su estudio, Saffir se percató de que no había una escala apropiada para describir los efectos de los huracanes.

Apreciando la utilidad de la escala sismológica de Richter para describir terremotos, inventó una escala de cinco niveles, basada en la velocidad del viento, que describía los posibles daños en edificios. Saffir cedió la escala al Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos; posteriormente Simpson añadiría a la escala los efectos del oleaje e inundaciones. No son tenidas en cuenta ni la cantidad de precipitación ni la ubicación, lo que significa que un huracán de categoría 3 que afecte a una gran ciudad puede causar muchos más daños que uno de categoría 5 que incida sobre una zona despoblada (NOAA, 2008b).

Las cinco categorías de la escala Saffir-Simpson, en orden ascendente de intensidad, son:

<b>1</b>	Veloc. del viento	33–42 m/s	119–153 km/h	64–82 kt.	74–95 mph
	Oleaje	1.2–1.5 m.		4–5 ft	
	Presión central	980 hPa		28.94 inHg	
	Nivel de daños	Sin daños en las estructuras de los edificios. Daños básicamente en casas flotantes no amarradas, arbustos y árboles. Inundaciones en zonas costeras y daños de poco alcance en puertos.			
	Ejemplos	Huracán Agnes – Huracán Danny – Huracán Ofelia – Huracán Vince			
<b>2</b>	Veloc. del viento	43–49 m/s	154–177 km/h	83–95 kt	96–110 mph
	Oleaje	1.8–2.4 m		6–8 ft	
	Presión central	965–979 mbar		28.50–28.91 inHg	
	Daños potenciales	Daños en tejados, puertas y ventanas. Importantes daños en la vegetación, casas rodantes, etc. Inundaciones en puertos así como ruptura de pequeños amarres.			
	Ejemplos	Huracán Bob – Huracán Bonnie – Huracán Frances – Huracán Juan			
<b>3</b>	Veloc. del viento	50–58 m/s	178–209 km/h	96–113 kt	111–130 mph
	Oleaje	2.7–3.7 m		9–12 ft	
	Presión central	945–964 mbar		27.91–28.47 inHg	
	Daños potenciales	Daños estructurales en edificios pequeños. Destrucción de casas rodantes. Las inundaciones destruyen edificaciones pequeñas en zonas costeras y los objetos a la deriva pueden causar daños en otros edificios. Posibilidad de inundaciones tierra adentro.			
	Ejemplos	Huracán Fran – Huracán Isidore – Huracán Jeanne			
<b>4</b>	Veloc. del viento	59–69 m/s	210–249 km/h	114–135 kt	131–155 mph
	Oleaje	4.0–5.5 m		13–18 ft	
	Presión central	920–944 mbar		27.17–27.88 inHg	
	Daños potenciales	Daños generalizados en estructuras protectoras, desplome de tejados en edificios pequeños. Alta erosión de bancales y playas. Inundaciones en terrenos interiores.			
	Ejemplos	Huracán Charley – Huracán Hugo – Huracán Iris – Huracán Katrina			
<b>5</b>	Veloc. del viento	≥70 m/s	≥250 km/h	≥136 kt	≥156 mph
	Oleaje	≥5.8 m		≥19 ft	
	Presión central	<920 mbar		<27.17 inHg	
	Daños potenciales	Destrucción de tejados completa en algunos edificios. Las inundaciones pueden llegar a las plantas bajas de los edificios cercanos a la costa. Puede ser requerida la evacuación masiva de áreas residenciales.			
	Ejemplos	Huracán Andrés – Huracán Camilo – Huracán Mitch – Huracán Gilbert			

NOTAS: La velocidad del viento, al ser variable, está tomada como la media en un minuto. Los valores de la presión central son aproximados. La intensidad de los huracanes en los ejemplos es tomada en el momento de su impacto con la costa, no en su momento de máxima intensidad (si es que era mayor en mar abierto).

En una acción internacional promovida por la ONU, durante la década de los años noventa, una comisión multidisciplinaria presidida por James Lighthill, uno de los más notables hidrodinámicos de ese siglo, inició estudios de la más diversa índole para esclarecer el tema de los huracanes y con el propósito fundamental de hacer más eficientes las gigantescas simulaciones numéricas que desde entonces se llevan a cabo para poder predecir su aparición, intensidad, dirección y duración.

En 1991, la predicción de la evolución de un ciclón por una semana requería de un tiempo de 75 horas de cómputo (usando la computadora más grande y rápida del mundo). Uno de los problemas más grandes ha sido la falta de datos meteorológicos suficientes y confiables para alimentar las simulaciones numéricas que se hacen hoy en día en varios centros de investigación dedicados exclusivamente al estudio de los huracanes.

### **Los fluidos del huracán.**

La belleza de un atardecer en el que las nubes se mezclan, cambian de forma y de color, crecen o se desvanecen hasta quedar en nada, se multiplica y enriquece al descubrir los diversos y complejos procesos que se conjugan para presentar el espectáculo. Lo mismo sucede al observar las olas que llegan a una playa, el fuego en una hoguera o la corriente de un río que, pareciendo nunca cambiar y repetirse siempre, nunca son iguales; ésta es parte de la magia de los fluidos.

La seducción viene de todas partes: de las gotas de lluvia que se estrellan en la superficie del agua, de las variadas franjas y manchas de colores que vemos en una imagen de Júpiter, de las hileras de pequeñas burbujas ascendentes que parecen salir de ningún lado en el seno de un vaso de cerveza, del caprichoso ascenso de una columna de humo, de las maravillosas pompas de jabón y, observando con cuidado, de todo lo que está a nuestro alrededor. Todas son manifestaciones de lo mismo: la dinámica de los fluidos.

Genéricamente llamamos fluidos a los líquidos y a los gases que nos envuelven, formando parte esencial de nuestro medio ambiente. El agua y el aire son los más comunes y, como punto de referencia, los mantendremos en mente como prototipos de fluidos. Su ubicuidad les confiere su importancia. Completar nuestra descripción y comprensión del comportamiento de los fluidos es una imperiosa necesidad para entender el funcionamiento de los huracanes. El aire y el agua siempre han sido parte esencial de la vida de este planeta.

Una sustancia que bajo la acción de una fuerza cortante, por pequeña que ésta sea, se deforma sin límite se dice que fluye. ¡Un fluido es un material que fluye! Por ello, el mar bajo la acción del viento, que produce una fuerza cortante sobre su superficie, se deforma sin límite, se mueve continuamente sin lograr frenar al viento por tenue que éste sea: la deformación resultante es la que percibimos como oleaje.

Desde un punto de vista práctico, cualquier fluido como el agua o el aire forma una estructura continua y suave al estudiarlo macroscópicamente. La *hipótesis del continuo* consiste en suponer que todas las cantidades necesarias para caracterizar a un fluido, como pueden ser su temperatura, su velocidad, su densidad, etc., están bien definidas en cada punto del espacio y varían suavemente de uno a otro (Perala-Fabi, 1993).

Para analizar cómo interactúan los fluidos frente a diversos cuerpos sólidos, se utilizan túneles de viento en donde son creadas lo que se llama *líneas de corriente* o *de flujo*. En cada punto de éstas el vector velocidad (cada línea) es paralela. En donde las líneas de corriente tienden a juntarse la velocidad es mayor que en aquellas donde parecen separarse.

En la figura 6 (M.I.PRO.1), se ilustran estas curvas, que muestran un flujo uniforme y lento alrededor de un cilindro circular. Nótese que es casi imposible distinguir la dirección del flujo. Si consideramos flujos en dos dimensiones, como en el flujo de una película delgada encima de una superficie, sólo necesitamos dos cantidades, la magnitud y el ángulo con respecto a una dirección; esta última la escogeremos con base en algún punto de referencia elegido a nuestra conveniencia.

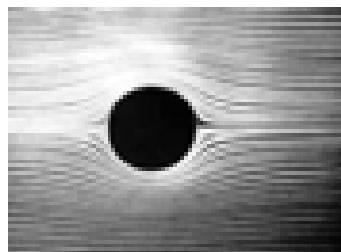


Fig. 5 (M.I.PRO.1).

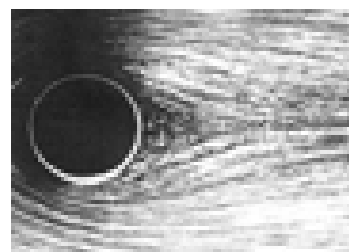


Fig. 6 (M.I.PRO.1).

La fotografía 7 (M.I.PRO.1), muestra el flujo alrededor de un cilindro, como en la figura anterior, la diferencia estriba en que en este caso la velocidad con la que llega el fluido (de derecha a izquierda) es mucho mayor.

En la práctica, lo que se acostumbra es suspender en el fluido partículas reflectoras de luz (hojuelas de aluminio) que al ser iluminadas son captadas por una cámara, como se aprecia en la figura 8 (M.I.PRO.1). La exposición debe ser tan breve como para que las trazas dejadas en la película sean segmentos rectos. Las partículas suspendidas en el fluido se mueven con éste sin alterar el flujo, de modo que las fotografías nos revelan las líneas de corriente y sus velocidades.

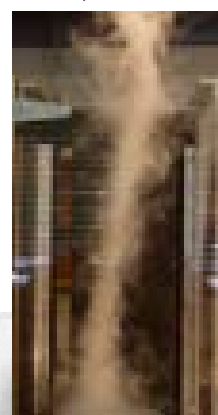


Fig. 7 (M.I.PRO.1).

Esta técnica de visualización, es un elaborado arreglo experimental en el que intervienen adelantos tecnológicos en óptica, electrónica, computación y diseño mecánico. El cómputo digital de imágenes y datos, logrados a partir del análisis de luz láser, dispersada por esferas de poliestireno de una micra de diámetro suspendidas en el fluido, permite estudiar minuciosamente flujos que hace décadas ni se imaginaban, en particular los flujos turbulentos, caóticos y complejos, como los de los huracanes.

El Teorema de Bernoulli ha sido la primera formulación del principio de conservación de la energía para el caso de los fluidos. Este teorema establece que la suma de tres cantidades es igual a una constante (Perala-Fabi, 2004):

$$A + B + C = \text{constante}$$

Los sumandos corresponden a tres formas particulares de energía. El primero tiene que ver con el estado de movimiento, el segundo con la altura a la que se encuentra y el tercero con la presión. Si la suma de estas cantidades ha de permanecer constante es preciso que al aumentar una de ellas, al menos una de las restantes se vea disminuida en la proporción adecuada. Por ejemplo, en un tubo horizontal, como el de la figura 9 (M.I.PRO.1), en que el término  $B$  de la fórmula permanece fijo (la altura no cambia), la suma de  $A$  y  $C$  es la relevante. Puesto que en cada sección del tubo ( $s_1$  y  $s_2$ ) la cantidad de fluido que pasa es la misma, en la región más estrecha ( $s_2$ ) la velocidad debe ser mayor que en la más ancha ( $s_1$ ).



Fig. 8 (M.I.PRO.1).

De acuerdo con el teorema de Bernoulli, la presión es menor en donde la velocidad es mayor, es decir, en la zona angosta.

Veamos algunos casos en los que la aplicación del teorema de Bernoulli es más interesante:

Imaginemos un tubo vertical por el que sale un chorro de aire, figura 10 (M.I.PRO.1), por ejemplo, el tubo de una aspiradora casera conectado por la parte de atrás. Al poner una esfera ligera, digamos una pelota de ping-pong, dentro del chorro ascendente, ésta permanece ahí sin caer. La razón es que la presión del aire en el chorro (cuya velocidad es grande) es menor que la del aire fuera de éste (con velocidad baja). Cuando la pelota empieza a salir de la corriente, la presión exterior, mayor a la interior, la regresa al chorro. El otro efecto, superpuesto al anterior, es la competencia entre el empuje del chorro, hacia arriba, y el peso de la esfera.



Fig. 9 (M.I.PRO.1).

Usando el razonamiento anterior se explica el hecho de que al suspender dos esferas ligeras cercanas una de la otra y soplar en medio de ellas, se aproximen y choquen entre sí, como si apareciera una fuerza de atracción, como en la figura 11 (M.I.PRO.1) de la derecha.

Esta atracción aparente, debida a la distinta distribución espacial de presiones, que es sencilla de explicar invocando el teorema de Bernoulli, es el origen de múltiples fenómenos que de otra manera parecerían incomprensibles. Entre ellos, destaca la atracción entre automóviles y barcos que viajan paralelos. Cuando un automóvil rebasa a un camión de grandes dimensiones, es necesario sostener el volante con cierta fuerza; si se deja el volante libre, el automóvil se moverá hacia el camión.

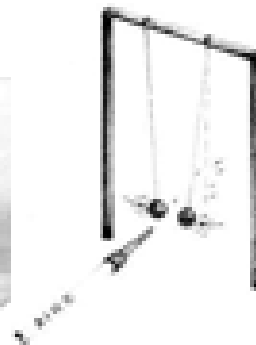
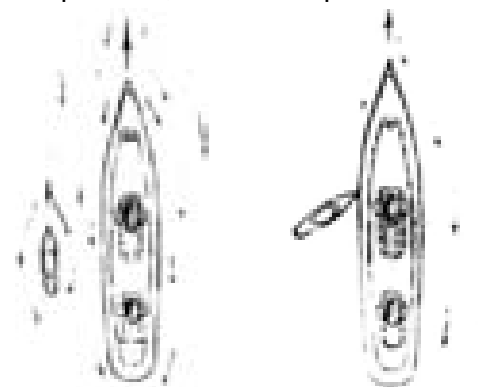


Fig. 10 (M.I.PRO.1).

Los capitanes de grandes navíos conocen este efecto; Un caso conocido es el de los barcos *Olympic* y *Hauk*. El primero, un trasatlántico de grandes dimensiones, navegaba tranquilamente en mar abierto durante el mes de octubre de 1912. El segundo era un acorazado, muy pequeño en relación al *Olympic*, que navegaba con una velocidad mucho mayor y en forma paralela, como se aprecia en la figura 12 (M.I.PRO.1). Al encontrarse a una distancia de unos cien metros sucedió algo imprevisto: el *Hauk* cambió de rumbo en forma intempestiva y se dirigió directo al *Olympic*, sin que el timón sirviera para evitar la colisión, ver figura 13 (M.I.PRO.1). La proa del acorazado se hundió en el casco del gran trasatlántico, abriendo una aparatosa vía de agua. Lo que ocurrió fue precisamente un caso de *atracción hidrodinámica*. Entre los navíos se formó un "canal" por donde el agua pasó más rápido que en la región exterior, esto en ambos barcos, que se consideran fijos. La diferencia de presiones entre la zona interna y la zona externa produjo una fuerza de atracción entre ambas embarcaciones que se puso de manifiesto en la nave más pequeña (Perala-Fabi, 2004).

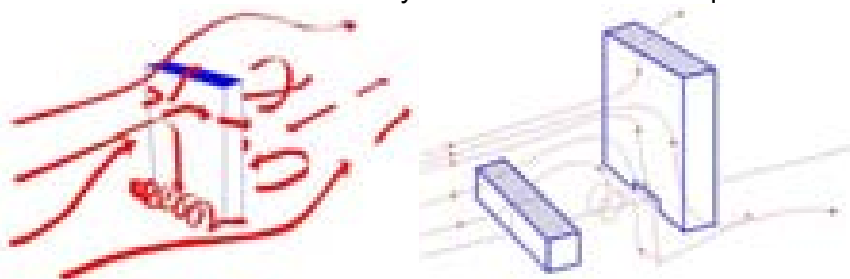


Figs. 11 (M.I.PRO.1) y 12 (M.I.PRO.1).

**Cómo interactúan el viento huracanado, el terreno y las construcciones.**

Entre los factores que inciden en los efectos del viento huracanado sobre las construcciones, se encuentran la localización de éstas y las obstrucciones del entorno. La ubicación de una edificación frente al embate de fuertes vientos, fig. 14 (M.I.PRO.1), así como la presencia de otros edificios de menor tamaño pueden contribuir a acelerar la velocidad del viento y suscitar turbulencias que afectan

tanto la fachada frontal (muros a barlovento) como la fachada posterior de la edificación (muros a sotavento), con un aumento considerable de la presión eólica básica que tiene que soportar la construcción, fig. 15 (M.I.PRO.1). Otros factores, como las aberturas existentes en la parte más baja de la fachada del edificio, conllevan un inusual incremento de la velocidad del viento y de las turbulencias en la parte posterior del inmueble, fig. 16 (M.I.PRO.1). En las edificaciones de techos a dos aguas, el viento origina turbulencias en las cubiertas a sotavento y en las paredes posterior y laterales, fig. 17 (M.I.PRO.1).



Figs. 13 (M.I.PRO.1) y 14 (M.I.PRO.1).



Figs. 15 (M.I.PRO.1) y 16 (M.I.PRO.1).

La presión que ejerce el viento sobre el sistema estructural de los edificios es una función de la parte dinámica de la ecuación de Bernoulli, conocida como presión básica, que se ve modificada por una serie de factores, entre otros (Comarazamy, 2005):

- ❖ Rugosidad del terreno
- ❖ Altura de la edificación
- ❖ Topografía de la región
- ❖ Importancia o tipo de la estructura
- ❖ Variabilidad en la dirección del viento
- ❖ Velocidad del viento
- ❖ Turbulencia
- ❖ Aberturas en fachadas

*Rugosidad del terreno.* La rugosidad del terreno incide sobre la velocidad del viento y la turbulencia. Mientras más irregular sea la superficie menor será la velocidad pero mayor la turbulencia, ver fig. 18 (M.I.PRO.1).

El tamaño y la densidad de los objetos que se encuentran en la superficie del terreno, como edificios y árboles, dan forma a su rugosidad.

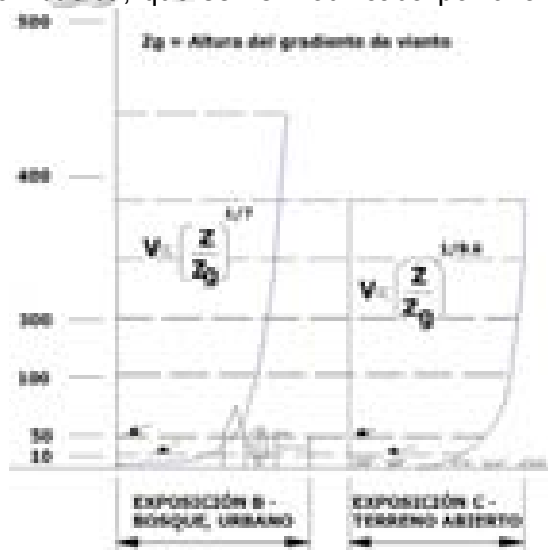


Fig. 17 (M.I.PRO.1).- En la gráfica de la izquierda, de 0 a 10 mts. el viento es más lento, pero hay mayor turbulencia de 0 a 50 mts.



La longitud de la rugosidad del terreno indica la magnitud de la influencia de ésta sobre la velocidad del viento y la turbulencia longitudinal: cuanto más escarpado sea el terreno mayor será la rugosidad y, por consiguiente, mayor será el efecto de fricción que retarde la velocidad del viento y aumente la turbulencia.

*Altura de la edificación.* La viscosidad que se produce entre un fluido en movimiento y una superficie sólida hace que se generen esfuerzos cortantes en el sentido opuesto a la dirección del fluido en movimiento. Un efecto similar ocurre entre los objetos situados en la superficie de la tierra y el viento que sopla sobre ella.

A medida que aumenta la altura, también aumenta la velocidad del viento hasta alcanzar una velocidad constante, llamada velocidad gradiente que es independiente de la irregularidad del terreno. Para predecir esta variación de la velocidad del viento en función de la altura, se utiliza el método de la ley exponencial, para extrapolar la velocidad del viento de una altura a otra.

En algunos códigos de construcción en países de la zona del Caribe se incluyen tablas de los coeficientes de rugosidad que afectan la presión básica, expresados tanto en función de la variabilidad exponencial de barlovento como de la presión básica uniforme en paredes de sotavento.

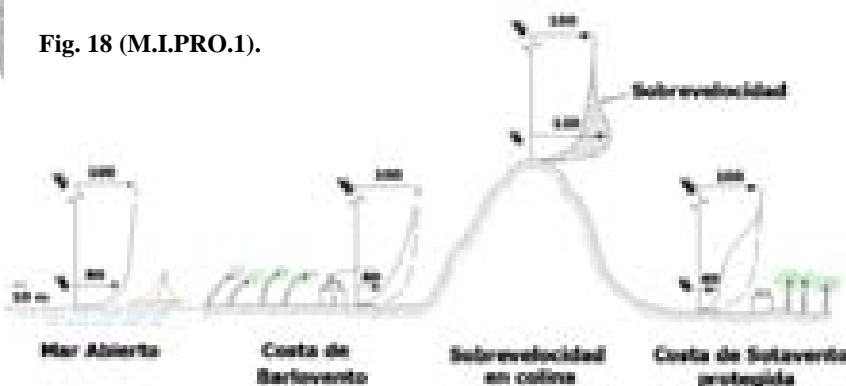
*Topografía de la región.* La topografía del área puede afectar al comportamiento del viento. Las colinas y terrenos escarpados pueden generar aceleraciones repentinas en la velocidad del viento, y en determinadas circunstancias las cargas del viento pueden aumentar hasta en 80%. Este incremento dependerá de varios factores, como la ubicación de la estructura y los efectos de atenuación horizontal y vertical.

Convendrá realizar estudios para determinar eventuales reducciones de la velocidad del viento debido a la protección de valles y barrancos situados a sotavento, ver fig. 19 (M.I.PRO.1).

*Importancia o tipo de la estructura.* La importancia del uso de la estructura es un factor diferenciado que afecta la presión básica del viento sobre los edificios. Ésta consiste en la función de una relación cuadrática entre la velocidad eólica básica asociada a un intervalo promedio de reincidencia y otro intervalo de 50 años. Se establece un factor de importancia dependiendo del sistema estructural utilizado. En el caso de hospitales se recomienda asumir un período de rendimiento de 100 años.

*Variabilidad en la dirección del viento.* La presión básica acusa el efecto de la incertidumbre debida a la probabilidad de que el viento golpee la estructura desde cualquier dirección. Al determinar la presión de diseño se debe tomar en cuenta este parámetro, conocido como variabilidad en la dirección del viento.

Fig. 18 (M.I.PRO.1).



*Velocidad del viento.* La velocidad del viento es el factor individual más importante en la determinación de la presión básica. Las distintas normas en materia de construcción resistente al viento vigentes en los países de Centroamérica y el Caribe expresan este parámetro de manera muy disímil; sin embargo, la más utilizada es la medición de ráfagas de 3 segundos. Los estudios más sofisticados y las simulaciones por computadora permiten conocer los diferentes niveles locales de riesgo e incluso proporcionan datos para establecer criterios de zonificación en función del riesgo.

*Turbulencia.* El movimiento del viento es turbulento y es difícil dar una definición matemática concisa de la turbulencia, sin embargo, se sabe que la turbulencia del viento existe debido a la baja viscosidad del aire comparada con la del agua. Cualquier movimiento del aire superior a 4 km/h es turbulento, ya que las partículas del aire se mueven de manera errática en todas las direcciones.

Para el diseño estructural, se suele considerar que la velocidad del viento tiene dos componentes: la velocidad media (cuyo valor aumenta en función de la altura) y las fluctuaciones por turbulencia.

*Aberturas en fachadas.* Las aberturas en paredes expuestas a la acción del viento revisten gran importancia al momento de definir los coeficientes de presión. Se trata de los orificios en las fachadas de la estructura, cuya presencia puede ser crítica en cualquier inmueble expuesto a la fuerza del viento huracanado. Todas las ventanas, puertas u otros orificios se considerarán aberturas a menos que hayan sido concebidas y diseñadas con sistemas de aseguramiento o protección para resistir cargas eólicas e impactos de proyectiles lanzados por el viento. En función de estos criterios, cabe definir tres tipos de estructuras:



**Fig. 19 (M.I.PRO.1).**- Efectos del huracán Gilbert sobre el Princess Margaret Hospital, en Jamaica, en el año de 1988, al carecer de ventanas con la protección debida.

**Estructuras abiertas:** Edificios donde el viento fluye libremente ya que tienen aberturas en más de un 80% del área total de sus fachadas.

**Estructuras cerradas:** Aquellas que no se definen como abiertas o parcialmente cerradas.

**Estructuras parcialmente cerradas:** Las que cumplen con las siguientes condiciones:

1.- El área total de aberturas en paredes expuestas a presiones positivas, o hacia el interior del edificio, es superior a 1.10 veces la suma de áreas abiertas del resto de la estructura total, incluidas fachadas laterales y a sotavento, cubiertas, etc.; y

2.- El área total de aberturas en paredes expuestas a presiones positivas supera  $0,4 \text{ m}^2$  o el 1% del área total de la pared considerada –la menor de estas dos opciones- y, en el resto de la estructura, el índice de la superficie total de aberturas y el área total no deberá superar el 20%, esto es, excluyendo la pared que se encuentre a barlovento.

### **Presión de Diseño.**

La acción del viento sobre las edificaciones ejerce una presión básica, modificada por los factores antes mencionados, que se conoce como *presión de diseño*. La presión de diseño es una función de diversos coeficientes de presión que se determinan experimentalmente, de coeficientes de las ráfagas de viento y de las presiones internas que se generan durante un huracán.

En el diseño de la configuración arquitectónica de un edificio de varias plantas se debe tener presente que los edificios que reaccionan dinámicamente a la acción del viento, debido a su flexibilidad suelen ser capaces de soportar fuerzas del viento más elevadas que los edificios que, por ser rígidos, no tienen un comportamiento dinámico en tales circunstancias (OPS, 2005).

Esta condición depende principalmente de la frecuencia natural de la estructura. Se considera que un edificio es flexible cuando su frecuencia natural es inferior a 1 Hz. Así, al determinar la presión de diseño, el coeficiente de ráfaga será distinto según se trate de estructuras rígidas o flexibles.

Tal como se ha comentado anteriormente, la presión de diseño aumenta exponencialmente en el lado de barlovento y es uniforme en las demás paredes: laterales, de sotavento y en las cubiertas, tanto en los edificios con techo plano como en los de techumbre a dos o cuatro aguas.

### **Tipos de daños ocasionados por los huracanes.**

Los vientos huracanados son capaces de levantar los cimientos de una estructura. De ahí que en el diseño de todo tipo de edificaciones se deba tener presente que los huracanes pueden voltear por completo los edificios cuya fijación sea inadecuada, en particular si se trata de estructuras ligeras.

Los entramados de acero que no están adecuadamente concebidos pueden también fallar ante las altas presiones del viento, debido al deterioro, a la falta de mantenimiento o a un precario anclaje en las uniones de la estructura.



**Fig. 20 (M.I.PRO.1).**- Un edificio completo se volcó debido a la ausencia de anclajes o cimentación.

Las construcciones de mampostería no escapan a la acción del viento. Aunque se las considera relativamente seguras, la pérdida del techo hace que las paredes de mampostería no reforzada se comporten como cantos estructurales libres provocando su falla parcial o total.

El diseño de estructuras de concreto suele atender sólo a las cargas sísmicas; debe contemplarse la resistencia del edificio a las cargas eólicas para evitar catástrofes durante un huracán (Pineda y Alcocer, 2004).

Las construcciones de madera son las menos seguras por su naturaleza inherente. Además, la creciente escasez y el elevado costo de la madera ya no las hacen necesariamente más económicas que las de concreto y acero. Sin embargo, cabe señalar que es posible diseñar y construir edificios de madera capaces de resistir a los huracanes, siempre y cuando se utilice madera con las apropiadas características mecánicas para uso estructural, se provean las conexiones convenientes, y se realice el mantenimiento adecuado a la madera para preservarla de la humedad y los insectos.

**Vulnerabilidad estructural debida al diseño arquitectónico.**

Para reducir la vulnerabilidad de un futuro inmueble ante un huracán, es necesario cuidar, desde el desarrollo del diseño y del proyecto ejecutivo, los siguientes aspectos (OPS, 2005):

*Diseño en planta.* La configuración del edificio en planta determina en gran medida el comportamiento de su estructura ante las cargas de viento, ver fig. 22 (M.I.PRO.1). Es recomendable mantener simetría en las estructuras para lograr una distribución equilibrada de las cargas de viento. Si se opta por un diseño no simétrico, el diseñador deberá cerciorarse de que la estructura no se vea afectada por el efecto de torsión. Además del diseño estructural cuidadosamente planificado, se deberá conceder rigurosa atención al control de calidad de los materiales de construcción y su uso, así como a los métodos de construcción que se empleen.

*Configuración en altura.* La volumetría en altura de un edificio incide en su desempeño ante la acción del viento. Si existen cambios bruscos en la configuración o dimensiones de una planta a otra, se generarán altas presiones, especialmente en las esquinas y los elementos protuberantes, que irán en desmedro de la estructura en general.

*Techos.* La forma de techo que mejor interactúa con las cargas del viento es la de cuatro aguas (aquella que a partir de un plano rectangular deriva en pendiente en las cuatro direcciones), particularmente con ángulos de pendientes entre 20 y máximo 30 grados. Le sigue en idoneidad la cubierta de dos aguas, comparado con las techumbres de pendiente única o planos, siempre y cuando se mantenga este mismo rango de pendientes. También se recomienda mantener los aleros y salientes lo más cortos posible o eliminarlos, para evitar fallas estructurales debidas a las presiones del viento, habiéndose comprobado que los aleros largos tienden a generar presiones de levantamiento, especialmente en azoteas planas o con poca inclinación. La experiencia ha demostrado que las presiones locales generadas durante fuertes vientos son mayores en las esquinas y cumbreras de los techos.

Los cubiertas de concreto armado tienen un comportamiento satisfactorio ante cargas de viento laterales, sin embargo, cabrá conceder especial atención a la resistencia e idoneidad de los sistemas de sujeción entre el techo de concreto y los muros de mampostería o las vigas de amarre, en vista de

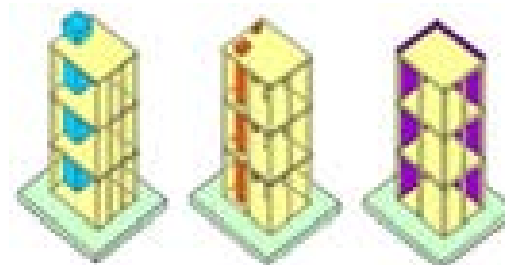


Fig. 21 (M.I.PRO.1).

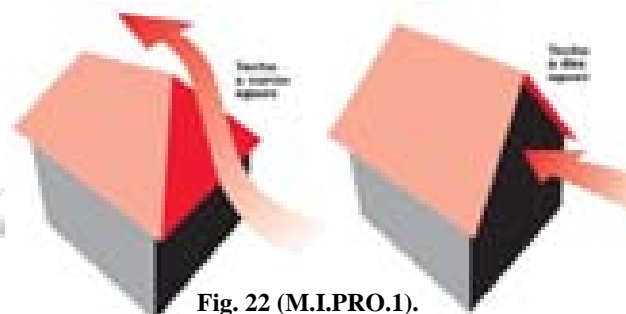


Fig. 22 (M.I.PRO.1).

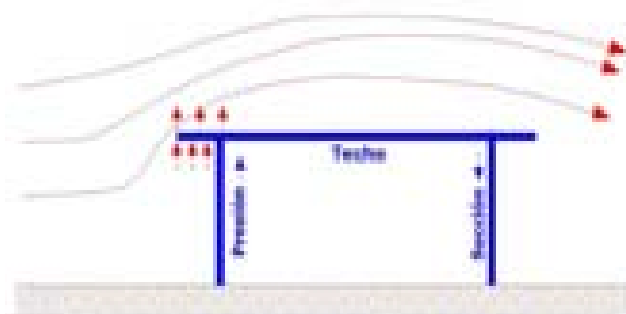


Fig. 23 (M.I.PRO.1).

que las aberturas en las fachadas, provocadas por la rotura de una puerta de acceso o de ventanas ante el impacto de escombros lanzados por el viento, pueden generar presiones negativas dirigidas hacia el exterior.

*Influencia de edificios adyacentes.* La concentración de edificios en un área determinada puede tener repercusiones positivas o negativas. Si los edificios están diseñados y construidos de acuerdo con normas actualizadas en materia de resistencia al viento, los edificios ubicados a barlovento protegerán a los demás edificios y la acción del viento conllevará pocos efectos adversos, según se aprecia en la figura 25 (M.I.PRO.1).

Por el contrario, si los edificios que se encuentran a barlovento no están diseñados ni localizados adecuadamente, pueden coadyuvar a la turbulencia que afecte a los edificios adyacentes, como en 26 (M.I.PRO.1).

*Otros efectos.* Los huracanes conllevan otros efectos devastadores que pueden afectar indirectamente a cualquier inmueble, por ejemplo, el incremento del caudal de ríos y cañadas como consecuencia de las fuertes lluvias asociadas a estos fenómenos. Esto puede agravar la erosión de la base de los estribos de los puentes o provocar deslizamientos que interrumpan tramos de carreteras e inhabiliten las líneas de suministro de servicios básicos, que priven a la población de los servicios esenciales.

### **Características del diseño de los edificios resistentes a huracanes.**

El proyecto y ejecución de construcciones capaces de resistir cargas eólicas extremas requiere el cumplimiento de una serie de etapas que deben llevarse a cabo, de conformidad con las exigencias existentes a la luz de los riesgos, en el lugar donde se ubicarán las estructuras.

Además, se deberá identificar las zonas propensas a inundaciones, deslizamientos, tormentas y marejadas, ya que estos subproductos de los huracanes pueden afectar considerablemente la integridad estructural de cualquier inmueble.

La mayoría de los problemas de vulnerabilidad de los edificios, relacionados con los efectos de los huracanes y de otras catástrofes naturales, se presentan por la falta de coordinación y comunicación entre las distintas partes responsables del diseño de los inmuebles. Se requiere del esfuerzo concertado entre las distintas partes interesadas (propietarios o administradores, arquitectos, calculistas, usuarios), para que en el diseño final se eviten completamente los daños provocados por el viento (Comarazamy, 2005). Cualquier abertura que ocasione un huracán en la envoltura externa de un inmueble, como el desprendimiento de una sección del techo o la ruptura de puertas y ventanas, puede provocar la inhabilitación funcional del mismo.

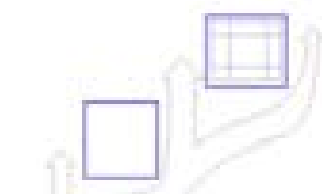
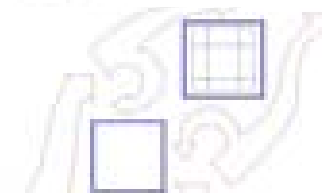


Fig. 24 (M.I.PRO.1).



*Adecuado análisis estructural.* Una vez que se haya determinado la velocidad básica promedio del viento para el lugar donde se ubicará el inmueble, se utilizan los principios de ingeniería eólica para determinar las cargas por viento que deberá soportar en circunstancias reales el edificio.

Definidas las presiones del viento probables, el ingeniero estructural podrá diseñar el establecimiento de manera que su sistema estructural primario resista adecuadamente las cargas impuestas sin sufrir ningún daño o con daños insignificantes.

En los análisis estructurales se deberá contemplar tanto la presión interna positiva como negativa y evaluarlas junto con las presiones perpendiculares a la cumbre y paralelas a ésta (OPS, 2005).

Asimismo, es importante el cuidadoso diseño de los elementos no estructurales, como los elementos constitutivos de las fachadas, ya que éstos podrían verse sometidos a grandes presiones debido a sus reducidas áreas efectivas.

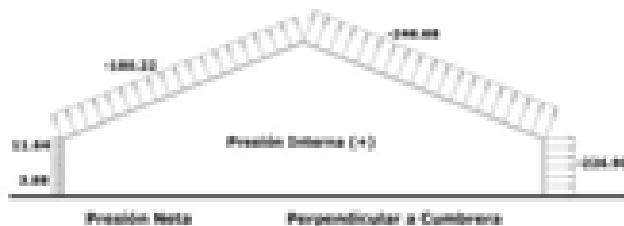


Fig. 25 (M.I.PRO.1).



*Verificación.* Los desplazamientos de los elementos de una estructura bajo la presión de vientos extremos pueden producir daños estructurales y no estructurales. Es necesario que se verifique que los desplazamientos máximos absolutos y relativos se encuentren dentro de los parámetros establecidos por la mayoría de las normas locales de construcción actualizadas.

La experiencia ha demostrado que los edificios diseñados con sistemas estructurales de losas planas, apoyadas directamente sobre columnas, sin ningún tipo de larguero o losa de refuerzo capaz de absorber fuerzas de perforación, son ineficientes y muy difíciles de reparar si han sufrido averías a raíz de un huracán.

También es importante verificar que se puedan transferir adecuadamente las cargas eólicas desde el techo hasta los cimientos a través de una ruta continua de transferencia de carga. Si el diseño original no contempla este aspecto, será necesario un nuevo y correcto rediseño de las uniones para evitar el colapso de la estructura.

Cabe hacer notar que el refuerzo estructural de un edificio ya construido, para resistir los efectos del viento, es menos complicado y más económico que el refuerzo estructural antisísmico.

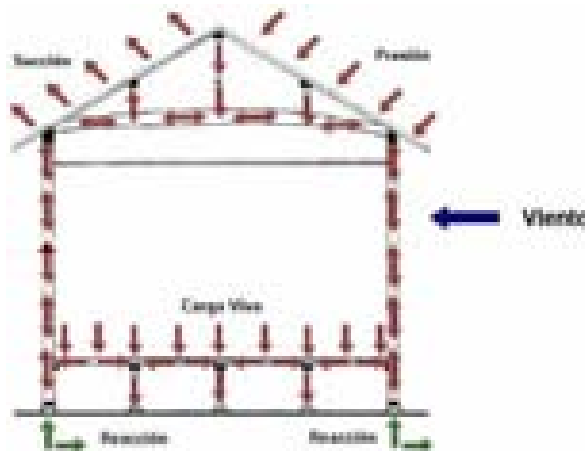


Fig. 26 (M.I.PRO.1).

Técnicas de refuerzo estructural de uso frecuente. Con el refuerzo estructural se busca mejorar la capacidad de un edificio para resistir las altas presiones producidas por los vientos huracanados.

También se deberán reforzar aquellos elementos exteriores no estructurales que, en caso de falla, permitirían que la fuerza del viento penetre en la envoltura externa del edificio, generando presiones internas que pondrían en peligro la integridad estructural de toda la construcción. Además, el viento y el agua que ingresen afectarían sin duda la funcionalidad del inmueble durante y después de un huracán, además de suponer un riesgo para los usuarios.

#### 4. Observaciones personales:

##### **Diseño aerodinámico e hidrodinámico.**

Es imprescindible poner atención a la fluidez que caracteriza a las fuerzas que componen al huracán: viento y agua. Por lo anterior, es necesario que los edificios cercanos a las costas sean construidos con características aerodinámicas e hidrodinámicas, a saber, formas sinuosas con suaves perfiles, utilizando líneas semicurvas y evitando en lo posible el diseñarlos con ángulos rectos entre sus diversos paramentos.

Adoptando los principios aerodinámicos e hidrodinámicos con los que ya han sido construidos innumerables artefactos útiles al hombre, podemos construir edificios verdaderamente resistentes a huracanes. Estos artefactos son capaces de resistir el impacto de las fuerzas del viento y del agua, cuyas velocidades alcanzan los cientos y en ocasiones miles de kilómetros, durante varias horas y sin sufrir daño alguno. Los artefactos a los que me refiero son los automóviles, barcos y aviones.

Si podemos adoptar, en la medida de lo posible, características aerodinámicas en nuestros edificios costeros, lograremos que éstos mantengan totalmente su estabilidad e integridad durante el embate de un huracán, utilizando únicamente las cantidades de masa y materiales constructivos indispensables, ubicándolos específicamente sólo en los lugares del inmueble que, gracias a su trabajo estructural de acuerdo a los principios aerodinámicos más elementales, lo requieran.

Tomaré y aplicaré en mi proyecto costero el ejemplo de la empresa Daimler-Chrysler, que en el año 2005 desarrolló para su marca Mercedes-Benz el automóvil Bionic, basándose en el diseño hidrodinámico del pez globo, para lo que analizó su forma exterior y su estructura ósea (Butler, 2008). En el modelo final, los ingenieros emplearon tan sólo más cantidad de acero en las áreas en donde el automóvil recibiría el impacto del viento con más fuerza y transmitieron eficientemente esta carga hacia el resto de la estructura, pudiendo así aligerarla en las zonas en donde no era necesario tener tanta masa, cuidando en todo momento el preservar la seguridad de los ocupantes.

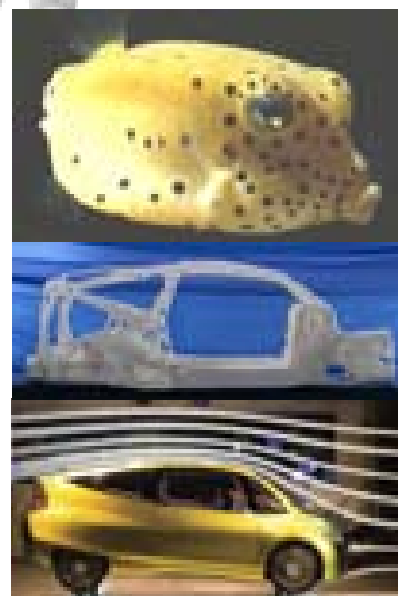


Fig. 27 (M.I.PRO.1).

Se consiguió de este modo aumentar, tanto la resistencia y estabilidad del automóvil a altas velocidades, como su ligereza y fluidez, lográndose una economía del 20% en el consumo de combustible respecto a modelos comparables, con hasta 80% menos emisión de contaminantes, y una enorme y muy segura facilidad de manejo, sin desmedro en la capacidad del espacio interior o la comodidad de los pasajeros, todo ello con una apariencia formal muy estética.

En este ejemplo, los investigadores pudieron abstraer los principios básicos del funcionamiento de una entidad animada perteneciente a un medio acuático para aplicarlos en la construcción de una entidad que sería puesta a funcionar en otro ambiente diferente, el terrestre. También se demostró que es posible aprovechar las semejanzas funcionales de dos fluidos, agua y aire, para construir un objeto en beneficio del hombre, por lo que los diseñadores de inmuebles también podemos aplicar estos principios hidrodinámicos y aerodinámicos en el diseño de un edificio verdaderamente resistente a huracanes.

<i>No.</i>	<i>5. Modelos funcionales:</i>	<i>Pág.</i>	<i>6. Abstracciones:</i>
1.	La presión básica acusa el efecto de la incertidumbre debida a la probabilidad de que el viento golpee la estructura desde cualquier dirección.	10	Incertidumbre en la dirección en la que el viento golpeará.
2.	Los edificios que reaccionan dinámicamente a la acción del viento, debido a su flexibilidad suelen ser capaces de soportar fuerzas del viento más elevadas que los edificios que, por ser rígidos, no tienen un comportamiento dinámico en tales circunstancias.	12	La flexibilidad (comportamiento dinámico) contribuye a soportar vientos más fuertes.
3.	Un edificio es flexible cuando su frecuencia natural es inferior a 1 Hz.	12	La frecuencia del edificio debe ser menor a 1 Hz.
4.	La volumetría en altura de un edificio incide en su desempeño ante la acción del viento.	13	Atender a la volumetría en altura del edificio.
5.	La forma de techo que mejor interactúa con las cargas del viento es la de cuatro aguas (aquella que a partir de un plano rectangular deriva en pendiente en las cuatro direcciones), particularmente con ángulos de pendientes entre 20 y máximo 30 grados.	13	Los ángulos entre los paramentos del techo deben ser como máximo de 30 grados.
6.	Verificar que se puedan transferir adecuadamente las cargas eólicas desde el techo hasta los cimientos a través de una ruta continua de transferencia de carga.	15	Vigilar la continua transferencia de cargas eólicas desde el techo hasta el cimiento.



<i>No.</i>	<i>5. Modelos funcionales (cont.):</i>	<i>Pág.</i>	<i>6. Abstracciones (cont.):</i>
7.	Con el refuerzo estructural se busca mejorar la capacidad de un edificio para resistir las altas presiones producidas por los vientos huracanados.	16	El refuerzo estructural contribuye a la resistencia del inmueble.
8.	Se deberán reforzar aquellos elementos exteriores no estructurales que, en caso de falla, permitirían que la fuerza del viento penetre en la envoltura externa del edificio, generando presiones internas que pondrían en peligro la integridad estructural de toda la construcción.	16	Reforzar todos los elementos exteriores no estructurales.
9.	La fluidez caracteriza a las fuerzas que componen al huracán: viento y agua. Por lo que es imprescindible que los edificios cercanos a las costas sean construidos con características aerodinámicas e hidrodinámicas.	16	Diseñar los inmuebles costeros con características aerodinámicas e hidrodinámicas.

*7. Solución de diseño:*

**Nota:** Favor de consultar, en el capítulo: "Solución de diseño", la integración de las abstracciones obtenidas en cada ficha por separado y la conclusión de diseño a la que he llegado.

*8. Referencias:*

❖ **Bibliografía y medios electrónicos.**

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Butikov E. (2002-October). <i>A dynamical picture of the oceanic tides.</i>	Am. J. Phys. 70 (10), pp. 1001-1011.	Am. J. Phys.
Butler R. A. (2008). <i>Biomimética, la tecnología que imita a la naturaleza.</i>	<a href="http://es.mongabay.com/news/2008/0216-050711-rhett_butler.html">http://es.mongabay.com/news/2008/0216-050711-rhett_butler.html</a>	28/10/08
Comarazamy Daniel. (2005). <i>Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, Efectos del Viento, Aspectos Estructurales.</i>	Washington, D.C., EE. UU.	Organización Panamericana de la Salud.

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
National Weather Service (2008). <i>GIS.</i>	<a href="http://gis2.esri.com/library/userconf/proc02/pap0376/p0376.htm">http://gis2.esri.com/library/userconf/proc02/pap0376/p0376.htm</a>	29/10/08
NOAA (National Organization of aeronautic administration). (2008a). <i>National Hurricane Center.</i>	<a href="http://www.nhc.noaa.gov/">http://www.nhc.noaa.gov/</a>	29/10/08
NOAA (2008b). <i>Saffir-Simpson Hurricane Scale.</i>	<a href="http://www.aoml.noaa.gov/general/lib/laesc_ae.html">http://www.aoml.noaa.gov/general/lib/laesc_ae.html</a>	29/10/08
OPS (Organización Panamericana de la Salud). (2005). <i>Guía para la promoción de la mitigación de desastres naturales.</i>	<a href="http://www.paho.org/desastres">www.paho.org/desastres</a>	29/10/08
Perala-Fabi Ramón. (1993). <i>Fluidos: Apellido de líquidos y gases.</i>	México.	Fondo de Cultura Económica.
Perala-Fabi Ramón. (2004). <i>Historia de fluidos.</i>	Facultad de Ciencias de la UNAM., México.	UNAM
Pineda José A., Alcocer Sergio M. (2004). <i>Comportamiento ante cargas laterales de muros de mampostería confinada reforzados con malla de alambre soldado.</i>	México.	CENAPRED.
The Florida State University. (2002). <i>Regional effects of El Niño Southern Oscillation (ENSO) on Hurricane Landfalls.</i>	<a href="http://www.coaps.fsu.edu/papers/regional_effects_hurricane_landfalls/">http://www.coaps.fsu.edu/papers/regional_effects_hurricane_landfalls/</a>	29/10/08
UCAR (University Corporation for Atmospheric Research). (2005). <i>El efecto Coriolis.</i>	<a href="http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/physical_science/physics/mechanics/Coriolis.sp.html&amp;ink=/sun&amp;edu=high">http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/physical_science/physics/mechanics/Coriolis.sp.html&amp;ink=/sun&amp;edu=high</a>	29/10/08

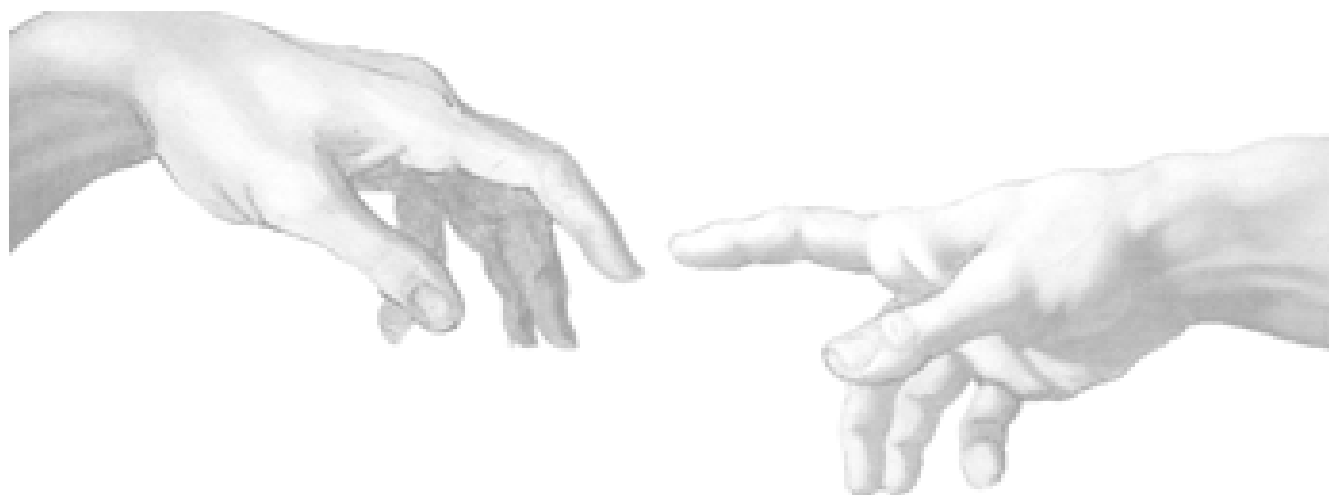
❖ **Imágenes e ilustraciones.**

<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
1 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.weatherexplained.com/Vol-1/Hurricanes.html">http://www.weatherexplained.com/Vol-1/Hurricanes.html</a>
2 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.zeemanoceanchallenge.com/news.php?id=594">http://www.zeemanoceanchallenge.com/news.php?id=594</a>

<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
3 (M.I.PRO.1)	<a href="http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect14/Sect14_1d.html">http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect14/Sect14_1d.html</a>
4 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm/">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm/</a>
5 (M.I.PRO.1)	<a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_5.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_5.htm</a>
6 (M.I.PRO.1)	<a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_5.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_5.htm</a>
7 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.physics.ubc.ca/outreach/phys420/p420_04/sean/media/pic11.jpg">http://www.physics.ubc.ca/outreach/phys420/p420_04/sean/media/pic11.jpg</a>
8 (M.I.PRO.1)	<a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm</a>
9 (M.I.PRO.1)	<a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm</a>
10 (M.I.PRO.1)	<a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm</a>
11 (M.I.PRO.1)	<a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm</a>
12 (M.I.PRO.1)	<a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm</a>
13 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
14 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
15 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
16 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
17 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
18 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
19 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
20 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
21 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
22 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.flash.org/resources/files/Despues%20de%20la%20Tormenta.pdf">http://www.flash.org/resources/files/Despues%20de%20la%20Tormenta.pdf</a>
23 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
24 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
25 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
26 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
27 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.gizmag.com/go/4133/">http://www.gizmag.com/go/4133/</a>

*9. Palabras clave:*

Huracán, desastres naturales, efecto Coriolis, hidrodinámica, aerodinámica.



## *Ficha dos: El hexágono*

C.I.STR.1  
Página 1

1. *Clave:* **C.I.STR.1** Tipo de ambiente: Común (existe en diferentes ambientes)  
Entidad Inanimada; Estructura

2. *Entidad biológica o inanimada:* Hexágono.

3. *Revisión en distintas fuentes de consulta:*

### **Sistema de ordenamiento hexagonal en la naturaleza.**

En muchos lugares de la naturaleza podemos encontrar un tipo característico de orden hexagonal, tanto si buscamos a nivel atómico, en células vivas, dispositivos artificiales o colonias de abejas. Se le ha llamado “empaquetamiento compacto” y es de hecho el más efectivo para meter el mayor número de objetos isotrópicos, con igual forma y tamaño, en un mínimo espacio, aunque a diferencia de la esfera, donde se tiene el mayor volumen recubierto por la menor superficie posible, el volumen definido por este ordenamiento hexagonal tenderá a desarrollarse ajustándose al sistema de referencia ortogonal convencional, ya que todas las agrupaciones de hexágonos sólo pueden ser planas, como en las baldosas de un piso de cerámica (Wikimedia Foundation, 2008t). Veamos algunos ejemplos:

Las abejas construyen sus panales para acoger una larva en cada celda, que inicialmente tiene forma cilíndrica, como un tubo, ya que los fabrican a partir de un movimiento circular sobre sí mismas, el hecho de que las celdas cambien por sí solas a la forma hexagonal se debe a la compresión de cada una contra sus seis vecinas más cercanas. El empaquetamiento hexagonal de celdas es la forma más efectiva y natural de agrupar tantas celdas como sea posible en un espacio limitado, sin dejar espacios vacíos (Gómez-Moreno, 1999a).

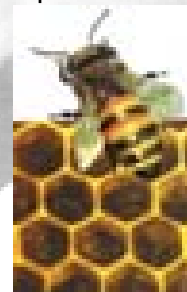


Fig. 1 (C.I.STR.1).

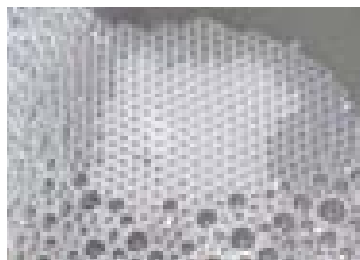


Fig. 2 (C.I.STR.1).

Algo similar ocurre cuando se amontonan burbujas de jabón. Una burbuja aislada es perfectamente esférica, pero debemos observar en la foto 2 (C.I.STR.1) el aspecto que tienen cuando se pegan unas a otras.

Hasta ahora hemos visto ejemplos de orden hexagonal en grupos de objetos macroscópicos. El mundo microscópico también está lleno de ejemplos interesantes. La imagen 3 (C.I.STR.1) es una microfotografía de un cable superconductor. El cable está formado por varias fibras hexagonales, que a su vez contienen filamentos más finos (los puntos pequeños). La escala indica 50 micras (1 micra es una milésima (1/1000) de milímetro), o sea que un cable con filamentos de 0.5mm de grueso abarcaría prácticamente una pantalla completa de 14 pulgadas.

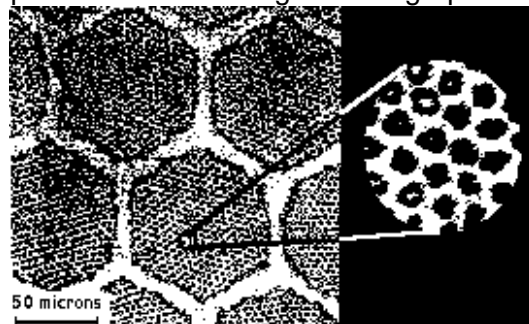


Fig. 3 (C.I.STR.1).

Las fibras hexagonales, con radios de aproximadamente 50 micras se empaquetan de forma muy similar a las celdas del panal de abejas. Al igual que en el caso del panal, cada una de esas fibras era en un principio un largo hilo cilíndrico, pero durante el proceso de fabricación del cable, en el que se le fuerza a pasar por una serie de "embudos" que reducen su diámetro y lo estiran, las fibras se comprimen unas contra otras dando lugar al famoso orden hexagonal. Además, al observar con detalle dentro de cada fibra, veremos filamentos todavía más delgados, hechos de niobio que de forma espontánea también se han ordenado formando un empaquetamiento compacto hexagonal. Esa geometría es la que permite empaquetar un número enorme de filamentos en un mínimo espacio (Gómez-Moreno, 1999a).

Si tomamos una gran cantidad de popotes para beber refresco, como en la foto 4 (C.I.STR.1), y los apretamos firmemente con la mano o con una liga elástica, eso es precisamente lo que se forma: un empaquetamiento compacto hexagonal.

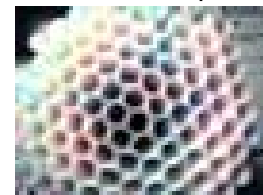


Fig. 4 (C.I.STR.1).

Todos los ejemplos anteriores son de sistemas artificiales, hechos por el hombre (o por las abejas). Podría parecer que estas estructuras son elaboradas por algún tipo de inteligencia, pero a continuación veremos otros ejemplos de empaquetamiento hexagonal en lugares insospechados que nos forzarán a rechazar esa idea.

La retina de nuestros ojos tiene una pequeña mancha de color amarillo, llamada mácula lútea; en su centro se encuentra una sección muy sensible de la retina llamada fovea, la zona del ojo con mayor agudeza visual. La capa sensorial de la fovea se compone sólo de células con forma de conos, mientras que en torno a ella también se encuentran células con forma de bastones. La fovea es una región de la retina muy pequeña (de menos de un milímetro cuadrado) y a la vez muy especializada. En ella las imágenes se captan con la máxima resolución. Consiste de elementos celulares fotorreceptores muy finos (3 micras), los conos (de forma alargada pero que en esta imagen se ven como puntos negros). El mosaico de conos foveales es muy condensado (200.000 conos por milímetro cuadrado en una persona adulta) lo cual da lugar a una máxima resolución espacial, de contraste y de color. Y efectivamente, esta máxima resolución se deriva del hecho de que estas células cubren el espacio de forma óptima adoptando un empaquetamiento compacto hexagonal, formando tejidos complejos autoorganizados, como se aprecia en la imagen 5 (C.I.STR.1) (Gómez-Moreno, 1999a).

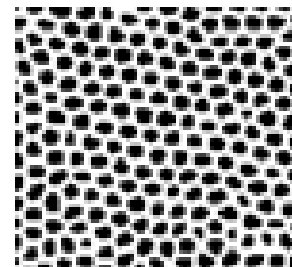


Fig. 5 (C.I.STR.1).

Las células pueden ordenarse siguiendo las instrucciones preestablecidas y codificadas en el ADN, y también ciertas reacciones químicas, mantenidas lejos de su equilibrio termodinámico, pueden dar lugar a sistemas heterogéneos con empaquetamiento hexagonal. En principio eso es tan sorprendente como echar tinta en un vaso de agua y llegar a obtener un líquido moteado, y sin embargo, algo muy parecido es lo que sucede en el caso de la figura 6 (C.I.STR.1). La reacción entre los iones de clorito y yoduro en presencia de ácido malónico (reacción CIMA, para abreviar) es reversible, es decir puede tener lugar en una dirección o en la contraria.

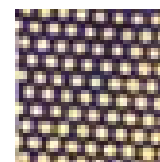


Fig. 6 (C.I.STR.1).

Cuando esta reacción se deja evolucionar lejos del equilibrio, por ejemplo con un reactor eléctrico de corriente continua, y gracias a procesos espontáneos de difusión molecular, dicha reacción da lugar a zonas ricas en yoduro (de color oscuro en la figura) y zonas pobres en yoduro (de color amarillo) que se ordenan espontáneamente formando nuestro familiar empaquetamiento compacto hexagonal.

Aunque la estructura hexagonal de la figura anterior es muy estable, pequeñas variaciones en la concentración inicial de reactivos en la misma reacción CIMA, usando el mismo reactor pueden dar lugar a estructuras radicalmente diferentes, como la estructura rayada de la figura 7 (C.I.STR.1). Es un bonito ejemplo del "efecto mariposa" característico de sistemas caóticos, en este caso en reacciones químicas.



Fig. 7 (C.I.STR.1).

Y ahora nos introduciremos en el mundo de los átomos, porque ahí también encontraremos empaquetamiento compacto hexagonal. Si consideramos los átomos como simples esferas, cuando se aglomeran (por ejemplo en muchos metales a temperatura ambiente o en ciertos gases a temperaturas muy bajas) lo hacen como se indica en la figura 8 (C.I.STR.1) (Gómez-Moreno, 1999a).

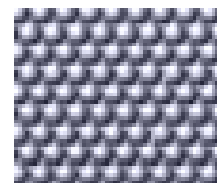


Fig. 8 (C.I.STR.1).

No sólo los átomos neutros se empaquetan de esta forma. Los iones (átomos con carga eléctrica) también lo hacen, siempre y cuando sus cargas queden neutralizadas de forma efectiva por otros iones de carga opuesta y tamaño adecuado para situarse en algunos de los huecos intersticiales de la estructura (en las cavidades de forma triangular que quedan entre esferas). Y ¿cómo se sabe que los átomos se ordenan así?, los átomos son tan pequeños que no se pueden ver con microscopios ópticos comunes (aunque últimamente los microscopios electrónicos de alta resolución se están acercando bastante), no obstante, los científicos han desarrollado métodos para "ver" cómo se ordenan los átomos y las moléculas en un cristal iluminándolos con rayos X y midiendo los rayos reflejados por el cristal en diferentes direcciones del espacio. Esta técnica, conocida como cristalografía de rayos X, equivale a lo que podríamos llamar "visión de rayos X" y nos permite averiguar que, efectivamente, en muchos elementos, los átomos se ordenan tal y como se indica en la figura del párrafo anterior, pero en las tres direcciones del espacio.

Después de estos ejemplos, podría parecer que el empaquetamiento hexagonal está casi en todas partes, ya sean átomos, células o hasta en naranjas, tal y como se aprecia en la foto 9 (C.I.STR.1). Como podemos apilar esferas en tres dimensiones, cada capa de naranjas forma un empaquetamiento compacto. Al apilar una nueva capa ponemos naranjas en el hueco que forman tres naranjas de la capa inferior y de esta manera acabamos teniendo un empaquetamiento compacto hexagonal también a lo largo de la dirección vertical.

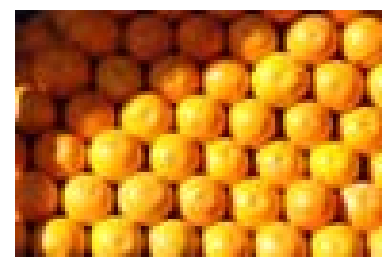


Fig. 9 (C.I.STR.1).

El Sistema de Ordenamiento Hexagonal también lo podemos encontrar en los muros de mampostería en los que todos sus componentes son objetos isotrópicos, todos del mismo tamaño, como los que encontramos en los muros que desde hace cientos de años ha fabricado el ser humano para la construcción de sus edificios más grandes y más antiguos, cuya resistencia y estabilidad están más que comprobadas, como las pirámides prehispánicas de México, las de Machu-Pichu en el Perú o las de Egipto.

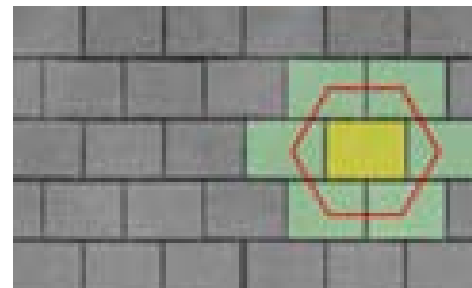


Fig. 10 (C.I.STR.1).

A veces podremos encontrar empaquetamientos compactos que no dan lugar a simetría hexagonal perfecta, y ello se debe a que los sistemas reales a menudo no son tan ideales como las bolas en una mesa de billar y al no estar compuestos por objetos del mismo tamaño, sus tamaños variables e irregularidades dan lugar a un ordenamiento imperfecto.

Aparentemente, para que se produzca este Sistema de Ordenamiento Hexagonal, necesitamos compactar grupos homogéneos compuestos por objetos con igual forma y tamaño, por lo que no encontraremos esta simetría entre las estrellas o las galaxias, ya que se encuentran muy alejadas unas de otras. Pero ciertamente, en nuestro densamente poblado mundo siempre encontraremos excepciones, complicaciones y variabilidad, que son tan características de nuestra Naturaleza, como descubriremos en otros casos con una perfecta simetría hexagonal que ni siquiera es resultado de empaquetamientos compactos, en muchos lugares diferentes y en diversas escalas. He aquí algunos ejemplos:

El grafito es una forma de carbono que se usa en forma de polvo en las puntillas al interior de los lápices y tiene simetría hexagonal, que se deriva de la forma característica en que cada átomo de carbono comparte electrones mediante enlaces químicos con tres vecinos cercanos.

Un grano minúsculo de grafito esta formado por miles de millones de átomos de carbono ordenados en capas con estructura hexagonal como se muestra en la figura 11 (C.I.STR.1). Las capas se apilan unas sobre otras pero sin formar enlaces químicos entre ellas, y esta estructura es precisamente la que da al grafito sus propiedades (es blando y exfoliable, y se usa, incluso, como lubricante sólido). En la naturaleza existen muchas moléculas que los científicos representan con hexágonos. La molécula de benceno es la más simple, está compuesta por seis átomos de carbono que forman un anillo hexagonal, cada uno de los cuales está enlazado a otros dos átomos de carbono (C) y a un átomo de hidrógeno (H). El químico alemán Friedrich August Kekule fue el primero en descubrir su estructura hexagonal. En la figura 12 (C.I.STR.1). se aprecian tres formas diferentes de representar una molécula de benceno (Gómez-Moreno, 1999b).

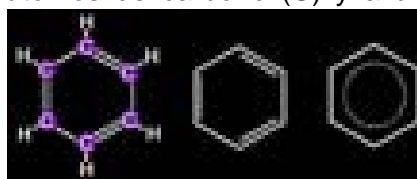


Fig. 12 (C.I.STR.1).



Fig. 11 (C.I.STR.1).



Si fundimos dos de esos anillos hexagonales tenemos una nueva molécula: el naftaleno. El benceno es un líquido, pero el naftaleno es sólido. Es el producto blanco, de olor tan característico, con el que se fabrican las bolas de naftalina contra la polilla. En la figura 13 (C.I.STR.1). se muestran tres formas de representar una molécula de naftaleno.

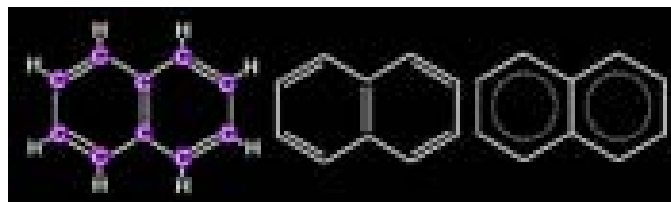


Fig. 13 (C.I.STR.1).

Como se puede ver, al fundir dos anillos de esta manera, hay dos átomos de carbono que pertenecen a ambos anillos. Estos átomos de carbono "internos" tienen su capacidad de enlace saturada y no se enlazan a ningún átomo de hidrógeno.

Además del benceno y el naftaleno hay muchas otras moléculas más grandes formadas por grupos hexagonales de átomos de carbono. En la siguiente tabla de anillos fundidos en línea, se incluye el nombre, la estructura y la fórmula de moléculas cada vez más largas (Gómez-Moreno, 1999b).






Benceno	 $C_6H_6$
Naftaleno	 $C_{10}H_8$
Antraceno	 $C_{14}H_{10}$
Naftaceno	 $C_{10}H_8$
Pentaceno	 $C_{14}H_{10}$

Fig. 14 (C.I.STR.1).

Y ahora, ¿por qué no unimos más anillos, no sólo a lo largo de una dimensión, sino en dos dimensiones, largo y alto?. Podríamos "inventar" moléculas como las que aparecen más adelante, y de nuevo, resulta que todas son moléculas reales que ya existen en la naturaleza y se acomodan en un arreglo regularmente hexagonal.. En general podemos ver que cuantos más anillos condensamos menos átomos de hidrógeno hay en relación a los átomos de carbono. En la última molécula,  $C_{24}H_{12}$  se tienen justo el doble de átomos de carbono que átomos de hidrógeno. El anillo de benceno tenía 6C y 6H (Gómez-Moreno, 1999b).

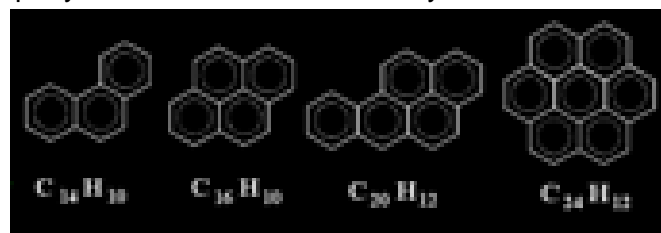


Fig. 15 (C.I.STR.1).

Otro ejemplo de hexágonos en la naturaleza lo encontramos en los cristales de hielo de los copos de nieve que, aunque siempre tienen un arreglo hexagonal, nunca encontraremos dos copos de nieve iguales, ya que cada uno presenta ligeras variaciones en su forma.

Los matemáticos y cristalógrafos usan el término "eje de orden 6" para describir este tipo de simetría, ya que se puede relacionar con la estructura atómica y molecular del agua, debido a que es el resultado de cómo se enlazan los átomos de oxígeno e hidrógeno para formar estas moléculas y de cómo se ordenan unas con otras en el hielo sólido y en los cristales de nieve. Es la geometría impuesta por los enlaces químicos en la red de hielo (Gómez-Moreno, 1999c).

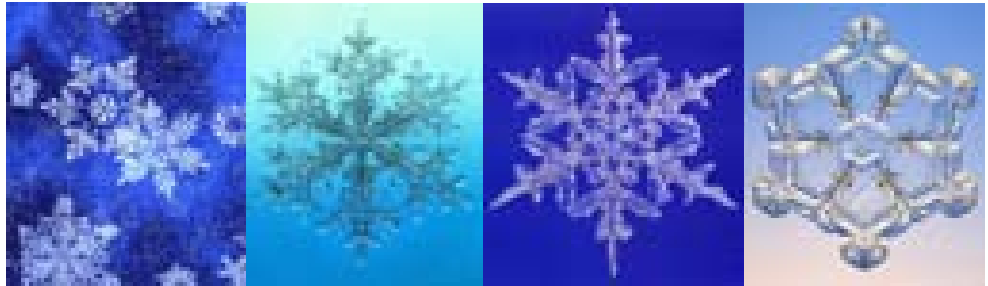


Fig. 16 (C.I.STR.1).

Son los átomos que forman los copos de nieve y sus tendencias de enlace los que determinan el orden hexagonal en ese caso. En la imagen 17 (C.I.STR.1) de cristalografía de rayos X, fueron aumentadas unas 100 millones de veces algunas moléculas de agua, apreciándose cómo los átomos de oxígeno (representados por las esferas rojas) se unen con los átomos de hidrógeno (esferas azules más pequeñas), y los enlaces entre ellos se han representado como barras grises para resaltar la red hexagonal en forma de colmena que forma el conjunto de las moléculas de H<sub>2</sub>O. En el agua líquida también hay moléculas de H<sub>2</sub>O, pero en ese caso se encuentran más calientes que en el hielo. Eso significa que se mueven más libremente y de hecho esa es la razón de que el agua sea un líquido sin forma propia. Pero cuando el agua se congela las fuerzas de interacción entre moléculas de H<sub>2</sub>O ganan a las fuerzas derivadas del movimiento térmico y forman un conjunto rígido que presenta su estado más estable (de menor energía) cuando se ordenan precisamente con simetría hexagonal (Gómez-Moreno, 1999c).

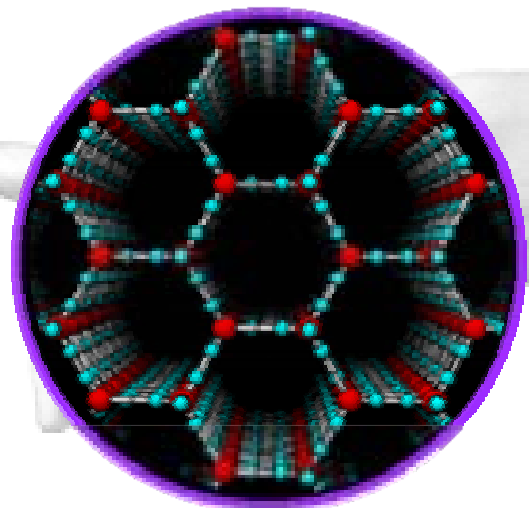


Fig. 17 (C.I.STR.1).

Por eso los cristales de nieve son siempre hexagonales. *La estructura de los cristales a nivel atómico determina su forma final. La composición y la estructura a nivel atómico y molecular es la clave que determina la estructura, dureza y propiedades en general de todos los materiales que nos rodean.*

#### 4. Observaciones personales:

##### Adecuación geométrica hexagonal.

En cuanto a la observación de los cuerpos, como los anteriormente expuestos, y su comportamiento en el espacio, tenemos dos aspectos a considerar, la *geometría aparente*, que es la que da la forma o envolvente al cuerpo, y la *geometría real*, que es la que le da consistencia al cuerpo, refiriéndose a las características del material que lo constituye, como su capacidad de carga y su estabilidad.

En el diseño de una estructura cualquiera, conviene optimizar la relación entre ambas geometrías, forma o envolvente y consistencia, para que nuestro edificio pueda interactuar eficientemente con su entorno. Por ello, el sistema estructural deberá ser congruente con su envolvente (Singer Ferdinand, 1985).

Es necesaria la interpretación geométrica de los diferentes elementos que dan forma a una estructura y de su relación con algunos conceptos, como el momento de inercia, el módulo de elasticidad y el módulo de sección, para poder optimizar su comportamiento ante las diferentes fuerzas con las que tendrá que interactuar durante su funcionamiento o utilización por el ser humano.

Con un diseño no optimizado o con un mal diseño, aunque se tenga un buen cálculo estructural, cualquier estructura puede fallar. El optimizar un diseño es optimizar la geometría. Con un buen diseño, podrán mantenerse durante más tiempo las características que se desean darle al objeto o edificio, aún frente a condiciones de su entorno totalmente adversas u hostiles.

Para que un edificio sea consistente, desde el punto de vista estructural, debe tener capacidad de carga y estabilidad. Lo mismo sucede con un boxeador, que al estar mal parado, puede tener capacidad de carga pero no estabilidad, por lo que si es empujado con fuerza, puede llegar a perder el equilibrio y caer.

El momento de inercia indica la resistencia de un cuerpo a rotar respecto de un eje determinado. Este concepto no depende de las fuerzas que intervienen, sino de la geometría del cuerpo y de la posición del eje de giro (Wikimedia Foundation, 2008r).

Un objeto tendrá mayor momento de inercia, o lo que es igual, será más difícil hacerlo rotar, en el caso de que tenga mucha masa alejada del eje o sea muy pesado, por ello es más difícil abrir una puerta de acero que una de madera, ya que tiene mas momento de inercia la primera.

El momento de inercia desempeña en el movimiento de rotación un papel análogo al de masa inercial en el caso del movimiento rectilíneo y uniforme. (La masa es la resistencia que presenta un cuerpo a ser acelerado en traslación y el Momento de Inercia es la resistencia que presenta un cuerpo a ser acelerado en rotación).



**Fig. 18 (C.I.STR.1).**-  
¿Cuál de estos giros se haría con más dificultad? En ② el momento de inercia es mayor.

Una hoja de papel extendida es un cuerpo que casi no tiene masa, si se hace un rollito con ella, manteniendo un pequeño hueco al centro, al haber cambiado su forma, habrán cambiado sus características estructurales, ahora tendrá una sección circular que, sin aumentar de peso, le permite tener más resistencia, consistencia y rigidez, por lo que puede, incluso, soportar cierta cantidad de peso encima sin deformarse, y se puede aumentar también el tamaño del diámetro de la sección, para incrementar la rigidez y resistencia del papel a un peso mayor, aunque existe un límite, tanto para la cantidad de peso que puede soportar, como para el tamaño del diámetro del cilindro resultante. Por el contrario, un rollito de papel muy compacto, sin hueco al centro, es más delgado y no soportaría la misma cantidad de peso encima.

Lo ideal en este caso, y en cualquier otro, es mantener el equilibrio existente entre:

1. La forma y el tamaño del plano de corte de la sección, y
2. Su momento de inercia (o la resistencia del cuerpo a la fuerza que intenta deformarlo).

Al observar la forma y el tamaño (o geometría) de las secciones de los objetos, también es importante poner atención en las características de los materiales que los integran, para conocer la relación entre los esfuerzos que éstos materiales pueden absorber y las deformaciones que podrían sufrir sin desintegrarse, a esto se le conoce como el módulo de elasticidad del material. Entre algunos de los esfuerzos y deformaciones que pueden afectar a los materiales, están las vibraciones provenientes del entorno o los cambios por temperatura.

Lo primero que debemos hacer es relacionar las propiedades del material con la forma y el diseño que le daremos al objeto. De este modo, la geometría de la sección del objeto podrá ser modificada o rediseñada en función del módulo de elasticidad del material que lo constituye. Entre mayor es el módulo de elasticidad de determinado material, éste es más compacto y resistente.

En materiales con un bajo módulo de elasticidad, como la madera de pino y el concreto simple, es conveniente utilizar objetos o elementos estructurales cuyas secciones tengan formas con envolvente sólida (con todo el contenido, sin huecos), y en materiales con un alto módulo de elasticidad, como el acero, lo mejor es utilizar objetos que tengan secciones con formas donde no todo el envolvente sólido esté ocupado (que tengan espacios huecos) (Resnick R. y Halliday D., 1996).



Fig. 19 (C.I.STR.1).

Módulos de elasticidad (E) de:

Pino	$E = 70,000$
Concreto pobre	$E = 110,000$
Acero	$E = 2'100,000$

A nuestro alrededor podemos encontrar muchos ejemplos de la aplicación del módulo de elasticidad de los materiales, en la fabricación de objetos de uso cotidiano, como en un gran marro empleado para infringir golpes muy fuertes, donde su cabeza, que sirve para dar los golpes, es de metal, para que pueda resistirlos sin mella alguna, y su mango es de madera, para que pueda absorber las vibraciones de los impactos sin transmitirlos a las manos del operario.

Otro ejemplo lo tenemos en la fabricación de los rieles de un ferrocarril, donde los durmientes de madera sirven para absorber la vibración que sufren los rieles cuando sobre ellos pasa el tren, y también, como al calor del medio día, el índice de elongación de la madera es menor al que tiene el metal del riel, el durmiente absorbe la tendencia a flexionarse del acero calentado, ayudándolo a conservar su forma recta y paralela respecto al otro riel.

Con estos dos ejemplos, podemos darnos cuenta de la importancia que tiene el conservar, en la medida de lo posible, el balance energético existente entre el módulo de elasticidad de los materiales con los que están hechos los objetos y su forma o geometría. El módulo de elasticidad siempre nos marcará el límite máximo que puede llegar a tener una forma (ITESM., 1996).

Podemos reafirmar que el módulo de elasticidad de un material es la relación entre esfuerzo y deformación, y dependerá del tipo de material que empleemos, de sus límites mecánicos, si se puede emplear una sección de determinada forma o conviene modificarla, e incluso cambiar de material. El módulo de elasticidad nos va a establecer límites geométricos, desde el punto de vista mecánico, dependiendo de los valores del material empleado.

El módulo de sección es una propiedad geométrica de la sección transversal de una viga o cualquier otro objeto sometido a un esfuerzo de torsión, que relaciona la magnitud del momento torsor con las tensiones tangenciales sobre la sección transversal (Wikimedia Foundation, 2008q). Al módulo de sección también se le conoce como módulo de torsión o momento de torsión. Para determinar el módulo de torsión de una sección se requiere conocer la posición de su centro de cortante.

Habiendo definido un modelo o diseño de un objeto cualquiera (A), debemos ubicar su centro de torsión, o centroide, a partir del que se pueden analizar las fuerzas cortantes horizontales, verticales y torsionales que es capaz de resistir, justo hasta antes de fisurarse o agrietarse (B) (Wikimedia Foundation, 2008h). El flujo de cortante del material se dará, la mayor parte de los casos, en sentido contrario a la carga que lo está generando.

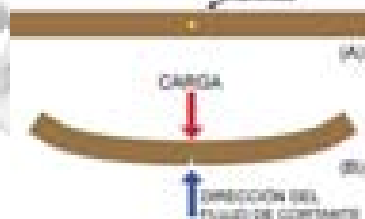


Fig. 20 (C.I.STR.1).

En el caso de tener, por ejemplo, una columna metálica cuya sección es como aparece en la figura ① y se le da un pequeño giro para cambiar de posición, quedando como se aprecia en ②, tal vez no se necesite emplear tanto material para que esta columna resista eficazmente la carga que ha de soportar, analizando el comportamiento geométrico de toda la estructura, ubicando los centros de torsión de sus elementos y los flujos de cortante a los que estará sometida, podría llegarse a requerir tan sólo una columna con una sección como en ③, eliminando peso y material innecesarios.



Fig. 21 (C.I.STR.1).

No es lo mismo tener, para la resistencia estructural de un elemento, dentro de su envolvente, un hueco en el sentido horizontal o en el vertical, ya que se puede alterar esa resistencia si este hueco llega a coincidir con la ruta del flujo de cortante, presentándose una falla o agrietamiento que lo debilitaría e incluso podría provocar su desplome (Pineda J. A. y Alcocer S. M., 2004).

En muchos casos, se puede modificar la geometría que presenta determinada pieza o elemento estructural, de acuerdo a las necesidades particulares de cada proyecto, optimizando así su diseño para mejorar la respuesta estructural de todo el objeto o edificio.

El producto de inercia nos permite conocer muchos datos sobre el comportamiento dinámico de las estructuras, ya que nos indica, por ejemplo, el esfuerzo límite al que puede someterse la pieza o si excede en resistencia a la fuerza cortante que la afectará en algún determinado sentido. En este último caso, podemos utilizar este “exceso” de resistencia para reforzar a esta pieza en los otros sentidos en que también podría ser afectada por otros flujos de fuerzas cortantes.

Lo mejor es que en nuestro análisis estructural, el producto de inercia siempre sea igual a cero, ya que si es diferente de cero, deberá buscarse la posición óptima del objeto o rediseñarlo, ya sea en su envolvente o en algunas de sus secciones, aprovechando sus mejores características y utilizando su máxima capacidad de resistencia posible. En la figura 22 (C.I.STR.1), el producto de inercia en ① y ② es cero, en ③ es diferente de cero, pero su ubicación ideal dentro de la estructura ④ le permite trabajar equilibradamente con el resto de los elementos.

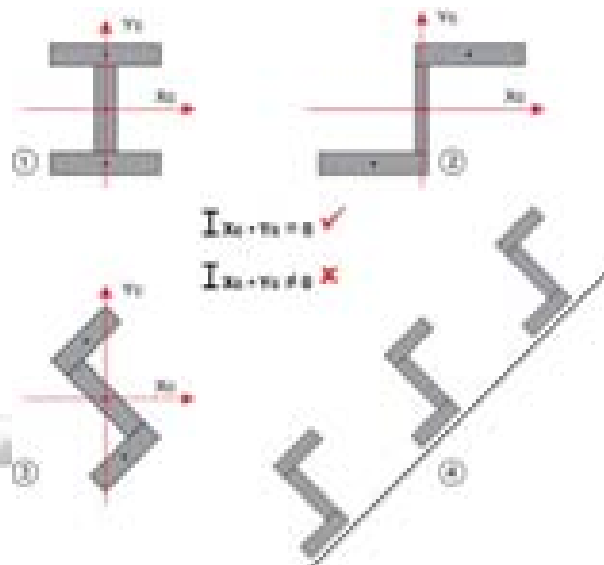


Fig. 22 (C.I.STR.1).

Tomando en cuenta todo lo anterior, si hemos de diseñar una estructura capaz de resistir impactos de fuerzas descomunales, como los vientos huracanados que suelen golpear a los edificios prácticamente en cualquier dirección, es muy importante considerar tanto la forma que tendrá la envolvente de los elementos que integren la mencionada estructura, como también el comportamiento geométrico que tendrá toda la estructura en su conjunto.

Podemos, a cada elemento base o módulo que integre una estructura muy resistente, pero a la vez flexible, darle una forma hexagonal, porque de esa manera multiplicamos por seis el número de direcciones en las que es posible enfrentar directamente el impacto del viento, permitiendo que la misma geometría de nuestro módulo divida la carga axial que recibe en tres fuerzas de empuje, aprovechando así la resistencia al cortante que presentan, por su forma hexagonal, las tres caras contiguas opuestas al lado que está recibiendo el golpe huracanado.

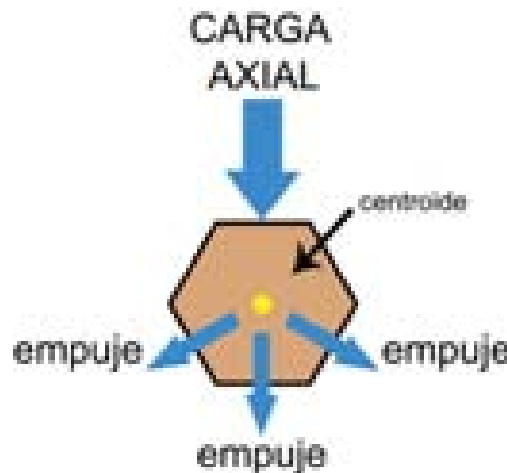


Fig. 23 (C.I.STR.1).

Debido únicamente a la forma hexagonal de cada módulo, la transmisión de la carga que lo golpea por un lado, se dividirá en tres caminos, debilitándola eficientemente, ya que conforme este empuje se va transmitiendo a los hexágonos adyacentes, éstos contribuyen a dividir en tres cada vez más la energía de la carga inicial hasta que, gracias al gran número de piezas hexagonales de que consta la estructura, sea disipada, ya que literalmente esta estructura tendrá la capacidad de absorber la energía de las grandes fuerzas o empujes que incidan en ella, prácticamente sin sufrir daño alguno, al diseminarse exponencialmente alrededor del área de afectación, al tiempo que se transmiten hacia la base, a la que llegarán ya muy debilitadas y siendo fácilmente soportadas por una mayor extensión de terreno. Entre más elementos hexagonales contribuyan a frenar la fuerza que los golpea, se incrementará la resistencia de la estructura.

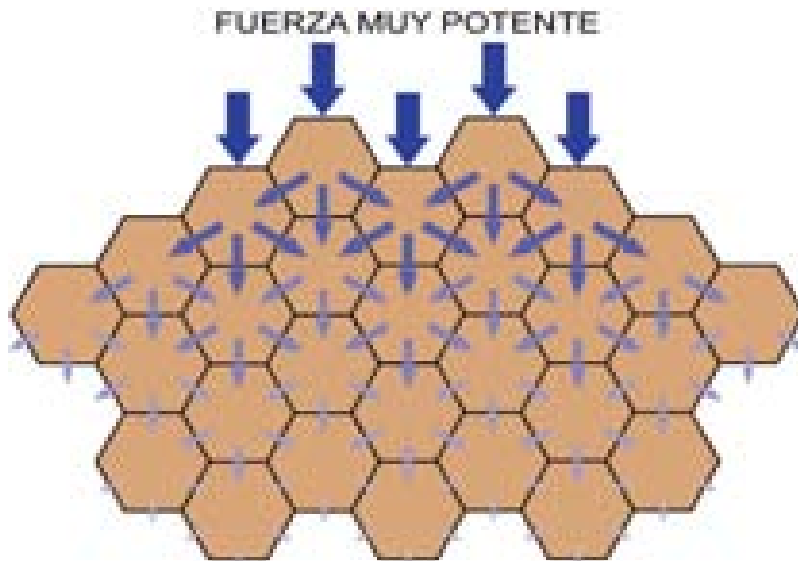


Fig. 24 (C.I.STR.1).

Además, otra característica de las formas hexagonales, es que si ponemos muchos hexágonos iguales, uno junto al otro, conformaremos una especie de retícula en la que cada elemento se mantiene en su posición muy bien "anclado" a los demás, ya que no pueden deslizarse de su posición hacia ninguna dirección, debido a que los lados contiguos al hexágono, integrados por las piezas adyacentes, le forman una especie de hueco en el que permanecerá "encajonado".

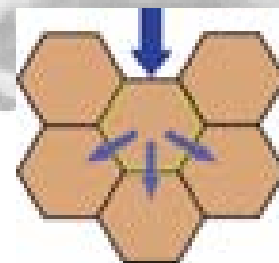


Fig. 25 (C.I.STR.1).

En una retícula formada por piezas cuadradas o rectangulares, aunque estén colocadas con un aparejo cuatroporado, en caso de que una fuerza muy potente golpee a la retícula en sentido paralelo al de las líneas continuas que se forman en este tipo de acomodo ①, las piezas podrían "deslizarse", saliéndose de su ubicación y desarticulando la estructura, además de que la carga se transmitiría a los elementos adyacentes casi con la misma intensidad y en el mismo número de piezas que la están recibiendo, disminuyendo muy poco.

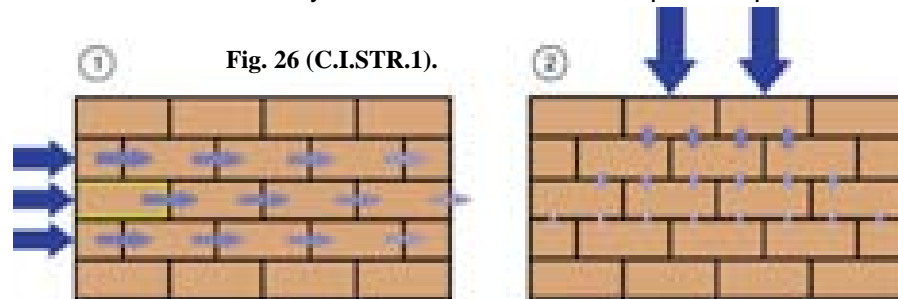
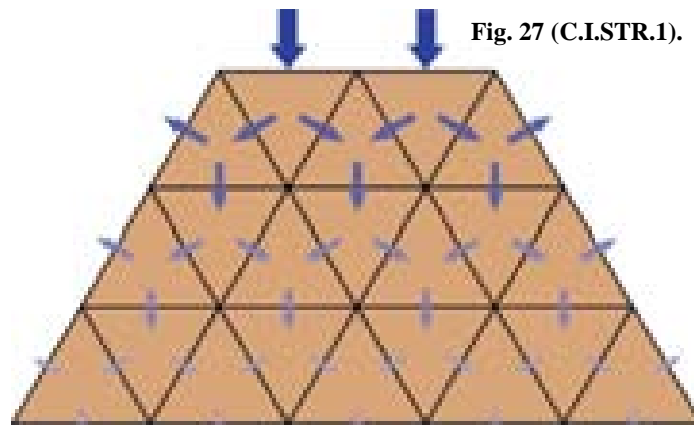


Fig. 26 (C.I.STR.1).

Por eso este tipo de retículas sólo trabajan eficientemente en el sentido perpendicular al de las líneas continuas en su arreglo ②, subdividiendo a la mitad el empuje que reciben hasta transmitirlo a una mayor área en su base (Pineda J. A. y Alcocer S. M., 2004).

Al tener una estructura reticular compuesta por módulos o piezas triangulares, también la carga o empuje incidente se dividirá en dos partes, sólo en las primeras piezas adyacentes, y en las siguientes, en lugar de continuar dividiéndose, convergerán dos empujes para dar salida a uno solo en el vértice opuesto a la dirección de la carga del siguiente triángulo, por lo que el flujo de las cargas se dará de manera alternada, en un triángulo se absorbe una carga y se da salida a dos empujes, mientras que en el siguiente sucede lo contrario. De todas maneras, la transmisión de la carga o fuerza incidente sólo se transmitirá en dos sentidos hacia la base de la estructura, disipándose más lentamente, ya que aunque se disipará más energía en los triángulos donde se recibe por un lado la fuerza y se canaliza por los otros dos, se absorberá menos en las piezas donde se recibe por dos lados y se libera sólo por uno.



*No. 5. Modelos funcionales:*

1. El empaquetamiento hexagonal permite aprovechar espacios limitados, sin dejar huecos.
2. Al compactar grupos homogéneos de objetos con igual forma y tamaño, se producirá el ordenamiento hexagonal.
3. Debido a la forma hexagonal de cada módulo, la transmisión de la carga que lo golpea por un lado, se dividirá en tres caminos, disipándose eficientemente.
4. Entre más elementos hexagonales contribuyan a frenar la fuerza que los golpea, se incrementará la resistencia de la estructura.

*Pág. 6. Abstracciones:*

- |    |   |
|----|---|
| 1  | Empaquetar hexagonalmente para aprovechar todo el espacio.                  |
| 4  | Con igualdad en forma y tamaño puede obtenerse el ordenamiento hexagonal.   |
| 11 | En el hexágono las cargas se disipan con eficacia.                          |
| 11 | Al agrupar varias piezas hexagonales se obtiene un conjunto más resistente. |

*7. Solución de diseño:*

**Nota:** Favor de consultar, en el capítulo: “Solución de diseño”, la integración de las abstracciones obtenidas en cada ficha por separado y la conclusión de diseño a la que he llegado.



8. Referencias:

❖ Bibliografía y medios electrónicos.

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Gómez-Moreno P. (1999a). Instituto de Ciencia de Materiales, Barcelona, Esp. <i>Hexágonos en un mundo empaquetado.</i>	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>	28/10/08
Gómez-Moreno P. (1999b). Instituto de Ciencia de Materiales, Barcelona, Esp. <i>¿Es eso una molécula?</i>	<a href="http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html">http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html</a>	28/10/08
Gómez-Moreno P. (1999c). Instituto de Ciencia de Materiales, Barcelona, Esp. <i>Copos de nieve.</i>	<a href="http://www.cienciateca.com/ctssnow.html">http://www.cienciateca.com/ctssnow.html</a>	28/10/08
ITESM (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey). (1996). <i>Plasticidad en elementos en flexión.</i>	<a href="http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/cv/cv95-962/curso/practicas/P_LEST07.htm">http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/cv/cv95-962/curso/practicas/P_LEST07.htm</a>	29/10/08
Pineda J. A., Alcocer S. M. (2004). <i>Comportamiento ante cargas laterales de muros de mampostería confinada reforzados con malla de alambre soldado.</i>	México.	CENAPRED.
Resnick R. y Halliday D. (1996). <i>Física. Parte I.</i>	México	Continental, S.A.
Singer Ferdinand L. (1985). <i>Mecánica para ingenieros.</i>	N.Y. University.	Editorial Harla.
Wikimedia Foundation Inc. (2008h). <i>Centroide.</i>	<a href="http://www.es.wikipedia.org/wiki/Centroide">http://www.es.wikipedia.org/wiki/Centroide</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008q). <i>Módulo de torsión.</i>	<a href="http://www.es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo_de_torsi%C3%B3n">http://www.es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo_de_torsi%C3%B3n</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008r). <i>Momento de inercia.</i>	<a href="http://www.es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_inercia">http://www.es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_inercia</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008t). <i>Ortogonalidad.</i>	<a href="http://www.es.wikipedia.org/wiki/Ortogonal">http://www.es.wikipedia.org/wiki/Ortogonal</a>	30/10/08



❖ **Imágenes e ilustraciones.**

<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
1 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
2 (C.I.STR.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Pompa_de_jab%C3%B3n">http://es.wikipedia.org/wiki/Pompa_de_jab%C3%B3n</a>
3 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
4 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
5 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
6 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
7 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
8 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
9 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.flickr.com/photos/vodk0/1553707692/">http://www.flickr.com/photos/vodk0/1553707692/</a>
10 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
11 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html">http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html</a>
12 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html">http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html</a>
13 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html">http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html</a>
14 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html">http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html</a>
15 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html">http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html</a>
16 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/photos3/photos3.htm">http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/photos3/photos3.htm</a>
17 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctssnow.html">http://www.cienciateca.com/ctssnow.html</a>
18 (C.I.STR.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_inercia">http://es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_inercia</a>
19 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
20 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
21 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
22 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
23 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
24 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
25 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
26 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
27 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián

9. *Palabras clave:*

Hexágono, transmisión de cargas, ordenamiento.



## *Ficha tres: La proporción áurea*

C.I.PAT.1  
Página 1

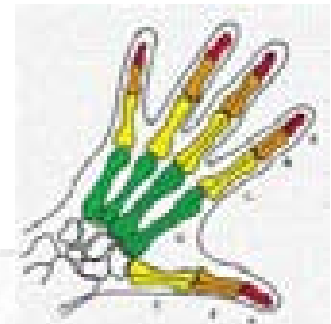
1. *Clave:* **C.I.PAT.1** Tipo de ambiente: Común (existe en diferentes ambientes)  
Entidad Inanimada; Patrón

2. *Entidad biológica o inanimada:* Proporción áurea

3. *Revisión en distintas fuentes de consulta:*

### **La proporción áurea.**

Del mismo modo que el número pi ( $\pi = 3.141592\dots$ ) representa el cuerpo geométrico más perfecto, la esfera, la proporción áurea: 1.618033988749... es el número de la belleza. Este número fue descubierto en la antigüedad, no como "unidad" sino como relación o proporción entre las distintas partes de un cuerpo o entre dos o más cuerpos, y puede ser encontrado en la naturaleza, en la morfología de diversos elementos tales como: la espiral de muchos caracoles, las nervaduras de las hojas de algunos árboles, el grosor de las ramas, proporciones tanto humanas como de huracanes y galaxias, etc. (Wikimedia Foundation, 2008s).



**Fig. 1 (C.I.PAT.1).**- En la mano humana, se observa la proporción áurea existente en los huesos de los dedos: entre la tercera falange **A** y la segunda **B**, entre éste hueso y la primera falange **C**, y entre ésta última y el hueso metacarpiano **D**.

El monje del siglo XV Luca Pacioli, quizá influido por la idea de que los nuevos conocimientos debían adaptarse a las creencias de la iglesia, lo llamó la divina proporción, y explicó el porqué: "tiene una correspondencia con la Divina Trinidad, es decir, así como hay una misma sustancia en tres personas -padre hijo y espíritu santo- de igual modo una misma proporción perfecta se encontrará siempre entre tres términos, y nunca de más o de menos" (Álvarez C., Álvarez F., Garrido L. M., Martínez S. M. y Ruiz A., 1998).

Lo que se esconde tras esta esotérica frase, más propia de alquimistas y ocultistas que de matemáticos, es el número áureo, el cual se cree que fue bautizado así por Leonardo da Vinci. Siglos más tarde el matemático estadounidense Mark Barr le asignó la letra griega  $\Phi$  (fi), en honor al escultor Fidias, que lo utilizó en sus obras.

El número áureo pertenece al conjunto de los números irracionales, esto es, aquellos que no pueden expresarse como cociente de dos números enteros. Por ejemplo, la raíz cuadrada de dos es irracional, un descubrimiento que incomodó de tal manera a los pitagóricos, que lo ocultaron al mundo (Carione Noemí H, Carranza Susana G, Diñeiro María Teresa, Latorre María Laura y Trama Eduardo E., 1996).

En nuestro caso; el número áureo lo podemos computar con una calculadora si seguimos estas sencillas instrucciones: calculamos la raíz cuadrada de 5, luego sumamos uno al resultado y el total lo dividimos entre dos. Si sabemos programar una computadora, podemos intentar batir el récord del mayor número de decimales calculados: en el año 2000 y con menos de tres horas de computar, se encontraron los primeros 1,500'000,000 de cifras decimales.

Matemáticamente hablando, podemos definir el número áureo como aquel que si le sumamos uno sale el mismo resultado que si lo elevamos al cuadrado. Así, si el cuatro fuera el número áureo, para calcular su cuadrado no haría falta hacer la operación de cuatro por cuatro, que resulta en 16, sino que simplemente bastaría con sumarle uno. Y es que en realidad existen dos números áureos, uno positivo (1.618033) y uno negativo (0.618033), pero el primero es el que se ha llevado toda la gloria.

Para dibujar un rectángulo que guarde una proporción áurea entre sus lados, primero hacemos un cuadrado y marcamos el punto medio de uno de sus lados. Lo unimos con uno de los vértices del lado opuesto y llevamos esa distancia sobre el lado inicial, de esta manera obtenemos el lado mayor del rectángulo. Si el lado del cuadrado vale 2 unidades, es claro que el lado mayor del rectángulo vale:

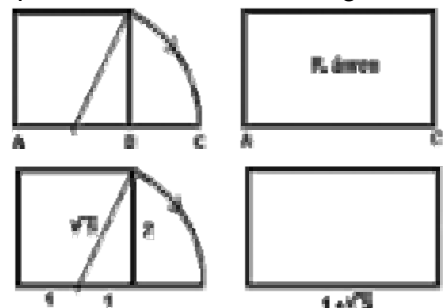


Fig. 2 (C.I.PAT.1).

$1 + \sqrt{5}$  por lo que la proporción entre los dos lados es:  $(1 + \sqrt{5})/2$ .

En la antigüedad, el número áureo se utilizó para construir el ejemplo clásico de lo que es un cuerpo armonioso: el hombre de Vitrubio de Leonardo da Vinci. Siguiendo los pasos de quienes más lo influyeron, el humanista León Battista Alberti y el escultor Antonio Filarete, Leonardo creía que la anatomía y la arquitectura estaban relacionadas.

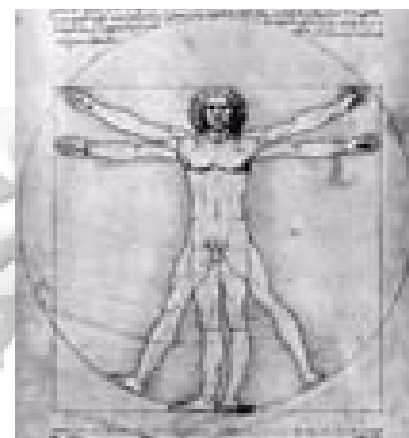


Fig. 3 (C.I.PAT.1).

Fue en la década de 1480, mientras trataba de ganarse al duque de Milán y a los arquitectos de la corte, cuando profundizó en esta relación expresándola en su famoso dibujo de 1487, basado claramente en la descripción del arquitecto Marcos Vitruvius Pollio. En ella, Pollio afirma: "en el cuerpo humano, la parte central es el ombligo, pues si un hombre se acuesta boca arriba, con los brazos y las piernas extendidos, y se centran un par de compases en el ombligo, los dedos de las manos y los pies tocarán la circunferencia descrita a partir de ese centro. Y también puede inscribirse en una figura cuadrada". Si dividimos el lado del cuadrado (la altura del ser humano) por el radio de la circunferencia (la distancia del ombligo a la punta de los dedos) tendremos el número áureo.

En su famosa pintura de la Gioconda, Leonardo utilizó rectángulos áureos para proporcionar el rostro de la Mona Lisa. Se pueden localizar muchos detalles en su cuadro, empezando porque el mismo rostro se enmarca en un rectángulo áureo, por ello, esta pintura siempre ha resultado tan atractiva a toda persona que ha admirado el cuadro original frente a sus ojos. El genio de Leonardo buscó pautas que relacionaran no sólo la anatomía con la arquitectura, sino con la estructura armónica de la música y con la propia naturaleza.

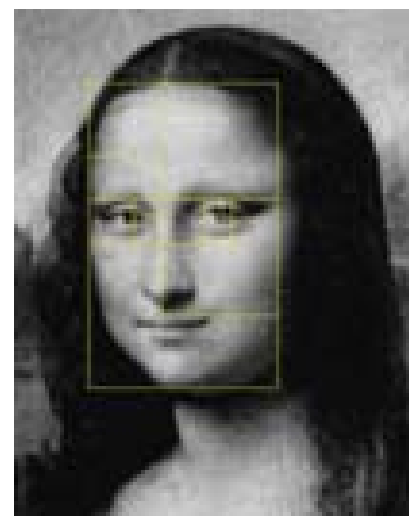


Fig. 4 (C.I.PAT.1).

Mirando la naturaleza podemos encontrar el número áureo en muy diferentes contextos, ya que esa proporción tan extraña la encontramos en el crecimiento de las plantas, en las piñas de los pinos, en la distribución de las hojas en un tallo, o en la formación de los caracoles (Wikimedia Foundation, 2008h).

Ya desde la época de los griegos se conocía esta proporción del ordenamiento de la naturaleza como la Sección Dorada y ellos la usaron extensivamente para la belleza y el balance en el diseño del Partenón y otras obras. El Partenón nos muestra la necesidad del hombre por vincularse con la naturaleza imitando sus formas. Su diseño está totalmente basado en la sección dorada, su ancho, su altura y su profundidad están dentro de esta proporción, lo mismo que la distribución de sus columnas y detalles.

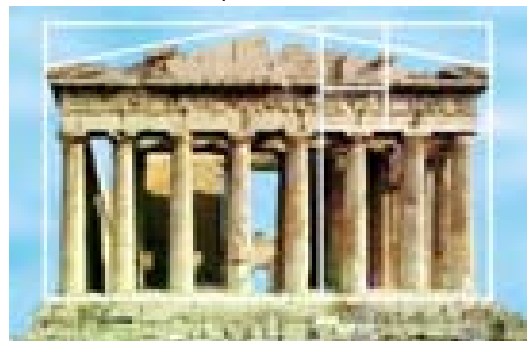


Fig. 5 (C.I.PAT.1).

También los griegos obtuvieron este número al hallar la relación entre el lado de un pentágono **AB** y la diagonal que se forma al trazar una línea del vértice **A** al vértice **C**. Esto hace posible construir un pentágono regular usando solamente regla y compás. Al trazar las diagonales del pentágono resulta la estrella pentagonal o estrella de Italia, símbolo de la escuela pitagórica que servía a los pitagóricos para reconocerse entre sí (Guedj Denis., 1997).

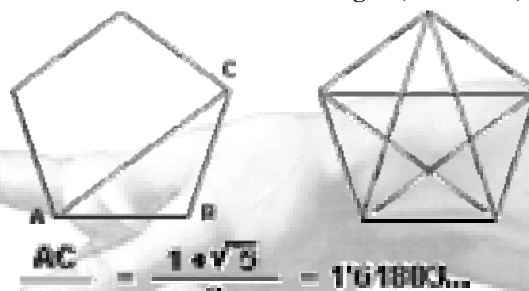


Fig. 6 (C.I.PAT.1).

No se accede a las propiedades del pentágono por simple deducción visual, sino a costa de una observación activa, intencionada. Desde la admiración de los pitagóricos por el pentágono estrellado hasta la construcción de cúpulas geodésicas derivadas del icosaedro, esta figura siempre ha tenido un atractivo para los amantes de la geometría y de las matemáticas. Sin embargo, la geometría del pentágono es un sistema muy compacto; allí donde aparece, la sección áurea está en todas partes.

En la figura **A**, el lado es sección áurea de la diagonal. En **B**, cada diagonal divide a otras dos según la sección áurea. En **C**, si hacemos un rectángulo áureo con el radio  $r$  como lado mayor, la diagonal es igual al lado del pentágono, y el lado menor igual al lado del decágono.

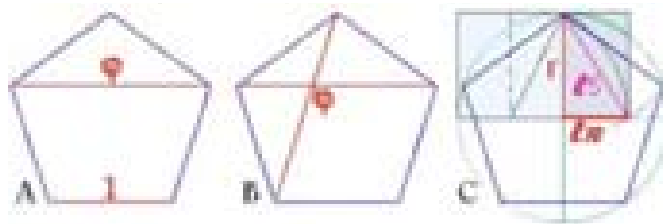
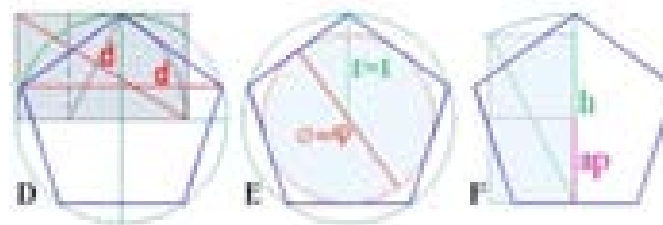


Fig. 7 (C.I.PAT.1).

En la figura **D**, si hacemos un rectángulo áureo con el radio  $r$  como lado menor, la diagonal mide igual que la diagonal del pentágono. En **E**, el radio es sección áurea del diámetro de la circunferencia inscrita, que es el doble de la apotema. En **F**, la altura  $h$  del pentágono mide lo que la raíz de cinco en relación a la apotema.



La estrella de Italia, figura 7 (C.I.PAT.1), se compone de los llamados Triángulos Sublimes ó Triángulos áureos mayores, que también tienen sus lados en proporción áurea, y sus ángulos en razón simple 1:2:2. Aparecen, como se aprecia en la figura 8 (C.I.PAT.1), en diversas formas en el pentágono y el decágono:

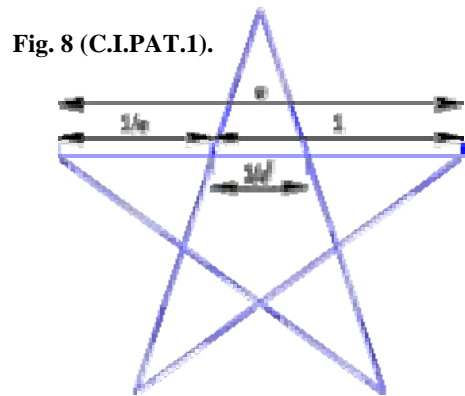


Fig. 8 (C.I.PAT.1).

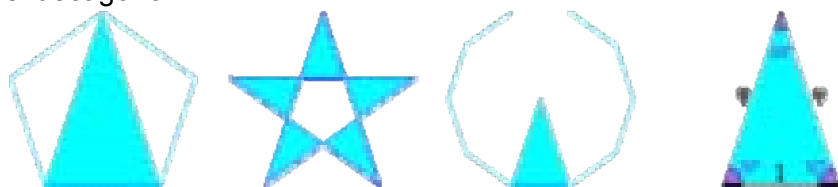


Fig. 9 (C.I.PAT.1).

Su complementario, el Triángulo Divino o Triángulo áureo menor, es un triángulo isósceles que también tiene sus lados en proporción áurea, y sus ángulos en razón simple 3:1:1. Aparece, como es de imaginar, también en el pentágono.

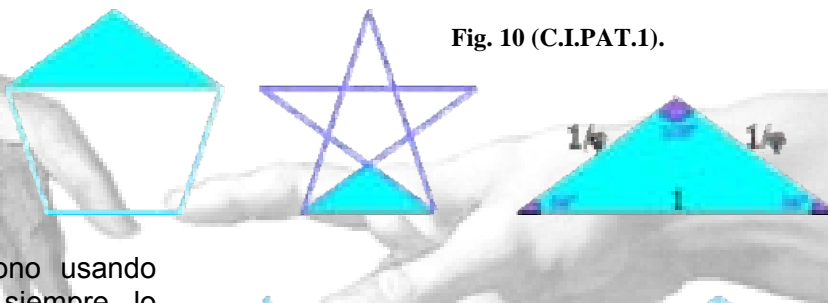


Fig. 10 (C.I.PAT.1).

De hecho, si dividimos un pentágono usando vértices y cruces de diagonales siempre lo descompondremos en varios triángulos de ambos tipos. Si partimos uno de estos triángulos desde un vértice a la sección áurea del lado contrario, la división dará un triángulo de cada tipo. A la inversa, adosando a uno de ellos el contrario, se puede agrandar la superficie del primero. Las superficies de los triángulos así divididos guardan la proporción áurea. La proporción se manifiesta en todas partes, como un sistema perfectamente coherente.

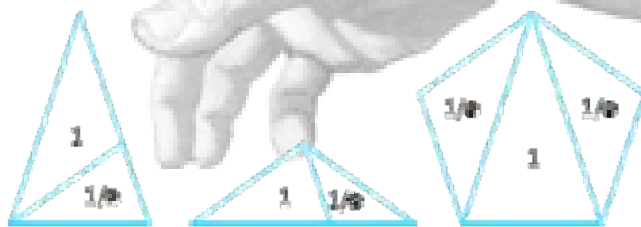


Fig. 11 (C.I.PAT.1).

Entre los sólidos platónicos, el dodecaedro y el icosaedro participan de la proporción áurea en diversas cosas. Por ejemplo, en el dodecaedro de la figura 11 (C.I.PAT.1), la arista es sección áurea de la diagonal de cara, y ésta lo es de la distancia entre aristas puestas.

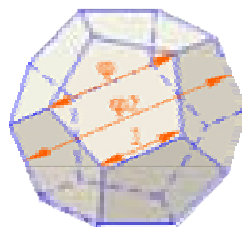


Fig. 12 (C.I.PAT.1).

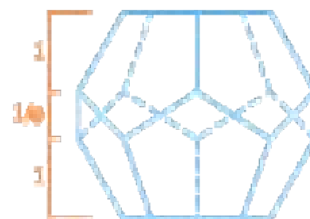


Fig. 13 (C.I.PAT.1).

En la figura 12 (C.I.PAT.1), se aprecia al dodecaedro cuando lo colocamos sobre una cara, las alturas de los vértices intermedios seccionan en sentido alterno la altura total y nuevamente en color naranja se aprecia la sección áurea.

Debajo de este párrafo, se aprecia otro dodecaedro, figura 13 (C.I.PAT.1), esta vez visto desde arriba, los radios de las circunferencias que pasan por los vértices de las bases y por los vértices intermedios, están en razón áurea. En el Icosaedro, como sucede en la imagen 14 (C.I.PAT.1), de abajo a la derecha, podemos inscribir tres rectángulos áureos perpendiculares entre si, lo que significa que la arista es sección áurea de la distancia entre aristas opuestas.



Fig. 14 (C.I.PAT.1).

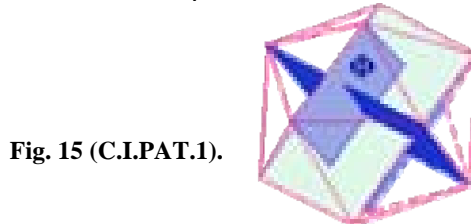


Fig. 15 (C.I.PAT.1).

Si lo colocamos sobre un vértice, encontramos que los tramos de las alturas del icosaedro siguen la razón áurea, como se aprecia en la primera figura de la derecha. En este mismo poliedro, visto desde arriba sobre una cara, como se puede constatar en la figura de la extrema derecha, los radios de las circunferencias que pasan por los vértices de las bases y por los vértices intermedios mantienen entre sí una proporción áurea.

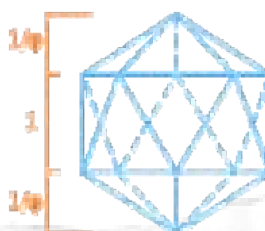


Fig. 16 (C.I.PAT.1).

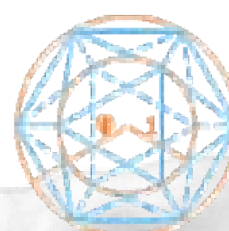


Fig. 17 (C.I.PAT.1).

La proporción áurea es uno de los patrones de ordenación natural existentes en todo nuestro universo, ya que también se ha encontrado en las partículas atómicas y moleculares, como un sistema de organización a nivel atómico que, incluso, el hombre utiliza a voluntad para mejorar diversas características de los materiales, con ayuda de la nanotecnología, como en el caso de los fullerenos (Hacyan Shahan, 1994).

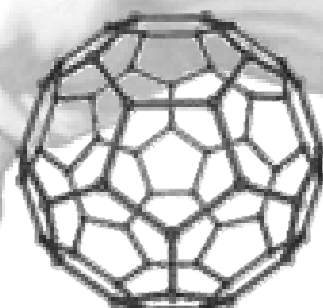


Fig. 18 (C.I.PAT.1).- Estructura molecular del fullereno del carbono C60, descubierto en 1985.

La proporción áurea tiene presencia en muchos otros ámbitos, tales como la trigonometría (donde se encuentra un triángulo áureo) y la música (en muchos ritmos existe una gran cantidad de relaciones armónicas), ya que representa una fuente inagotable de relaciones que existen a nuestro alrededor y de las cuales muchas veces ni siquiera estamos concientes.

Nuestra captación del espacio y el sentido de ubicuidad de las cosas mejoran enormemente cuando nos disponemos a habitar lugares construidos con esta proporción geométrica. Su uso continúa actualmente en la arquitectura moderna, un ejemplo de ello, es el edificio de las Naciones Unidas, el cual no es más que un gran prisma rectangular cuya cara o fachada frontal sigue las citadas proporciones (Porta Paulo, 2007).

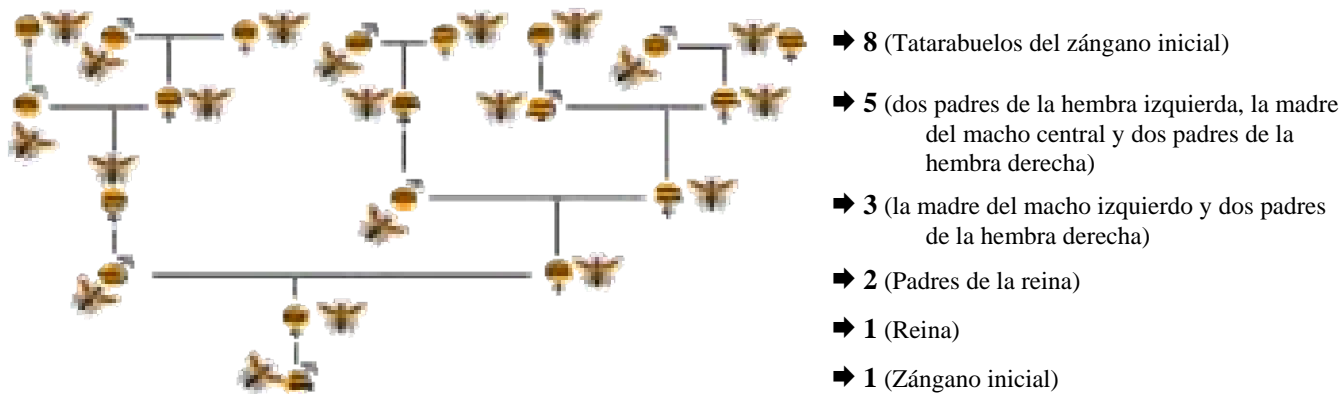
### La secuencia numérica de Fibonacci.

En 1202, el matemático italiano Leonardo de Pisa "Fibonacci", publicó su "Liber abacci" (libro de calcular), en el que para introducir el sistema numérico decimal en Europa, planteaba un problema aritmético en el que se preguntaba acerca de cuán rápido se podrían expandir los conejos por la tierra en condiciones ideales (Wikimedia Foundation, 2008p).

En esa obra, Fibonacci supone, que si se tiene una única pareja de conejos y con ambos miembros preparados para procrear al mes de existencia, darán origen a otra nueva pareja tras un mes de gestación. ¿Cuántas parejas habrá al cabo de un año? Al final del primer mes la pareja original está dispuesta a procrear, pero sigue habiendo una única pareja. Al final del segundo mes tendremos la original y su primera pareja-hija. Al finalizar el tercer mes habrá en el campo la primera pareja original, que está a punto de procrear de nuevo y una segunda pareja-hija. Al terminar el cuarto mes tendremos la primera pareja original, y su tercera pareja-hija, la primera pareja-hija y sus primeros dos vástagos, y la segunda pareja-hija, que está lista para procrear. En definitiva, la sucesión de parejas de conejos será: **1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377...** En efecto, se trata de la llamada sucesión numérica de Fibonacci, que es también conocida como números de Fibonacci, y se obtiene sumando los dos previos para obtener el siguiente.

Ahora bien, ¿que tiene que ver esta sucesión de números con el número áureo? Hagamos el siguiente experimento: tome una calculadora y divida un número cualquiera de esta serie por su inmediato anterior, a medida que progresa en la sucesión, el cociente se irá acercando más y más al número áureo; en términos matemáticos, esto quiere decir que los números creados dividiendo un número cualquiera de la sucesión de Fibonacci por su inmediato anterior tienden a acercarse, o tienen como límite, al número áureo, por lo anterior, los números de Fibonacci son la mejor aproximación a la proporción áurea que se ha descubierto hasta la actualidad (Livio Mario, 2002).

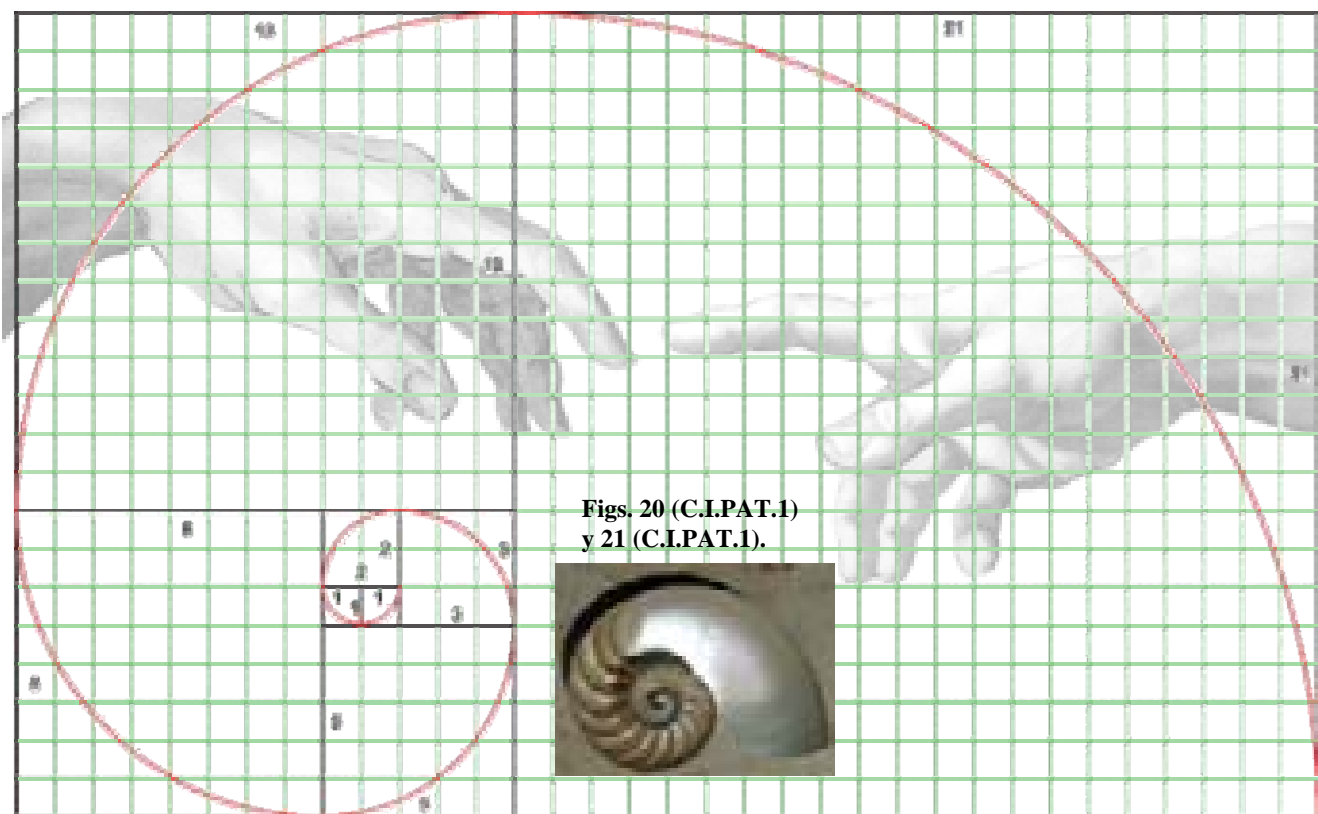
El problema con los conejos de Fibonacci es que son ideales. Existen muchos ejemplos muy reales que demuestran que esta sucesión numérica se encuentra en la naturaleza, como en el árbol familiar de cualquier zángano en un panal. En 1966, Doug Yanega, del museo de investigación Entomológica de la Universidad de California, descubrió que la relación que existe entre abejas hembras y machos en una comunidad es cercana al número áureo. La abeja macho o zángano nace de un huevo NO fertilizado de la reina, luego tiene una madre, pero no un padre. Por el contrario, tanto la reina (la única que puede poner huevos) como las obreras nacen del huevo fertilizado por un macho. Tienen, por tanto, padre y madre. Así, el árbol familiar de un zángano queda como sigue: tiene 1 madre, dos abuelos (macho y hembra), 3 bisabuelos (dos de la familia de la abuela y uno de la del abuelo), 5 tatarabuelos, y 8 tataratatarabuelos... ¡el árbol genealógico del zángano es una sucesión numérica de Fibonacci! (Huntley H. E., 1996).



**Fig. 19 (C.I.PAT.1).**- Aquí se muestran los ancestros que, de cada sexo, ha tenido cualquier zángano, durante varias generaciones. El número de abejas que aparece en cada fila horizontal pertenece a la secuencia numérica de Fibonacci.



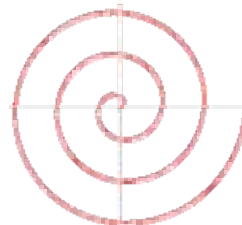
Convertimos los números en cuadrados: pongamos dos iguales, uno junto a otro de cualquier tamaño, cuyos lados tomaremos como UNIDAD. Encima de ambos, dibujaremos otro cuyos lados sean del doble de los anteriores. A la derecha añadiremos otro más, del triple de lado. Debajo, el correspondiente a 5, y así sucesivamente, de modo que cada nuevo cuadrado tenga de lado la suma de los dos cuadrados anteriores. Si ahora dibujamos un cuarto de circunferencia dentro de cada cuadrado (empezando por el primero), tendremos la espiral logarítmica que presenta la concha del nautilo, con lo que también comprobamos una vez más la relación existente entre la sucesión numérica de Fibonacci (presente en el número de unidades de los lados de los cuadrados) y la proporción áurea. (Wikimedia Foundation, 2008u).



Una característica particular de muchas entidades que se presentan en la naturaleza, es su crecimiento singular en forma de expansión, adoptando formas de espirales, mismas que se han llegado a clasificar en cinco variedades distintas: **1.** Espiral de Arquímedes. **2.** Espiral de Fermat o parabólica. **3.** Espiral clotoide o radioide de arcos. **4.** Espiral hiperbólica o recíproca. **5.** Espiral logarítmica o equiangular. Todas estas espirales han sido descubiertas en nuestro entorno natural, aunque la última, la espiral logarítmica es la que con mayor frecuencia puede llegar a ser observada (Arte y Matemáticas, 2008), ya que es de tipo “estático”, entendiéndose con esto que su forma y proporciones suelen mantenerse sin alteraciones aparentes durante largos períodos de tiempo (Wikimedia Foundation, 2008v).

Las cinco clases de espirales se caracterizan por:

❖ **Espiral de Arquímedes.**- En ella, sus espiras o vueltas sucesivas siempre tienen una distancia de separación constante. Es poco común en la naturaleza, ya que se presenta más en el tipo “dinámico”, sólo por breves momentos, como en el viento solar o en las volutas que aparecen en las corrientes de los ríos sinuosos y estrechos. En su tipo “estático” puede apreciarse muy rara vez durante el crecimiento de algunos vegetales, generalmente helechos.

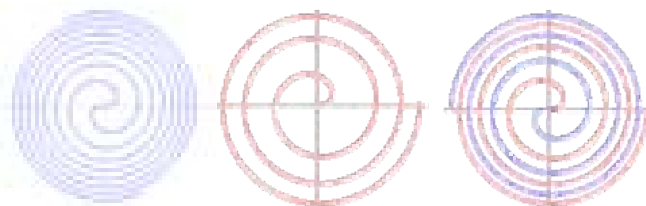


**Fig. 22 (C.I.PAT.1).**- Espiral de Arquímedes.



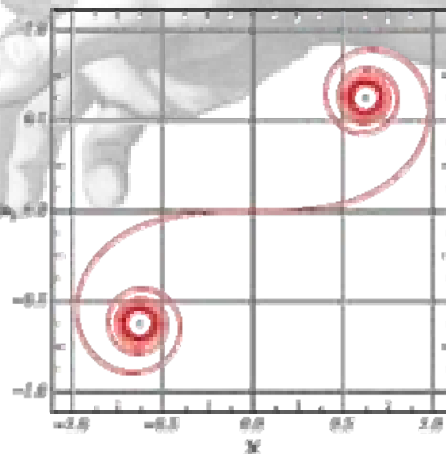
**Fig. 23 (C.I.PAT.1).**- Helecho australiano.

❖ **Espiral de Fermat.**- Es considerada una versión más avanzada de la espiral de Arquímedes y se emplea más que todo en los cálculos matemáticos y las ecuaciones para determinar las coordenadas de algún terreno. Está compuesta por dos espirales de Arquímedes iguales y simétricamente invertidas, que comparten el mismo punto de origen. Es muy difícil llegar a encontrarla en el entorno natural.



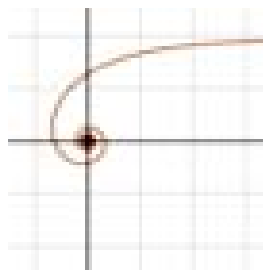
**Fig. 24 (C.I.PAT.1).** – A la izquierda se aprecia una espiral de Fermat normal; al centro, la espiral de Arquímedes que le da origen; a la derecha se aprecia claramente cómo se combinan ambas espirales de Arquímedes para dar forma a una de Fermat.

❖ **Espiral clotoide.**- Tiene forma alargada con dos remolinos dispuestos en simetría invertida, cada uno de ellos se conecta con el otro en una curva tangente al eje de las abscisas (horizontal) en el centro de la figura, por lo que su curvatura en cualquier punto es proporcional a la distancia medida desde ése punto hasta el origen central, a lo largo de dicha línea. Resulta útil como curva de transición en el trazado de vías automotrices, ferroviarias y montañas rusas, puesto que un vehículo que siga dicha curva a velocidad constante tendrá una aceleración angular constante, evitándose irregularidades en su aceleración centrípeta. Esta espiral también se presenta muy rara vez en la naturaleza.

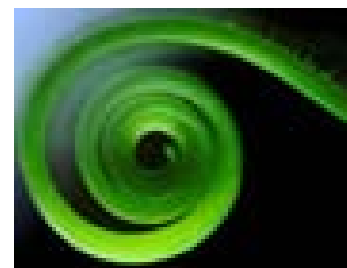


**Fig. 25 (C.I.PAT.1).**

❖ **Espiral hiperbólica.**- Es considerada la espiral inversa a la de Arquímedes. Puede ser observada un poco más frecuentemente en la naturaleza que las anteriores, como en las formas dinámicas que adoptan al enrollarse las extremidades de algunos moluscos cefalópodos (pulpos y calamares) y los caballitos de mar, y en su tipo estático en algunos vegetales.



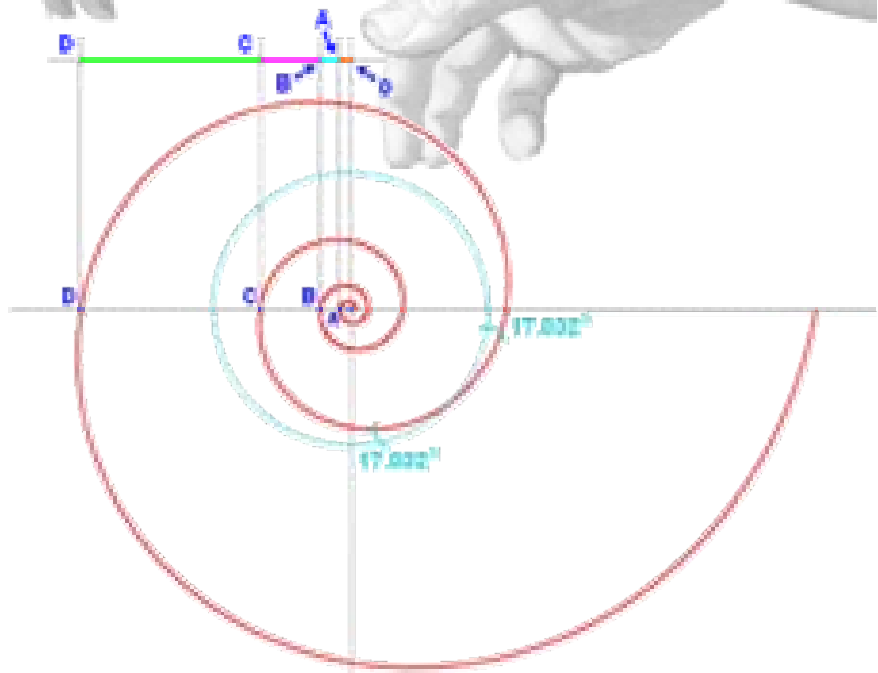
**Fig. 26 (C.I.PAT.1).**



**Fig. 27 (C.I.PAT.1).**

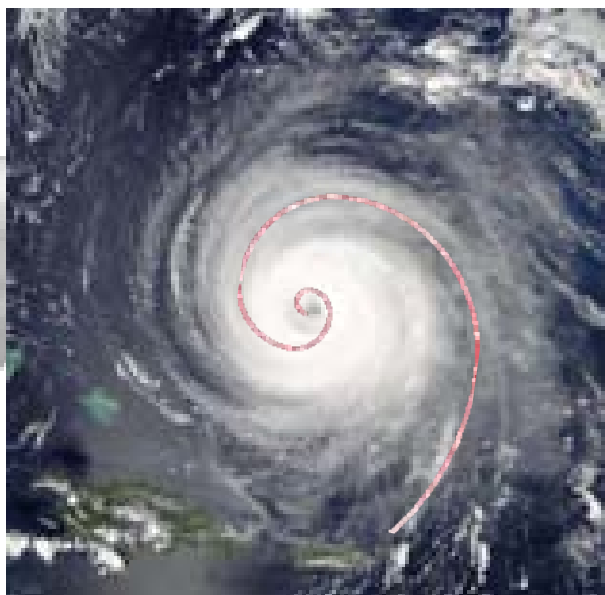
- ❖ Espiral logarítmica.- Virtualmente casi todas las espirales “estáticas” que aparecen en la naturaleza son espirales logarítmicas. En una espiral logarítmica la separación entre sus sucesivas espiras aumenta desde el centro hacia fuera en una progresión geométrica, y el grado de crecimiento de la espiral es el ángulo constante que la espiral mantiene en sus espiras respecto a alguna circunferencia de referencia centrada en su origen, por ello, también se le conoce como espiral de crecimiento equiangular. Una espiral logarítmica con grado cero de crecimiento sería un círculo, mientras que una con grado 90 es una línea recta trazada desde su centro. Aunque existen muchos organismos que se desarrollan siguiendo patrones espirales logarítmicos con distintos grados de crecimiento, todos constituyen un ritmo dinámico que se manifiesta, en su mayoría, con espirales logarítmicas con un grado de crecimiento angular igual a 17.03239, que corresponde al desarrollo armónico que tiene una espiral logarítmica con proporción áurea (Wikimedia Foundation, 2008w) y a la simetría pentagonal que se deriva de ella. Basándose en lo anterior, puede afirmarse que la más común de todas las espirales que pueden apreciarse en la naturaleza es la logarítmica, y casi la totalidad de éstas mantienen proporciones áureas al presentar el mencionado grado de crecimiento angular.

Para comprobar que este crecimiento se encuentra en muchos vegetales y organismos marinos, como las medusas o las estrellas de mar, adoptando la forma de la espiral logarítmica de proporciones áureas, podemos trazar una línea recta que tenga inicio en el punto central (o de Origen) de la espiral y dirigirla hacia su exterior en cualquier dirección, enseguida nombraremos con letras A, B, C... los puntos en los que dicha línea cruza con la espiral en su trayecto hacia el exterior, y así observaremos que las distancias entre los puntos OA, OB, OC... aumentan en progresión geométrica con una proporción áurea (se incrementan sucesivamente 1.618 veces), y las longitudes en esa misma línea recta, entre las espiras contiguas, definidas por los puntos OA, AB, BC... también crecen geoméricamente con el mismo patrón dorado, por lo que resulta totalmente evidente la presencia de una Ley de Crecimiento Natural en la espiral logarítmica con proporción áurea, debido a esto, también se le llamó: “La espiral del crecimiento”, al ser descubiertas sus propiedades por Descartes y estudiada posteriormente por varios investigadores, entre ellos Jacob Bernoulli, quien la nombró: *Spira Mirabilis*, “la espiral maravillosa” (Ghyka, Matila C., 1992).



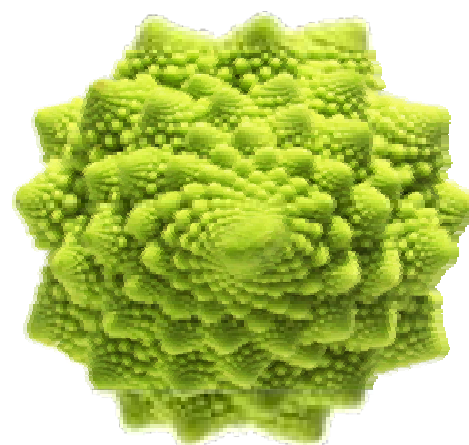
**Fig. 28 (C.I.PAT.1).** – En la espiral logarítmica con proporción áurea las distancias entre el origen y los puntos A, B, C, D... crecen en razón dorada, al igual que las longitudes entre los segmentos sucesivos OA, AB, BC, CD...

La proporción áurea se encuentra presente de manera natural en muchos lugares del universo: en la forma típica de todos los huracanes, ya que durante su formación y crecimiento la espiral logarítmica dorada se mantiene sin cambio alguno, e incluso en las galaxias con forma espiral. En ambos casos intervienen algunas fuerzas comunes, como la atracción gravitatoria y los momentos angulares, aunque las escalas involucradas y los fenómenos físicos que los afectan son muy diferentes, no obstante, resulta evidente su organización áurea, como se muestra en las fotografías que aparecen enseguida, a las que se ha sobrepuesto esta espiral logarítmica (Livio Mario, 2002).



**Figs. 29 (C.I.PAT.1) y 30 (C.I.PAT.1).** A la izquierda se aprecia el huracán Isabel, ubicado el 14 de septiembre de 2003 a 400 millas al norte de Puerto Rico, con una intensidad de categoría 5. En la imagen de la derecha, muy próxima a la constelación de Piscis, se observa la galaxia NGC 628 (o Messier 74).

Al estar estrechamente relacionados los números de Fibonacci y la espiral logarítmica con proporción áurea, podemos encontrarlos en el número de espirales a la izquierda y a la derecha que podemos contar en las semillas de los girasoles, en las piñas de los pinos; en el número de pétalos de las flores (3 en el iris; 5 u 8 en algunos ranúnculos; las margaritas y los girasoles suelen tener 13, 21 o 34 pétalos...) y en el número de flores en las espirales del brócoli y de la coliflor, de hecho, cada una de ellas es una diminuta coliflor en sí misma. Si se cuentan las espirales en ambas direcciones que salen de esas mini flores, ¿que número saldrá?. También encontraremos los números de Fibonacci en el número de lados de la cáscara del plátano y del corazón de la manzana (Delgado Rodríguez A., 1995).



**Fig. 31 (C.I.PAT.1).**

¿Por qué este gusto de la naturaleza por la sucesión de Fibonacci? Hojas, pétalos y semillas se ordenan en las plantas siguiendo un ángulo fijo, aunque la planta crezca, por que este es uno de los mejores sistemas de ordenación natural. Si colocamos los números de Fibonacci en el número de hojas por vuelta en el tallo, obtenemos el mejor arreglo para que reciban todas las hojas el máximo de luz sin que unas se oculten a otras y, en el caso de las flores, los pétalos tendrán la mejor exposición para atraer a los insectos polinizadores.



Fig. 32 (C.I.PAT.1).

Se ha descubierto, incluso, que la dorada proporción está presente en la gran pirámide de Keops, puesto que al dividir la longitud media de los lados de la base (230.34 m.) entre la altura que originalmente tenía (142.36 m.), se obtiene el siguiente resultado: 1.618010 ¿casualidad? (Wikimedia Foundation, 2008k).



Fig. 33 (C.I.PAT.1). En primer plano, la gran pirámide de Keops o Giza.

**4. Observaciones personales:**

Todo volumen rectangular (o paralelepípedo), que mantenga proporciones áureas, dispuesto en sentido vertical, es más inestable ante alguna fuerza que incida en su contra, que otra forma con las mismas dimensiones y situada en sentido horizontal, ya que al tener, el segundo volumen, una mayor área de contacto con su plano de sustentación, contará con una mayor resistencia ante cualquier empuje, no pudiendo ser derribado.

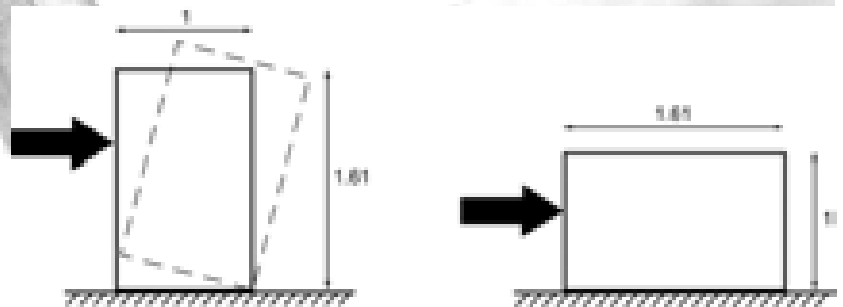


Fig. 34 (C.I.PAT.1).

La estabilidad que le confiere, a una forma rectangular o volumen tipo paralelepípedo con proporciones áureas, su disposición en sentido horizontal, es lo que le ha permitido, por ejemplo, a la gran pirámide de Keops mantenerse en pie, prácticamente sin mella, durante casi cinco mil años, resistiendo al embate de muchas tormentas de arena, tan comunes en el desierto.

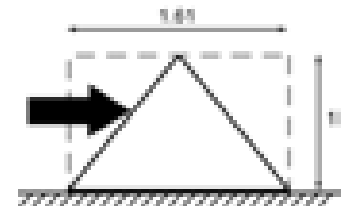


Fig. 35 (C.I.PAT.1).

Para conferirle una mayor estabilidad a los proyectos y construcciones, en los que se desea utilizar la proporción áurea, es conveniente diseñarlos en un sentido horizontal, es decir, preferentemente manteniendo una relación de al menos 1.6 veces más anchura y longitud que altura.

<p>No. 5. Modelos funcionales:</p> <p>1. La horizontalidad en proyectos y construcciones les confiere más estabilidad, con al menos 1.6 veces más anchura y longitud que altura.</p>	<p>Pág. 11</p>	<p>6. Abstracciones:</p> <p>La horizontalidad confiere estabilidad, con mínimo 1.6 veces más anchura y longitud que altura.</p>
--	----------------	---

7. Solución de diseño:

**Nota:** Favor de consultar, en el capítulo: “Solución de diseño”, la integración de las abstracciones obtenidas en cada ficha por separado y la conclusión de diseño a la que he llegado.

8. Referencias:

❖ **Bibliografía y medios electrónicos.**

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Álvarez C., Álvarez F., Garrido L. M., Martínez S. M. y Ruiz A. (1998). <i>Matemática IX. Ciencias.</i>	México.	Editorial Vicens Vives.
Arte y Matemáticas (2008). <i>La espiral en el universo.</i>	<a href="http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica">http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica</a>	29/10/08
Carione Noemí H, Carranza Susana G, Diñeiro María Teresa, Latorre María Laura y Trama Eduardo E. (1996). <i>Matemática 3.</i>	México.	Editorial Santillana.
Delgado Rodríguez A. (1995). <i>Reflexiones acerca de la sección áurea.</i>	Boletín Matemáticas y Cultura. Facultad de Ingeniería, U. N. A. M. pp 148 – 151.	U:N:A:M:
Ghyka, Matila C. (1992). <i>El número de oro.</i>	Barcelona, España.	Editorial Poseidón.
Guedj Denis. (1997). <i>El imperio de las cifras y los números.</i> Biblioteca de bolsillo. CLAVES.	Madrid, España.	Ediciones Grupo Zeta.
Hacyan Shahan. (1994). <i>Del mundo cuántico al universo en expansión.</i> Col. La Ciencia para Todos.	México.	Fondo de Cultura Económica.

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Huntley H. E. (1996). <i>The divine proportion.</i>	USA	Dover Publications Inc.
Livio Mario. (2002). <i>The Golden Ratio: The Story of Phi, the World's Most Astonishing Number.</i>	New York, USA.	Broadway Books.
Porta Paulo. (2007). Instituto Arzobispo Xelmírez, Esp.. <i>La proporción Áurea.</i>	<a href="http://www.pauloport.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloport.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>	29/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008v). <i>Espiral de Arquímedes.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_de_Arqu%C3%ADmedes">http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_de_Arqu%C3%ADmedes</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008w). <i>Espiral logarítmica.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADtmica">http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADtmica</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008k). <i>Gran Pirámide de Giza.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A1mide_de_Keops">http://es.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A1mide_de_Keops</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008p). <i>Leonardo de Pisa.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Fibonacci">http://es.wikipedia.org/wiki/Fibonacci</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008s). <i>Número áureo.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo">http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008u). <i>Sucesión de Fibonacci.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Sucesi%C3%B3n_de_Fibonacci">http://es.wikipedia.org/wiki/Sucesi%C3%B3n_de_Fibonacci</a>	30/10/08

❖ **Imágenes e ilustraciones.**

<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
1 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.psicogeometria.com/cuerpohumano.html">http://www.psicogeometria.com/cuerpohumano.html</a>
2 (C.I.PAT.1)	<a href="http://html.rincondelvago.com/seccion-aurea.html">http://html.rincondelvago.com/seccion-aurea.html</a>
3 (C.I.PAT.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo">http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo</a>
4 (C.I.PAT.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo">http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo</a>
5 (C.I.PAT.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo">http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo</a>
6 (C.I.PAT.1)	<a href="http://html.rincondelvago.com/seccion-aurea.html">http://html.rincondelvago.com/seccion-aurea.html</a>
7 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloport.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloport.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
8 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloport.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloport.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>

<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
9 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
10 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
11 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
12 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
13 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
14 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
15 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
16 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
17 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
18 (C.I.PAT.1)	<a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Fullerene">http://en.wikipedia.org/wiki/Fullerene</a>
19 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos_informaticos/concurso2002/alumnado/naturaleza.html">http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos_informaticos/concurso2002/alumnado/naturaleza.html</a>
20 (C.I.PAT.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADtmica">http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADtmica</a>
21 (C.I.PAT.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADtmica">http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADtmica</a>
22 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica">http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica</a>
23 (C.I.PAT.1)	<a href="http://xahlee.org/SpecialPlaneCurves_dir/Spiral_dir/spiral.html">http://xahlee.org/SpecialPlaneCurves_dir/Spiral_dir/spiral.html</a>
24 (C.I.PAT.1)	<a href="http://simetria.dim.uchile.cl/matematico/nodo214.html">http://simetria.dim.uchile.cl/matematico/nodo214.html</a>
25 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica">http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica</a>
26 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica">http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica</a>
27 (C.I.PAT.1)	<a href="http://museosvirtuales.azc.uam.mx/estudio-de-arquepoetica/escritos/isomorfia.html">http://museosvirtuales.azc.uam.mx/estudio-de-arquepoetica/escritos/isomorfia.html</a>
28 (C.I.PAT.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
29 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.space.com/scienceastronomy/perfect_spirals_030917.html">http://www.space.com/scienceastronomy/perfect_spirals_030917.html</a>
30 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.space.com/scienceastronomy/perfect_spirals_030917.html">http://www.space.com/scienceastronomy/perfect_spirals_030917.html</a>
31 (C.I.PAT.1)	<a href="http://museosvirtuales.azc.uam.mx/estudio-de-arquepoetica/escritos/isomorfia.html">http://museosvirtuales.azc.uam.mx/estudio-de-arquepoetica/escritos/isomorfia.html</a>
32 (C.I.PAT.1)	<a href="http://evolutionoftruth.com/div/fibomyst.htm">http://evolutionoftruth.com/div/fibomyst.htm</a>
33 (C.I.PAT.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A1mide_de_Keops">http://es.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A1mide_de_Keops</a>
34 (C.I.PAT.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
35 (C.I.PAT.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián

*9. Palabras clave:*

Proporción Áurea, número de oro.



## *Ficha cuatro: Resortes*

**E.I.MEC.1**  
Página 1

1. *Clave:* **E.I.MEC.1** Tipo de ambiente: Terrestre  
Entidad Inanimada; Mecanismo

2. *Entidad biológica o inanimada:* Resortes

3. *Revisión en distintas fuentes de consulta:*

### **Los Resortes y la resiliencia.**

Si consideramos que en un ambiente determinado se tiene un material sólido sujeto a fuerzas cortantes, éste se deformará hasta cierto límite, reordenando sus elementos estructurales (átomos), al generar una fuerza igual en magnitud y en dirección opuesta a la aplicada, para así quedar en equilibrio, ya que en última instancia, los átomos ligados entre sí por fuerzas de origen electromagnético se ven obligados a cambiar sus posiciones relativas hasta balancear exactamente la fuerza aplicada. La deformación se detiene en el preciso momento en que esto se logra. Decimos que un material es elástico si al retirar las fuerzas aplicadas recupera su forma inicial. Le llamamos plástico si no recupera su estado original y guarda cierta “memoria” (o conserva las huellas) de las fuerzas que sufrió (ITESM, 1996).

En 1821 se presentó ante la Academia de Ciencias, en París, un trabajo de Claude Louis Marie Henri Navier (1785-1836), ingeniero de formación y vocación. En éste se deducían las ecuaciones fundamentales de la elasticidad, que hoy en día llevan su nombre, para describir el equilibrio y las vibraciones en un sólido. Estas resultaban de un análisis puramente matemático en el que los átomos, entonces entes hipotéticos, se imaginaban como partículas que interactuaban por medio de resortes. No sorprende que fuese Navier el primero en construir un puente colgante a partir de un proyecto y de un cálculo de su estructura, ya que previamente las construcciones se hacían sobre bases empíricas.

Al hablar de elasticidad y de la recuperación de la forma inicial, no podemos dejar de mencionar qué cosa es la resiliencia: este vocablo viene del latín “resilio” que significa volver atrás, volver de un salto, resaltar, rebotar. El concepto de resiliencia parte de la física y se refiere a la capacidad de los metales de resistir el impacto de una presión deformadora y recobrar su estado cuando ya no existe dicha presión; un ejemplo de ello son los resortes metálicos, los cuales tienen la capacidad de elongar al ser sometidos a estiramiento y al soltarse recobran su estado original. Otros materiales resilientes son el caucho y algunos polímeros utilizados para fabricar sellantes (Enciclopedia Libre Universal en Español, 2008).

La propiedad de resiliencia de determinados materiales nos indica la capacidad que tienen de absorber energía elástica mientras está sometido a una fuerza de deformación, y devolver esta energía cuando se deja de aplicar. En otras palabras, es la capacidad de un material de volver a su forma original, tras dejar de aplicarle la fuerza que lo deformaba.

Normalmente, cuando nos referimos a la resiliencia de un material, hablamos del *módulo de resiliencia* o resiliencia elástica del material, ya que este representa la cantidad de energía por unidad de volumen que es absorbida por el material para deformarlo, desde un esfuerzo nulo hasta su valor de esfuerzo de fluencia o límite elástico. El material podrá recuperar su forma original, si antes de que llegue a su límite de elasticidad, se le retira la carga o fuerza que lo elonga, es decir, un instante antes de que comience la deformación plástica, que es la irreversible, o aquella en la que el material queda irremediadamente contrahecho (Viklund Andreas, 2008).

El módulo de resiliencia, en el Sistema Internacional de Unidades, se expresa en julios por metro cuadrado ( $J/m^2$ ). Otra unidad muy empleada en ingeniería para la resiliencia es el kilogramo-fuerza metro por centímetro cuadrado ( $kgf\cdot m/cm^2$ ), o kilopondio metro por centímetro cuadrado ( $kp\cdot m/cm^2$ ).

La cuantificación de la resiliencia de un material se determina mediante ensayos por el método Izod o el péndulo de Charpy, mismos que pertenecen a los llamados métodos destructivos, ya que la pieza que se somete al ensayo tendrá que ser llevada al límite de su resistencia física, para obtener un valor indicativo de la fragilidad o la resistencia a los choques del material ensayado (Zwick Roell Group, 2008).

La resiliencia es una propiedad relacionada directamente con materiales elásticos, como el acero, que se usan por ejemplo para la fabricación de muelles y resortes, donde su estructura formal contribuye a proporcionarles la flexibilidad que requerirán durante su vida útil manteniendo al mismo tiempo una gran resistencia a todo tipo de fuerzas que los comprimirán, tensionarán e impactarán.

Un elevado grado de resiliencia es característico de los aceros austeníticos, aceros con alto contenido de austenita. En aceros al carbono, los aceros suaves (con menor contenido porcentual de carbono), tienen una mayor resiliencia que los aceros duros.

Los resortes metálicos están fabricados con materiales que cuentan con un alto módulo de resiliencia, lo que les permite soportar altas cargas de energía sin producirseles deformaciones permanentes (Pontificia Universidad Católica de Chile, 1999).

### **Protección de edificios contra vibraciones.**

La amortiguación de vibraciones de grandes estructuras como estadios, puentes, chimeneas, edificios y monumentos mediante absorbedores de vibraciones constituye el objetivo central de la actividad de algunas compañías constructoras internacionales especializadas en el aislamiento de vibraciones y protección antisísmica, como es el caso de la empresa alemana GERB, S.A.

Los predios atractivos situados en el centro de las ciudades o en lugares muy bien comunicados, tienen algunas veces una desventaja desagradable. La causa son las vibraciones o el ruido estructural originado por:

- ❖ Una línea de metro o de ferrocarril subterráneo.
- ❖ Máquinas de una nave industrial vecina.
- ❖ Tráfico pesado sobre calzadas en desnivel o en puentes próximos.

Las vibraciones y el ruido reducen el valor de tales predios. La importancia de estas vibraciones suele ser infravalorada desde un principio, ya que sólo una vez que el edificio ha sido terminado se aprecia claramente su efecto en forma de vibraciones de los planos horizontales de la estructura o de ruido secundario, irradiado por paredes y losas (GERB, S.A., 2008a).

Las medidas de corrección resultarán entonces prácticamente imposibles o requerirán mucho tiempo y dinero. Es en estos casos responsabilidad de los propietarios y de los arquitectos el realizar a tiempo los estudios apropiados, para evitar problemas posteriores.

Con una cimentación convencional no se puede evitar la transmisión de vibraciones a un edificio. El aislamiento de las vibraciones desde su lugar de origen es frecuentemente irrealizable o insuficiente. Las medidas constructivas implementadas en los inmuebles no siempre lograrán el éxito deseado y limitarán, además, la creatividad del arquitecto, por tanto, resulta necesario el tomar medidas especiales a nivel de la cimentación, que eliminen el riesgo para las personas, máquinas o inmuebles y permitan el construir todo tipo de edificios, aislándolos para liberarlos de estas vibraciones.

#### **Aislamiento de edificios.**

Los sistemas de soportes elásticos para edificios desarrollados por la mencionada empresa alemana, presentan una frecuencia propia vertical de 3 a 5 Hz para un edificio considerado como cuerpo rígido.

Con ello no solamente se elimina la transmisión de ruido estructural, sino también se reducen en más de un 80% vibraciones típicas con frecuencias entre 10 y 20 Hz, procedentes de tráfico, metro o ferrocarriles cercanos que se amplifican especialmente en los pisos altos del edificio, resultando molestas (Singer Ferdinand L., 1985).

Este sistema permite mantener los niveles de vibración en la construcción por debajo de los valores límite que marca la norma alemana DIN 4150 parte 2, incluso bajo condiciones muy difíciles. Los sistemas GERB para el aislamiento de edificios constan de elementos de resortes y amortiguadores VISCO. Ambos componentes se vienen utilizando desde hace muchas décadas para el aislamiento de maquinaria pesada, soportando grandes cargas dinámicas y estáticas.

Desde 1985 este sistema se utiliza con éxito en el aislamiento de edificios. Con anterioridad y paralelamente, los soportes de resortes que esta empresa fabrica se han empleado en más de 400 casos para la protección de edificios en terrenos inestables, compensando automáticamente los asentamientos diferenciales del subsuelo. Estos sistemas representan también una protección eficaz contra terremotos.



**Fig. 1 (E.I.MEC.1).**- Pruebas a una estructura con marcos rígidos sobre el sistema de aislamiento GERB en una plataforma de simulación de terremotos.

### Soportes de resortes.

Los soportes de resortes fabricados por esta firma constan de resortes helicoidales de acero, que se agrupan mediante chapas o carcasas de acero para componer elementos de distinto tamaño y capacidad de carga.

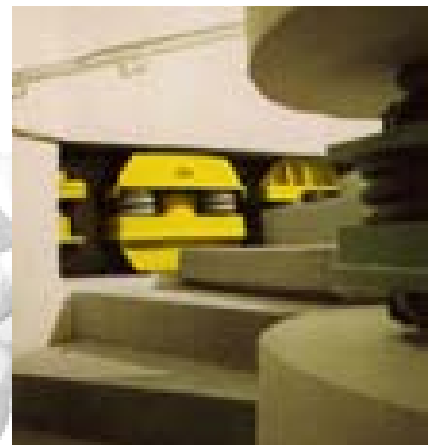


**Fig. 2 (E.I.MEC.1).**- Distintos modelos de soportes de resortes fabricados por GERB, el de la extrema derecha tiene incorporado un amortiguador Visco en su parte central.

Los resortes helicoidales tienen en su rango de carga una característica lineal de carga/deflexión. Su largo recorrido útil de deflexión es muy apropiado para una sustentación elástica del edificio con una frecuencia propia del sistema entre 3 y 5Hz (GERB, S.A., 2008b).

Dispositivos adicionales, como por ejemplo la introducción de resortes con una masa elástica, llevan a una elevación del efecto de aislamiento. Los discos elásticos reducen aún más la transmisión de vibraciones de alta frecuencia.

Ya que todos los datos del sistema son determinables, controlables y, dado el caso, también corregibles posteriormente, pero ante todo constantes temporalmente, es posible efectuar un cálculo previo a su instalación final en una estructura y obtener así la mejor solución, eficaz y duradera.



**Fig. 3 (E.I.MEC.1).**- Soportes de resortes con amortiguadores integrados, ubicados en la base de un edificio, observables en la circulación hacia el sótano.

### Amortiguadores VISCO.

Los amortiguadores VISCO acoplados al sistema GERB tienen un efecto proporcional a la velocidad, son activos tanto vertical como horizontalmente y estabilizan el sistema suspendido sobre resortes. Normalmente, van incorporados en los soportes de resortes, no precisando ningún sistema de fijación adicional. Dependiendo del tipo y número de los amortiguadores, es posible alcanzar una amortiguación del sistema del 10% o superior.

### Dimensionamiento y montaje.

La elección de la frecuencia del sistema estructural resultante se hace a partir de las mediciones previamente realizadas de las vibraciones en el terreno.

Posteriormente, se determinan los tipos y cantidad de soportes de resortes en una estrecha colaboración entre calculistas, arquitecto y los ingenieros de GERB. El plano de reparto de cargas debe reflejar las cargas fijas (peso propio) separadas de las cargas eventuales o temporales (cargas móviles, por ejemplo, para un puente). Estas últimas deben incluirse en el cálculo de la estructura con todo su valor, según la normatividad vigente. Sin embargo, para la determinación de los soportes de resortes deben realizarse reducciones, ya que sólo deben ser calculados con las cargas reales esperadas. Según el tipo de uso del edificio, por la propia experiencia de la compañía, sólo se tendrá en cuenta entre un 20 y un 30% de las cargas móviles normales.

### **Aislamiento de vibraciones para edificios, losas flotantes y construcciones Room-within-a-Room (habitación dentro de habitación).**

Desde hace ya muchos años esta empresa alemana desarrolla exitosamente nuevas técnicas, que reducen o ayudan a evitar eficazmente los problemas de transmisión de vibraciones y de ruido estructural en zonas residenciales densamente pobladas. También es posible evitar la transmisión de vibraciones nocivas actuando directamente en el lugar donde se originan, por ejemplo en el aislamiento de vías férreas.

Por medio del asentamiento elástico de un edificio, de una losa flotante o de una construcción Room-within-a-Room (por ejemplo, en estudios de grabación o laboratorios) sobre aisladores de resorte elásticos es posible el desacoplamiento dinámico de la obra civil respecto del nivel sobre el que se desplanta. La eficacia que se obtiene con esta medida depende esencialmente de la relación de la frecuencia preponderante de la excitación dinámica a la frecuencia propia del sistema asentado elásticamente. La eficiencia del aislamiento, es decir, la reducción de las vibraciones transmitidas, aumenta a igual frecuencia excitatriz con la disminución de la frecuencia propia del sistema o bien con la disminución de la rigidez del asentamiento elástico (Pontificia Univ. Católica de Chile, 1999).

La reducción de vibraciones se logra en ambos sentidos. Esto es, se habla del aislamiento de una fuente emisora, como en el caso de un asentamiento elástico de una discoteca ubicada dentro de un edificio, para protección de los departamentos vecinos. En el otro sentido, estamos frente a un aislamiento del receptor, cuando se asienta elásticamente un edificio o estudio de grabación sobre aisladores de resorte, para protegerlos de vibraciones nocivas provenientes del entorno.

Los aisladores formados por resortes helicoidales de acero son para estos casos muy apropiados. Las ventajas de estos aisladores de resorte son:

- ❖ Gran elasticidad
- ❖ Relación lineal carga-deformación
- ❖ Rigidez estática y dinámica de igual magnitud
- ❖ Rigidez en dirección vertical y horizontal
- ❖ Gran capacidad de carga
- ❖ Larga vida útil

Los sistemas de aisladores de resorte GERB abarcan amplios márgenes de carga. Comenzando con pocos KN para losas flotantes, su margen permitido de carga se extiende hasta una capacidad máxima de aprox. 2200 KN para aisladores de edificios. Así la gama de aisladores de una serie dispone de una muy fina escala de cargas. Esto, junto con la posibilidad de ajuste posterior de que disponen la mayoría de los soportes, garantiza un diseño acorde a la necesidad y el éxito del sistema de aislamiento de vibraciones.

### **Amortiguadores antisísmicos.**

Esta misma empresa alemana, con su experiencia de varias décadas amortiguando vibraciones en las construcciones, desarrolló un sistema similar llamado "Base Control System" (BCS), para amortiguamiento antisísmico de edificios, que está funcionando desde hace más de 10 años y ha dado excelentes resultados en varios edificios de Los Angeles, California.

Con el sistema BCS, se da un asentamiento elástico al edificio, protegiéndolo no sólo en dirección horizontal sino también vertical, por medio del uso de resortes helicoidales que permiten grandes deformaciones y de amortiguadores VISCO® especialmente diseñados para este fin. Es posible proteger eficazmente de daños sísmicos a edificios de las más diversas formas constructivas (GERB, S.A., 2008b).

De acuerdo con el tamaño de la construcción la capacidad de carga de cada uno de estos aisladores varía entre 10 y 300 toneladas.

#### **Absorbedores dinámicos sintonizados.**

Incluso en la parte alta de los rascacielos ya construidos en zonas sísmicas se puede instalar, según los requerimientos, otro sistema de protección alternativo: los absorbentes dinámicos sintonizados, ya que con este sistema la planta superior de un edificio puede funcionar, por ejemplo, como masa adicional.

En la actualidad, los edificios en forma de torre y rascacielos son, en su mayoría, protegidos de la fuerza del viento y de los sismos aumentando el amortiguamiento propio de la estructura del edificio. Para este fin son apropiados los absorbentes dinámicos sintonizados GERB que se montan directamente en la estructura misma del edificio, ya que son ideales para construcciones de gran altura y esbeltez, reduciendo las vibraciones originadas por el viento y los terremotos.



**Fig. 5 (E.I.MEC.1).**- En el único hotel de 7 estrellas del mundo, "Burj Al Arab" ubicado en Dubai, Emiratos Árabes Unidos, se instalaron varios absorbentes dinámicos sintonizados, para protegerlo de la fuerza del viento.

Estructuras de grandes luces (por ejemplo puentes, escenarios, escaleras importantes, techos de estadios) y también construcciones esbeltas y de gran altura (como chimeneas, torres y edificios) tienden a ser en mayor o menor medida excitadas a muy altos niveles de amplitud en uno de sus modos básicos debido, por ejemplo, al viento o a la circulación de peatones.

Típico en estas construcciones son las frecuencias propias bajas y el bajo amortiguamiento. Mediante el montaje de absorbentes dinámicos sintonizados GERB estas vibraciones pueden ser reducidas eficazmente.



**Fig. 4 (E.I.MEC.1).**- Fotografía tomada durante la construcción de un edificio en Los Angeles, California con asentamientos elásticos.

Los absorbedores están compuestos por:

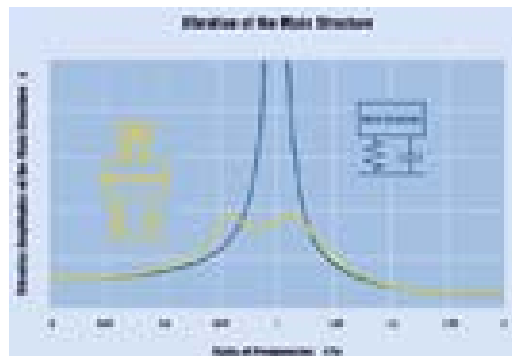
- ❖ Resorte o péndulo
- ❖ Masa oscilante
- ❖ Amortiguador VISCO®

Los absorbedores dinámicos sintonizados se ajustan a la masa y a la frecuencia natural de la estructura. Se han desarrollado y suministrado absorbedores con masas oscilantes desde 40 kg. hasta 10.000 kg. y frecuencias naturales desde 30 Hz a 0.3 Hz (GERB, S.A., 2008a).

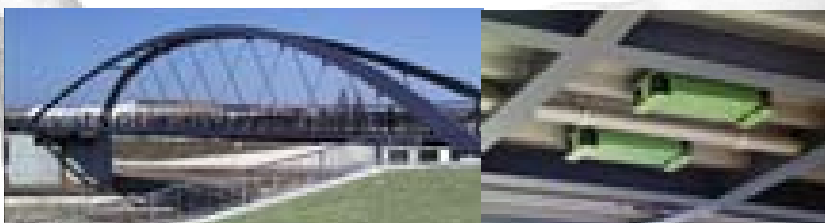
Para reducir las frecuencias propias verticales se colocan, en la mayoría de los casos, absorbedores dinámicos verticales con resortes helicoidales de compresión; mientras que las vibraciones horizontales y de torsión se reducen con absorbedores dinámicos horizontales y resortes de ballestas o péndulos.

Esencialmente, GERB instala absorbedores dinámicos sintonizados en los siguientes casos:

- ❖ En construcciones de gran altura y esbeltez (puentes, chimeneas, torres de televisión, edificios) para reducir las vibraciones provocadas por el viento.
- ❖ En escaleras, tribunas de estadios o puentes peatonales, para reducir las vibraciones provocadas por las personas. Normalmente estas vibraciones son inofensivas para la estructura, sin embargo son muy desagradables para algunos individuos. En casos extremos pueden conducir a situaciones de vértigo o pánico.
- ❖ En plataformas de acero en fábricas, que al ser excitadas por máquinas (cribas, centrifugadoras, ventiladores, etc.) originan vibraciones por resonancia.



**Fig. 6 (E.I.MEC.1).**- Respuesta en frecuencia de un sistema de bajo amortiguamiento sin (azul) y con (amarillo) absorbedor dinámico.



**Fig. 7 (E.I.MEC.1).**- Absorbedores dinámicos sintonizados en el puente TMD de Schwedter Straße, Berlín.



**Fig. 8 (E.I.MEC.1).**- Absorbedores dinámicos sintonizados en gradas para espectadores del Estadio de Fútbol Morumbi, Sao Paulo, Brasil.

- ❖ En barcos, que excitados por el motor de propulsión o el oleaje, provocan vibraciones en sus frecuencias propias.

Los absorbedores dinámicos pueden formar parte del diseño del nuevo proyecto o instalarse con posterioridad a la construcción para lograr una reducción de las vibraciones.

### **Tipos y características de los aisladores de resorte.**

Existen tres variantes de aisladores de resorte GERB:

- ❖ Aisladores de resorte **totalmente pretensables**: cada aislador puede ser pretensado individualmente hasta la posición de bloqueo de los resortes. Estos aisladores posibilitan tanto una nivelación sencilla de la máquina, el recambio posterior sin necesidad de desmontar la máquina, como también la construcción de losas de cimentación para máquinas o edificios sobre aisladores pretensados.
- ❖ Aisladores de resorte **renivelables**: cada aislador puede ser pretensado individualmente y posibilita la nivelación o renivelación de las máquinas o de los bloques de cimentación.
- ❖ Aisladores de resorte **no pretensables**: se debe levantar hidráulicamente todo el equipo para desmontar los aisladores de resorte o para renivelar la máquina o bien la fundación.

Son utilizados resortes helicoidales cilíndricos de compresión resistentes a la fatiga por diseño propio. Tanto los resortes helicoidales como todas las partes de la carcasa son provistos de una protección anticorrosiva de primera calidad.

La fijación de los aisladores de resorte se realiza generalmente sin tornillos, por medio de placas elásticas antideslizantes, manufacturadas y suministradas por esta misma empresa, de modo que no sea necesario ningún tipo de anclaje.

Las diferentes formas de construcción de los aisladores de resorte están aprobadas oficialmente por las autoridades alemanas y europeas competentes (GERB, S.A., 2008b).

Los amortiguadores VISCO® GERB son amortiguadores de vibraciones viscoelásticos, que actúan en todas las direcciones del espacio y cuya fuerza de amortiguamiento es proporcional a la velocidad relativa entre la parte superior del amortiguador (macho) y la parte inferior (carcasa del amortiguador).

Los amortiguadores VISCO® pueden ser contruidos:

- ❖ Como amortiguadores independientes, instalados en paralelo a los aisladores de resorte.
- ❖ Como amortiguadores integrados en los aisladores de resorte.

El departamento especializado en montajes de GERB realiza el montaje y la supervisión de los aisladores y amortiguadores VISCO®. Es posible elevar cimentaciones completas de edificios de varios niveles, para lo que se dispone de equipos hidráulicos con una capacidad de hasta 6000 toneladas cada uno.



Los ingenieros especializados de esta empresa realizan mediciones de emisión e inmisión de vibraciones, mediante las cuales es posible predecir los valores de las vibraciones en la nueva instalación provenientes de máquinas y equipos.

#### 4. Observaciones personales:

En el ejemplo que acabo de reseñar, la empresa alemana GERB utiliza, entre otras, la característica de resiliencia con que cuentan los resortes, en la industria de la construcción. Con ello, queda patente que podemos utilizar resortes especialmente diseñados y calculados en un sinnúmero de posibilidades para mejorar la respuesta de nuestras edificaciones a los embates de todo tipo de fuerzas que pudieran incidir en ellas, desde vibraciones menores ocasionadas por maquinaria cercana a nuestros inmuebles, hasta terremotos o grandes empujes por vientos huracanados.

<p>No. 5. Modelos funcionales:</p> <p>1. Los resortes metálicos están fabricados con materiales que cuentan con un alto módulo de resiliencia, lo que les permite soportar altas cargas de energía sin producirseles deformaciones permanentes.</p>	<p>Pág. 2</p>	<p>6. Abstracciones:</p> <p>Los resortes soportan altas cargas energéticas sin sufrir deformaciones permanentes.</p>
---	---------------	--

#### 7. Solución de diseño:

**Nota:** Favor de consultar, en el capítulo: "Solución de diseño", la integración de las abstracciones obtenidas en cada ficha por separado y la conclusión de diseño a la que he llegado.

#### 8. Referencias:

##### ❖ Bibliografía y medios electrónicos.

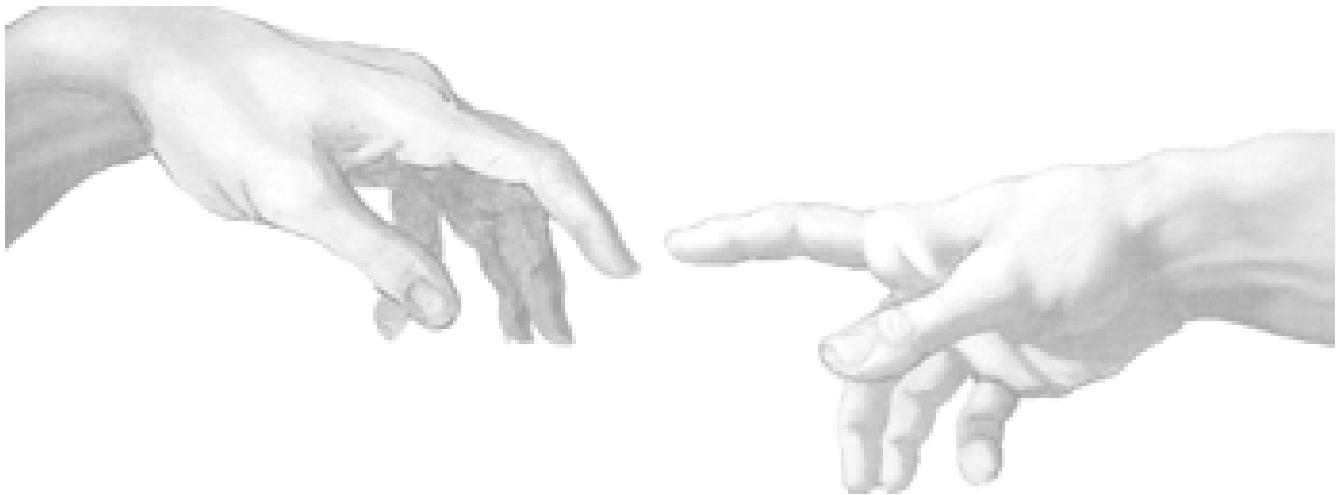
<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Enciclopedia Libre Universal en Español. (2008). <i>Ensayo de resiliencia.</i>	<a href="http://enciclopedia.us.es/index.php/Ensayo_de_resiliencia">http://enciclopedia.us.es/index.php/Ensayo_de_resiliencia</a>	28/10/08
GERB, S.A. (2008a). <i>Absorbedores dinámicos sintonizados.</i>	<a href="http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?ID=140&amp;kategorie=15">http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?ID=140&amp;kategorie=15</a>	28/10/08

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
GERB, S.A. (2008b). <i>Protección antisísmica para edificios.</i>	<a href="http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?woher=unterrubrik&amp;ID=98">http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?woher=unterrubrik&amp;ID=98</a>	28/10/08
ITESM. (1996). (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey). <i>Plasticidad en elementos en flexión.</i>	<a href="http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/cv/cv95-962/curso/practicass/P_LEST07.htm">http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/cv/cv95-962/curso/practicass/P_LEST07.htm</a>	29/10/08
Pontificia Universidad Católica de Chile. (1999). <i>Pruebas de resiliencia.</i>	<a href="http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/materiales/materials6-1.html">http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/materiales/materials6-1.html</a>	29/10/08
Singer Ferdinand L. (1985). <i>Mecánica para ingenieros.</i>	N.Y. University.	Editorial Harla.
Viklund Andreas. (2008). <i>La resiliencia.</i>	<a href="http://cadcamcae.wordpress.com/2008/01/14/la-resiliencia/">http://cadcamcae.wordpress.com/2008/01/14/la-resiliencia/</a>	29/10/08
Zwick Roell Group. (2008). <i>Máquinas para ensayos estáticos, dinámicos y de fatiga.</i>	<a href="http://www.zwick.es/products.html">http://www.zwick.es/products.html</a>	30/10/08

❖ **Imágenes e ilustraciones.**

<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
1 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/photogalerie/index.php?woher=unterrubrik&amp;kategorie=2&amp;ID=98">http://www.gerb.com/es/photogalerie/index.php?woher=unterrubrik&amp;kategorie=2&amp;ID=98</a>
2 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/bibliothek/downloads/dokumente/EDITECO.pdf">http://www.gerb.com/es/bibliothek/downloads/dokumente/EDITECO.pdf</a>
3 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/bibliothek/downloads/dokumente/EDITECO.pdf">http://www.gerb.com/es/bibliothek/downloads/dokumente/EDITECO.pdf</a>
4 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/photogalerie/index.php?woher=unterrubrik&amp;kategorie=2&amp;ID=98">http://www.gerb.com/es/photogalerie/index.php?woher=unterrubrik&amp;kategorie=2&amp;ID=98</a>
5 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/projektbeispiele/show_projektbeispiel.php?rubrik=tilger&amp;projekt=burj_al_arab">http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/projektbeispiele/show_projektbeispiel.php?rubrik=tilger&amp;projekt=burj_al_arab</a>
6 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?ID=140&amp;kategorie=15">http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?ID=140&amp;kategorie=15</a>
7 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/bibliothek/projektbeispiele/show_projektbeispiel.php?rubrik=tilger&amp;projekt=schwedter_str">http://www.gerb.com/es/bibliothek/projektbeispiele/show_projektbeispiel.php?rubrik=tilger&amp;projekt=schwedter_str</a>
8 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/bibliothek/projektbeispiele/show_projektbeispiel.php?rubrik=tilger&amp;projekt=morumbi_stadion">http://www.gerb.com/es/bibliothek/projektbeispiele/show_projektbeispiel.php?rubrik=tilger&amp;projekt=morumbi_stadion</a>

9. *Palabras clave:*  
Resortes, resiliencia, Equilibrio, Resistencia, Flexibilidad.

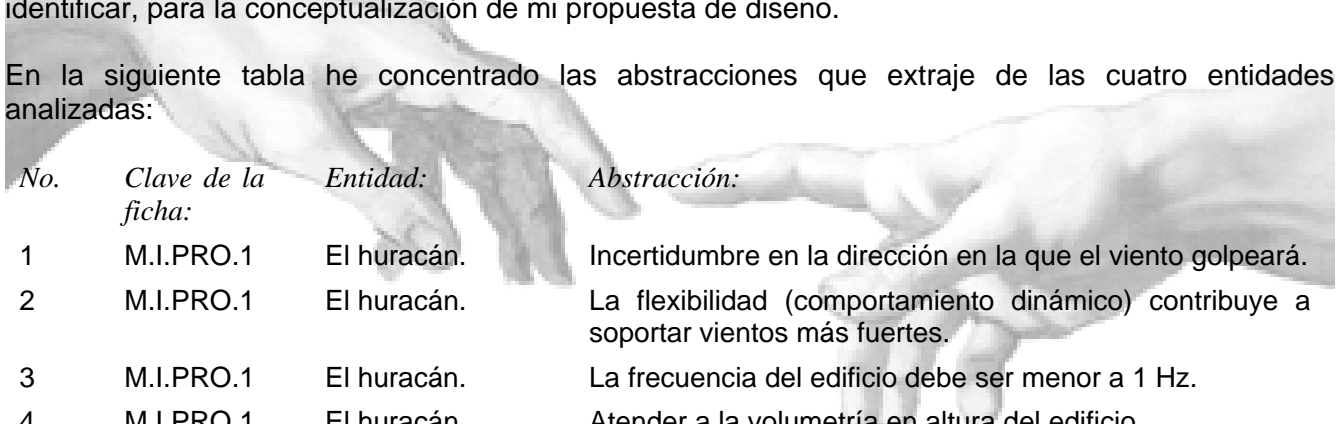


# *Solución de diseño*

## *La conclusión del juego*

En el anterior capítulo de este trabajo, comencé a trazar el camino hacia el diseño de un edificio verdaderamente resistente a los huracanes y en las páginas siguientes conjuntaré las abstracciones obtenidas en la investigación efectuada a cada una de las cuatro entidades que elegí, en una solución de diseño que comprenda los principios básicos naturales que en cada una por separado logré identificar, para la conceptualización de mi propuesta de diseño.

En la siguiente tabla he concentrado las abstracciones que extraje de las cuatro entidades analizadas:



<i>No.</i>	<i>Clave de la ficha:</i>	<i>Entidad:</i>	<i>Abstracción:</i>
1	M.I.PRO.1	El huracán.	Incertidumbre en la dirección en la que el viento golpeará.
2	M.I.PRO.1	El huracán.	La flexibilidad (comportamiento dinámico) contribuye a soportar vientos más fuertes.
3	M.I.PRO.1	El huracán.	La frecuencia del edificio debe ser menor a 1 Hz.
4	M.I.PRO.1	El huracán.	Atender a la volumetría en altura del edificio.
5	M.I.PRO.1	El huracán.	Los ángulos entre los paramentos del techo deben ser como máximo de 30 grados.
6	M.I.PRO.1	El huracán.	Vigilar la continua transferencia de cargas eólicas desde el techo hasta el cimiento.
7	M.I.PRO.1	El huracán.	El refuerzo estructural contribuye a la resistencia del inmueble.
8	M.I.PRO.1	El huracán.	Reforzar todos los elementos exteriores no estructurales.
9	M.I.PRO.1	El huracán.	Diseñar los inmuebles costeros con características aerodinámicas e hidrodinámicas.
10	C.I.STR.1	El hexágono.	Empaquetar hexagonalmente para aprovechar todo el espacio.
11	C.I.STR.1	El hexágono.	Con igualdad en forma y tamaño puede obtenerse el ordenamiento hexagonal.
12	C.I.STR.1	El hexágono.	En el hexágono las cargas se disipan con eficacia.

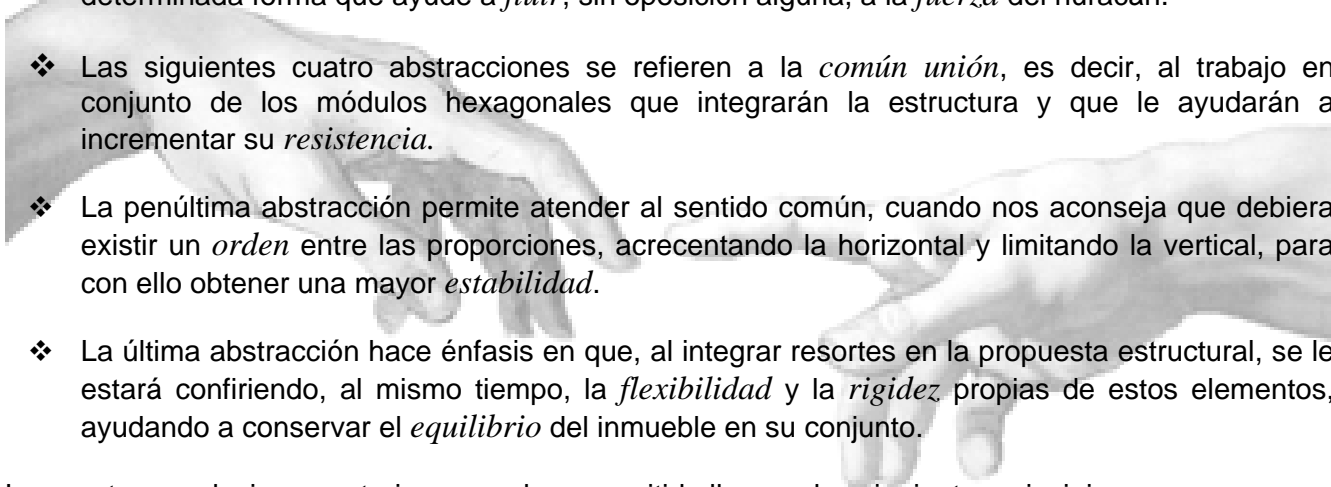


## Proceso de Creatividad Bioarquitectónica



No.	Clave de la ficha:	Entidad:	Abstracción:
13	C.I.STR.1	El hexágono.	Al agrupar varias piezas hexagonales se obtiene un conjunto más resistente.
14	C.I.PAT.1	La proporción áurea.	La horizontalidad confiere estabilidad, con mínimo 1.6 veces más longitud que altura.
15	E.I.MEC.1	Resortes.	Los resortes soportan altas cargas energéticas sin sufrir deformaciones permanentes.

A partir de estas quince abstracciones, se puede observar lo siguiente:

- 
- ❖ Las primeras nueve indican que es conveniente diseñar una estructura que mantenga una determinada forma que ayude a *fluir*, sin oposición alguna, a la *fuerza* del huracán.
  - ❖ Las siguientes cuatro abstracciones se refieren a la *común unión*, es decir, al trabajo en conjunto de los módulos hexagonales que integrarán la estructura y que le ayudarán a incrementar su *resistencia*.
  - ❖ La penúltima abstracción permite atender al sentido común, cuando nos aconseja que debiera existir un *orden* entre las proporciones, acrecentando la horizontal y limitando la vertical, para con ello obtener una mayor *estabilidad*.
  - ❖ La última abstracción hace énfasis en que, al integrar resortes en la propuesta estructural, se le estará confiriendo, al mismo tiempo, la *flexibilidad* y la *rigidez* propias de estos elementos, ayudando a conservar el *equilibrio* del inmueble en su conjunto.

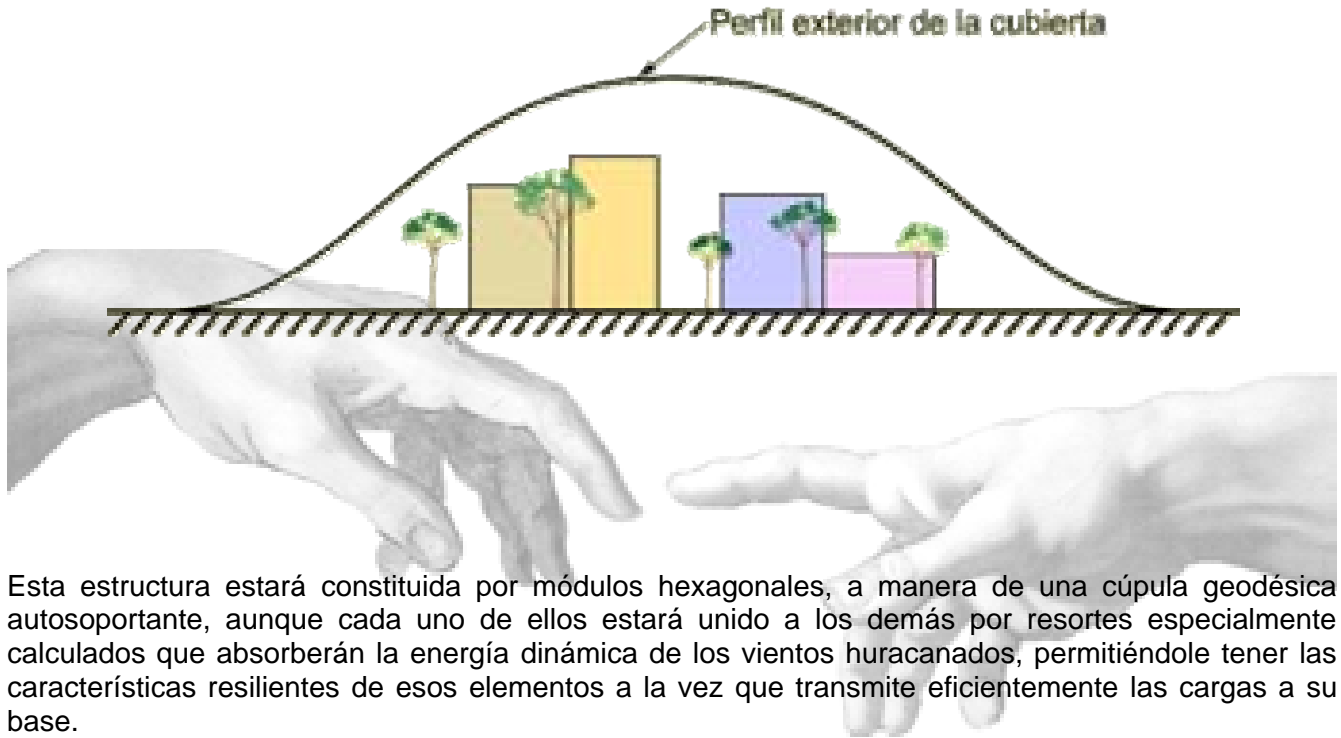
Las cuatro conclusiones anteriores, me han permitido llegar a los siguientes principios:

1. Si toda *fuerza fluye*, es importante darle cause y permitir que continúe su camino.
2. La *unión* de los elementos incrementa la *resistencia* del conjunto.
3. El *orden* ayuda a mantener la *estabilidad*.
4. Al igualar la *rigidez* y la *flexibilidad*, se logra el *equilibrio*.

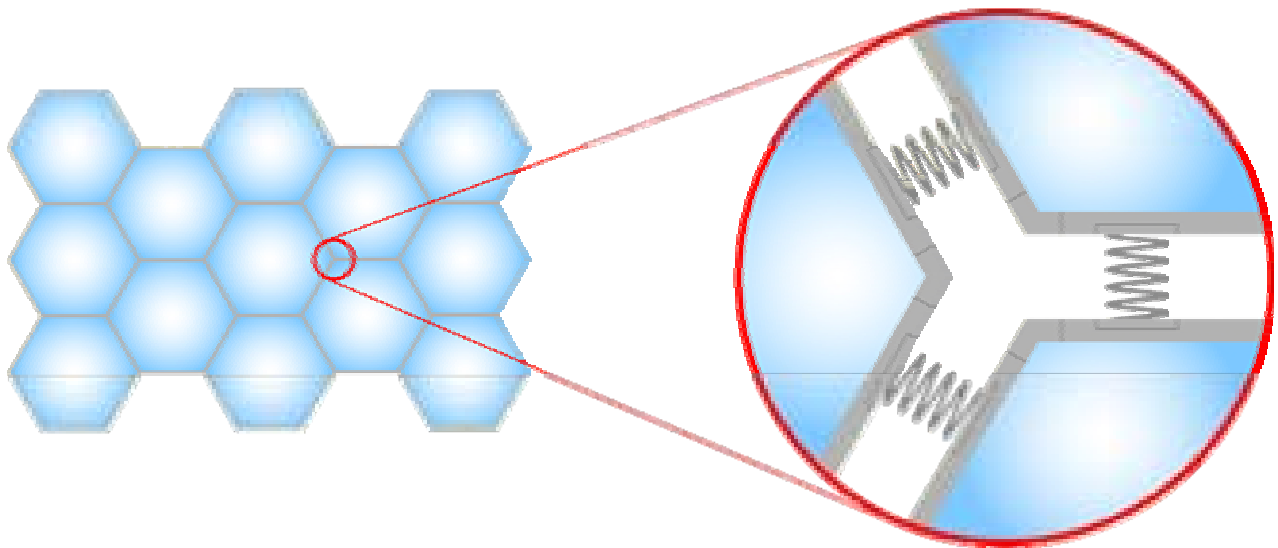
En las siguientes páginas aparecen los dibujos y esquemas que ilustran la solución de diseño que he intuido con la ayuda de estos cuatro principios que estoy encontrando en la investigación aquí expuesta. Estoy consciente de que aún falta mucho por hacer, sobre todo en lo relativo al desarrollo del proyecto ejecutivo detallado, mas el momento de concluir este ejemplo, con el que se está exponiendo el Proceso de Creatividad Bioarquitectónica, está a punto de llegar.

## *Directrices de mi diseño*

Es una cubierta estructural con formas curvas y suaves, como una loma o cerro desgastado por la erosión del viento, que servirá para proteger a los edificios ubicados en su interior.

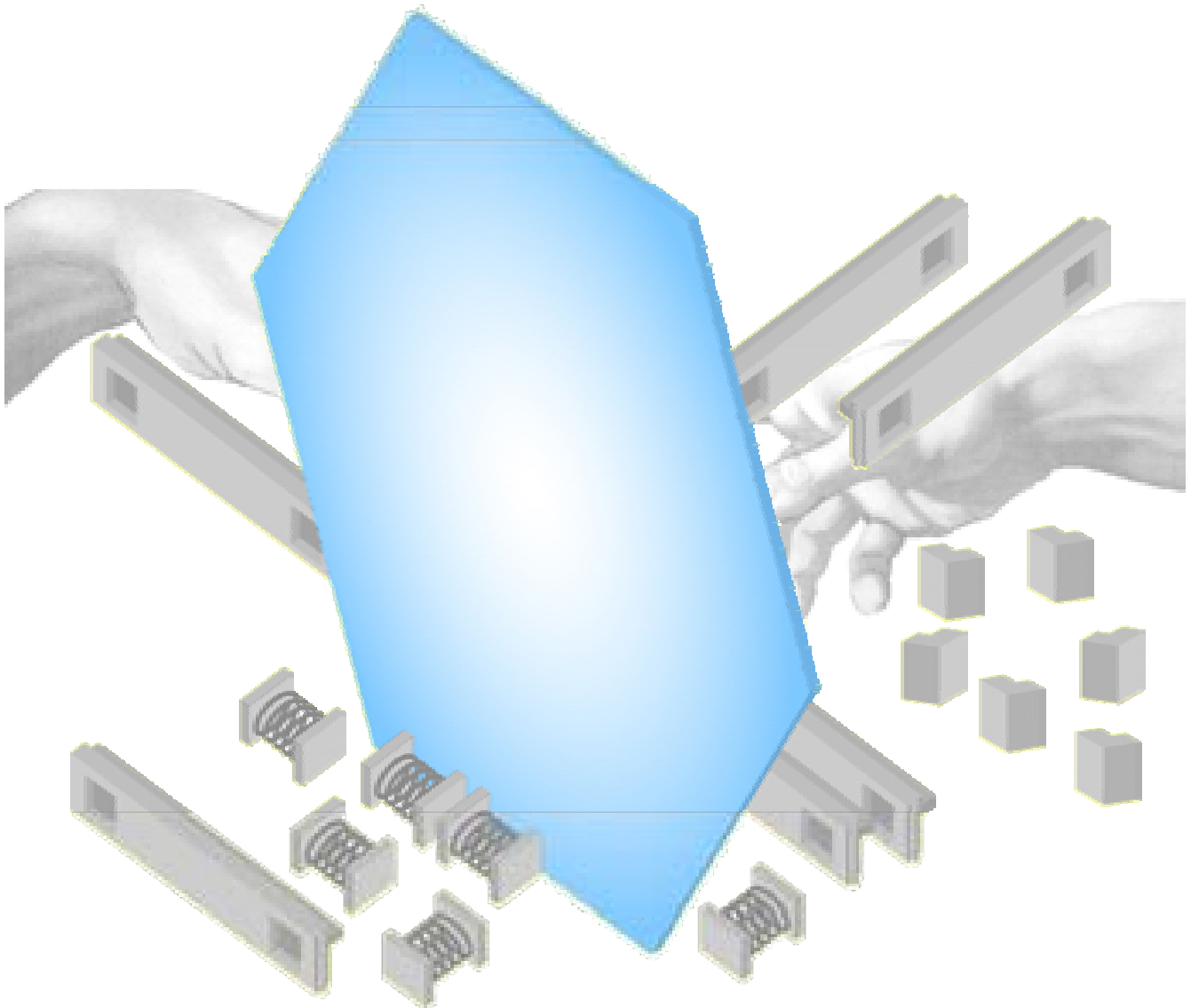


Esta estructura estará constituida por módulos hexagonales, a manera de una cúpula geodésica autosoportante, aunque cada uno de ellos estará unido a los demás por resortes especialmente calculados que absorberán la energía dinámica de los vientos huracanados, permitiéndole tener las características resilientes de esos elementos a la vez que transmite eficientemente las cargas a su base.



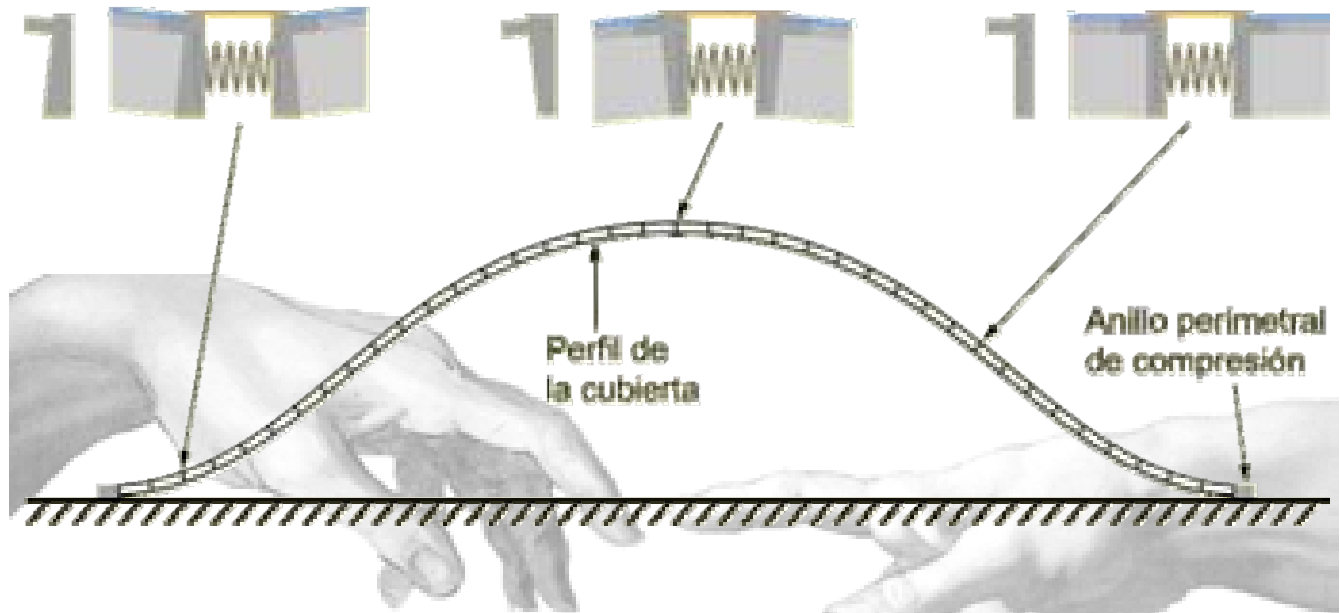
## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

Para facilitar la construcción de esta estructura, cada módulo se armará en sitio a partir de una serie de elementos prefabricados cuyo tamaño y peso individual facilitará su transportación a cualquier costa casi por todos los medios.

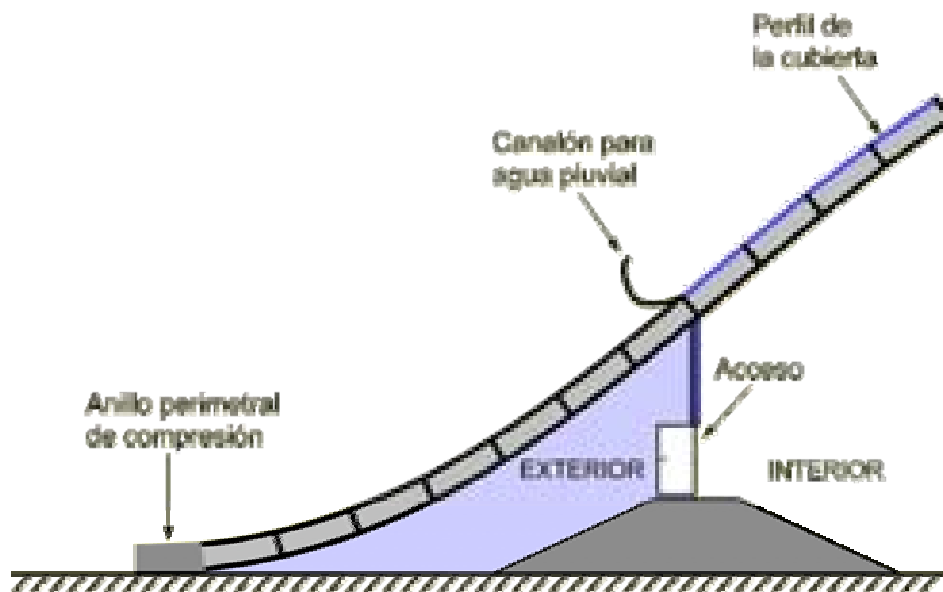


## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

Se tendrá especial cuidado en las proporciones finales de la estructura, donde por su propia forma, el tamaño que desarrolle en planta deberá ser cuando menos 1.6 veces más largo y ancho que alto. Debido a su carácter modular, podrá incrementarse la superficie que cubra, siempre manteniendo la anterior relación largo-alto. El diseño que tendrán las uniones entre los diferentes módulos ayudará a conservar la forma curva del conjunto, tanto en su parte más alta o cúspide, como en su parte más baja, en la que hace contacto con el terreno.



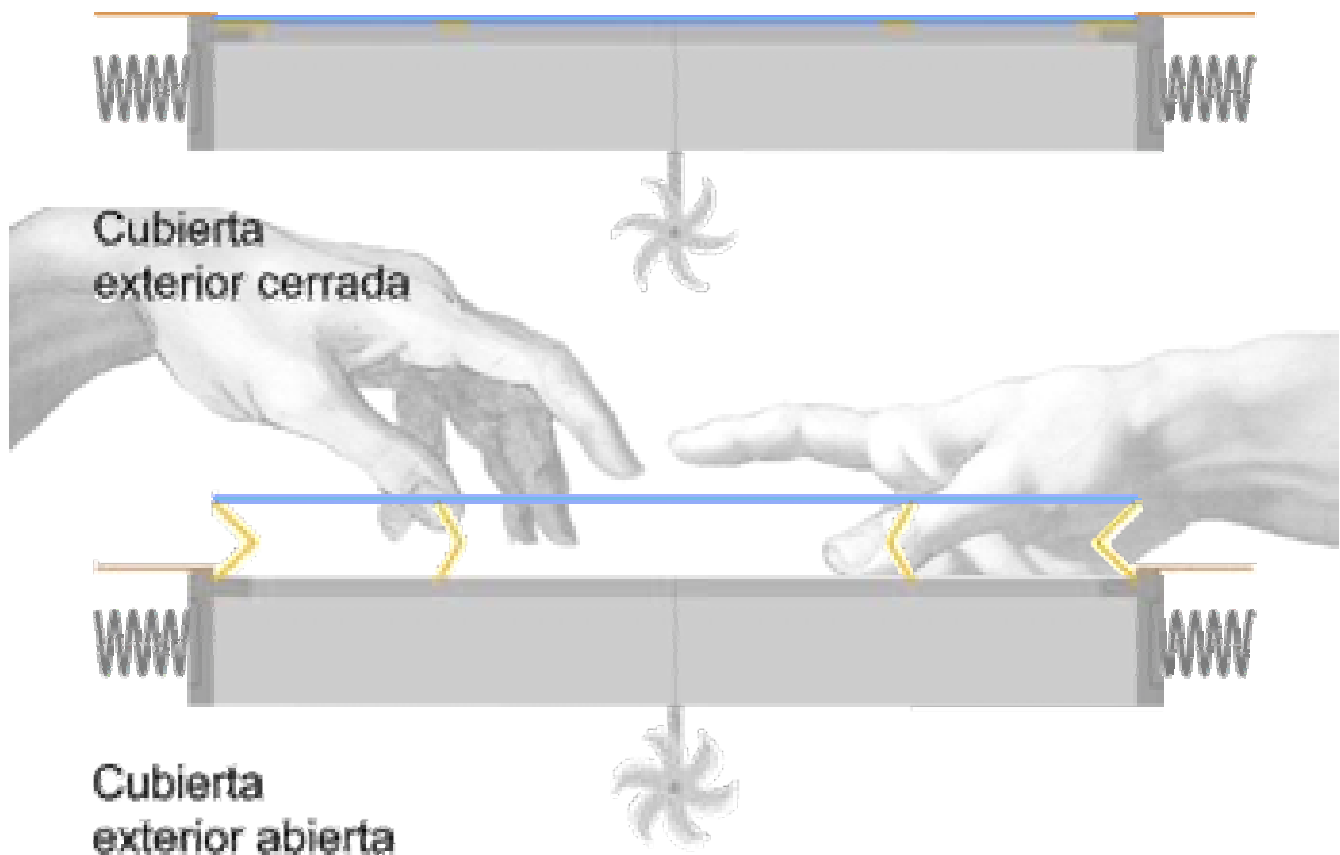
También se cuidará la protección de los accesos ante las corrientes de agua que pudieran amenazar con inundar el interior. El agua pluvial resbalará de manera natural por el perfil de la estructura, siendo recolectada por medio de canalizaciones hacia cisternas para aprovecharla, previo su filtrado y purificación.





## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

La cubierta exterior de la estructura estará compuesta por paneles individuales fabricados de un material transparente o translúcido que sea resistente al impacto de muy fuertes tormentas, y algunos de ellos podrán, en las temporadas de calma climática, abrirse y cerrarse parcialmente con ayuda de sensores automáticos de temperatura y humedad relativa para ayudar a la ventilación interior. En el interior de la estructura, se ubicarán muy cerca de los paneles que puedan abrirse parcialmente, generadores eólicos que permitirán aprovechar la energía de la brisa marina tanto en su sentido diurno (del mar a la playa) como en el nocturno (de la playa al mar), con el fin de proporcionar electricidad a los edificios que contenga.



Espero que con este esbozo de la solución de diseño que he intuido, pueda tenerse una idea de lo que se es capaz de lograr con el proceso de investigación y diseño arquitectónico que expongo en este trabajo.

El desarrollo de la aplicación arquitectónica detallada que se puede originar a partir de estas ideas, implica la realización de pruebas de comportamiento y análisis estructurales que serán consideradas en un trabajo posterior.

# *Despertemos al futuro*

## *Realicemos nuestros sueños*

El mundo está lleno de pequeños detalles: una flor, una mariposa o una puesta de sol, que día a día dan sabor a nuestra vida. Muchos de ellos, aún esperan a ser descubiertos, y si los encontramos, podemos aprovecharlos para hacer deslumbrante nuestra existencia.

Como una forma distinta de ver al mundo, la bioarquitectura está llena de promesas para la nueva tecnología de la construcción, y es también una manera diferente de ver la naturaleza y de apreciar la inmensa complejidad de la vida. La auténtica ventaja de esta especial visión, es que su inspiración puede proceder de cualquier parte, desde las criaturas más humildes y pequeñas, como los insectos, hasta las entidades más grandes, poderosas y complejas, como los huracanes o nuestro propio cuerpo. La naturaleza es la mayor biblioteca de investigación del universo, sólo es cuestión de saber cómo leerla.

La tecnología moderna ha creado ya una nueva gama de materiales basados en la naturaleza, aunque muchas veces, la vida sigue yendo un paso por delante. Aún tardaremos cierto tiempo en ponernos a la altura de más de 3 mil millones de años de evolución. El mundo que nos rodea está construido sobre la base de extraordinarios materiales, y las estructuras que la naturaleza produce con esos materiales, son igualmente sorprendentes, ya que tanto materiales como estructuras guardan la lección de cómo administrar la energía de forma eficiente y limpia, una lección que, al iniciar el siglo XXI la humanidad tiene que aprender con urgencia.

Aprendamos a convivir con todos los seres vivos que nos rodean, adoptando medidas ecológicas y tratando de reducir la contaminación, para conservar el orden establecido por la naturaleza, ya que los seres humanos también somos parte de ese orden que mantiene en equilibrio la vida en nuestro planeta Tierra.

Desde un principio, este trabajo ha girado en torno a un detalle gráfico ideado por Miguel Ángel para la Capilla Sixtina: “La creación del hombre”, con la intención de motivar al amable lector de estas líneas a descubrir el enorme potencial creativo que subyace escondido en todo ser humano y que podemos desarrollar, observando y descubriendo en las formas de los objetos y las estructuras de los organismos, sus funciones, para comprender el lenguaje natural del inmenso universo que nos rodea.

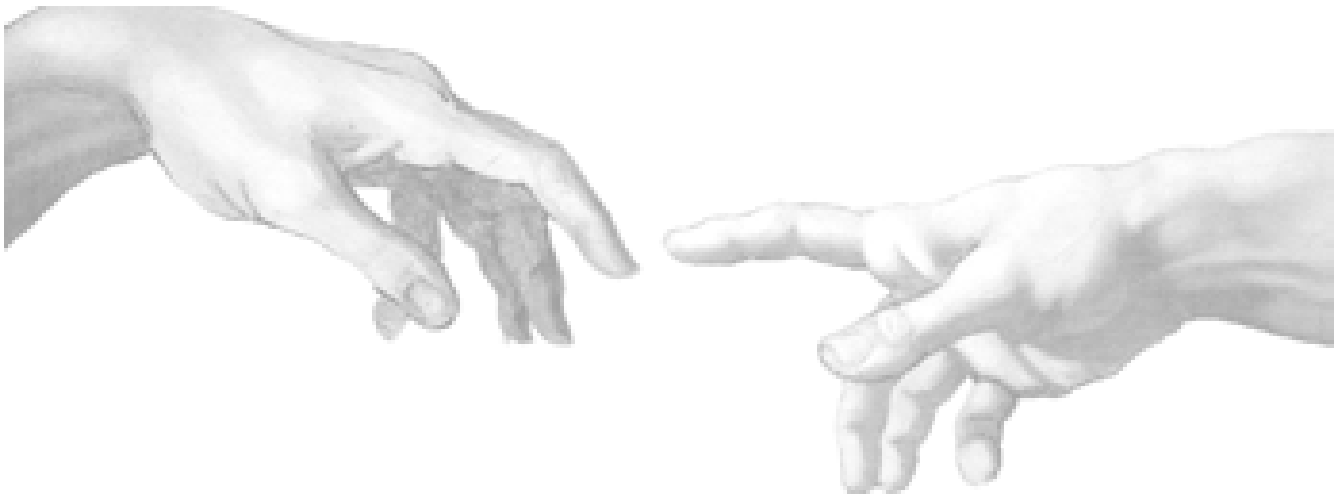
Se trata de abstraer lo más esencial de uno mismo, como investigador y creador, para proyectarlo hacia el exterior de nosotros, con el fin de utilizarlo y alcanzar nuestras metas, puesto que los caminos están ahí esperando a que los recorramos y ninguno es positivo o negativo, ya que eso depende de cómo y en qué los apliquemos.



## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



Con este trabajo me propuse destacar, entre otras cosas, la importancia del factor humano en todo proceso de investigación y de evolución tecnológica, por lo que cualquier método o proceso científico, incluso el aquí expuesto, sólo deberá servirnos de guía, evitando con ello tomarlo de manera rígida o limitante, de este modo, mantendremos siempre abiertas las puertas a la percepción del verdadero lenguaje de la vida.



# Referencias

## La sabiduría de la naturaleza

### ❖ Bibliografía y medios electrónicos.

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Allen, T .F., Starr T. B. (1982). <i>Hierarchy: perspectives for ecological complexity.</i>	Chicago, USA.	Chicago University Press.
Benévolo Leonardo. (1979). <i>Historia de la arquitectura moderna.</i>	Barcelona, España.	Gustavo Gili.
Bertalanffy, L. von. (1968). <i>General systems theory: foundations, development, applications.</i>	New York, USA	Braziller.
Biomimicry Institute. (2007). <i>Biomimiking Sharks.</i>	<a href="http://www.biomimicryinstitute.org/home-page-content/home-page-content/biomimicking-sharks.html">http://www.biomimicryinstitute.org/home-page-content/home-page-content/biomimicking-sharks.html</a>	23/10/08
Butler R. (2007). <i>Buscar en la naturaleza inspiración para nuevos diseños.</i>	<a href="http://es.mongabay.com/news/2005/0711-rhett_butler.html">http://es.mongabay.com/news/2005/0711-rhett_butler.html</a>	23/10/08
Buican Denis. (1995). <i>Historia de la biología.</i>	Madrid, España.	Acento Editorial.
Campbell N. (2000). <i>Biology: concepts and connections.</i> (A college-level textbook) 3rd ed.	EE.UU.	Benjamin/Cummings.
Biomimicry Institute. (2008). <i>¿What is Biomimicry?.</i>	<a href="http://biomimicryinstitute.org/about-us/what-is-biomimicry.html">http://biomimicryinstitute.org/about-us/what-is-biomimicry.html</a>	20/10/08
Horta O. Ricardo. (2005). <i>¿Qué es la biónica?.</i>	<a href="http://es.geocities.com/siderio_orion/QuesBionica/QuesBionica.htm">http://es.geocities.com/siderio_orion/QuesBionica/QuesBionica.htm</a>	20/10/08

# *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
I.C.B. (2008). <i>La alimentación en los misticetos</i> . Ficha técnica del Instituto de Conservación de Ballenas.	<a href="http://www.icbargentina.com.ar/template.asp?op=5_3_1">http://www.icbargentina.com.ar/template.asp?op=5_3_1</a>	20/10/08
Lisa M., Taddei M., Zanon E. (2006). <i>Il laboratorio di Leonardo da Vinci</i> .	Milán, Italia.	Leonardo3 srl. 20/10/08
Maddison D. R. (2005). <i>The Tree of Life</i> . University of Arizona, College of Agriculture and Life Sciences.	<a href="http://phylogeny.arizona.edu/">http://phylogeny.arizona.edu/</a>	20/10/08
National Geographic en español. (2008b). <i>Biomimética: Imitación de los diseños de la naturaleza</i> .	<a href="http://ngenespanol.com/2008/04/04/biomim-etica-imitacion-de-los-disenos-de-la-naturaleza/">http://ngenespanol.com/2008/04/04/biomim-etica-imitacion-de-los-disenos-de-la-naturaleza/</a>	21/10/08
O'Neill R. V., de Angeis D. L., Waide J.B., Allen T.F. (1986) <i>A hierarchical concept of ecosystems</i> .	Princeton, New Jersey, USA	Princeton University Press
Otto J. H., Towle A. (1992). <i>Biología moderna</i> . 11va. Edición.	D.F., México.	McGraw Hill/ Interamericana de México 21/10/08
Polanco Masa Alejandro. (2006). <i>El Palacio de Cristal</i> .	<a href="http://www.alpoma.net/tecob/?p=485">http://www.alpoma.net/tecob/?p=485</a>	21/10/08
Popescu Aurel I. (1999). <i>Bionics, biological systems and the principle of optimal design</i> .	Acta Biotheoretica Vol. 46, pp 299-310.	
Prigogine I. (1980). <i>From being to becoming; time and complexity in the physical sciences</i> .	San Francisco, California, USA	Freeman.
Spartacus Educational Website. (2008). <i>History of Aviation: Clement Adler</i> .	<a href="http://www.spartacus.schoolnet.co.uk/AVadler.htm">http://www.spartacus.schoolnet.co.uk/AVadler.htm</a>	21/10/08
Tate K., Domb E.. (2006). <i>40 Inventive Principles with Examples</i> .	<a href="http://www.triz-ournal.com./archives/1997/07/b/index.html">http://www.triz-ournal.com./archives/1997/07/b/index.html</a>	24/10/08
The A to Z of Nanotechnology. (2005). <i>From Nautilus to Nanobo(a)ts: The Visual Construction of Nanoscience</i> .	<a href="http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1466">http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1466</a>	27/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008a). <i>Ácido desoxirribonucléico</i> .	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/ADN">http://es.wikipedia.org/wiki/ADN</a>	21/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008b). <i>Biología</i> .	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Biolog%C3%ADa">http://es.wikipedia.org/wiki/Biolog%C3%ADa</a>	21/10/08

# *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Wikimedia Foundation Inc. (2008d) <i>Bionics.</i>	<a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Bionics">http://en.wikipedia.org/wiki/Bionics</a>	21/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008e). <i>Biónica.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Bi%C3%B3nica">http://es.wikipedia.org/wiki/Bi%C3%B3nica</a>	21/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008f). <i>Célula.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula">http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula</a>	21/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008i). <i>Euglenophyta.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Euglenophyta">http://es.wikipedia.org/wiki/Euglenophyta</a>	22/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008j). <i>Evolución Biológica.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica">http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_biol%C3%B3gica</a>	22/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008m). <i>Ingeniería Biomédica.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Bioingenier%C3%Ada">http://es.wikipedia.org/wiki/Bioingenier%C3%Ada</a>	22/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008n). <i>Ser Vivo.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Ser_vivo">http://es.wikipedia.org/wiki/Ser_vivo</a>	22/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008o) <i>The Crystal Palace.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/The_Crystal_Palace">http://es.wikipedia.org/wiki/The_Crystal_Palace</a>	22/10/08

## ❖ Imágenes e ilustraciones.

<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
1.1	<a href="http://www.flickr.com/photos/71072750@N00/3069401510/">http://www.flickr.com/photos/71072750@N00/3069401510/</a>
1.2	<a href="http://mallorcaquality.com/index/paginasgenerales/galerias_fotos/exposicion_inventos_leonardo_da_vinci_mallorca/exposicion_inventos_leonardo_da_vinci_mallorca_00.htm">http://mallorcaquality.com/index/paginasgenerales/galerias_fotos/exposicion_inventos_leonardo_da_vinci_mallorca/exposicion_inventos_leonardo_da_vinci_mallorca_00.htm</a>
1.3	<a href="http://www.spartacus.schoolnet.co.uk/AVadler.htm">http://www.spartacus.schoolnet.co.uk/AVadler.htm</a>
1.4	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Cl%C3%A9ment_Ader">http://es.wikipedia.org/wiki/Cl%C3%A9ment_Ader</a>
1.5	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
1.6	<a href="http://www.tvshowsondvd.com/news/Nature-Tech-Press-Release/10907">http://www.tvshowsondvd.com/news/Nature-Tech-Press-Release/10907</a> (Smithsonian Institution & Showtime Networks, in association with bm:bwk and ARTE. 2006. Video: "NatureTech: The Material World". EE.UU.)
1.7	<a href="http://www.flickr.com/photos/42212091@N00/1007329844/">http://www.flickr.com/photos/42212091@N00/1007329844/</a>
1.8	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/The_Crystal_Palace">http://es.wikipedia.org/wiki/The_Crystal_Palace</a>
1.9	<a href="http://www.alpoma.net/tecob/?p=485">http://www.alpoma.net/tecob/?p=485</a>

## *Proceso de diseño*

### ❖ Bibliografía y medios electrónicos.

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Álvarez Cristina, Álvarez Fernando, Garrido Luis Mario, Martínez Stella M. y Ruiz Andrés. (1998). <i>Matemática IX. Ciencias.</i>	México.	Editorial Vicens Vives.
Amalgamated Research Inc. (2008). <i>Why engineer fractals? / Engineering rationale.</i>	<a href="http://www.arifractal.com/Why%20engineer%20fractals.pdf">www.arifractal.com/Why%20engineer%20fractals.pdf</a>	23/10/08
American Museum of Natural History. (2002). <i>Biomechanics: Spring-Loaded.</i>	<a href="http://www.biomechanics.bio.uci.edu/_html/nh_biomech/dolphin_spring/dolphin.htm">http://www.biomechanics.bio.uci.edu/_html/nh_biomech/dolphin_spring/dolphin.htm</a>	23/10/08
Arte y Matemáticas (2008). <i>La espiral en el universo.</i>	<a href="http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica">http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica</a>	29/10/08
Baum C., Meyer W., Stelzer R., Fleischer, L.-G. Siebers D. (2001). <i>Average nanorough skin surface of the pilot whale (Globicephala melas, Delphinidae): considerations on the self-cleaning abilities based on nanoroughness.</i>	Marine Biology. Vol. 140, pp 653-657.	Springer-Verlag.
Biomimicry Institute. (2007). <i>Biomimicking Sharks.</i>	<a href="http://www.biomimicryinstitute.org/home-page-content/home-page-content/biomimicking-sharks.html">http://www.biomimicryinstitute.org/home-page-content/home-page-content/biomimicking-sharks.html</a>	23/10/08
Butikov E. (2002-October). <i>A dynamical picture of the oceanic tides.</i>	Am. J. Phys. 70 (10), pp. 1001-1011.	Am. J. Phys.
Butler R. (2007). <i>Buscar en la naturaleza inspiración para nuevos diseños.</i>	<a href="http://es.mongabay.com/news/2005/0711-rhett_butler.html">http://es.mongabay.com/news/2005/0711-rhett_butler.html</a>	23/10/08
C.C.C. (Centro de Conservación Cetácea). (2006). <i>Científicos intentan proteger a los cetáceos.</i>	<a href="http://www.ccc-chile.org/article_view.php?areaID=41&amp;cPat h=58_48&amp;key=187">http://www.ccc-chile.org/article_view.php?areaID=41&amp;cPat h=58_48&amp;key=187</a>	23/10/08
Comarazamy Daniel. (2005). <i>Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, Efectos del Viento, Aspectos Estructurales.</i>	Washington, D.C., EE. UU.	Organización Panamericana de la Salud.

# *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Cuberos R. (2007). <i>Métodos de diseño e investigación.</i>	<a href="http://www.slideshare.net/ricardocuberos/metodos-de-diseo-clase-4/">http://www.slideshare.net/ricardocuberos/metodos-de-diseo-clase-4/</a>	23/10/08
Enciclopedia Libre Universal en Español. (2008). <i>Ensayo de resiliencia.</i>	<a href="http://enciclopedia.us.es/index.php/Ensayo_de_resiliencia">http://enciclopedia.us.es/index.php/Ensayo_de_resiliencia</a>	28/10/08
Enebral F. J. (2004). <i>La intuición: un recurso de los directivos.</i>	<a href="http://www.gestiopolis.com/canales/gerencial/articulos/71/intuirecdir.htm">http://www.gestiopolis.com/canales/gerencial/articulos/71/intuirecdir.htm</a>	24/10/08
Ghyka, Matila C. (1992). <i>El número de oro.</i>	Barcelona, España.	Editorial Poseidón.
Gómez-Moreno P. (1999c). Instituto de Ciencia de Materiales, Barcelona, Esp. <i>Copos de nieve.</i>	<a href="http://www.cienciateca.com/ctssnow.html">http://www.cienciateca.com/ctssnow.html</a>	28/10/08
I.C.B. (2008). <i>La alimentación en los mysticetos.</i> Ficha técnica del Instituto de Conservación de Ballenas.	<a href="http://www.icbargentina.com.ar/template.asp?op=5_3_1">http://www.icbargentina.com.ar/template.asp?op=5_3_1</a>	20/10/08
ITESM. (1996). (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey). <i>Plasticidad en elementos en flexión.</i>	<a href="http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/cv/cv95-962/curso/practicas/P_LEST07.htm">http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/cv/cv95-962/curso/practicas/P_LEST07.htm</a>	29/10/08
Lewontin R. C., Gould S.J. (1979). <i>The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme.</i>	Proceedings of the Royal Society of London B. Vol. 205. pp 581-598.	Royal Society of London.
Livio Mario. (2002). <i>The Golden Ratio: The Story of Phi, the World's Most Astonishing Number.</i>	New York, USA.	Broadway Books.
Lotus-Effect. (2008). <i>El Efecto Lotus.</i>	<a href="http://www.lotus-effect.de/en/index.php">http://www.lotus-effect.de/en/index.php</a>	24/10/08
Mari Mutt José A.. (2008). <i>Manual de redacción científica.</i> Univ. De Puerto Rico.	<a href="http://caribjsci.org/epub1/temario.htm">http://caribjsci.org/epub1/temario.htm</a>	23/10/08
Mulet E., Vidal R., Gómez-Senent E. (2002). <i>Experimental research on creative models.</i>	Proceesings of the VI International Congress on Project Engineering, Barcelona, España.	VI ICPE.
Peppas N.A., Lauger R. (1994). <i>New challenge in biomaterials.</i>	Science Vol. 263, pp 1715-1720.	Science
Perala-Fabi Ramón. (1993). <i>Fluidos: Apellido de líquidos y gases.</i>	México.	Fondo de Cultura Económica.



# Proceso de Creatividad Bioarquitectónica

Autor. (Año de edición o última actualización). Título.	Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)	Editorial o Fecha de último acceso:
Pontificia Universidad Católica de Chile. (1999). <i>Ensayo de resiliencia</i> .	<a href="http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/materiales/materials6-1.html">http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/materiales/materials6-1.html</a>	29/10/08
Popescu Aurel I. (1999). <i>Bionics, biological systems and the principle of optimal design</i> .	Acta Biotheoretica Vol. 46, pp 299-310.	
Porta Paulo, Instituto Arzobispo Xelmírez, Esp. (2007). <i>La proporción Áurea</i> .	<a href="http://www.pauloport.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloport.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>	29/10/08
Powerhouse Museum Collection. (2004). <i>Speedo Fastskin swimsuits</i> .	<a href="http://www.powerhousemuseum.com/collection/database/?irn=350066">http://www.powerhousemuseum.com/collection/database/?irn=350066</a>	24/10/08
Singer Ferdinand L. (1985). <i>Mecánica para ingenieros</i> .	N.Y. University.	Editorial Harla.
Speedo. (2008). <i>Aqualab: The global research &amp; development facility</i> .	<a href="http://www.speedo.com/webapp/wcs/stores/servlet/FSCContent_10151_10202_-1_/content/explorespeedo/aqualab/aqualab-1.html">http://www.speedo.com/webapp/wcs/stores/servlet/FSCContent_10151_10202_-1_/content/explorespeedo/aqualab/aqualab-1.html</a>	24/10/08
The A to Z of Nanotechnology. (2005). <i>From Nautilus to Nanobots: The Visual Construction of Nanoscience</i> .	<a href="http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1466">http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1466</a>	27/10/08
The Florida State University. (2002). <i>Regional effects of El Niño Southern Oscillation (ENSO) on Hurricane Landfalls</i> .	<a href="http://www.coaps.fsu.edu/papers/regional_effects_hurricane_landfalls/">http://www.coaps.fsu.edu/papers/regional_effects_hurricane_landfalls/</a>	29/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008c). <i>Rádula</i> .	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1dula">http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1dula</a>	27/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008v). <i>Espiral de Arquímedes</i> .	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_de_Arqu%C3%ADmedes">http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_de_Arqu%C3%ADmedes</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008w). <i>Espiral logarítmica</i> .	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADmica">http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADmica</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008s). <i>Número áureo</i> .	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo">http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008t). <i>Ortogonalidad</i> .	<a href="http://www.es.wikipedia.org/wiki/Ortogonal">http://www.es.wikipedia.org/wiki/Ortogonal</a>	30/10/08



## ❖ Imágenes e ilustraciones.

Figura No.	Origen.
2.1	<a href="http://www.walvisstrandingen.nl/get?alias=ws&amp;page_alias=i000285">http://www.walvisstrandingen.nl/get?alias=ws&amp;page_alias=i000285</a>
2.2	Baum C., Meyer W., Stelzer R., Fleischer, L.-G. Siebers D. (2001). <i>Average nanorough skin surface of the pilot whale (Globicephala melas, Delphinidae): considerations on the self-cleaning abilities based on nanoroughness</i> . Marine Biology. Vol. 140, p. 655. Ed. Springer-Verlag.
2.3	<a href="http://www.physics.ubc.ca/outreach/phys420/p420_04/sean/media/pic11.jpg">http://www.physics.ubc.ca/outreach/phys420/p420_04/sean/media/pic11.jpg</a>
2.4	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
2.5	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
2.6	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
2.7	<a href="http://www.psicogeometria.com/cuerpohumano.html">http://www.psicogeometria.com/cuerpohumano.html</a>
2.8	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
2.9	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Low_pressure_system_over_Iceland.jpg">http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Low_pressure_system_over_Iceland.jpg</a>
2.10	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
2.11	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
2.12	<a href="http://www.tvshowsondvd.com/news/Nature-Tech-Press-Release/10907">http://www.tvshowsondvd.com/news/Nature-Tech-Press-Release/10907</a> (Smithsonian Institution & Showtime Networks, in association with bm:bwk and ARTE. 2006. Video: "NatureTech: The Material World". EE.UU.)
2.13	<a href="http://www.lotus-effect.de/en/funktion/grenz.php">http://www.lotus-effect.de/en/funktion/grenz.php</a>
2.14	<a href="http://www.lotus-effect.de/en/funktion/ober.php">http://www.lotus-effect.de/en/funktion/ober.php</a>
2.15	<a href="http://www.biomimicryinstitute.org/home-page-content/home-page-content/biomimicking-sharks.html">http://www.biomimicryinstitute.org/home-page-content/home-page-content/biomimicking-sharks.html</a>
2.16	<a href="http://www.biomimicryinstitute.org/home-page-content/home-page-content/biomimicking-sharks.html">http://www.biomimicryinstitute.org/home-page-content/home-page-content/biomimicking-sharks.html</a>
2.17	<a href="http://www.speedo.com/webapp/wcs/stores/servlet/FSCContent_10151_10202_-1_/content/explorespeedo/history/2000s/hm2000.html">http://www.speedo.com/webapp/wcs/stores/servlet/FSCContent_10151_10202_-1_/content/explorespeedo/history/2000s/hm2000.html</a>
2.18	<a href="http://www.speedo.com/webapp/wcs/stores/servlet/FSCContent_10151_10202_-1_/content/explorespeedo/aqualab/fastskinlrracer.jsp">http://www.speedo.com/webapp/wcs/stores/servlet/FSCContent_10151_10202_-1_/content/explorespeedo/aqualab/fastskinlrracer.jsp</a>
2.19	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
2.20	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
2.21	<a href="http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aia075702.pdf">http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aia075702.pdf</a>
2.22	<a href="http://esamultimedia.esa.int/images/aurora/robotic_bee_HR.jpg">http://esamultimedia.esa.int/images/aurora/robotic_bee_HR.jpg</a>
2.23	<a href="http://www.healthbolt.net/2007/07/11/nanorobotics/">http://www.healthbolt.net/2007/07/11/nanorobotics/</a>
2.24	<a href="http://www.torinoscienza.it/dossier/apri?obj_id=8785">http://www.torinoscienza.it/dossier/apri?obj_id=8785</a>
2.25	<a href="http://www.spiegel.de/international/0,1518,378584,00.html">http://www.spiegel.de/international/0,1518,378584,00.html</a>



## *En serio: La creatividad en serie*

### ❖ Bibliografía y medios electrónicos.

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
American Museum of Natural History. (2003). <i>Biomechanics: Flap your hands.</i>	<a href="http://www.biomechanics.bio.uci.edu/_html/nh_biomech/bats/bats.htm">http://www.biomechanics.bio.uci.edu/_html/nh_biomech/bats/bats.htm</a>	23/10/08
BendWeekly. (2007). <i>Study of bat flight could improve autonomous flying vehicles.</i>	<a href="http://www.bendweekly.com/Science/6693.html">http://www.bendweekly.com/Science/6693.html</a>	23/10/08
López Pazo Silvio Alejandro. (2006). <i>Bioinformática para novatos.</i>	<a href="http://silvioalejandro.tripod.com/index.htm">http://silvioalejandro.tripod.com/index.htm</a>	24/10/08
Riskin D. K., et al. (2008). <i>Quantifying the complexity of bat wing kinematics.</i>	Journal of Theoretical Biology, doi:10.1016/j.jtbi.2008.06.011.	Journal of Theoretical Biology.
WindWing. (2008). <i>WindWing.</i>	<a href="http://www.windwing.com/dnn/kiteboarding/tabid/60/ItemId/132/Default.aspx">http://www.windwing.com/dnn/kiteboarding/tabid/60/ItemId/132/Default.aspx</a>	27/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008g). <i>Base de datos biológica.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Base_de_datos_biol%C3%B3gica">http://es.wikipedia.org/wiki/Base_de_datos_biol%C3%B3gica</a>	27/10/08

### ❖ Imágenes e ilustraciones.

<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
3.1	<a href="http://www.windwing.com/dnn/Default.aspx?tabid=95">http://www.windwing.com/dnn/Default.aspx?tabid=95</a>
3.2	<a href="http://www.tohonochohulpark.org/PDF/Bats-FlyingAcesOutreach.pdf">http://www.tohonochohulpark.org/PDF/Bats-FlyingAcesOutreach.pdf</a>
3.3	<a href="http://www.cs.brown.edu/~jchen/publications/Chen-BatPOD.pdf">http://www.cs.brown.edu/~jchen/publications/Chen-BatPOD.pdf</a>
3.4	<a href="http://www.windwing.com/dnn/PHOTOKiteboarding/tabid/90/Default.aspx">http://www.windwing.com/dnn/PHOTOKiteboarding/tabid/90/Default.aspx</a>
3.5	<a href="http://www.windwing.com/dnn/PHOTOKiteboarding/tabid/90/Default.aspx">http://www.windwing.com/dnn/PHOTOKiteboarding/tabid/90/Default.aspx</a>

## *El factor humano es importante*

### ❖ Bibliografía y medios electrónicos.

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Dynamic Architecture Group. (2008). <i>Dynamic Architecture by David Fisher.</i>	<a href="http://www.dynamicarchitecture.net/home.html">http://www.dynamicarchitecture.net/home.html</a>	28/10/08
Hall Edward T. ((2005). <i>La dimensión oculta.</i>	D.F., México.	Siglo XXI
Heller Eva. (2004). <i>Psicología del color.</i>	Barcelona, España.	Gustavo Gili, SL.
Henry Art Gallery. (2004). <i>Santiago Calatrava. The Architect's Studio.</i>	Seattle, Washington, USA.	Kirsten Kiser.
Piaget J. (1994). <i>El nacimiento de la inteligencia en el niño.</i>	D.F., México.	Grijalbo.
Winner L. (1987). <i>La ballena y el reactor. Una búsqueda de los límites en la era de la alta tecnología.</i>	Barcelona, Esp.	Gedisa.

### ❖ Imágenes e ilustraciones.

<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
4.1	<a href="http://www.arcspace.com/architects/calatrava/hag_exhibition/hag_exhibition.html">http://www.arcspace.com/architects/calatrava/hag_exhibition/hag_exhibition.html</a>
4.2	<a href="http://www.diariodelviajero.com/galeria/ciudad-de-las-artes-y-las-ciencias/11">http://www.diariodelviajero.com/galeria/ciudad-de-las-artes-y-las-ciencias/11</a>
4.3	<a href="http://blog.miragestudio7.com/2005/10/santiago-calatravas-turning-torso/">http://blog.miragestudio7.com/2005/10/santiago-calatravas-turning-torso/</a>
4.4	<a href="http://blog.miragestudio7.com/2005/10/santiago-calatravas-turning-torso/">http://blog.miragestudio7.com/2005/10/santiago-calatravas-turning-torso/</a>
4.5	<a href="http://www.dynamicarchitecture.net/home.html">http://www.dynamicarchitecture.net/home.html</a>
4.6	<a href="http://www.flickr.com/photos/hiyya5/2230367518/">http://www.flickr.com/photos/hiyya5/2230367518/</a>
4.7	<a href="http://www.dynamicarchitecture.net/home.html">http://www.dynamicarchitecture.net/home.html</a>
4.8	<a href="http://www.dynamicarchitecture.net/home.html">http://www.dynamicarchitecture.net/home.html</a>

## *Ficha uno: El huracán*

### ❖ Bibliografía y medios electrónicos.

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Butikov E. (2002-October). <i>A dynamical picture of the oceanic tides.</i>	Am. J. Phys. 70 (10), pp. 1001-1011.	Am. J. Phys.
Butler R. A. (2008). <i>Biomimética, la tecnología que imita a la naturaleza.</i>	<a href="http://es.mongabay.com/news/2008/0216-050711-rhett_butler.html">http://es.mongabay.com/news/2008/0216-050711-rhett_butler.html</a>	28/10/08
Comarazamy Daniel. (2005). <i>Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, Efectos del Viento, Aspectos Estructurales.</i>	Washington, D.C., EE. UU.	Organización Panamericana de la Salud.
National Weather Service (2008). <i>GIS.</i>	<a href="http://gis2.esri.com/library/userconf/proc02/pap0376/p0376.htm">http://gis2.esri.com/library/userconf/proc02/pap0376/p0376.htm</a>	29/10/08
NOAA (National Organization of aeronautic administration). (2008a). <i>National Hurricane Center.</i>	<a href="http://www.nhc.noaa.gov/">http://www.nhc.noaa.gov/</a>	29/10/08
NOAA (2008b). <i>Saffir-Simpson Hurricane Scale.</i>	<a href="http://www.aoml.noaa.gov/general/lib/laesc_ae.html">http://www.aoml.noaa.gov/general/lib/laesc_ae.html</a>	29/10/08
OPS (Organización Panamericana de la Salud). (2005). <i>Guía para la promoción de la mitigación de desastres naturales.</i>	<a href="http://www.paho.org/desastres">www.paho.org/desastres</a>	29/10/08
Perala-Fabi Ramón. (1993). <i>Fluidos: Apellido de líquidos y gases.</i>	México.	Fondo de Cultura Económica.
Perala-Fabi Ramón. (2004). <i>Historia de fluidos.</i>	Facultad de Ciencias de la UNAM., México.	UNAM
Pineda José A., Alcocer Sergio M. (2004). <i>Comportamiento ante cargas laterales de muros de mampostería confinada reforzados con malla de alambre soldado.</i>	México.	CENAPRED.
The Florida State University. (2002). <i>Regional effects of El Niño Southern Oscillation (ENSO) on Hurricane Landfalls.</i>	<a href="http://www.coaps.fsu.edu/papers/regional_effects_hurricane_landfalls/">http://www.coaps.fsu.edu/papers/regional_effects_hurricane_landfalls/</a>	29/10/08



# Proceso de Creatividad Bioarquitectónica



*Autor. (Año de edición o última actualización). Título.*

*Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)*

*Editorial o Fecha de último acceso:*

UCAR (University Corporation for Atmospheric Research). (2005). *El efecto Coriolis.*

[http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/physical\\_science/physics/mechanics/Coriolis.sp.html&ink=/sun&edu=high](http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/physical_science/physics/mechanics/Coriolis.sp.html&ink=/sun&edu=high)

29/10/08

## ❖ Imágenes e ilustraciones.

*Figura No.*

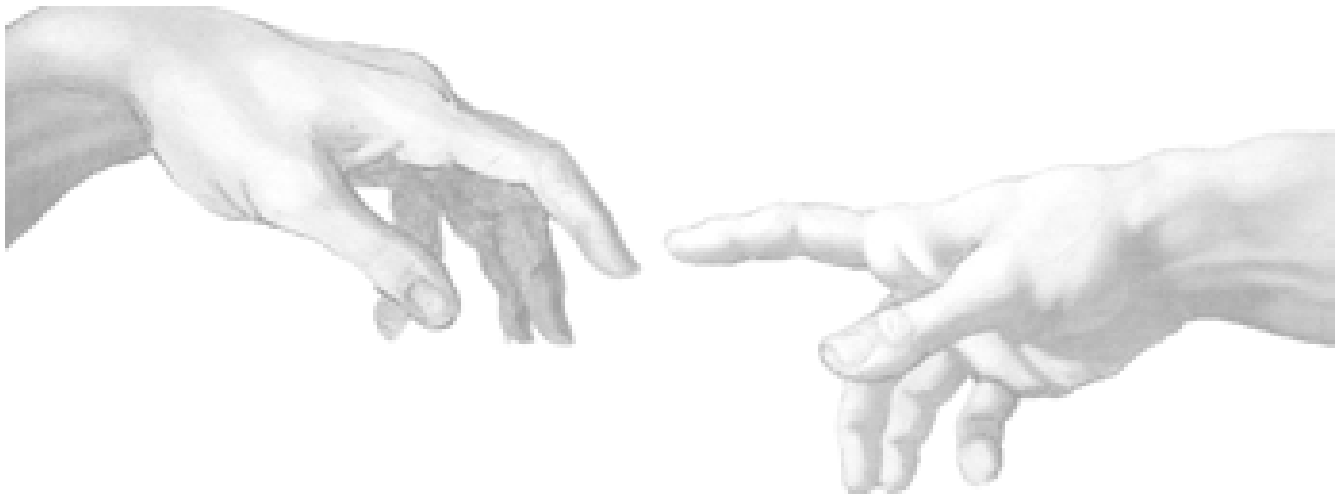
*Origen.*

- |                |   |
|----------------|---|
| 1 (M.I.PRO.1)  | <a href="http://www.weatherexplained.com/Vol-1/Hurricanes.html">http://www.weatherexplained.com/Vol-1/Hurricanes.html</a>   |
| 2 (M.I.PRO.1)  | <a href="http://www.zeemanoceanchallenge.com/news.php?id=594">http://www.zeemanoceanchallenge.com/news.php?id=594</a>   |
| 3 (M.I.PRO.1)  | <a href="http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect14/Sect14_1d.html">http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect14/Sect14_1d.html</a>   |
| 4 (M.I.PRO.1)  | <a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm/">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm/</a>   |
| 5 (M.I.PRO.1)  | <a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_5.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_5.htm</a> |
| 6 (M.I.PRO.1)  | <a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_5.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_5.htm</a> |
| 7 (M.I.PRO.1)  | <a href="http://www.physics.ubc.ca/outreach/phys420/p420_04/sean/media/pic11.jpg">http://www.physics.ubc.ca/outreach/phys420/p420_04/sean/media/pic11.jpg</a>   |
| 8 (M.I.PRO.1)  | <a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm</a> |
| 9 (M.I.PRO.1)  | <a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm</a> |
| 10 (M.I.PRO.1) | <a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm</a> |
| 11 (M.I.PRO.1) | <a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm</a> |
| 12 (M.I.PRO.1) | <a href="http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm">http://lectura.ilce.edu.mx:3000/biblioteca/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/115/html/sec_6.htm</a> |
| 13 (M.I.PRO.1) | <a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>   |
| 14 (M.I.PRO.1) | <a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>   |
| 15 (M.I.PRO.1) | <a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>   |
| 16 (M.I.PRO.1) | <a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>   |
| 17 (M.I.PRO.1) | <a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>   |
| 18 (M.I.PRO.1) | <a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>   |
| 19 (M.I.PRO.1) | <a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>   |





<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
20 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
21 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
22 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.flash.org/resources/files/Despues%20de%20la%20Tormenta.pdf">http://www.flash.org/resources/files/Despues%20de%20la%20Tormenta.pdf</a>
23 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
24 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
25 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
26 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm">http://www.disaster-info.net/viento/spanish/presgraficas.htm</a>
27 (M.I.PRO.1)	<a href="http://www.gizmag.com/go/4133/">http://www.gizmag.com/go/4133/</a>





## *Ficha dos: El hexágono*

### ❖ Bibliografía y medios electrónicos.

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Gómez-Moreno P. (1999a). Instituto de Ciencia de Materiales, Barcelona, Esp. <i>Hexágonos en un mundo empaquetado.</i>	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>	28/10/08
Gómez-Moreno P. (1999b). Instituto de Ciencia de Materiales, Barcelona, Esp. <i>¿Es eso una molécula?</i>	<a href="http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html">http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html</a>	28/10/08
Gómez-Moreno P. (1999c). Instituto de Ciencia de Materiales, Barcelona, Esp. <i>Copos de nieve.</i>	<a href="http://www.cienciateca.com/ctssnow.html">http://www.cienciateca.com/ctssnow.html</a>	28/10/08
ITESM (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey). (1996). <i>Plasticidad en elementos en flexión.</i>	<a href="http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/cv/cv95-962/curso/practicas/P_LEST07.htm">http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/cv/cv95-962/curso/practicas/P_LEST07.htm</a>	29/10/08
Pineda J. A., Alcocer S. M. (2004). <i>Comportamiento ante cargas laterales de muros de mampostería confinada reforzados con malla de alambre soldado.</i>	México.	CENAPRED.
Resnick R. y Halliday D. (1996). <i>Física. Parte I.</i>	México	Continental, S.A.
Singer Ferdinand L. (1985). <i>Mecánica para ingenieros.</i>	N.Y. University.	Editorial Harla.
Wikimedia Foundation Inc. (2008h). <i>Centroide.</i>	<a href="http://www.es.wikipedia.org/wiki/Centroide">http://www.es.wikipedia.org/wiki/Centroide</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008q). <i>Módulo de torsión.</i>	<a href="http://www.es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo_de_torsi%C3%B3n">http://www.es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo_de_torsi%C3%B3n</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008r). <i>Momento de inercia.</i>	<a href="http://www.es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_inercia">http://www.es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_inercia</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008t). <i>Ortogonalidad.</i>	<a href="http://www.es.wikipedia.org/wiki/Ortogonal">http://www.es.wikipedia.org/wiki/Ortogonal</a>	30/10/08







❖ **Imágenes e ilustraciones.**

<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
1 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
2 (C.I.STR.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Pompa_de_jab%C3%B3n">http://es.wikipedia.org/wiki/Pompa_de_jab%C3%B3n</a>
3 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
4 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
5 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
6 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
7 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
8 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctshexag.html">http://www.cienciateca.com/ctshexag.html</a>
9 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.flickr.com/photos/vodk0/1553707692/">http://www.flickr.com/photos/vodk0/1553707692/</a>
10 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
11 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html">http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html</a>
12 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html">http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html</a>
13 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html">http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html</a>
14 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html">http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html</a>
15 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html">http://www.cienciateca.com/ctsnanoc.html</a>
16 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/photos3/photos3.htm">http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/photos3/photos3.htm</a>
17 (C.I.STR.1)	<a href="http://www.cienciateca.com/ctssnow.html">http://www.cienciateca.com/ctssnow.html</a>
18 (C.I.STR.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_inercia">http://es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_inercia</a>
19 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
20 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
21 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
22 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
23 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
24 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
25 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
26 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
27 (C.I.STR.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián





## *Ficha tres: La proporción áurea*

### ❖ Bibliografía y medios electrónicos.

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Álvarez C., Álvarez F., Garrido L. M., Martínez S. M. y Ruiz A. (1998). <i>Matemática IX. Ciencias.</i>	México.	Editorial Vicens Vives.
Arte y Matemáticas (2008). <i>La espiral en el universo.</i>	<a href="http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica">http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica</a>	29/10/08
Carione Noemí H, Carranza Susana G, Diñeiro María Teresa, Latorre María Laura y Trama Eduardo E. (1996). <i>Matemática 3.</i>	México.	Editorial Santillana.
Delgado Rodríguez A. (1995). <i>Reflexiones acerca de la sección áurea.</i>	Boletín Matemáticas y Cultura. Facultad de Ingeniería, U. N. A. M. pp 148 – 151.	U:N:A:M:
Ghyka, Matila C. (1992). <i>El número de oro.</i>	Barcelona, España.	Editorial Poseidón.
Guedj Denis. (1997). <i>El imperio de las cifras y los números.</i> Biblioteca de bolsillo. CLAVES.	Madrid, España.	Ediciones Grupo Zeta.
Hacyan Shahen. (1994). <i>Del mundo cuántico al universo en expansión.</i> Col. La Ciencia para Todos.	México.	Fondo de Cultura Económica.
Huntley H. E. (1996). <i>The divine proportion.</i>	USA	Dover Publications Inc.
Livio Mario. (2002). <i>The Golden Ratio: The Story of Phi, the World's Most Astonishing Number.</i>	New York, USA.	Broadway Books.
Porta Paulo. (2007). Instituto Arzobispo Xelmírez, Esp.. <i>La proporción Áurea.</i>	<a href="http://www.pauloportacom/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloportacom/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>	29/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008v). <i>Espiral de Arquímedes.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_de_Arqu%C3%ADmedes">http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_de_Arqu%C3%ADmedes</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008w). <i>Espiral logarítmica.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADtmica">http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADtmica</a>	30/10/08



# *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Wikimedia Foundation Inc. (2008k). <i>Gran Pirámide de Giza.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A1mide_de_Keops">http://es.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A1mide_de_Keops</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008p). <i>Leonardo de Pisa.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Fibonacci">http://es.wikipedia.org/wiki/Fibonacci</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008s). <i>Número áureo.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo">http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo</a>	30/10/08
Wikimedia Foundation Inc. (2008u). <i>Sucesión de Fibonacci.</i>	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Sucesi%C3%B3n_de_Fibonacci">http://es.wikipedia.org/wiki/Sucesi%C3%B3n_de_Fibonacci</a>	30/10/08

## ❖ **Imágenes e ilustraciones.**

<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
1 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.psicogeometria.com/cuerpohumano.html">http://www.psicogeometria.com/cuerpohumano.html</a>
2 (C.I.PAT.1)	<a href="http://html.rincondelvago.com/seccion-aurea.html">http://html.rincondelvago.com/seccion-aurea.html</a>
3 (C.I.PAT.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo">http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo</a>
4 (C.I.PAT.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo">http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo</a>
5 (C.I.PAT.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo">http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_%C3%81ureo</a>
6 (C.I.PAT.1)	<a href="http://html.rincondelvago.com/seccion-aurea.html">http://html.rincondelvago.com/seccion-aurea.html</a>
7 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
8 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
9 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
10 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
11 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
12 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
13 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
14 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
15 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
16 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
17 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm">http://www.pauloporta.com/Fotografia/Artigos/epropaurea1.htm</a>
18 (C.I.PAT.1)	<a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Fullerene">http://en.wikipedia.org/wiki/Fullerene</a>
19 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos_informaticos/concurso2002/alumnado/naturaleza.html">http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos_informaticos/concurso2002/alumnado/naturaleza.html</a>



# *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
20 (C.I.PAT.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADmica">http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADmica</a>
21 (C.I.PAT.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADmica">http://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_logar%C3%ADmica</a>
22 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica">http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica</a>
23 (C.I.PAT.1)	<a href="http://xahlee.org/SpecialPlaneCurves_dir/Spiral_dir/spiral.html">http://xahlee.org/SpecialPlaneCurves_dir/Spiral_dir/spiral.html</a>
24 (C.I.PAT.1)	<a href="http://simetria.dim.uchile.cl/matematico/nodo214.html">http://simetria.dim.uchile.cl/matematico/nodo214.html</a>
25 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica">http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica</a>
26 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica">http://www.mediaciones.net/arteymatematicas/?tag=espiral-logaritmica</a>
27 (C.I.PAT.1)	<a href="http://museosvirtuales.azc.uam.mx/estudio-de-arquepoetica/escritos/isomorfia.html">http://museosvirtuales.azc.uam.mx/estudio-de-arquepoetica/escritos/isomorfia.html</a>
28 (C.I.PAT.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
29 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.space.com/scienceastronomy/perfect_spirals_030917.html">http://www.space.com/scienceastronomy/perfect_spirals_030917.html</a>
30 (C.I.PAT.1)	<a href="http://www.space.com/scienceastronomy/perfect_spirals_030917.html">http://www.space.com/scienceastronomy/perfect_spirals_030917.html</a>
31 (C.I.PAT.1)	<a href="http://museosvirtuales.azc.uam.mx/estudio-de-arquepoetica/escritos/isomorfia.html">http://museosvirtuales.azc.uam.mx/estudio-de-arquepoetica/escritos/isomorfia.html</a>
32 (C.I.PAT.1)	<a href="http://evolutionoftruth.com/div/fibomyst.htm">http://evolutionoftruth.com/div/fibomyst.htm</a>
33 (C.I.PAT.1)	<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A1mide_de_Keops">http://es.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A1mide_de_Keops</a>
34 (C.I.PAT.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián
35 (C.I.PAT.1)	Dibujo realizado por: Arq. Miguel Alberto Cano Lupián

## *Ficha cuatro: Resortes*

### ❖ Bibliografía y medios electrónicos.

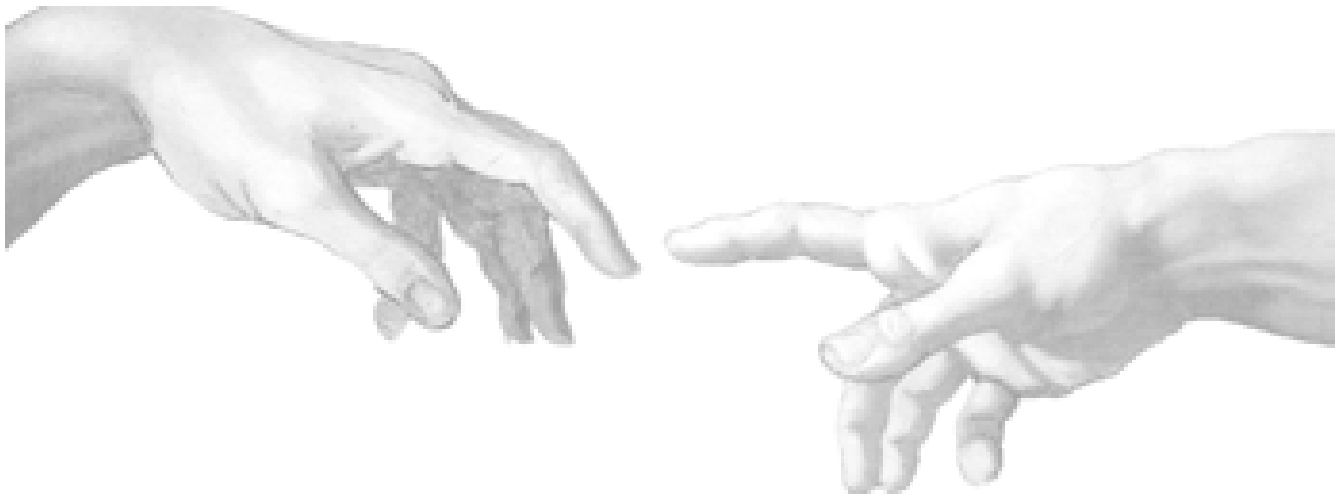
<i>Autor. (Año de edición o última actualización). Título.</i>	<i>Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)</i>	<i>Editorial o Fecha de último acceso:</i>
Enciclopedia Libre Universal en Español. (2008). <i>Ensayo de resiliencia.</i>	<a href="http://enciclopedia.us.es/index.php/Ensayo_de_resiliencia">http://enciclopedia.us.es/index.php/Ensayo_de_resiliencia</a>	28/10/08
GERB, S.A. (2008a). <i>Absorbedores dinámicos sintonizados.</i>	<a href="http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?ID=140&amp;kategorie=15">http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?ID=140&amp;kategorie=15</a>	28/10/08
GERB, S.A. (2008b). <i>Protección antisísmica para edificios.</i>	<a href="http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?woher=unterrubrik&amp;ID=98">http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?woher=unterrubrik&amp;ID=98</a>	28/10/08
ITESM. (1996). (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey). <i>Plasticidad en elementos en flexión.</i>	<a href="http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/cv/cv95-962/curso/practicas/P_LEST07.htm">http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/cv/cv95-962/curso/practicas/P_LEST07.htm</a>	29/10/08
Pontificia Universidad Católica de Chile. (1999). <i>Pruebas de resiliencia.</i>	<a href="http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/materiales/materials6-1.html">http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/materiales/materials6-1.html</a>	29/10/08
Singer Ferdinand L. (1985). <i>Mecánica para ingenieros.</i>	N.Y. University.	Editorial Harla.
Viklund Andreas. (2008). <i>La resiliencia.</i>	<a href="http://cadcamcae.wordpress.com/2008/01/14/la-resiliencia/">http://cadcamcae.wordpress.com/2008/01/14/la-resiliencia/</a>	29/10/08
Zwick Roell Group. (2008). <i>Máquinas para ensayos estáticos, dinámicos y de fatiga.</i>	<a href="http://www.zwick.es/products.html">http://www.zwick.es/products.html</a>	30/10/08

### ❖ Imágenes e ilustraciones.

<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
1 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/photogalerie/index.php?woher=unterrubrik&amp;kategorie=2&amp;ID=98">http://www.gerb.com/es/photogalerie/index.php?woher=unterrubrik&amp;kategorie=2&amp;ID=98</a>
2 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/bibliothek/downloads/dokumente/EDITECO.pdf">http://www.gerb.com/es/bibliothek/downloads/dokumente/EDITECO.pdf</a>
3 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/bibliothek/downloads/dokumente/EDITECO.pdf">http://www.gerb.com/es/bibliothek/downloads/dokumente/EDITECO.pdf</a>
4 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/photogalerie/index.php?woher=unterrubrik&amp;kategorie=2&amp;ID=98">http://www.gerb.com/es/photogalerie/index.php?woher=unterrubrik&amp;kategorie=2&amp;ID=98</a>

# *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*

<i>Figura No.</i>	<i>Origen.</i>
5 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/projektbeispiele/show_projektbeispiel.php?rubrik=tilger&amp;projekt=burj_al_arab">http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/projektbeispiele/show_projektbeispiel.php?rubrik=tilger&amp;projekt=burj_al_arab</a>
6 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?ID=140&amp;&amp;kategorie=15">http://www.gerb.com/es/arbeitsgebiete/arbeitsgebiete.php?ID=140&amp;&amp;kategorie=15</a>
7 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/bibliothek/projektbeispiele/show_projektbeispiel.php?rubrik=tilger&amp;projekt=schwedter_str">http://www.gerb.com/es/bibliothek/projektbeispiele/show_projektbeispiel.php?rubrik=tilger&amp;projekt=schwedter_str</a>
8 (E.I.MEC.1)	<a href="http://www.gerb.com/es/bibliothek/projektbeispiele/show_projektbeispiel.php?rubrik=tilger&amp;projekt=morumbi_stadion">http://www.gerb.com/es/bibliothek/projektbeispiele/show_projektbeispiel.php?rubrik=tilger&amp;projekt=morumbi_stadion</a>



## *Glosario de términos*

### ❖ **Bibliografía y medios electrónicos.**

*Autor. (Año de edición o última actualización). Título.*

*Lugar de edición o Dirección WWW (World Wide Web)*

*Editorial o Fecha de último acceso:*

Diccionario Anaya de la lengua. (2007).

Barcelona, España

Grupo Anaya

Diccionario Enciclopédico (2008).

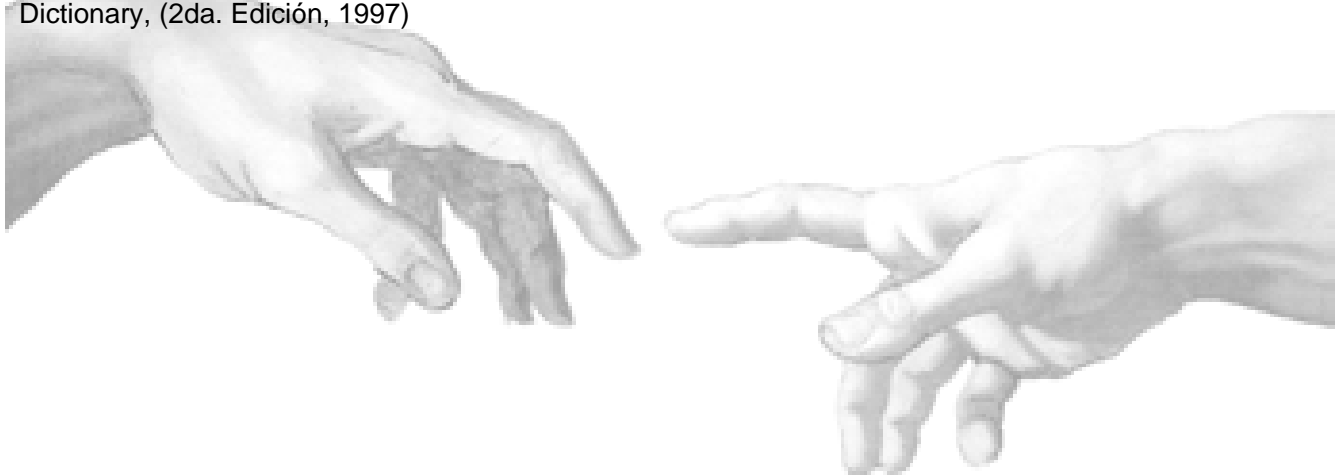
México

LAROUSSE  
MEXICO

Simon & Schuster's International English/Spanish Spanish/English Dictionary, (2da. Edición, 1997)

New York, USA

John Wiley & Sons



## *Glosario de términos*

**Aparejo cuatropeado.** Modismo regional que se refiere al arreglo de piezas, de igual forma y tamaño, que están acomodadas de manera que las dispuestas en el nivel superior están traslapadas media pieza con respecto a las del nivel inferior, de tal manera que la pieza superior “descansará” sobre dos inferiores.

**Autotomía.** Fenómeno que se da como un mecanismo de defensa, realizado por algunos animales, consistente en la amputación espontánea de alguna parte de su cuerpo, a la que siempre sigue la regeneración. Un ejemplo: Las lagartijas se desprenden de su cola ante la amenaza de un depredador.

**Barlovento.** En el mar, dirección desde la que proviene el viento.

**Bioarquitectura.** Arquitectura basada en las estructuras y/o propiedades de las Entidades de la naturaleza, ya sean estas vivientes o inanimadas.

**Carga axial.** Fuerza o peso que incide en un objeto en dirección de su centroide.

**Centroide.** Se refiere al centro de gravedad o centro de masas de un objeto.

**Damnificados.** Dícese de las personas que han sufrido grave daño o perjuicio de carácter colectivo.

**Desmedro.** Deterioro.

**Elongar.** Estirar.

**Entidad.** Todo aquel organismo viviente u objeto inanimado existente en la naturaleza y con la que interactúa de algún modo.

**Especiación.** Separación de las especies.

**Fulereno.** Forma atómica más estable del carbono, después del diamante y el grafito. Famosos por su belleza estructural y su versatilidad para sintetizar nuevos compuestos. Se presentan en forma de esferas, elipsoides o cilindros, estos últimos llamados también nanotubos.

**Hematopoyesis.** Característica de algunos huesos de generar células sanguíneas.





## *Proceso de Creatividad Bioarquitectónica*



**Homeostasis.** Característica de un sistema abierto o un sistema cerrado, especialmente en un organismo vivo, para regular el ambiente interno y mantener una condición constante y estable mediante la termorregulación y la osmorregulación.

**Ilustraciones.** Se refiere a todo aquel croquis, esquema o dibujo que acompaña al texto de un libro o publicación. También puede referirse a las enseñanzas o capacitación que recibe una persona, pues las personas ilustres poseen gran cantidad de conocimientos.

**Imágenes.** Reproducciones impresas, por lo general de fotografías, que suelen enriquecer el texto de algún libro o publicación. También este término hace referencia a toda representación mental de objetos o personas mediante impresiones visuales, ya que al imaginar, usualmente utilizamos imágenes.

**Navegar.** En informática, se entiende como la visualización sucesiva de varias páginas de Internet, a través de los enlaces o ligas que estas contienen y con los que se puede acceder a otras páginas.

**Objetos isotrópicos.** Son aquellos en los que ciertas magnitudes vectoriales dan resultados idénticos con independencia de la dirección elegida para medirlos, por lo que poseen iguales dimensiones en forma y tamaño.

**Ortogonal.** Se refiere a la noción geométrica de perpendicularidad. En el espacio euclídeo convencional el término ortogonal y el término perpendicular son sinónimos.

**Paralelepípedo.** Poliedro de seis caras, todas rectangulares, siendo las caras opuestas iguales y paralelas entre sí.

**Protráctil.** Órgano o parte del cuerpo que se puede deslizar o prolongar hacia afuera.

**Sotavento.** Costado de un barco o construcción, opuesto a la dirección desde la que sopla el viento.

**Sustentación.** Fuerza generada sobre un cuerpo que se desplaza a través de un fluido, con dirección perpendicular a la que presenta la corriente incidente. En aeronáutica es la principal fuerza que permite a una aeronave con alas mantenerse en vuelo, ya que al ser mayor que el peso total de la aeronave, le permite despegar. Si esta fuerza tiene un valor positivo, el cuerpo tenderá a elevarse y si su valor es negativo, será empujado hacia abajo, como en los automóviles de competición, que con ayuda de alerones se mejora su estabilidad y se reduce el riesgo de volcaduras a altas velocidades.

**Ubicuidad.** Dícese de lo que puede estar situado o localizado en distintas partes con facilidad.

**Voluta.** Se refiere a algo que tiene forma de espiral.